

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний інститут, факультет будівництва, архітектури та дизайну  
(повне найменування інституту, факультету)

Композиційних матеріалів, хімії та технологій  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ**

**КОМПОЗИТНОЇ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ**

Виконав: студентка 2\_ курсу, групи БАД 218м

Спеціальності 132- Матеріалознавство  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) Композиційні  
та порошкові матеріали, покриття

Підковинська У.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Савченко В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Качан О.Я.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, будівництва, архітектури і дизайну  
 Кафедра КМХТ  
 Ступінь вищої освіти магістр  
 Спеціальність 132 - Матеріалознавство  
 (код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові  
матеріали, покриття  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри КМХТ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Підкованської Ульяни Володимирівни  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу модифікування на міцність композитної полімерної матриці.

керівник проекту (роботи) Савченко Віра Олександрівна, к.т.н., доц.  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 08 » листопада 2019 року № 367

2. Строк подання студентом проекту (роботи) до 26.12.2019р.  
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) композитна полімерна матриця, вартість матеріалів, вихідні властивості.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Класифікація кМТ та вибір матричного матеріалу; 2) Матеріали та методика досліджень; 3) Дослідження впливу модифікування на міцність композитної полімерної матриці; 4) Охорона праці; 5) Розрахунок економічної ефективності.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Мікроструктури композитної полімерної матриці до та після модифікування.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічний	Савченко В.О., к.т.н, доцент	<i>СВ</i>	<i>СВ</i>
Економічний	Бобровникова Р.Г, доцент	<i>РБ</i>	<i>РБ</i>
Оформлення	Нестеров О.В., доцент	<i>ОН</i>	<i>ОН</i>
Нормоконтроль	Акімов І.В., доцент	<i>ІА</i>	<i>ІА</i>

7. Дата видачі завдання « 01 » травня 2019 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Літературний огляд.	21.10.2019р	
2.	Матеріали та методика дослідж.	28.10.2019р	
3.	Дослідження структури та властивостей композиційної полімерної матриці до та після модифікування	29.11.2019р	
4.	Охорона праці	12.12.2019р	
5.	Економічна ефективність	18.12.2019р	
6.	Оформлення пояснювальної записки	24.12.2019р	

Студент(ка)

*ІІ*  
(підпис)

ІІаковичська Ю.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

*СВ*  
(підпис)

Савченко В.О.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Робота складається з 95 сторінок, 15 рисунків, 13 таблиць.

Об'єктом дослідження є процес модифікування композитної полімерної матриці з метою підвищення механічних властивостей.

Метою цієї роботи була розробка композитної полімерної матриці з підвищеними механічними властивостями шляхом її модифікації нанорозмірними модифікаторами. В роботі досліджувалися механічні властивості клею ЕД-20 в залежності від концентрації тальку та оксиду алюмінію. В роботі показано, що введення наночастинок тальку в кількості 0,75 % мас. призводить до збільшення межі міцності на 272% в порівнянні з не модифікованим зразком. Введення наночастинок оксиду алюмінію збільшує показник міцності на 278% , в порівнянні з не модифікованим. Також було досліджено сумісний вплив наночастинок оксиду алюмінію та тальку на властивості клею ЕД-20, який призвів до збільшення межі міцності на 208%..

Ключові слова: КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, КОМПОЗИТНА ПОЛІМЕРНА МАТРИЦЯ, МОДИФІКАТОР, ЕПОКСИДНА СМОЛА, НАНОЧАСТИНКА, ТАЛЬК, ОКСИД АЛЮМІНІЮ.

## ABSTRACT

The research work consists of 95 pages, 15 figures, 13 tables.

The object of the study is the process of add inoculant the composite polymeric matrix for to improve mechanical properties.

The purpose of this work was to develop a composite polymeric matrix with enhanced mechanical properties by add nano sized inoculant. Mechanical properties of EД-20 glue depending on the concentration of talcum powder and aluminum oxide were investigated in the work. It is shown in the research work that introduction of talc nanoparticles in the amount of 0.75% of masses leads to an increase in the ultimate strength by 272% in comparison with an unmodified sample. The introduction of aluminium oxide nanoparticles increases the strength by 278% compared to the unmodified one. The combined effect of aluminium oxide and talcum powder nanoparticles on the properties of EД-20 adhesive has also been investigated, resulting in a 208% increase in the ultimate strength.

Keywords: COMPOSITE MATERIALS, COMPOSITE POLYMER MATRIX , INOCULENT, EPOXY BASE, NANOPARTICLES, TALC, ALUMINUM OXIDE.

**ЗМІСТ**

Вступ.....	7
Розділ 1 Класифікація композиційних матеріалів та вибір матричного матеріалу .....	8
1.1 Типи композиційних матеріалів.....	8
1.2 Типи матричних матеріалів .....	14
1.2 Властивості композиційних матеріалів .....	17
1.2.1 Види та властивості матеріалів матриці.....	17
1.2.2 Види та властивості армувальних компонентів .....	21
1.3 Методи підвищення властивостей композитних полімерів .....	27
1.3.1 Модифікування полімеру оксидом алюмінію ( $Al_2O_3$ ).....	28
1.3.2 Модифікування полімеру графітом.....	31
1.3.3 Модифікування полімеру наночастинками кераміки.....	32
1.3.4 Модифікування полімеру тальком.....	33
1.4 Методи виготовлення полімерних нанокомпозитів .....	34
1.5 Мета та цілі дослідження .....	36
Розділ 2 Матеріали та методика досліджень.....	38
2.1 Матеріал полімерної матриці .....	38
2.2 Матеріал модифікаторів.....	38
2.3 Методика проведення випробування на розтягування.....	39
2.3.1 Підготовка та виготовлення зразків .....	39
2.3.2 Обладнання для випробування на розтягування .....	42
2.4 Методика проведення випробування на вогнестійкість .....	43

2.5. Дослідження мікроструктури матриці .....	44
Розділ 3 Дослідження впливу модифікування на міцність композитної полімерної матриці.....	45
3.1. Вибір оптимальної кількості модифікатора .....	45
3.2 Вплив модифікування на структуру та властивості композитної полімерної матриці.....	47
3.3 Висновки .....	62
Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	63
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	63
4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	64
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці .....	69
4.4 Заходи з пожежної безпеки .....	71
4.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях .....	75
Розділ 5 Розрахунок економічної ефективності .....	77
5.1 Економічна ефективність та економічний ефект.....	77
5.2 Собівартість продукції та її розрахунок .....	84
5.3 Висновки.....	89
Висновки .....	89
Перелік джерел посилань .....	91

## ВСТУП

На сьогоднішній день перспективним напрямком матеріалознавства є дослідження композиційних матеріалів на основі полімерів, які називають полімерними композиційними матеріалами (ПКМ). Вони є одними з найбільш численних і різноманітних видів матеріалів які використовуються в галузях машино- та авіабудування. Їх застосування в цих та інших галузях дає значний економічний ефект. Наприклад, використання ПКМ при виробництві космічної та авіаційної техніки дозволяє заощадити від 5 до 30% ваги літального апарату. А зниження ваги, наприклад, штучного супутника на навколосемній орбіті на 1 кг призводить до економії 1000 доларів.

В якості наповнювачів для ПКМ використовується безліч різноманітних речовин.

Найбільш простим і економічним способом виробництва таких матеріалів є змішування полімеру в рідкому стані з нанорозмірною фазою та подальша полімеризація отриманого композиту. За допомогою модифікування можна отримати різні полімерні композити, з необхідними механічними та експлуатаційними характеристиками. Тому дуже важливою задачею є вивчення впливу різноманітних компонентів на вихідні властивості полімеру.



## РОЗДІЛ 1

### КЛАСИФІКАЦІЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИБІР МАТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

#### 1.1 Типи композиційних матеріалів

Матеріали, що складаються з декількох компонентів і мають гетерофазну структуру з поверхнею розділу фаз, називаються композиційними матеріалами (КМ).

Класифікація КМ за геометрією компонентів певною мірою залишається суперечливою, так як вона тісно пов'язана з класифікацією за структурою і розташуванням компонентів і дуже часто їх не поділяє.

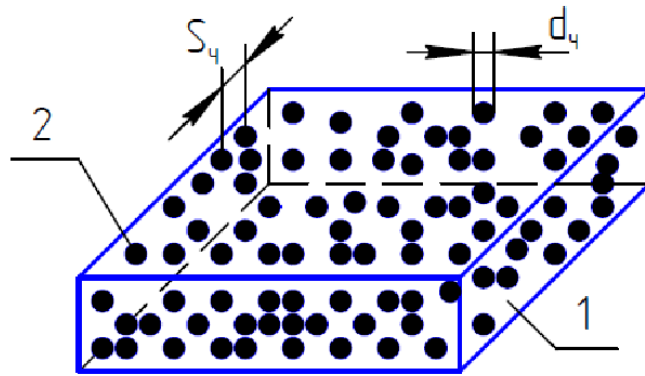
Відповідно до цієї класифікації, КМ поділяються на:

- дисперсно-зміцненні композити та композити, армовані частинками;
- волокнисті композити;
- шаруваті композиційні матеріали.

Тобто в першому випадку всі три параметри розмірів частинки знаходяться в нульмірному діапазоні, в другому випадку - 2 параметра, а в третьому лише товщина тканини. З урахуванням розміру і розподілу армуючих компонентів в кожному з класів КМ можна виділити підкласи :

- субмікроструктуровані композити: розмір часток ( $d_c$ ), товщина волокна ( $d_b$ ) набагато менше 1 мкм ( $d < 1$  мкм);
- мікроструктуровані композити: розмір часток, товщина волокна або шару ( $d_c$ ) має порядок одного мікрметра ( $d = 1$  мкм);
- макроструктуровані композити: макроскопічні розміри компонентів мають порядок одного міліметра ( $d_m > 0,1$  мм).

Дисперсно-зміцнені КМ і композити, армовані частками можна побачити на рисунку 1.1.



1 матриця; 2 - армуючі частинки діаметром  $d_ч$ ;  $S_ч$  - відстань між частинками

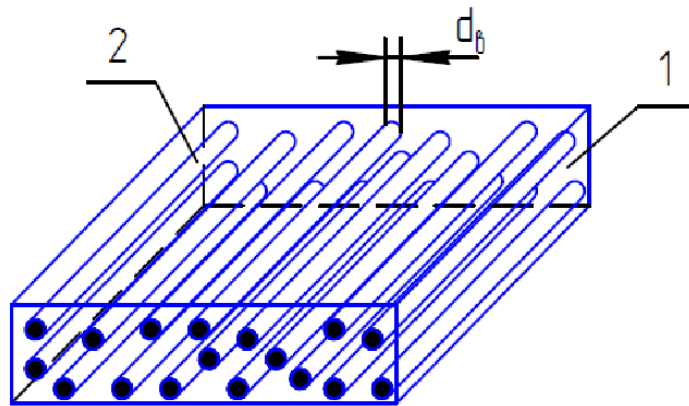
Рисунок 1.1 - Схематичне зображення мікроструктури дисперсно-зміцнених КМ і композитів, армованих нуль-мірними частками [1]

Полімерні композити мають також класифікацію відповідно до морфології фаз або геометрії армувальних компонентів. За геометричною ознакою ці композити відносяться до першого класу, так як армуючий компонент є нуль-мірним компонентом, який має всі три розміри одного і того ж порядку. Частинки другого компоненту (модифікатору) хаотично розподілені в матриці і, в залежності від їх кількості, можуть або зміцнювати матрицю, перешкоджаючи розвитку дислокаційного ковзання при додатку навантаження, або «розвантажувати» матрицю, сприймаючи частину прикладеного навантаження на себе. У дисперсно-зміцнених композитах розмір часток  $d_ч < 1$  мкм (субмікро-структуровані композити), а їх кількість становить 1...15%. Ефективність зміцнення матриці залежить від розміру часток і відстані між ними. Найбільший ефект зміцнення спостерігається при розмірі частинок менше 0,1 мкм, відстані між ними  $S_ч = 0,01...0,3$  мкм і кількості близько 15% [1].

Роль армуючих частинок зводиться не стільки до зміцнення матриці, скільки до перерозподілу прикладеного навантаження між матрицею і наповнювачем. Причому важливе призначення матриці - це передача

навантаження армуючим часточкам. Свою армувальну функцію часточки виконують, якщо їх вміст не перевищує 25%.

Ще один тип КМ це волокнисті матеріали, схематичне зображення яких можна побачити на рисунку 1.2.



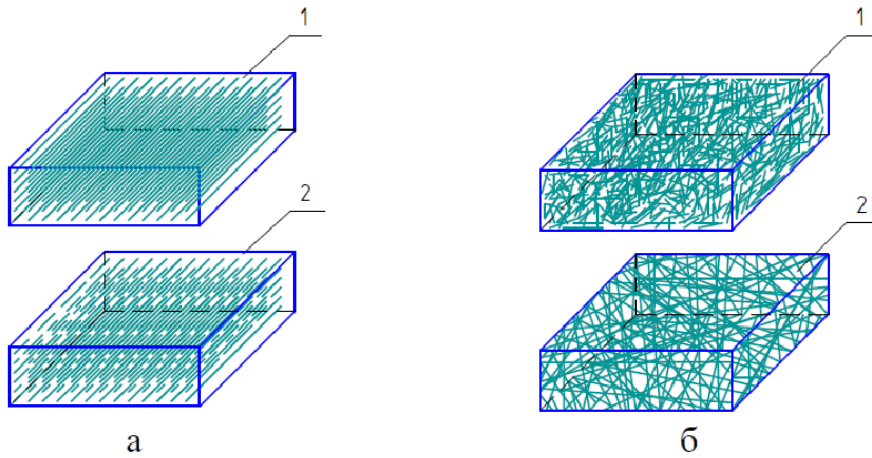
1 матриця; 2 - армуючі волокна діаметром  $d_v$

Рисунок 1.2 - Схематичне зображення мікроструктури волокнистих КМ [1]

Це в основному мікроструктуровані КМ, які характеризуються тим, що в якості наповнювача використовуються однорідні армуючі компоненти, один з розмірів яких значно перевищує два інших. У волокнистих КМ пластикна матриця армована високоміцними волокнами товщиною від кількох мікрометрів до сотень мікрометрів.

Вміст волокон в матриці може змінюватися в широких межах, теоретично максимальний вміст волокон може досягати 95% об'єму. Однак в реальних умовах об'ємна частка волокон у понад 80% призводить до погіршення властивостей волокнистого композиту. Вибір природи волокна визначається призначенням композиту і матеріалом матриці, насамперед фізико-хімічної природою взаємодії на кордоні розділу матриця-волокно. Однак при інших рівних умовах комплекс властивостей волокнистого композиту визначається геометричною схемою армування, яку можна побачити на рисунку 1.3. Схеми хаотичного армування короткими волокнами 1 (див. рис. 1.3 б), одновимірного армування короткими волокнами 2

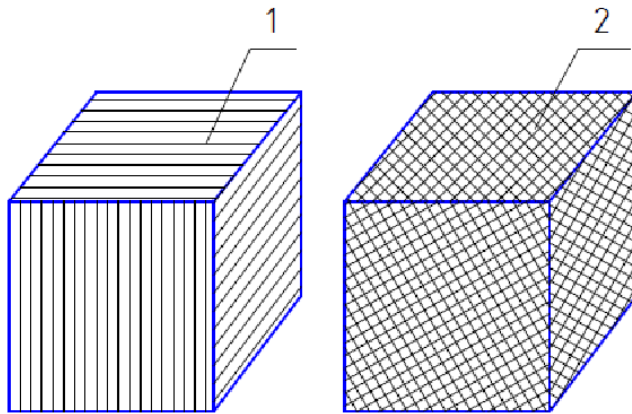
(див. рис. 1.3 а) і довгими волокнами 1 (див. рис. 1.3 а) можуть бути використані для будь-якої матриці, в той час як інші - в основному тільки для полімерної матриці [2].



а - одновимірно армовані: 1 - односпрямовані безперервні; 2 - односпрямовані короткі; б - хаотично армовані: 1 - короткі волокна; 2 - безперервні волокна

Рисунок 1.3 - Схематичне зображення мікроструктури волокнистих КМ [2]

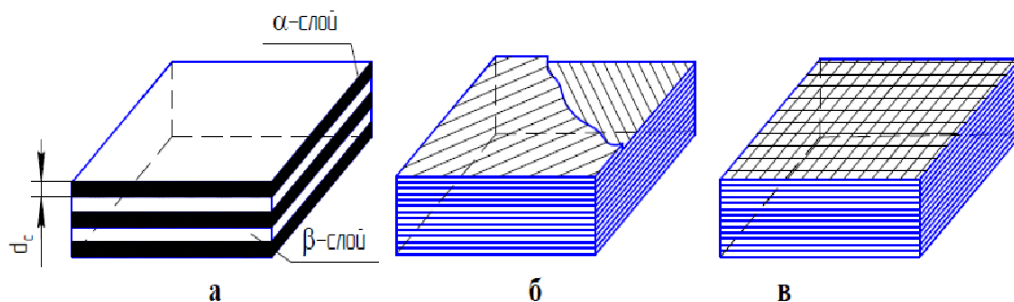
Від порядку укладання шарів за товщиною пакета залежать міцність матеріалів на гнуття та кручення. Можливе застосування укладання армувальних компонентів які складаються з трьох, чотирьох і більше ниток (рис. 1.4). Найбільш оптимальною є структура з трьох взаємно перпендикулярних ниток. Вони можуть розташовуватися в осьовому, радіальному і окружному напрямках. Тривимірні матеріали можуть бути будь-якої товщини у вигляді блоків, циліндрів та інших геометричних фігур. Об'ємні тканини збільшують міцність на відрив і опір руйнуванню в порівнянні з шаруватими композитами. Система з чотирьох ниток будується шляхом їх розташування за діагоналю куба. Ця структура більш рівноважна та має підвищену жорсткість при зсуві в головних площинах. Однак створення чотирьох-направлених матеріалів складніше, ніж трьох-направлених [3].



1 – три- напрямлення ниток; 2 - N-напрявлення ниток

Рисунок 1.4 - Схематичне зображення мікроструктури просторово армованих волокнистих КМ [3]

Останній тип КМ це шаруваті матеріали. Цей клас композитів характеризується тим, що фази або компоненти розташовані пошарово. Структуру таких композитів можна побачити на рисунку 1.5.



а - шаруватий з товщиною шару  $\alpha$   $d_c$ ; б - шаруватий армований: безперервними нитками; в - шаруватий, армований тканинами

Рисунок 1.5 - Схематичне зображення структури шаруватих КМ [3]

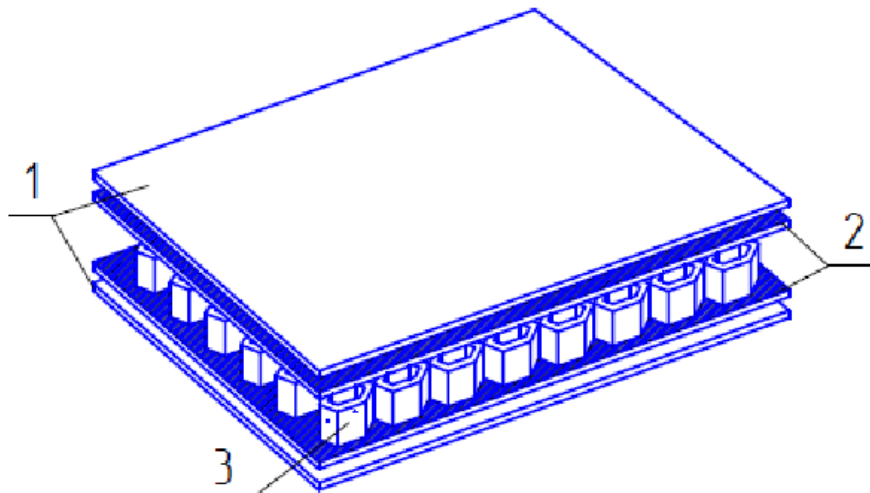
Вони складаються з компонентів, що мають два розміри, які значно перевищують третій. У шаруватих матеріалах волокна, нитки, стрічки, що просочуються полімерною матрицею, укладаються паралельно один одному в площині укладання. Плоскі шари збираються в пластини. Такі матеріали мають анізотропні властивості. Під час експлуатації матеріалу у виробі важливо враховувати напрямок діючих навантажень. Можна створити

матеріали як з ізотропним, так і з анізотропними властивостями. Для цього укладають волокна під різними кутами, варіюючи властивості композиційних матеріалів.

Природно, що в шаруватих металевих композиційних матеріалах не має сенсу ділити компоненти на матрицю і арматуру. На субмікроструктурному рівні вони можуть бути реалізовані при осадженні з парової фази, а на мікроструктурному рівні - з шаруватих евтектичних структур, отриманих спрямованою кристалізацією (наприклад, системи типу Al-CuAl<sub>2</sub>, Cd-Sn, Al-Zn, Co-CoBe. На макроскопічному рівні шаруваті композити можуть бути реалізовані в парах метал-метал, полімер-полімер, метал-полімер. Вони представляють собою шари різнорідних матеріалів товщиною від 100 до 1000 мкм з різною природою межі поділу. Однак незалежно від природи взаємодії компонентів на межі поділу зв'язок між шарами повинен бути достатнім для виключення незворотного переміщення одного шару відносно другого при впливі механічного навантаження та температури.

Структура КМ типу «сандвіч - конструкція» складається з наступних елементів (рис.1.6): двох тонких облицювальних пластин - обшивок 1, товстої легкої серцевини – сотового заповнювача 3, що розділяє несучі пластини і розподіляє навантаження між ними та адгезійних шарів 2, що зв'язують пластини із заповнювачем, передають навантаження від заповнювач до облицювальних пластин [3].

Таку конструкцію зазвичай розглядають як двотаврову балку, одна з горизонтальних пластин якої «працює» на стиснення, а інша - на розтягнення. Сотовий заповнювач, що зв'язаний пластинами працює під навантаженням аналогічно вертикальній полиці двотаврової балки, «працює» на зсування і підвищує згинальну жорсткість [3].



1 - обшивка; 2 - адгезійний шар; 3 – сотовий заповнювач

Рисунок 1.6 - Структура КМ типу «сандвіч - конструкція» [3]

Можна зробити висновок про те, що саме дисперсно-зміцненні композити можуть мати гарні властивості незалежно від напрямку дії навантаження. Міцність таких композитів можна регулювати за допомогою зміни кількості, виду або розмірів армуючої речовини.

## 1.2 Типи матричних матеріалів

Композиційні матеріали або композити, можуть виготовлятися на основі полімерної, металевої та керамічної матриці. Вибір типу матриці залежить від умов експлуатації готового виробу та параметрів механічних властивостей.

Металеві матриці, такі як, алюміній і ливарні сплави на їх основі найбільш часто застосовуються при виготовленні композитів. Переваги алюмінієвих сплавів: мала щільність, високий рівень механічних властивостей, висока технологічна пластичність. Для отримання композитів рідкофазними методами (литтям, просоченням) застосовують ливарні алюмінієві сплави. Високою питомою міцністю, малою щільністю володіють

магнієві сплави. Магній практично не реагує з багатьма матеріалами, що використовуються в якості зміцнюючих волокон. Висока питома міцність титану і його сплавів дозволяє широко використовувати їх в літакобудуванні та космічній техніці. Армуючи титан і його сплави високомодульними волокнами, можна забезпечити високу жорсткість композиційних матеріалів. Низький рівень міцності та властивостей при підвищених температурах обмежує застосування міді. Недоліком композиційних матеріалів на основі технічно чистого нікелю є їх низька жаростійкість. Для усунення цього недоліку застосовують жароміцні і ливарні сплави Ni – Cr [4].

Керамічні композиційні матеріали (ККМ) представляють собою матеріали, в яких матриця складається з кераміки, а арматура - з металевих або неметалевих, волокнистих наповнювачів. Армовані волокнами матеріали на основі порошкових комбінованих матриць, в які входять тугоплавкі неметалеві частинки і метал - зв'язка, умовно будемо відносити також до ККМ [2]. ККМ характеризуються високими температурами плавлення, високою міцністю на стиснення, що зберігається при досить високих температурах, і високою стійкістю до окислення, завдяки чому набувають поширення в багатьох областях техніки. Наприклад, в металообробці в якості елементів різального інструменту, але їх використання обмежене крихкістю і небезпекою руйнування від виникаючих напружень внаслідок високого градієнта температури [5].

Матеріали, що мають полімерну безперервну фазу, яка є матрицею, і одну або кілька армуючих фаз, називаються полімерними композиційними матеріалами (ПКМ). На базі одного полімеру можна створити велику кількість різноманітних композитів, що визначається хімічною природою, формою і кількістю дисперсної фази, а також характером взаємодії фаз на межі поділу. Армуюча фаза в ПКМ може бути твердою (у вигляді порошку, тканини або волокон), рідкою або газоподібною.

Варіюючи компоненти полімерних композитів можна підвищити міцність, жорсткість, теплостійкість, ударну в'язкість, масло, бензостійкість,



поліпшити технологічність, знизити щільність і вартість, змінити інші властивості цих матеріалів, що є дуже важливим фактором при виборі композиційних полімерних матеріалів із заданими властивостями [2].

Спрямована зміна властивостей базового полімеру досягається шляхом введення наступних добавок:

- наповнювачів для зміцнення і (або) здешевлення матеріалу;
- пластифікаторів для поліпшення технологічних і експлуатаційних властивостей;
- стабілізаторів для підвищення технологічної та експлуатаційної стабільності;
- фрикційних і антифрикційних добавок;
- добавок, що регулюють теплопровідність і електропровідність;
- антипіренів, що знижують горючість;
- фунгіцидів, що підвищують стійкість до впливу мікроорганізмів;
- добавок, що регулюють оптичні властивості;
- антистатиків;
- добавок, що створюють пористу структуру, і ін.

Вибір тих чи інших домішок для створення композиції, що відповідає вимогам, пов'язаний з їх впливом на властивості ПКМ. Домішки можуть бути присутніми у вигляді нової фази або термодинамічно поєднуватися з полімерною основою, не змінюючи її фазову структуру. Найчастіше домішки утворюють свою, власну фазу, перетворюючи полімерну композицію в гетерофазну систему.

Використання композиційних матеріалів на основі епоксидного зв'язуючого наразі є дуже сучасним та вживаним видом композиційних матеріалів. Особливої уваги треба приділити наноконпозиційним матеріалам з додаванням неорганічних частинок. З усього різноманіття способів отримання наноконполімерів можна виділити напрямок, коли неорганічні наночастинки вводять в розчин полімеру, тобто частинки і полімер синтезують окремо.

З цього можна зробити висновок, що полімерні композиційні матеріали мають ряд переваг перед металевими і керамічними, а саме: досить високу питому міцність; значну жорсткість; малу питому вагу; опір «старінню матеріалу»; значно меншу схильність до зносу; можливість регулювання властивостей. Саме тому дослідження полімерних композиційних матеріалів є актуальним.

## **1.2 Властивості композиційних матеріалів**

Властивості композиційних матеріалів залежать від складу компонентів, їх поєднання, співвідношення і міцності зв'язку між ними. Властивості матриці визначають міцність композиції при зсуві, стисненні та втомному руйнуванні, а армуючі компоненти - за міцність і жорсткість композиційного матеріалу

### **1.2.1 Види та властивості матеріалів матриці**

У композиційних матеріалах (КМ) в якості матриці використовуються метали і їх сплави; полімери: органічні і неорганічні; керамічні матеріали. Властивості КМ залежать від фізико-хімічних властивостей компонентів і міцності зв'язку між ними. Компоненти для композиційних матеріалів вибирають за властивостями, що відрізняються їх один від одного. Такі матеріали мають високу питому жорсткість і питому міцність. Тому доцільно розглянути КМ які найбільш широко використовуються на сьогоднішній день в машино- та авіабудуванні.

Композиційні матеріали з алюмінієвої матрицею зміцнюються частинками  $Al_2O_3$ , які отримують методом пресування алюмінієвої пудри з

подальшим її спіканням (САП). Сплави САП задовільно деформуються в гарячому стані, а сплави САП-1 - і в холодному. САП легко обробляються різанням, задовільно зварюються аргоною дуговою зваркою і контактним зварюванням. З САП випускають напівфабрикати у вигляді листів, профілів, труб, фольги [6].

Композиційні матеріали з нікелевої матрицею зміцнюються такими компонентами як діоксид торію або діоксид гафнію . Ці композиційні матеріали пластичні, деформуються в широкому інтервалі температур різними методами (кування, штампування, осадження, глибока витяжка). Евтектичні композиційні матеріали на основі нікелю - це жароміцні матеріали, використовуються в ракетній і космічній техніці [6].

Для композиційних матеріалів на неметалевій основі, в якості матриці, використовують керамічні та полімерні матеріали. Високоміцні композиційні матеріали на основі кераміки отримують при армуванні волокнистими наповнювачами, а також металевими і керамічними дисперсними частинками [7]. Переваги композиційних матеріалів з полімерною матрицею: високі питомі характеристики міцності і пружні характеристики; стійкість до впливу агресивних середовищ; хороші антифрикційні і фрикційні властивості поряд з високими теплозахисними і амортизаційними властивостями [6].

Полімерні матриці діляться на два основні класи: термореактивні та термопластичні. Перші представляють собою порівняно малов'язкі рідини (при температурі термообробки), які після просочення армуючого матеріалу (волокон, ниток, стрічок, тканин) за рахунок хімічних реакцій перетворюються в неплавку тверду полімерну матрицю. Цей хімічний процес називають затвердінням. Другі є лінійними полімерами, які можуть при підвищенні температури багаторазово переходити в рідкий розплавлений стан.

Велика номенклатура матриць у вигляді термореактивних і термопластичних полімерів забезпечує широкий вибір композиційних матеріалів для роботи в діапазоні від негативних температур до  $+100$   $+200^{\circ}$  С

- для органопластиків, до +300 +400 °С - для скло-, вугле- та боропластиків. Полімерні композиційні матеріали з поліефірною та епоксидною матрицею працюють до +120 +200 °С, з феноло-формальдегідною - до +200 +300 °С, поліамідною і кремнійорганічною до 250-400 °С [6].

До переваг термореактивних полімерних матриць слід віднести: хороші технологічні властивості (змочуваність і просочуваність армуючого матеріалу, порівняно низькі температури затвердіння); хороша адгезія до більшості волокон; підвищена теплостійкість; стійкість в різних середовищах (хімічна, водо- і атмосферостійкість, низька проникність для рідин і газів). Властивості можна регулювати в широкому діапазоні шляхом варіювання компонентів, додавання модифікаторів, каталізаторів та зміною умов затвердіння.

Недоліки термореактивних полімерних матриць: крихкість, низькі в'язкість руйнування і ударна міцність (поглиблюються для високотеплостійких матриць); неможливість вторинної переробки; тривалий час затвердіння через необхідність проведення екзотермічної хімічної реакції в м'якому режимі; обмежений час життя препрегів (напівфабрикат полімерного композиту); значна хімічна усадка.

В останні роки почалося широке застосування термопластичних високотеплостійких полімерів в якості матриць для ПКМ. Для термопластів характерне поєднання високих міцності і теплостійкості (суперконструкційні пластики ) наряду з високими ударною в'язкістю, тріщиностійкістю.

Серед переваг термопластів можна відзначити: можливість їх вторинної переробки; полегшення ремонту виробів з ПКМ; більш ефективні методи переробки, більш висока продуктивність; практично нескінченна життєздатність препрегів - час між його виготовленням і переробкою у виріб; знижені горючість та димовиділення при горінні, висока стійкість до випромінювання [8].

Дослідження полімерних матриць - важлива технологічна задача, оскільки багато властивостей ПКМ визначаються саме властивостями

матриці, що зв'язує волокна один з одним, створюючи монолітний конструкційний матеріал. Вимоги до полімерних матриць, представлені в таблиці 1.1, можна розділити на три групи:

- 1) міцність, жорсткість, теплостійкість;
- 2) пластичність, в'язкість руйнування, ударна в'язкість;
- 3) засвоюваність, технологічність сполучного.

При модифікуванні матеріалу матриці, зміні умов виробництва, їх хімічної структури, ступеня хімічного зшивання з поліпшенням властивостей однієї групи, автоматично погіршуються інші [8].

Таблиця 1.1 - Вимоги до полімерних матриць КМ

<b>Властивості пластика</b>	<b>Властивості полімерної матриці</b>
Теплостійкість	Висока температура розм'якшення
Водо-, атмосферостійкість	Низьке водопоглинання, слабка зміна властивостей при вологопоглинанні.
Міцність при розтягуванні вздовж волокон.	Оптимальна міцність, висока в'язкість руйнування.
Міцність при стисненні вздовж волокон	Висока міцність і жорсткість, висока в'язкість руйнування, оптимальна адгезія.
Трансверсальна міцність	Добра адгезія, висока міцність, пластичність.
Ударна в'язкість	Висока ударна в'язкість, оптимальна адгезія.
Технологічність	Низька в'язкість зв'язуючого, підвищена життєздатність, нетоксичність, знижена температура затвердіння.

Матеріал матриці, з одного боку, надає цим ПКМ водо-, атмосферо-, кислото- і теплостійкість (до 150 °С), а з іншого боку, одержувані ПКМ мають порівняно невисокі механічні властивості і нестійкі до лугів. Для ПКМ на основі кремнійорганічних смол авторам [8] не вдалося знайти відомостей, але ця група композитів досить широко використовується за рахунок високих

діелектричних властивостей, хімічної стійкості, гідрофобності і широкого інтервалу робочих температур (від -200 до +350 °С). ПКМ на основі фуранових смол називають фуранопластами. Матеріал матриці надає цим ПКМ високу теплостійкість (до 300 °С) і хімічну стійкість. Порівняно рідко зустрічається термін «поліуретанопласт» для позначення ПКМ на основі термореактивних поліуретанових смол, що характеризуються водостійкістю, кислотостійкістю, теплостійкістю, еластичністю і хорошими діелектричними властивостями [9].

ПКМ мають ряд недоліків, такі як: відносна невисока стійкість до впливу ударних навантажень, низька міцність в напрямках перпендикулярних до укладки армувальних шарів, недостатня стабільність фізико-хімічних характеристик при тривалому впливі високих температур та деяких інших експлуатаційних факторів. А така властивість, як міцність є дуже важливою для забезпечення довготривалої роботи полімерного композиту під час навантажень. Тому знаходження шляхів поліпшення міцності полімерної матриці є актуальною задачею.

Композиційні матеріали на основі вуглецю поєднують низьку щільність з високою теплопровідністю, хімічною стійкістю, постійністю розмірів при різких перепадах температур, а також зі зростанням міцності та модуля пружності при нагріванні до 2000 °С в інертному середовищі.

Згідно з літературними даними досить цікавим та актуальним матеріалом для полімерної композитної матриці є епоксидна смола, яка досить широко використовується в авіабудуванні. Дослідження впливу різноманітним наповнювачів на її властивості є на сьогодні не повністю вивченим, але актуальним питанням.

### **1.2.2 Види та властивості армувальних компонентів**

Композиційні матеріали (композити) складаються з двох або більше компонентів, причому кожен з компонентів зберігає свої властивості .

Матеріали матриці та армувального наповнювача не повинні вступати в хімічну реакцію один з одним, утворювати твердих розчинів, повинні мати приблизно однаковими коефіцієнтами лінійного і теплового розширення.

Наповнювачі використовують для поліпшення експлуатаційних властивостей КМ (міцності, твердості, теплостійкості), надання їм різних специфічних властивостей і зниження вартості. Наповнювач як один з компонентів відіграє провідну роль у формуванні основних характеристик КМ. Від наповнювача в значній мірі залежать технологічні властивості композитів та можливості їх переробки у виробі. До ідеального наповнювача пред'являються особливі вимоги, які в одному наповнювачі поєднати іноді дуже важко: висока міцність, високий рівень фізико-механічних властивостей, низьке водопоглинання, хороша змочуваність, відсутність шкідливих домішок, низька вартість, висока хімічна стійкість і термостійкість, негорючість, доступність перекази заданої форми і розмірів частинок, хороша диспергованість. Наповнювачі повинні добре поєднуватися з полімером або диспергувати в ньому з утворенням однорідної композиції. Вони не повинні змінювати свої властивості при зберіганні, переробці та експлуатації.

В даний час широке застосування знайшли армувальні компоненти, виготовлені з:

- металів і сплавів (сталь, берилій, вольфрамат титану і ін.);
- неметалів, таких, як вуглець і бор;
- кераміки  $Al_2O_3$ , SiC,  $TiB_2$ , TiC, AlN та ін .;
- скло, таких, як скло E і скло S;
- органічних речовин, таких, як лавсан, кевлар, поліетилен та ін.

Армувальні компоненти - це матеріали різної природи, але для дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів найбільш ефективними є саме нанорозмірні часточки [10]. Важливим параметром наночастинок є їх питома поверхня, за допомогою якої відбувається взаємодія частинок з функціональними групами полімерів. При цьому молекули полімерної матриці адсорбуються на частки, а адгезійні сили забезпечують міцне

з'єднання. У світі активно ведуться дослідження факторів, що визначають ефективність модифікації полімерних матеріалів наночастинками.

Згідно з літературними даними [11, 12], найбільший вплив мають такі фактори, як розмір, форма та кількість частинок, їх розподіл в матричному матеріалі, площа поверхні взаємодії «полімер- наночастинка», а так само поліпшення взаємодії системи за допомогою застосування апретувальних поверхнево-активних речовин. Як і матриць наповнювачів існує величезна безліч. Таким чином, постає питання вибору тих чи інших компонентів для ролі армувальної речовини. При цьому, крім, фізико-хімічних властивостей, необхідно звертати увагу на вартість їх виробництва, екологічну безпеку, доступність технологій виготовлення. Велике число досліджень показує, що модифікування наночастинками епоксидних композицій, впливає на їх механічні властивості.

Найбільш популярними зміцнюючими компонентами для епоксидних полімерів є наночастинки кераміки органічного походження (органоглини). На сьогоднішній день нанокompозити "органоглина-епоксидная матриця" є найбільш вивченими системами серед епоксидних нанокompозитів. Дослідження міцності при розтягуванні епоксидних композитів з наночастинками органоглини, показують, що навіть малі добавки (до 5% мас.) таких частинок збільшують модуль пружності та межу міцності композитів, при цьому зменшуючи їх відносне подовження [13-17].

КМ, що містять дисперсні наповнювачі, які рівномірно розподілені в матеріалі, як правило, характеризуються ізотропними властивостями, оптимум яких досягається при ступені наповнення, що забезпечує адсорбцію всього вмісту матриці поверхнею частинок наповнювача. При підвищенні температури і тиску частина матричного матеріалу десорбується з поверхні наповнювача, завдяки чому матеріал можна формувати у виробі складних форм з крихкими армуючими елементами. Дисперсний наповнювач зменшує усадку при пресуванні, підвищує жорсткість і твердість виробів з КМ, а в окремих випадках виробі набувають специфічні властивості, наприклад



дугостійкість, електро- і теплопровідність, стійкість до дії електромагнітного і проникаючого випромінювання та ін.

Введення в КМ дисперсних наповнювачів більш доцільно використовувати для створення матеріалів масового виробництва, більш технологічних, з достатнім рівнем міцності. В таблиці 1.2 можна побачити найпоширеніші наповнювачі, які використовуються у виробництві композиційних матеріалів [18].

Таблиця 1.2 – Властивості різноманітних наповнювачів

Матеріал	Характеристики
1	2
Воластоніт	Коротковолокнистий білий природний силікат кальцію. Застосовується в якості мінерального наповнювача. Використовується як термостабілізатор PVC. Підвищує жорсткість і теплостійкість, знижує ударостійкість. Може збільшувати анізотропію усадки і викривлення.
Каолін	Мінеральний наповнювач - біла глина з розмірами частинок 2...3 мкм, складається з мінералу каолініту, алюмосилікат. Збільшує жорсткість і теплостійкість. Знижує анізотропію усадки і викривлення.
Магнітні наповнювачі	Створюють магнітні властивості композицій (магнітопластів, магнітоеластам). Як магнітних наповнювачів для постійних магнітів застосовують ферити барію і стронцію, сплави

Продовження таблиці 1.2

1	2
	рідкоземельних елементів. Переробляються без накладення і з накладенням магнітного поля. Значно підвищують опір зношенню прес-форми.

Крейда	Мінеральний наповнювач. Надає білий колір. Зменшує анізотропію усадки і викривлення. Знижує вартість матеріалу. Відноситься до "м'яких" наповнювачів.
Металеві наповнювачі	Металеві наповнювачі у формі волокна, лусочок, порошку з нержавіючої сталі, алюмінію, міді та інших металів і сплавів. Значно підвищують міцність, жорсткість, ударостійкість, електропровідність і теплопровідність. Використовується в композитах для ЕМП-екранування. Сталево волокно також використовується в довговолокнистих композитах в поєднанні зі скловолокном. Значно підвищують опір зношенню прес-форми.
Мінеральні наповнювачі	Мінеральні наповнювачі: тальк, каолін, крейда, слюда, аеросил (діоксид кремнію), воластоніт, азбест та ін. Збільшують жорсткість, теплостійкість, дугостійкість, іскростійкість. В основному зменшують викривлення за рахунок зниження анізотропії усадки. Практично не підвищують знос прес-форми і литтєвої машини. Можуть збільшувати або зменшувати міцність. Часто знижують ударну міцність, відносно видовження. Збільшують щільність виробів.
Полімерні волокна	Як полімерні волокна застосовуються арамідні, поліамідні і поліефірні та ін. Відносяться до "м'яким" наповнювачів (не підвищують знос прес-форми і литтєвої машини).

Продовження таблиці 1.2

1	2
	Арамідне волокно (Kevlar) використовується як антифрикційна домішка.
Слюда	Мінеральний наповнювач. Помірно підвищує міцність, жорсткість, теплостійкість. Зменшує ударостійкість.

	Знижує анізотропію усадки і викривлення. Відноситься до "м'яких" наповнювачів.
Скловолокно	Звичайне скловолокно має довжину часток 0,3...0,65 мм, діаметр 10...15 мкм. Значно збільшує механічну міцність, жорсткість, стійкість до повзучості (особливо при підвищених температурах), втомну міцність (особливо для аморфних полімерів), твердість, теплостійкість. Збільшує ударну в'язкість для виробів з надрізами, для полімерів з низькою ударною в'язкістю. Знижує ударну в'язкість для виробів з надрізами для пластичних полімерів з високою ударною в'язкістю.
Подрібнене скловолокно	Скловолокно з довжиною частинок 0,08 мм. Помірно збільшує механічну міцність, жорсткість. У порівнянні зі звичайним скловолокном знижує анізотропію механічних характеристик і усадки, зменшує жолоблення.
порожністі скляні сфери, мікросфери	Збільшують жорсткість. Знижують вагу виробу. Знижують анізотропію усадки і викривлення. Зменшують міцність, ударостійкість.
Скляні кульки, скляні мікрокульки	Розмір частинок: 40...50 мкм. Збільшують міцність на стиснення, жорсткість, твердість, зносостійкість, теплостійкість. Підвищують стабільність розмірів. Зменшують ударостійкість. Збільшують крихкість. Знижують анізотропію усадки і викривлення.

Закінчення таблиці 1.2

1	2
Тальк	Мінеральний наповнювач. Помірно підвищує міцність, жорсткість, теплостійкість. Зменшує ударостійкість. Знижує анізотропію усадки і викривлення. Відноситься до "м'яких" наповнювачів.

Вуглецеве волокно	Сильно збільшує жорсткість. Знижує повзучість. Підвищує міцність, втомну міцність, теплостійкість. Значно збільшує теплопровідність, електропровідність. Може підвищувати викривлення.
----------------------	--

З наведених у таблиці 1.2 даних можна зробити висновок, що дисперсні наповнювачі або дрібно – дисперсні наповнювачі мають ряд переваг перед іншими видами наповнювачів. Але під час виробництва таких матеріалів необхідно забезпечити рівномірне розподілення наповнювача в матриці, від цього залежать кінцеві властивості КМ.

### 1.3 Методи підвищення властивостей композитних полімерів

Номенклатура вироблених промисловістю полімерів досить мізерна, а потреби суспільства величезні. Тому основним завданням високомолекулярної хімії є створення полімерних матеріалів з найширшим спектром хімічних і фізико-механічних властивостей. Серед методів зміни властивостей основних (базових) полімерів найважливішим є модифікація полімерів. Під модифікацією полімерів слід розуміти цілеспрямована зміна їх властивостей шляхом проведення хімічних реакцій за функціональними групами, які є в складі полімеру, або зміною його надмолекулярної структури. Таке визначення обмежує модифікацію полімерів процесами зміни будови макромолекул і їх фазового стану в полімерному блоці. Друга складова визначення вкрай важлива, оскільки фізична неоднорідність високомолекулярних сполук впливає на їх властивості. Тобто таке модифікування полімерів поділяються на хімічне і структуроване.

Хімічна модифікація полімерів полягає в наведеному змінні властивостей полімеру шляхом проведення взаємодії макромолекул полімеру

з низько- або високомолекулярними речовинами-модифікаторами. Як правило, мається на увазі модифікація вже синтезованих макромолекул [2].

До хімічної модифікації полімерів відносяться [19]:

1) реакції, які не супроводжуються зміною ступеня полімеризації макромолекул, - полімераналогічні перетворення і внутрішньо молекулярні реакції;

2) реакції, що призводять до збільшення ступеня полімеризації;

3) реакції, в процесі яких ступінь полімеризації зменшується.

Наступний вид модифікації представляє собою структурну (фізичну) модифікацію полімерів. Це спрямована зміна фізико-механічних властивостей полімерів шляхом модифікації їх надмолекулярної структури під впливом фізичних факторів. При фізичній модифікації полімерів хімічна будова макромолекул не змінюється [2].

Структурне модифікування полімерів зазвичай здійснюють в процесі переробки полімерів за рахунок регулювання параметрів формування виробів, наприклад температури і часу процесу, режимів нагрівання та охолодження при переробці з розплаву або природи розчинника і умов його видалення при переробці з розчину, а також введенням в полімер невеликої кількості речовин, що впливають на кінетику утворення полімерного тіла і морфологію полімеру. В основі структурного модифікування полімерів лежить різноманіття співіснування в полімері структурних форм і взаємозв'язок їх морфології з умовами формування полімерного тіла [19].

### **1.3.1 Модифікування полімеру оксидом алюмінію ( $Al_2O_3$ )**

В роботі [20] авторами показано вплив нанорозмірного оксиду алюмінію на механічні властивості епоксидної матриці. Встановлено, що введення до 60% нанорозмірного оксиду алюмінію забезпечує дворазове збільшення модуля пружності при розтягуванні. При цьому межа міцності композиту при

розтягуванні знижується від 20,9 МПа до 14,8 МПа, а відносне видовження - від 62,5 до 49,5%. В роботі [21] при введенні до 15% нанорозмірного оксиду алюмінію в епоксидну матрицю авторами відзначено збільшення модуля пружності при розтягуванні в 1,5 рази. При цьому межа міцності знижується на 10 МПа, а видовження - на 8%. Така зміна властивостей композиційних матеріалів викликана, на думку авторів, агломеруванням наповнювача, а також слабкою взаємодією між його поверхнею і матричним матеріалом. Також авторами [22] відзначено, що введення попередньо обробленого силанольними ПАР прекурсора, не призводить до значних знижень величин межі міцності та видовження, при цьому величина модуля пружності залишається незмінною. Аналогічний ефект відзначено авторами [23] при порівнянні міцності епоксидних нанокомпозитів, що містять 1% мас. і 3% мас. обробленого і необробленого ПАР нанопорошків оксиду алюмінію. Встановлено, що при введенні 3% мас. нанопорошків величина модуля пружності матеріалу при розтягуванні збільшується на 14...85% і при цьому не залежить від того, оброблений чи ні прекурсор. При цьому межа міцності композиційного матеріалу з нанопорошків, обробленими ПАР, збільшується на 60%, а межа міцності матеріалу з нанопорошків без обробки знижується на 20% в порівнянні з вихідним матеріалом. Таким чином, основними факторами, що визначають зміну міцності і жорсткості ПНК, є кількість нанорозмірного наповнювача, його дисперсність і сумісність з полімерною матрицею. Зазначені фактори забезпечують зміцнення композиційних матеріалів, яке досягається за рахунок передачі прикладеної напруги від матричного матеріалу до наночасток наповнювача [6, 24]. Для більш ефективного поліпшення властивостей полімерних нанокомпозитів необхідно забезпечити сумісність наночастинок і матричного полімеру [25, 26].

Також за допомогою модифікування добавками нанорозмірного оксиду алюмінію доведена можливість спрямованого регулювання експлуатаційних властивостей епоксидних композитів за рахунок використання малих домішок нанорозмірного  $Al_2O_3$ , що забезпечує створення епоксидних композитів з

високими експлуатаційними властивостями, що задовольняють вимогам більшості галузей промисловості. Обрано раціональне отримання  $Al_2O_3$  як наноструктуруючої домішки в складі епоксидної композиції (0,05 % мас. ч.), що забезпечує підвищення вивченого комплексу фізико-механічних властивостей: в 3,3 рази зростає руйнівне напруження і на 27% підвищується модуль пружності при вигині, на 43% підвищується руйнівне напруження при стисканні, на 47...50% зростає руйнівне напруження і модуль пружності при розтягуванні, в 3 рази зростає ударна в'язкість, а також на 67% зростає твердість, при збереженні термостійкості. Встановлено, що введення  $Al_2O_3$  впливає на процеси структуроутворення епоксидної композиції при затвердінні - збільшується тривалість гелеутворення з 45 до 75 хв і тривалість затвердіння з 53 до 100 хв, при цьому максимальна температура затвердіння не змінюється. Таким чином, розроблені матеріали можуть бути використані для герметизації виробів електронної техніки, для прописування та заливання вузлів в авіа-, судно- і автомобілебудуванні [27].

В роботі [28] показана можливість регулювання горючості і термостабільності полімерних композиційних матеріалів шляхом хімічного модифікування поверхні наповнювача методом МН. При вирішенні проблеми зниження горючості полімерів необхідно враховувати не тільки поверхню і хімічну природу інгібіторів горіння, але і спосіб їх введення в полімерну матрицю. Показано, що більш ефективну вогнезахисну дію фосфоровмісних добавок можливо досягти при їх введенні в поверхневі шари пінопласту марки ПЕН-І і при об'ємному введенні наповнювача - оксиду алюмінію з оксидом титану, що розташовуються на поверхні його структури, що обумовлено різним механізмом вогнегасної дії оксидних сполук фосфору і титану. Хімічна прививка фосфоровмісних угруповань до поверхні оксиду алюмінію сприяє зниженню загального тепловиділення наповнених зразків ПММА в 1,5...2,0 рази, в залежності від змісту сповільнювача горіння в композиції.

### 1.3.2 Модифікування полімеру графітом

В роботі [26] проведено комплексне дослідження особливостей процесу структурної модифікації політетрафторетилену скритнокристалічного графітом при синтезі полімерних композиційних матеріалів методом спікання в умовах одноосного тиску стиснення показало, що спікання зразків модельної серії «політетрафторетилен + скритнокристалічний графіт» в цих умовах є ефективним способом, що підвищує інтенсивність процесу модифікації матриці, що призводить до більш активної участі поверхні частинок наповнювача в процесах структури і формування нових структурних одиниць.

В цьому дослідженні були отримані результати які дозволили виділити основні процеси, що визначають вплив скритнокристалічного графіту на механізм структурної модифікації політетрафторетилену:

- зміна морфології структури політетрафторетилену з утворенням сферолітів неправильної форми, що свідчить про структурну активність кристалічного графіту в процесах формування надмолекулярної структури;
- зміна ступеня кристалічності полімерної матриці завдяки мікрочастинками наповнювача, який виконує роль штучних зародків або центрів кристалізації;
- обмеження молекулярної рухливості в аморфній фазі полімеру внаслідок кінетичної активності наповнювача;
- розпушення матриці наповнювачем, що супроводжується зростанням пористості при збільшенні вмісту кристалічного графіту.

В дослідженні [30] було розглянуто питання, пов'язані з природою електропровідності поліпропілену з сажею і графітом. Виявлено залежності питомої опору композитів від концентрації наповнювача і термообробки.

Авторами [31] методами динамічного термогравіметричного аналізу і термоокисленню в ізотермічних умовах досліджено вплив нанопластин графіту на термоокислення поліетилену. Показано інгібуючу дію на процес



термоокислення поліетилену, що призводить до підвищення періоду індукції і швидкості поглинання кисню. А також, виявлено аномальний вплив вмісту наповнювача на стійкість до термоокислювальної деструкції композитів, яка обумовлена, головним чином, дифузійними причинами.

Представлені в роботі [32] результати досліджень дають можливість характеризувати структурні зміни, що відбуваються в електропровідному вуглецевому кластері при змінах дисперсності термічно розширеного графіту. Так, порошки термічно розширеного графіту більшої дисперсності, форма частинок яких наближається до рівновісної, при заповненні середини більш щільно упаковуються (~ в 14 разів), в порівнянні з частками вихідного термічно розширеного графіту, що призводить до збільшення щільності зразків від 0,94 до 1,4 г/см<sup>3</sup>.

### **1.3.3 Модифікування полімеру наночастинками кераміки**

Аналізуючи вплив модифікування твердих тіл наночастинками кераміки в роботі [33] показано, що при малих розмірах частинок міцність сплаву прямо пропорційна модулю зсуву матриці і обернено пропорційна розміру часток (розміри частинок 0,001...0,03 мкм (1...30 нм) і не залежить від матеріалу частинок. Модифікація поліетилену наночастинками кераміки призводить до подрібнення зерна полімеру, так само, як і модифікація металів. Виявлено, що при модифікації поліетилену наночастинками кераміки утворюється нова приповерхнева фаза полімеру.

Дослідниками [34] було доведено що, при збільшенні масової частки нанокераміки до 0% мас. розміри структурних елементів знижуються в 1,5...2 рази. Характерно, що при масовій частці нанокераміки понад 5% мас. частинки наповнювача витісняються в міжкристалітну (аморфну) області. В результаті формується безперервна сітка з наночастинок в граничних областях

"полімер-наповнювач", яка ідентифікована як кластерна структура. Встановлено, що виникнення неоднорідною кластерної структури призводить до суттєвого підвищення зносостійкості композитів.

#### **1.3.4 Модифікування полімеру тальком**

За результатами дослідження [35] зміна розміру часток тальку позначається як на реологічних, так і на фізико-механічних і ударно-міцності властивості композицій. Чим менше середній медіанний діаметр частинок тальку, тим вищі показники міцності, теплостійкості та стійкості до ударних навантажень. Таким чином, можна констатувати, що отримані дані свідчать про ефективний механомеханічний зв'язок між тальком і полімером. Введення тальку в ПП дає можливість розширити області застосування базового матеріалу. При цьому оптимальний розмір частинок становить 5 мікрон при концентрації 10...20 мас.%. Отримані високі фізико-механічні показники властивості композитів показувала вищий рівень міжфазної адгезії між компонентами.

Авторами роботи [36] було досліджено вплив тальку на структуру і властивості поліетилену високого тиску. Методом рентгеноструктурного аналізу встановлено, що додавання тальку в полімерну матрицю призводить до збільшення частки кристалічної фази полімеру з одночасним зростанням середнього розміру кристалітів. Дослідження методом термостимульованої деполяризації і ізотермічної релаксації потенціалу показали збільшення стабільності скелетного стану полімеру, що можна пояснити зміною структури полімеру, появою нових електрично активних дефектів і зменшенням провідності полімеру при додаванні в полімерну матрицю тальку.

З літературних даних можна побачити щоб досягти підвищення фізико-механічних властивостей, в подальшій роботі треба вивчати модифікування

полімерної матриці оксидом алюмінію та тальком, бо саме ці модифікатори дають найкращі результати в покращенні механічних властивостей. Але поки що не досліджено вміст модифікаторів в такій кількості: для тальку менше 10 %, а для оксиду алюмінію 0,5...1,5 %. Також не було досліджено вплив сумісної дії оксиду алюмінію та тальку на механічні властивості полімерної матриці.

#### **1.4 Методи виготовлення полімерних нанокомпозитів**

Висока поверхнева енергія і малий розмір наночастинок вимагають модифікації традиційних способів змішування і розробки нових, спеціально пристосованих для подолання зазначених обмежень:

- змішування в розчині забезпечує ефективне дезагрегування нанотрубок. Однак цей метод непридатний для нерозчинних полімерів;
- змішування в розплаві неефективно в плані руйнування агрегатів наночастинок, але найчастіше вдаються для великомасштабного виробництва;
- полімеризація *in situ* забезпечує сильну взаємодію наповнювача і матриці, що потрібно в ряді випадків;
- використання термореактивних матриць аналогічно змішуванню в розчині;
- електроформування дозволяє отримувати нитки і волокна.

У ряді випадків модифікація і інтенсифікація традиційних способів змішування дозволяє досягти бажаного результату. Так, наприклад використання надкритичних рідин ( $\text{CO}_2$ ) в екструдері дозволяє знизити в'язкість розплаву і ефективно диспергувати нанопоповнювач. Аналогічного результату можна досягти, використовуючи ультразвукову інтенсифікацію екструзійного процесу [37].

Отримання нанокompозитів в результаті змішування попередньо отриманих компонентів, на перший погляд, найбільш очевидний і простий метод. Однак, якщо полімери являють собою стабільні з'єднання з певними характеристиками, і їх синтезують з використанням відомих методик і обладнання, то синтез наночастинок зі стабільними властивостями являє собою складну задачу. Через високу поверхневої енергії наночастинок схильні до агломерації і агрегації. При звичайному змішуванні з розчинами полімерів велика частка наночастинок знаходяться в агрегатах і агломерату мікронного і субмікронного діапазону. Обробка наночастинок ультразвуком або ПАР, здатними адсорбуватися на міжфазних межах і перешкоджати агрегації, це може істотно підвищити ступінь дисперсності частинок в матриці. Після такої модифікації наночастинок необхідно поєднати з полімерною матрицею певним способом так, щоб не втратити ті переваги, які забезпечують нанорозміри частинок.

Як відзначають автори статті [38], великі агломерати наночасток можуть звести ефект зміцнення до нульових значень. Дослідники пов'язують це з тим, що скупчення наночастинок стають концентраторами напружень в матеріалі. Виходячи з вищесказаного, з'явилася необхідність проводити заходи з деагломерації нанопорошків перед їх введенням в полімерну матрицю.

Процес деагломерації наночастинок умовно можна розподілити на три етапи [39, 40]:

1. Введення нанопорошків в дисперсійне середовище.

На даному етапі готується суспензія агломератів нанопорошків в дисперсійному середовищі и забезпечується змочуваність їх поверхні.

2. Деагломерація нанопорошків в суспензії різними методами.

В ході даного етапу на суспензію виявляється вплив , що забезпечує великі зсувні напруження, або кавітаційний вплив. Відбувається руйнування агломератів наночасток з утворенням нових поверхонь доступних для взаємодії, і їх змочуваності дисперсійного середовища.

3. Необхідною процедурою після деагломерації нанопорошків є стабілізація їх дисперсного складу.

Під стабілізацією мається на увазі запобігання повторної агломерації одержуваних частинок в суспензії. Стабілізація забезпечується станом поверхні деагломерованих наночастинок и досягається або підбором оптимального дисперсійного середовища, або введенням стабілізуючих ПАР.

В даний час найбільш поширеним методом деагломерації є ультразвукова або вібраційна обробка суспензій нанопорошків в різних середовищах. Метод відрізняється простотою апаратного оформлення, а також можливістю переходу від лабораторних досліджень до промислового виробництва з високою відтворюваністю результатів, що і послужило причиною його широкого поширення [41].

### **1.5 Мета та цілі дослідження**

Аналіз літературних даних показав, що використання полімерних матриць на основі епоксидних смол наразі є дуже сучасним та вживаним видом полімерних композиційних матеріалів. Для підвищення їх механічних та експлуатаційних властивостей особливу увагу треба приділити дисперснозміцненим полімерним композиційним матрицям, які модифіковано дрібнодисперсними чи нанорозмірними часточками оксиду алюмінію та тальку.

Тому метою цієї роботи буде дослідження впливу модифікаторів, а саме оксиду алюмінію та тальку, на властивості полімерної матриці із епоксидної смоли.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- вивчити вплив модифікаторів, на властивості полімерної матриці;

- вибрати оптимальний склад модифікаторів, для отримання найвищих показників міцності полімерних матриць;
- дослідити вплив різної концентрації модифікаторів на вогнестійкість, що теж є важливою характеристикою для полімерних матриць композиційних матеріалів.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Матеріал полімерної матриці

В даний час епоксидні смоли є одними з найбільш широко застосовуваних матеріалів при створенні виробів різного функціонального призначення, здатних працювати в жорстких умовах експлуатації. Це обумовлено комплексом цінних властивостей, таких як високі міцності і адгезійні властивості, відсутність або незначне виділення летючих продуктів при затвердінні, стійкість до дії агресивних середовищ і підвищених температур. При створенні термічно стабільних матеріалів доцільно використовувати епоксифенольні і епоксисиловачні смоли, добре зарекомендували себе при виробництві термостійких покриттів, клеїв і армованих пластиків. Внаслідок високої функціональності при затвердінні цих смол утворюються густосітчасті полімери, що дозволяє отримувати матеріали з високими фізико-механічними властивостями [42].

Тож для виготовлення матриці в цьому дослідженні було обрано епоксидну смолу ЕД-20.

#### 2.2 Матеріал модифікаторів

Для модифікування полімерної матриці на основі епоксидного зв'язуючого було обрано нанопорошок  $Al_2O_3$  та порошок тальку.

Зовнішній вигляд і колір порошку оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ): порошок білого кольору, насипна щільність від 0,6 до 1,7 г/см<sup>3</sup>. Містить в основному фазу  $\alpha-Al_2O_3$ . Частинки мають сферичну форму (рис.2.1). Ймовірнісний (середній арифметичний) розмір  $\bar{a}_n = 36$  нм; розмір, розмір середній по

поверхні  $\bar{\sigma} = 45$  нм; середній масовий розмір  $\bar{m} = 54$  нм. Температура плавлення  $2000$  °С. Порошок пожежо- і вибухобезпечний. Порошок оксиду алюмінію застосовується при виготовленні електротехнічних керамік і композиційних матеріалів [43].

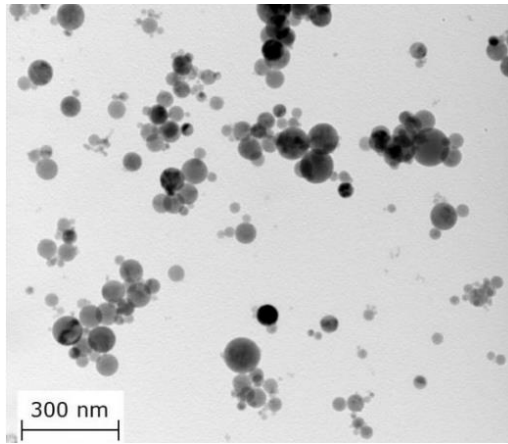


Рисунок 2.1 – Розміри часточок  $Al_2O_3$  [42]

Тальк, або стеатит ( $4SiO_2 \cdot 3MgO \cdot H_2O$ ), являє собою магнецію силікату гідрат. Характеристики порошку тальку: порошок білого кольору, насипна щільність від  $0,55$  до  $1,75$  г/см<sup>3</sup>. Містить у складі:  $62,2\% SiO_2$ ,  $29,8\% MgO$ ,  $0,2\% \alpha-Al_2O_3$ ,  $0,1\% Fe_2O_3$ . Частинки мають сферичну форму. Середній діаметр часточок ( $D_{50}$ )  $4,7$  мкм [44].

## 2.3 Методика проведення випробування на розтягування

### 2.3.1 Підготовка та виготовлення зразків

У даному випробуванні використовували ГОСТ 56785-2015 «Композити полімерні». Метод випробування полягає в розтягуванні зразка ПКМ з постійною швидкістю навантаження або деформування до моменту розриву. При випробуванні в умовах нормальної температури визначали міцність на розрив.



Для випробувань застосовують зразки у вигляді смуги прямокутного перетину з закріпленими на кінцях накладками товщиною більше 1,5 мм (рис. 2.2) або зразки без накладок (рис. 2.3). При використанні зразків без накладок їх кріплять в захопленнях через наждачний папір. Рекомендовані розміри зразків наведені в таблиці 2.1

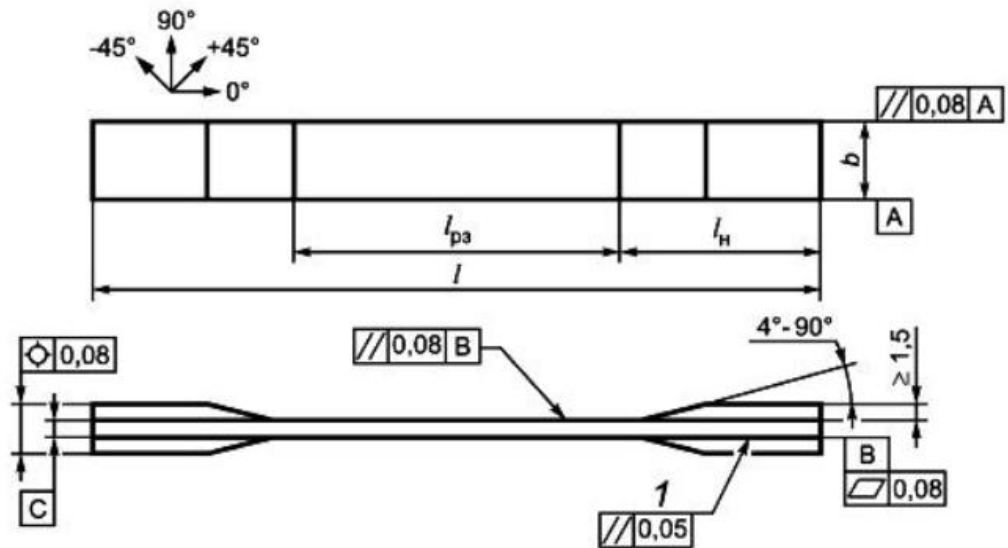


Рисунок 2.2 – Зразок з композитного матеріалу для випробування на розтягування, з накладками

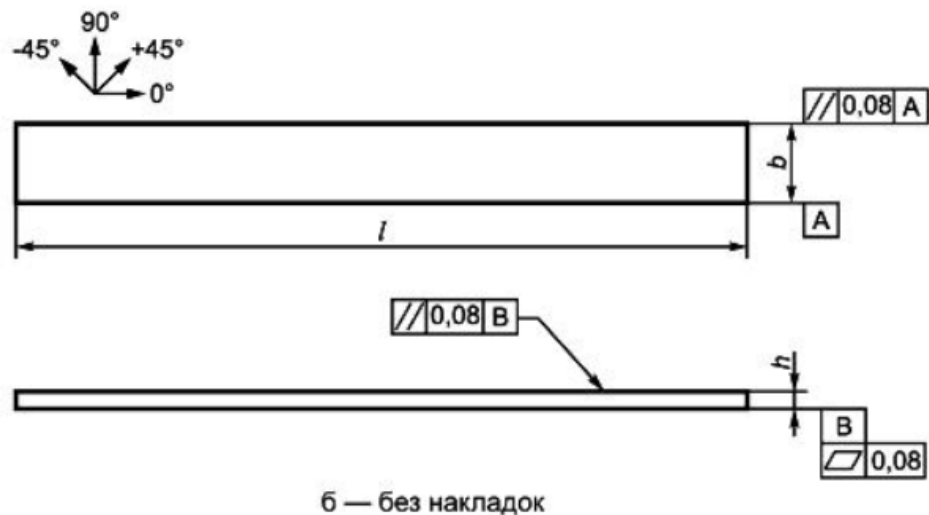


Рисунок 2.3 – Зразок з композитного матеріалу для випробування на розтягування, без накладок

Таблиця 2.1 – Рекомендовані розміри зразків для випробування

Напрямок армування наповнювачем	Ширина b	Загальна довжина	Товщина h	Довжина накладки	Довжина робочої зони $l_{pz}$
0°	15	$\geq 250$	$\geq 1,0$	$\geq 56$	$\geq 90$
90°	25	$\geq 175$	$\geq 2,0$	$\geq 25$	$\geq 90$
Інші схеми армування	15	$\geq 250$	$\geq 2,5$	Наждачний папір	$\geq 90$

Відхилення зразків від номінальних розмірів по робочій зоні не повинна перевищувати  $\pm 1\%$  по ширині і  $\pm 4\%$  по товщині. Шорсткість торцевих поверхонь (по параметру) зразка не повинна перевищувати 1,6 мкм. Товщина зони склеювання повинна бути менше 0,3 мм.

Технологія виготовлення зразків, механічна обробка, місця та напрямки вирізання зразків повинні відповідати вимогам нормативних документів або технічної документації на матеріал. Зразки матеріалу однієї марки повинні бути виготовлені із застосуванням одного і того ж методу формування. Зразки повинні мати гладку рівну поверхню без здуття, відколів, нерівностей, надрізів, подряпин, тріщин або інших видимих неозброєним оком дефектів. Відхилення від паралельності бічних граней - не більше 0,2 мм.

В роботі використовувалися зразки без накладок (див. рис.2.3.). Виготовлені зразки маркувалися на тій частині що захвачується, по різні боки від поперечної осі симетрії зразка номером партії та порядковим номером зразка в партії. Маркування дозволяло точно ідентифікувати зразки при випробуванні.

Кількість зразків для випробувань однієї партії матеріалу була не менше п'яти для кожного режиму випробування. Перед випробуванням вимірювали товщину і ширину робочої частини зразка в трьох місцях: по краях і в середині.

В протокол випробувань записували найменше значення площі поперечного перерізу зразка [45].

### **2.3.2 Обладнання для випробування на розтягування**

Випробувальна машина по ГОСТ 28840, що забезпечує лінійне переміщення активного захоплення (траверси) із заданою постійною швидкістю навантаження або деформування і вимірювання навантаження з похибкою не більше  $\pm 1\%$  вимірюваної величини. Захвати повинні забезпечувати надійне кріплення зразків. Не допускається руйнування зразків в захватах. Для збільшення тертя хватних частин зразка, для того щоб надійно захопити зразок, рекомендується використовувати наждачний папір. Засоби вимірювання температури по ГОСТ Р 8.585, що забезпечують вимір з похибкою не більше  $\pm 1,5\%$  вимірюваної величини. Засоби вимірювання вологості повинні забезпечувати вимірювання з похибкою не більше  $\pm 2\%$  вимірюваної величини. Засоби вимірювання ширини і товщини зразка повинні забезпечувати вимірювання з похибкою не більше  $\pm 1\%$  вимірюваної величини. Для вимірювань рекомендується використовувати штангенциркуль за ГОСТ 166 з похибкою не більше  $\pm 0,025$  мм і мікрометр по ГОСТ 6507 з похибкою не більше  $\pm 0,01$  мм. При вимірюванні на нерівних поверхнях, наприклад на формованих поверхнях ПКМ, використовують мікрометр зі сферичними вимірювальними губками радіусом від 4 до 5 мм. При вимірюванні на гладких механічно оброблених поверхнях або резах використовують вимірювальні інструменти з плоскопараллельними губками.

Випробування проводили на розривній машині УРМ-5 з максимальним зусиллям 50 кН. Зразок встановлювали у захватах випробувальної машини так, щоб його поздовжня вісь співпадала з віссю прикладання навантаження. При затисканні зразка стежили за тим, щоб середина губок у обох кріпленнях

збігалася з поздовжньою віссю зразка. Зусилля в захватах було таким, щоб не викликати руйнування зразків в області затискання і не дозволяти їм вислизати із захватів. Шкалу навантаження вибирали таким чином, щоб вимірювана величина становила від 20% до 80% від максимального значення шкали. Задавали швидкість переміщення активного захоплення машини від 1 до 10 мм / хв (рекомендована швидкість - 2 мм / хв).

Рекомендується проводити випробування з керуванням по деформації зі швидкістю деформування від 0,005 до 0,05 хв (рекомендована швидкість - 0,01 хв). Швидкість навантаження вибирають таким чином, щоб тривалість одного випробування становила  $(1,0 \pm 0,5)$  хв.

Для визначення міцності (тимчасового опору, межі міцності) при розтягуванні зразок рівномірно навантажували із заданою швидкістю деформування аж до його руйнування і записували найбільше навантаження, яке витримав зразок. Механічні властивості кожного варіанту дослідного сплаву визначалися за результатами досліджень 3...5 зразків, з похибкою не більше  $\pm 5\%$  [ 45].

#### 2.4 Методика проведення випробування на вогнестійкість

Дослідження вогнестійкості зразків проводилось за допомогою полуменевого пальника та хромель-алюмелівої термопарі. Схема термопарі наведена нижче (рис.2.4).

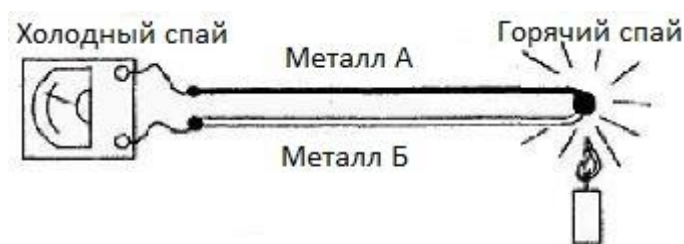


Рисунок 2.4 – Схема роботи термопарі

Термопара — чутливий елемент термоелектричного перетворювача у вигляді двох ізольованих провідників із різнорідних матеріалів, з'єднаних на одному кінці, принцип дії якого ґрунтується на використанні термоелектричного ефекту для вимірювання температури.

Хромель-алюмелеві термопари (ГОСТ 3044-84) виявляють найбільш близьку до лінійної термоелектричну характеристику. Це дозволяє забезпечити чутливість близько  $50 \text{ мкВ} / ^\circ\text{C}$  і, як наслідок, найвищу точність вимірювань, що виконуються. У конструкції термопар типу хромель-алюмель можуть бути задіяні різні ізоляційні матеріали з кераміки, азбесту, скловолокна, кварцу, емалей, вогнетривких оксидів.

При випробування на вогнестійкість зразок підносили до полум'я під кутом  $45^\circ \text{C}$ , до того часу доки полімерний зразок не почне обвуглюватись. Під час випробування, основною метою було дізнатися, за який час та при якій температурі зразок почне обвуглюватись (рис.2.5).

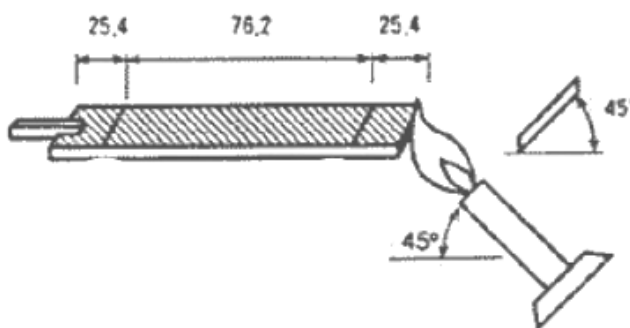


Рисунок 2.5 – Схема випробування на вогнестійкість

## 2.5. Дослідження мікроструктури матриці

Металографічний аналіз проводили на мікроскопах МИМ-7 при збільшеннях 100...500. Структуру полімерної матриці визначали на нетравлених шліфах.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ КОМПОЗИТНОЇ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

Висока реакційна здатність епоксидних груп, а також наявність в епоксидних олігомерів гідроксильних груп обумовлюють різноманітні напрямки процесів затвердіння епоксидних смол. Як правило, затвердіння протікає з малими об'ємними усадками та без виділення низькомолекулярних речовин. Такі властивості дозволяють використовувати композити на основі епоксидних груп в найрізноманітніших галузях.

Завданням матриці є не тільки забезпечення монолітності композиту, але і забезпечення ряд інших функціональних властивостей виробів, які дуже залежать не тільки від матеріалу матриці, але і від виду та розміру наповнювача. Тому дуже важливою темою є дослідження модифікування композиційних матеріалів на основі епоксидної матриці для підвищення її властивостей

### 3.1. Вибір оптимальної кількості модифікатора

В роботі [23] досліджувався вміст модифікування полімерної матриці оксидом алюмінію у кількості 1% мас. і 3% мас. обробленого і необробленого поверхнево активними речовинами. Основна увага в роботі приділялася формі включень, а не кількості модифікатора. Авторами [27] було встановлено, що вміст  $Al_2O_3$  у кількості 0,05% мас. є оптимальним для досягнення найвищих показників пластичності полімерної матриці. Вміст від 0,5% мас. до 2,0% не досліджувався, тому в роботі визначали саме вплив оксиду алюмінію в якості модифікатора у кількості 0,5%, 1,0% та 1,5% на властивості полімерної матриці (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Кількісний склад зразків модифікованої полімерної матриці

№ зразку	Хімічний склад	Кількість використаної епоксидної смоли зі стверджувачем, г	Кількість використаного тальку, г	Кількість використаного оксиду алюмінію, г
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	35	0	0
2	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0,5%)	35	0	1,75
3	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,0%)	35	0	3,5
4	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,5%)	35	0	5,25
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)	35	0,26	0
6	ЕД-20+ Тальк(1,0%)	35	0,36	0
7	ЕД-20+ Тальк(1,5%)	35	0,525	0
8	ЕД-20+ Тальк(2,0%)	35	0,7	0
9	ЕД-20+ Тальк(12,5%)	35	4,37	0
10	ЕД-20+ Тальк(15,0%)	35	5,25	0
11	ЕД-20+ Тальк(17,5%)	35	6,125	0
12	ЕД-20+ Тальк(20,0%)	35	7	0
13	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2 тип)	35	0	0,875
14	ЕД-20+ тальк (2 тип)	35	0,13	0
15	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +тальк	35	0,13	0,875

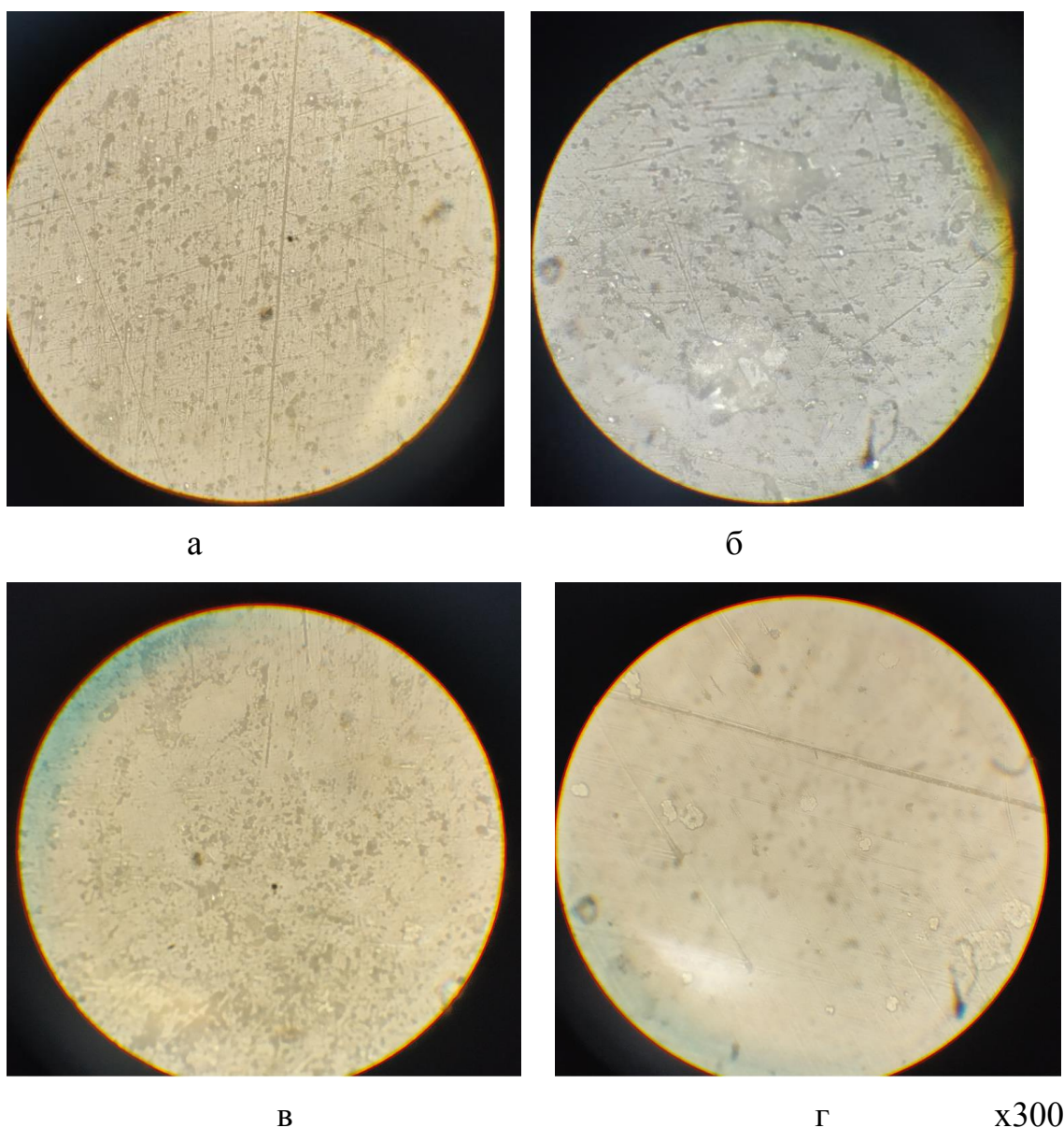
Авторами [35] досліджувався вміст тальку в якості модифікатора полімеру у кількості 10...20% мас., але основною метою дослідження авторів була зміна розміру часток тальку, яка позначається як на реологічних, так і на фізико-механічних властивостях ПКМ, але поки що не було досліджено вплив тальку менше 10% на властивості полімерною матриці. Тому у роботі в якості дослідження обрано вплив тальку у кількості 0,75%...2% масової частки та більше 10% для верифікації отриманих даних (див. табл. 3.1.)

### **3.2 Вплив модифікування на структуру та властивості композитної полімерної матриці**

Для дослідження впливу модифікування на структуру та властивості полімерної матриці виготовлялися дослідні зразки у кількості 5 шт. на кожен номер зразка (див. табл.3.1). Модифікатор вводився в епоксидну смолу, перемішувався протягом 10 хвилин, потім вводився стверджувач і продовжувалося перемішування ще протягом 5 хвилин. Після цього отриману речовину розміщували на вібраційному столі та витримували під дією вібрації протягом 10 хвилин. Склеювання полімерної матриці відбувалося при кімнатній температурі.

Після цього виготовлялися мікрошліфи та проводилися дослідження властивостей полімерної матриці згідно з методикою, що наведена у 2 розділі. Мікроструктуру дослідних зразків, модифікованої сферичними наночастинками  $Al_2O_3$ , полімерної матриці представлено на рис. 3.1.





а - ЕД-20 (вихідний зразок); б - ЕД-20+  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,5%);

в - ЕД-20+  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (1,0%); г - ЕД-20+  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (1,5%)

Рисунок 3.1 - Мікроструктура дослідних зразків полімерної матриці

Дослідження мікроструктури модифікованої оксидом алюмінію полімерної матриці показало, що зі збільшенням вмісту  $\text{Al}_2\text{O}_3$  пористість матеріалу зменшується, порівняно з не модифікованою полімерною матрицею. У зразку з відсотковим вмістом оксиду алюмінію 0,5% ми бачимо, що часточки модифікатора найбільш здатні до агломерації, це можна пояснити тим, що при такому малому об'ємному вмісті модифікатора потрібно більше

часу на вібраційне змішування або використання ПАР для більш якісного деагломерування часточок оксиду алюмінію.

Дослідження міцності полімерних композицій показало, що зі збільшенням масового вмісту наночастинок модифікатора, зростає міцність композиції. Так, введення сферичних наночастинок  $Al_2O_3$  в кількості 0,5% мас. збільшує межа міцності при розриві композиції до 13,07 МПа (порівняно з немодифікованим епоксидним полімером підвищується на 278 %), результат можна побачити на рисунку 3.2.

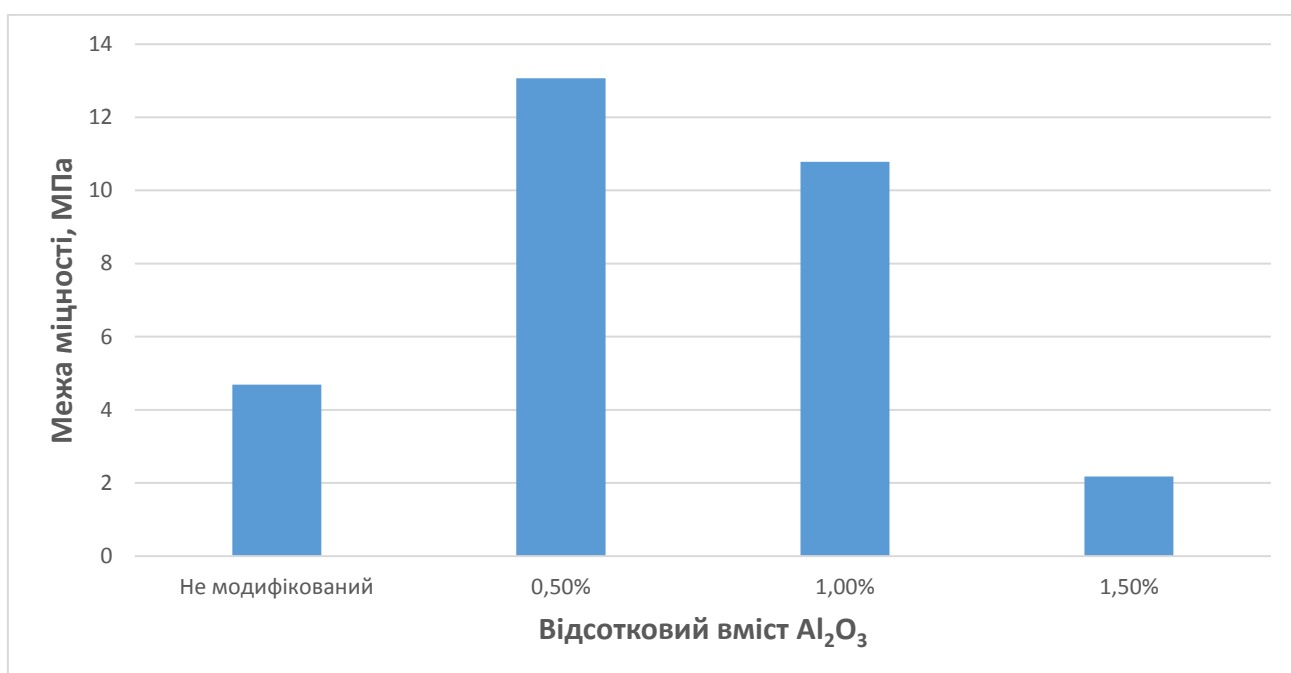


Рисунок 3.2 – Гістограма впливу модифікатора ( $Al_2O_3$ ) на механічні властивості полімерної матриці.

Результати дослідження модифікованої оксидом алюмінію полімерної матриці на вогнетривкість наведено в таблиці. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад та властивості матриці, яка була модифікована  $Al_2O_3$

№ зразку	Хімічний склад	Випробування на вогнестійкість	
		Температура полум'я, С°	Час який витримав полімер до обвуглювання, с
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	560	8,49
2	ЕД-20+ $Al_2O_3(0,5\%)$	740	13,71
3	ЕД-20+ $Al_2O_3(1,0\%)$	660	12,8
4	ЕД-20+ $Al_2O_3(1,5\%)$	620	9,5

З таблиці 3.2 видно, що найбільшу температуру витримав зразок із вмістом 0,5% мас. оксиду алюмінію, що можна пояснити розмірами включень (див. рис. 3.1), можливо саме скупчення часточок оксиду алюмінію і призвели до такої зміни температури та часу.

Наступним етапом роботи було дослідження іншого модифікатора – тальку. Дослідження модифікування полімеру наночастинками тальку було проведено в межі 0,75...2,0 та від 12,5..20,0 % масової частки (див. табл. 3.1).

При дослідженні вмісту тальку від 0,75%...2,0% спостерігається збільшення межі міцності композиту до 12,74 МПа (в порівнянні з немодифікованим епоксидним полімером підвищує на 272 %), але сильно зростає крихкість в порівнянні з не модифікованим зразком. У зразках з вмістом тальку 1,0% та 1,5% спостерігалось активне вспінення полімерного зразку. Це можна пояснити тим, що тальк при такій кількості виступає у якості нуклеатора. Нуклеатори - це речовини, які впливають на структуру готової продукції і визначають розміри центрів під час піноутворення в полімері. Під час процесу спінювання утворюються бульбашки газу, а нуклеатор створює умови, щоб піністі центри були більш дрібними, а сам матеріал, завдяки цьому, щільніше. Цю властивість полімерної матриці можна в подальшому

використовувати для виготовлення сандвіч конструкцій для обшивки гвинтокрилів, так як це значно знизить вагу і собівартість виробу.

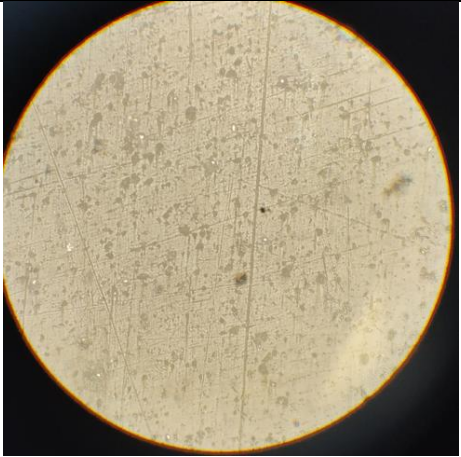
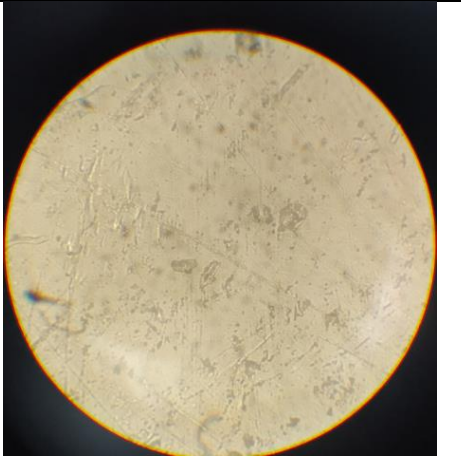
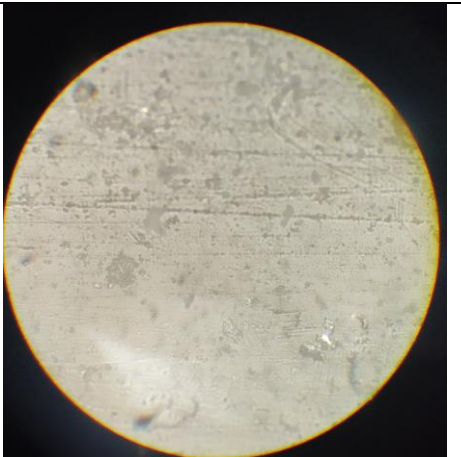
Зі збільшенням вмісту тальку від 12,5%...20,0% в складі полімерної матриці практично лінійно знижується межа міцності при розриві, так як полімерна матриця при розриві більш чутлива до структур мінеральних наповнювачів, які можуть служити центрами утворення дефектів під час механічного впливу на них. Тому міцність у таких композитах зменшується порівняно з не модифікованим зразком (рис.3.3).



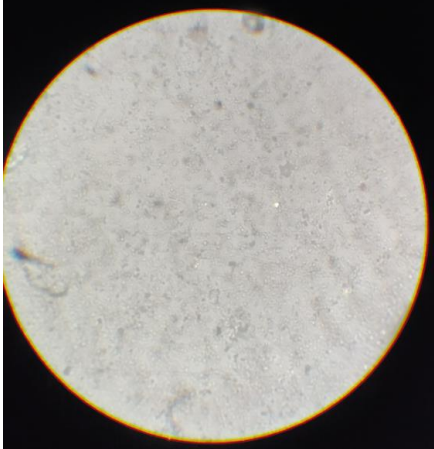
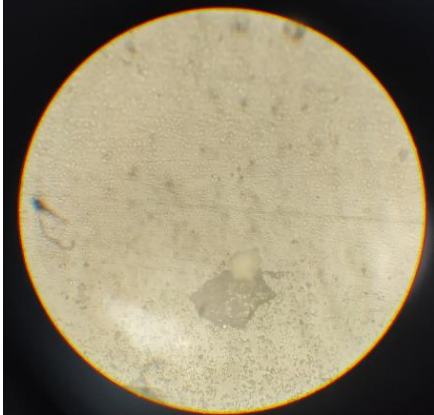
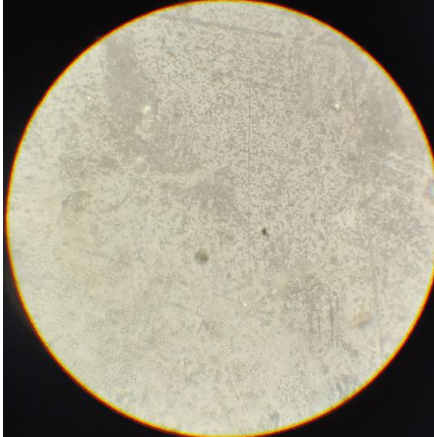
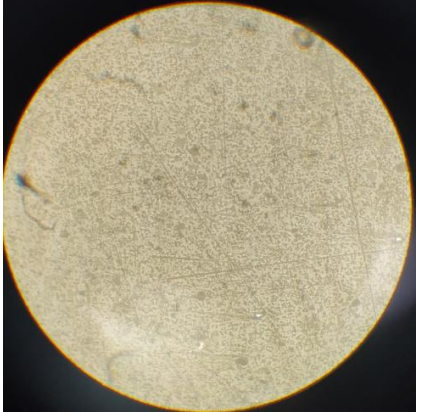
Рисунок 3.3 - Гістограма впливу модифікатора (тальку) на механічні властивості полімерної матриці.

Досліджену мікроструктуру модифікованої полімерної матриці, за допомогою введення сферичних наночастинок тальку, можна побачити в таблиці 3.3. Дослідження мікроструктури полімерної матриці, яка була модифікована оксидом тальку показало, що при відсотковому вмісту тальку більш ніж 12%, розмір пор зменшується, але їх кількість збільшується, що призводить до окрихчення матеріалу і зменшення механічних властивостей.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад та мікроструктура полімерної матриці, яка була модифікована тальком

№ зразку	Хімічний склад	Мікроструктура модифікованої полімерної матриці, x300
1	2	3
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)	
8	ЕД-20+ Тальк(2,0%)	

Кінець таблиці 3.3

1	2	3
	ЕД-20+ Тальк(12,5%)	
10	ЕД-20+ Тальк(15,0%)	
11	ЕД-20+ Тальк(17,5%)	
12	ЕД-20+ Тальк(20,0%)	

Результати дослідження модифікованої тальком полімерної матриці на вогнетривкість наведено в таблиці. 3.4.

Таблиця 3.4 – Хімічний склад та вогнестійкість полімерної матриці, яка була модифікована тальком

№ зразку	Хімічний склад	Випробування на вогнестійкість	
		Температура полум'я, С°	Час який витримав полімер до обвуглювання , с
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	560	18,49
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)	287	9,73
6	ЕД-20+ Тальк(1,0%)	265	9,23
7	ЕД-20+ Тальк(1,5%)	243	8,16
8	ЕД-20+ Тальк(2,0%)	201	7,85
9	ЕД-20+ Тальк(12,5%)	149	6,29
10	ЕД-20+ Тальк(15,0%)	150	6,71
11	ЕД-20+ Тальк(17,5%)	179	8,66
12	ЕД-20+ Тальк(20,0%)	395	12,21

Результати досліджень показали, що зі збільшенням вмісту тальку від 0,75% мас. До 1,5% мас. Знижується і температура і час витримки, а при збільшенні вмісту понад 12,5% ці показники починають зростати, що, можна пояснити зміною кількості та розмірів пор у полімері. У роботі [ ] автори також стверджують, що зміна механічних та службових властивостей модифікованих тальком полімерів напряду залежить від розмірів та кількості пор.

Також у роботі було досліджено сумісний вплив  $Al_2O_3$  та тальку на властивості полімеру. Хімічний склад та властивості модифікованої матриці представлено в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Хімічний склад та властивості матриці, яка була модифікована  $Al_2O_3$  та тальком

№ зразку	Хімічний склад	Межа міцності, МПа	Випробування на вогнестійкість	
			Температура полум'я, С°	Час який витримав полімер до обвуглювання, с
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	4,69	560	8,49
13	ЕД-20+ $Al_2O_3$ (зразок 2 типу)	9,31	267	6,5
14	ЕД-20+ тальк (зразок 2 типа)	1,49	97	10,40
15	ЕД-20+ $Al_2O_3$ +тальк	9,75	690	6,57

Для модифікування було обрано кількісний склад двох компонентів, який найкраще впливав на властивості полімерної матриці. Було прийнято взяти по 50% кожного модифікатора від їх складу(табл.3.6).

Дослідження сумісного впливу тальку та  $Al_2O_3$  показало, що відбувається підвищення механічних властивостей в порівнянні з не модифікованим зразком до 9,75 МПа (в порівнянні з не модифікованим епоксидним полімером підвищується на 208%).



Таблиця 3.6 – Кількість модифікаторів для сумісного модифікування полімерної композиції

№ зразку	Хімічний склад обраного зразку	Кількість модифікатора, г	Обрана кількість для сумісного модифікування, г
2	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0,5%)	1,75	0,875
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)	0,26	0,13

Але проведені випробування зразків які містять тільки тальк (0,13%) показують, що знову відбувається зниження механічних властивостей полімерної композиції, в порівнянні з не модифікованою полімерною матрицею до 1,49 МПа. А при модифікуванні тільки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, у кількості 1,75 було виявлено підвищення механічних властивостей, в порівнянні не модифікованою полімерною матрицею до 9,31 МПа.

На рисунку 3.4 можна побачити залежність межі міцності від кількісного складу модифікуючи речовини.

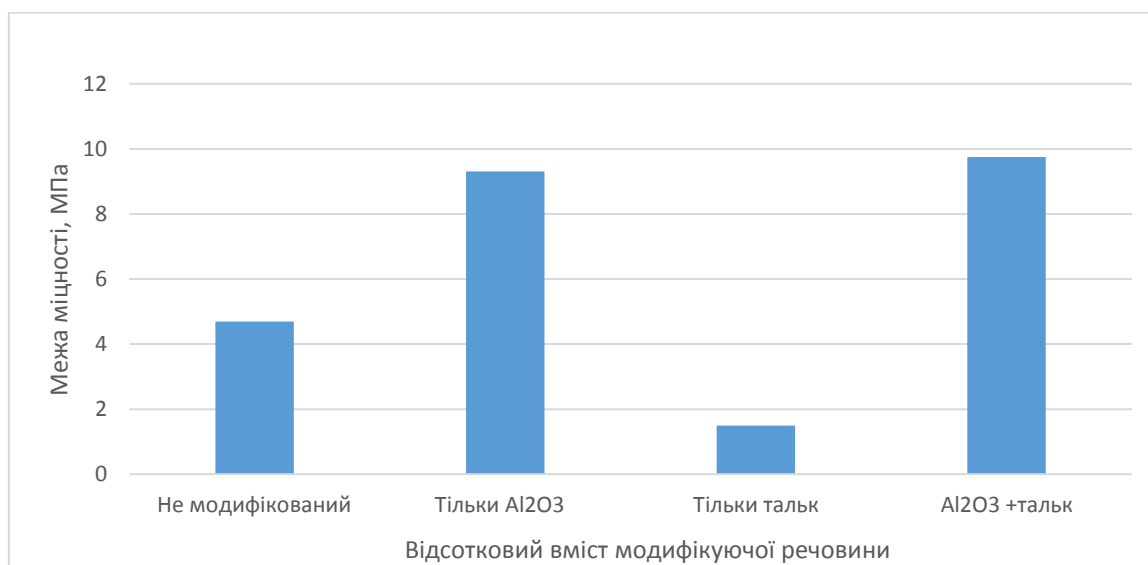
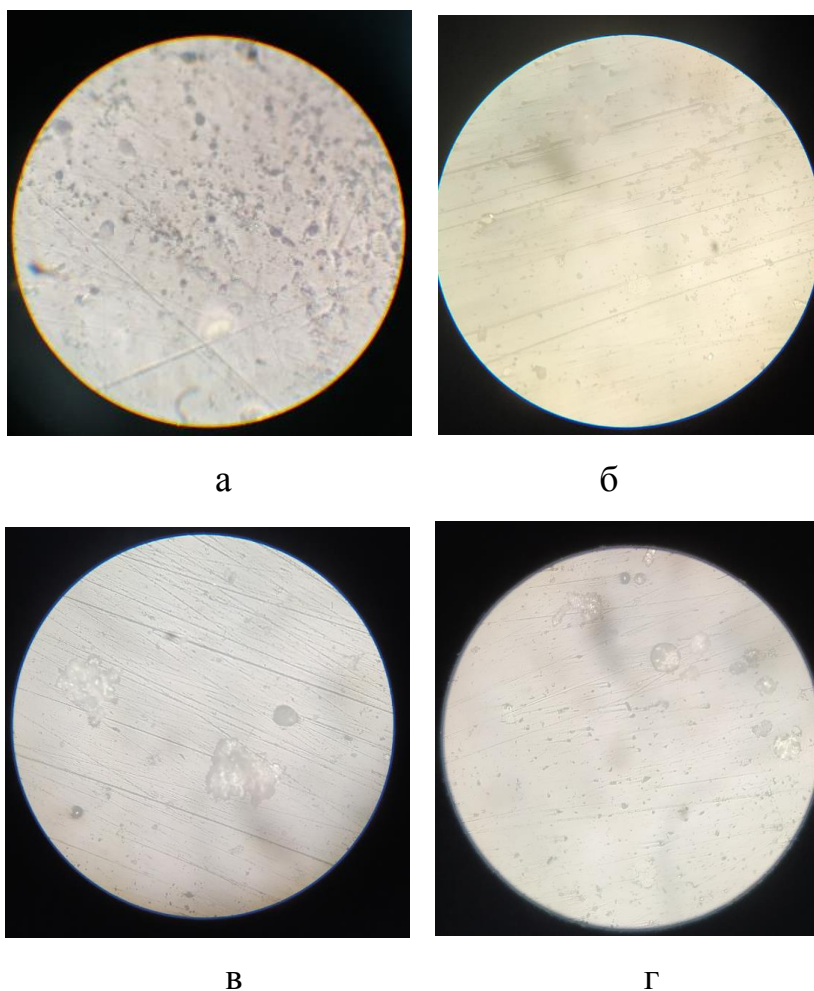


Рисунок 3.4 - Гістограма впливу типу модифікатора на механічні властивості полімерної матриці.

Дослідження мікроструктури показали, що при досить низькому вмісту тальку (рис.3.5, в) частинки модифікатора здатні до агломерування. При модифікуванні зразка мікро частинками  $Al_2O_3$ , та тальку (рис3.5, г) можна побачити, не тільки що пористість та розмір пор полімерної матриці зменшується порівняно з не модифікованим зразком (рис.3.5, а), але і те, що частинки тальку утворюють менше за розміром скупчення частинок в порівняні з зразком, який був модифікований тільки малою концентрацією тальку (0,13г)

Мікроструктуру дослідних зразків, модифікованої сферичними наночастинками  $Al_2O_3$ , та тальком полімерної матриці представлено на рис. 3.5.



X100

а- ЕД-20 (вихідний зразок); б - ЕД-20+  $Al_2O_3$ (0,875 г);

в - ЕД-20+ тальк(0,13 г); г - ЕД-20+  $Al_2O_3$ + тальк

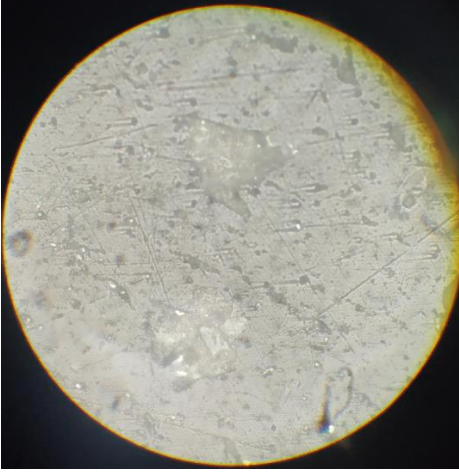
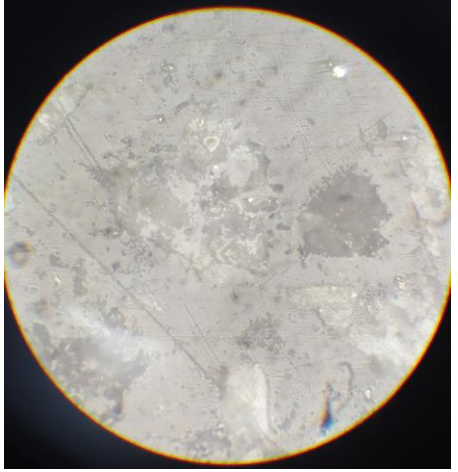
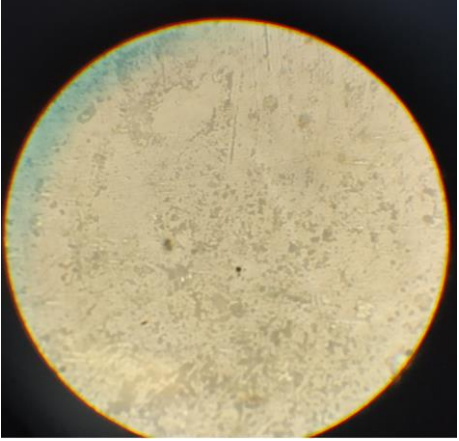

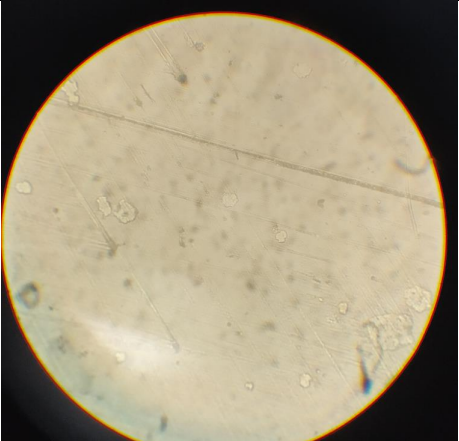

Рисунок 3.5 - Мікроструктура дослідних зразків полімерної матриці

У роботі, також були досліджена мікроструктура зразків та їх механічні властивості, без використання вібраційного змішування при модифікуванні. Результати досліджень та мікроструктури полімерної матриці наведено у таблиці 3.7 та 3.8 відповідно.

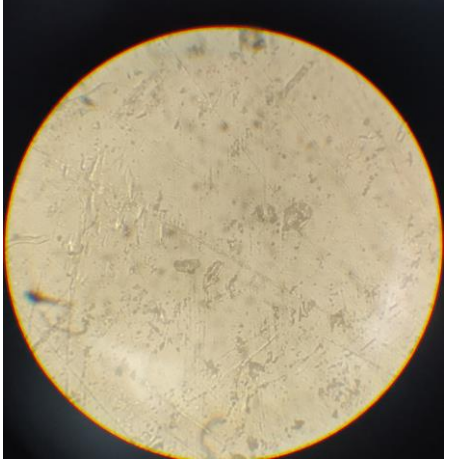
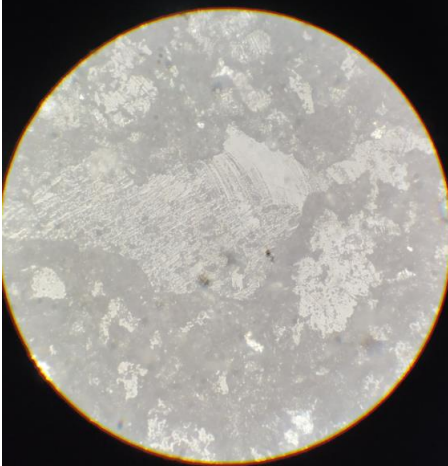
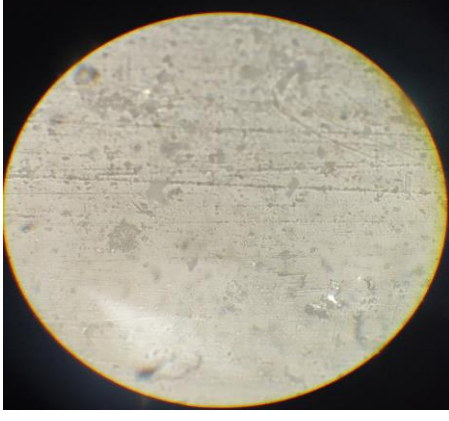

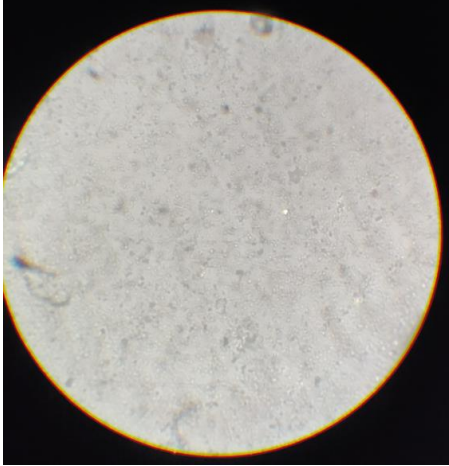
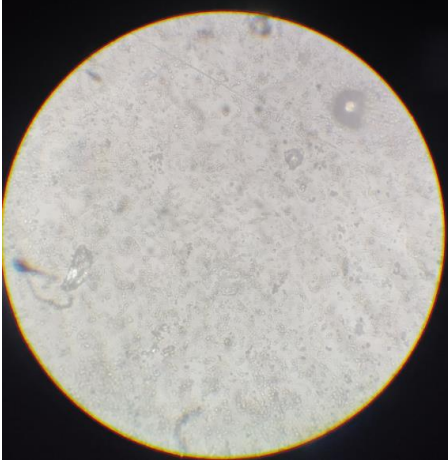
Таблиця 3.7 – Результати випробування модифікованих зразків

№ зразку	Хімічний склад зразку	Межа міцності з віброзмішуванням, МПа	Межа міцності без віброзмішування, МПа
2	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0,5%)	13,07	10,3
3	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,0%)	10,78	8,7
4	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,5%)	2,18	1,9
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)	12,74	11,9
8	ЕД-20+ Тальк(2,0%)	11,81	8,1
9	ЕД-20+ Тальк(12,5%)	2,5	2,1
10	ЕД-20+ Тальк(15,0%)	0,85	0,78
11	ЕД-20+ Тальк(17,5%)	1,86	1,56
12	ЕД-20+ Тальк(20,0%)	1,32	1,22

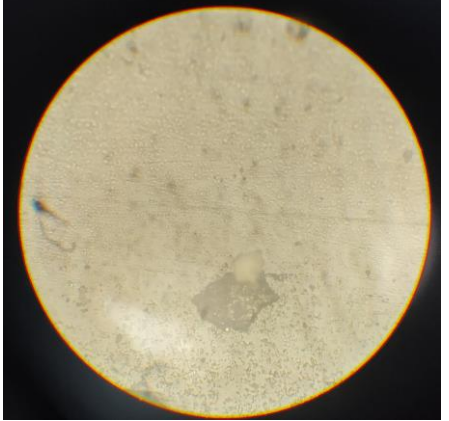
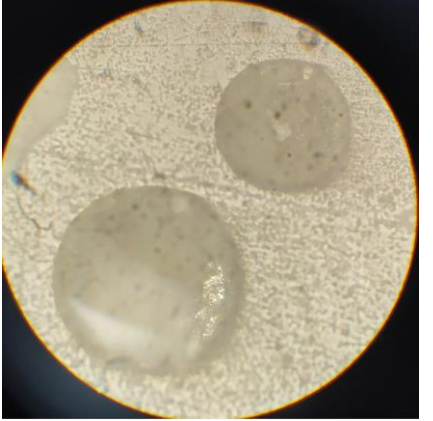
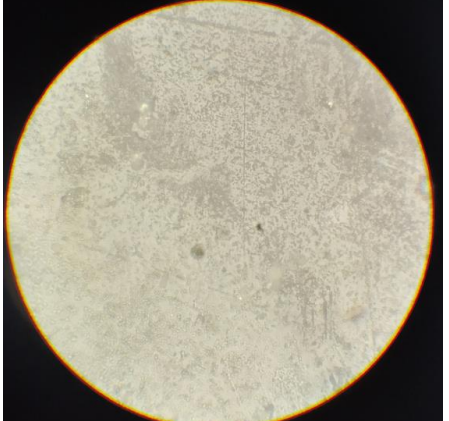
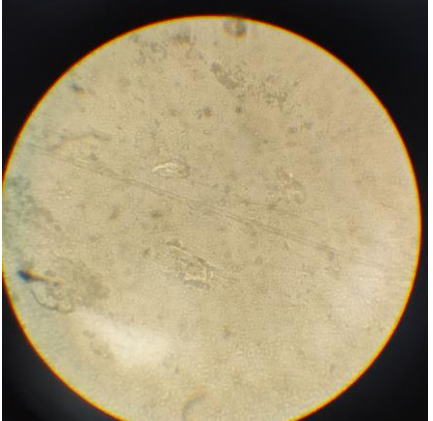
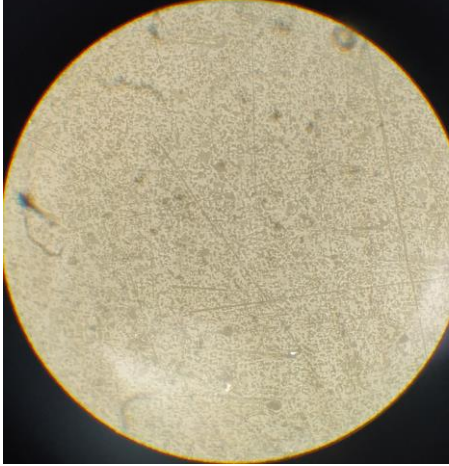
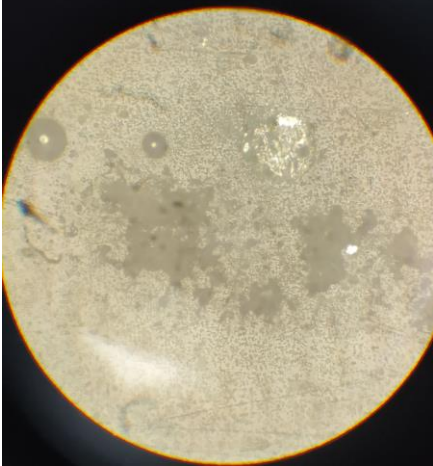
Таблиця 3.8 – Порівняння мікроструктури зразків з та без використання віброзмішування при модифікуванні, х300

№ зразку	Хімічний склад зразку	Мікроструктура зразку з віброзмішуванням, МПа	Мікроструктура зразку без віброзмішування, Мпа
1	2	3	4
2	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0,5%)		
3	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,0%)		
4	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,5%)		

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)		
8	ЕД-20+ Тальк(2,0%)		
9	ЕД-20+ Тальк(12,5%)		

Кінець таблиці 3.8

1	2	3	4
10	ЕД-20+ Тальк(15,0%)		
11	ЕД-20+ Тальк(17,5%)		
12	ЕД-20+ Тальк(20,0%)		

З отриманих мікроструктур, можна зробити висновок про те, що в зразках які не були підтвержені вібраційній обробці можна побачити скупчення наночастинок та пор, які стають концентраторами напружень в матеріалі. Після проведення віброзмішування компонентів, частинки модифікаторів менш здатні до агломерування в полімерній матриці матеріалу, що призводить до підвищення механічних властивостей.

### 3.3 Висновки

1. Введення наночастинок тальку в кількості 0,75 % мас. призводить до збільшення межі міцності на 272% в порівнянні з не модифікованим зразком. Введення наночастинок оксиду алюмінію збільшує показник міцності на 278% , в порівнянні з не модифікованим.

2. Сумісний вплив наночастинок оксиду алюмінію та тальку призводить до збільшення межі міцності на 208%.

3. Було також виявлено, що концентрація тальку 1,0% та 1,5% викликає бурхливу термічну реакцію при змішування з епоксидним клеєм ЕД-20, що призводить до вспінання композиту.

4. При модифікуванні епоксидних смол слід враховувати не тільки форму та розмір наночастинок , але і рівномірність розподілу часток в об'ємі матриці, а так само їх агломерування в матеріалі.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні полімерних композиційних матеріалів.

#### 4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Не задовільні параметри при організації робочого місця дослідника в наслідок не виконання вимог ергономіки, що може призвести до зниження працездатності.

б) Можливість ураження електричним струмом. Основною причиною порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, або несправності енергоспоживального обладнання, то може призвести до електричних травм або до летальних наслідків.

в) Можливість отримання механічних травм при отриманні полімерного композиційного матеріалу, зокрема при використанні допоміжних пристосувань.

г) Можливість отримання механічних травм при випробуванні механічних, експлуатаційних властивостей дослідницьких зразків.

д) Можливість отримання механічних травм при виконанні зачищувальних робіт.

е) Небезпеки, які пов'язані з використанням комп'ютерної техніки та обладнання.



є) Незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну.

ж) Незадовільне освітлення робочих місць в дослідницьких лабораторіях, внаслідок виходу з ладу джерел освітлення, що може призвести.

з) Можливість загоряння в наслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень правил зберігання легкозаймистих речовин, або коротких замикань, що може привести до пожежі.

і) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях зокрема, порядок проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

#### **4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки**

а) Для усунення загрози отримання механічної травми через не ергономічність робочого місця необхідно правильно організувати робоче місце, враховуючи ергономічні вимоги дослідника згідно з ГОСТ 12.2.032-78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги»

Конструкція та взаємне розташуванні елементів робочого місця повинні відповідати антропогенним, фізіологічним і психологічним вимогам а також характеру людини. При проектуванні обладнання та організації робочого місця слід врахувати антропометричні показники дослідника, зручність розташування клавіатури, дисплею, та інших необхідних для роботи пристроїв, а також зони досяжності рук дослідника, що необхідно для роботи пристроїв. Враховуючи зріст та вагу дослідника визначається висота стола, за яким він працює. Робочий стілець також має бути зручним для роботи. При організації робочого місця повинні бути створення умови для попередження неправильних дій оператора. З цією метою всі основні аварійні органи

управління повинні легко пізнаватися (зорово або на дотик), між органами управління має бути вільний простір, що дозволяє легко маніпулювати ними без зачеплення сусідніх органів управління.

б) Основними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

Організаційні:

До виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років- пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, та отримали допуск відповідно групи (2 чи 3).

Згідно ДНАОП 1.1.10-1.01-200 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів» експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. / кожного виду обладнання повинні бути складені схеми нормування робіт роботи в аварійних ситуаціях.

Технічні:

У відповідності ПУЕ-2017 Всі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв;

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000В - не менше 3,5м, при напрузі більше 1000В - не менше 6м);

Обов'язкова наявність захисного заземлення.

в) Основні вимоги для запобігання від механічних травм при використанні допоміжних пристосування для виготовлення полімерного композиційного матеріалу, а зокрема використання ножиців та інші ріжучі інструменти. Безпечність роботи забезпечується:

- Використанням індивідуальних засобів захисту: халат ГОСТ 12.4.131-83 , бавовняні рукавиці ГОСТ 28846-90.
- Користуванням канцелярськими ножицями ГОСТ Р 51268-99 із заокругленими кінцями та заокругленим лезом на ножі.

- Забороняється працюйте тупими ножицями і тупим ножем.
- Забороняється тримати ножиці лезом угору, а також ніж лезом угору.
- Забороняється залишати ножиці у відкритому виді.
- Під час різання слід підтримувати матеріал лівою (для ліворуких — правою) рукою так щоб пальці були осторонь від леза ножиців.
- Утримувати в чистоті й порядку робоче місце.
- Використовувати інструмент тільки за призначенням.

г) Для запобігання механічних травм в процесі випробування на механічні властивості ГОСТ Р 56785-2015 передбачено виконання інструкцій з техніки безпеки, які стосуються конкретно дослідницького обладнання.

Для запобігання механічних травм в процесі механічних випробувань на розтяг на інсталяції РС-1 передбачено триступеневу систему захисту;

- для запобігання зриву зразка внаслідок перекосив або зношування захватів передбачені центруючі та вирівнюючі втулки;
- для виключення похибок при випробуванні, інсталяція має електронну систему управління та гідравлічний привод, що дає змогу програмувати режим випробування та не допускати максимальне навантаження на конструкцію інсталяції, що може призвести до руйнування та аварійної ситуації;
- усі електричні кабелі екрановані спеціальними кожухами, що дає можливість уникнути ураження електричним струмом (ПТБЕ).

д) При виконанні зачищення кромки зразку обов'язковим є виконання техніки безпеки.

Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах:

- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками;
- використання абразивних кіл з дефектами заборонено;
- абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування - порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування;
- біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;
- при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами;
- підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм;
- заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом».

е) Працівники, задіяні на роботах, пов'язаних з періодичною або постійною роботою за комп'ютером, піддаються впливу факторів виробничої небезпеки, основними з яких є:

#### 1. Фізичні.

- Підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло працюючого.
- Підвищений рівень рентгенівського випромінювання.
- Підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання.
- Підвищений рівень інфрачервоного випромінювання.
- Можливість ураження статичною електрикою.
- Запиленість повітря робочого приміщення.
- Підвищений вміст важких (+) аероіонів.

- Нерівномірний розподіл яскравості в полі зору.
- Підвищений рівень пульсації світлового потоку.

2. Хімічні. - Підвищений вміст у повітрі вуглекислого газу, озону, аміаку, фенолу, формальдегіду та ін 3. Психофізіологічні.

- Напруга зору.
- Напруга пам'яті.
- Напруга уваги.
- Тривале статичне напруження.
- Відносно великий обсяг інформації, що обробляється в одиницю часу.
- Монотонність праці в окремих випадках.
- Нераціональна організація робочого місця.

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є :

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- локальне стомлення, загальна втома;

Режими праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А - робота із зчитуванням інформації з екрану комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б - робота з введенням інформації;

Група В - творча робота в режимі діалогу;

За основну роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % роботи протягом часу роботи комп'ютера.

#### **4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці**

є) Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору ( температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є природна вентиляція, загальнообмінна вентиляція та кондиціонування приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудования для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия», ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Заходи щодо забезпечення санітарних норм мікроклімату розробляються відповідно до вимог ДСН 3.36-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»

ж) Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт І-ІІІ, ІVа, ІVб, ІVв, Vа розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

В роботі передбачено визначення повітряобміну з урахуванням з урахуванням типу виробничого приміщення та виду виробництва.

Природна вентиляція використовується для нормалізації мікроклімату як у невиробничих так і у виробничих приміщеннях без виділення шкідливих речовин.

Штучна механічна вентиляція застосовується в тих випадках, коли тепловиділення у приміщенні недостатньо для постійного, протягом року, використання природної вентиляції, або коли кількість чи токсичність речовин, що виділилися у повітря приміщення викликали необхідність постійного повітряобміну незалежно від метеорологічних умов навколо середовища.

Загальнообмінна вентиляція забезпечується створенням необхідного мікроклімату та чистоти повітряного середовища у всьому об'ємі робочої зони приміщення.

Місцева витяжна механічна вентиляція забезпечує вловлювання шкідливих виділень безпосередньо в місцях їх виділення, що запобігає поширення цих речовин в приміщенні.

Продуктивність природної вентиляції в приміщенні дослідницької лабораторії, визначається за формулою:

$$L = K * V_n = 2 * (900 * 7) = 12600 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.1)$$

де  $K$  - кратність повітрообміну (відповідно до галузевих норм, кратність повітрообміну в цеху становить  $k=2$ );

$V_n$  - об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом при травленні зразків, визначається за формулою:

$$L = a * b * V * 3600 = 0,38 * 0,55 * 1 * 3600 = 752,4 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.2)$$

де,  $a$  та  $b$  – розміри зонта в плані,  $\text{м}$ ;

$V$  – швидкість руху повітря, яке відсмоктується в площині перерізу по комірці зонта. Значення  $V$  приймається від 0,5 до 1,5 м/с в залежності від конструкції зонта.

Об'єм повітря, що видаляються від витяжних шаф розраховується за формулою:

$$L = F \cdot V \cdot 3600 = 7,3 \cdot 0,7 \cdot 3600 = 18396 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.3)$$

де,  $F$  – площа робочого отвору (відкритих проїомів та нещільностей),  $\text{м}^2$ ;

$V$  – швидкість руху вилученого повітря через відкриті робочі отвори, м/с.

Приймається від 0,5 до 1,7 м/с в залежності від токсичності та леткості газів та парів, що видаляються.

Отже продуктивність природної вентиляції складатиме 12600  $\text{м}^3/\text{год}$ , об'єм повітря, що відсмоктується витяжним зонтом - 752,4  $\text{м}^3/\text{год}$ , а об'єм повітря, що видаляється від витяжних шаф — 18396  $\text{м}^3/\text{год}$ .

#### 4.4 Заходи з пожежної безпеки

з) «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В. 1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания».



Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно з вимог НПА ОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації.

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за №225/31677.

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з

ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001 -2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК і ВДТ:

-згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів - А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

-відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки — простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має ІІ ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В. 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єкти будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого - вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближче евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до

вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції обладнання 1Р44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па1 до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м<sup>2</sup>, тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 №25 та зареєстрованих в МІОУ 23.02.2018 р. за №225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м<sup>2</sup> площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника - ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

#### 4.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

і) Найбільшу небезпеку для життєдіяльності виробничого персоналу представляють аварії технічних систем. Причинами аварій можуть бути стихійні лиха, порушення режимів технологічних процесів (недотримання технологічної дисципліни) або правил експлуатації виробничого, енергетичного, транспортного та ін. обладнання, а також правил техніки безпеки.

З особливостей небезпечних аварій слідує: захисні заходи і, перш за все, прогнозування, виявлення і періодичний контроль за змінами обстановки, оповіщення персоналу підприємства повинні проводитися з надзвичайно високою оперативністю. Локалізація джерела надходження СДОР в навколишнє середовище має вирішальну роль в попередженні \*\* масової поразки людей. Швидке здійснення цієї задачі може направити аварійну ситуацію в контрольоване русло, зменшити викид СДОР і істотно знизити збитки.

Захист від СДОР являє собою комплекс заходів, що здійснюються з метою виключення або максимального послаблення поразки персоналу і збереження його працездатності.

Комплекс заходів по захисту від СДОР включає:

- Інженерно-технічні заходи щодо зберігання і використання СДОР;
- Підготовку сил і засобів для ліквідації хімічно небезпечних аварій;
- Навчання їх порядку і правилам поведінки в умовах виникнення аварій;
- Оповіщення про безпосередню загрозу СДОР;
- Тимчасову евакуацію з небезпечних районів;
- Хімічну розвідку району аварії;
- Пошук і палання медичної допомоги постраждалим;
- Локалізацію та ліквідацію наслідків аварії.

Обсяг і порядок здійснення заходів щодо захисту багато в чому залежать від конкретної обстановки, яка може скластися в результаті аварії, наявність часу, сил і засобів для здійснення заходів з захисту та інших факторів.

Всі заходи щодо захисту відображаються в плані захисту об'єкта, який розробляється завчасно з участю всіх головних фахівців об'єкту. План розробляється, як правило, текстуально з додатком необхідних схем, ще вказують розміщення об'єкту, сил і засобів ліквідації наслідків аварії, п організацію і т.д. Він складається з декількох розділів і визначає підготовку об'єкту до захисту та порядок ліквідації наслідків аварії згідно ДБН В.1.2-4 -2006 «Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)».

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФФЕКТИВНОСТІ

Однією з переваг модифікованого полімерного композиту є більш підвищенні показники механічних властивостей та експлуатаційних властивостей. Економічна ефективність такого композиту краща за немодифікований але і собівартість буде більшою. Тому дуже важливо оцінити всі його характеристики та встановити економічну цінність розробки.

#### 5.1 Економічна ефективність та економічний ефект

Економічна ефективність — досягнення найбільших результатів за найменших затрат живої та уречевленої праці. Економічна ефективність є конкретною формою дії закону економії часу. За капіталістичного способу виробництва узагальнюючий показник економічної ефективності — норма прибутку. Для народних підприємств у розвинутих країнах Заходу основною метою стає максимізація не прибутку, а чистого доходу на одного зайнятого, що не виключає необхідності використання показника норми прибутку.

Ефективність визначається відношенням результату (ефекту) до витрат.

$$\text{Економічна ефективність} = \text{результат/витрати}$$

Конкретнішими показниками економічної ефективності є продуктивність і фондомісткість праці, фондівіддача і фондомісткість продукції, матеріалівіддача і матеріаломісткість продукції, економічна ефективність капітальних вкладень, нової техніки, енергомісткість продукції та ін. Основні напрями зростання економічної ефективності в Україні: суттєве

зниження енергомосткості (витрати енергії на одиницю продукції приблизно в 2,5...3 рази перевищують аналогічні витрати у розвинутих державах світу, нафти — у 8...10 разів), матеріаломосткості (витрати матеріалів та ресурсів в Україні на одиницю продукції в 2...2,5 рази перевищують аналогічні показники у країнах Заходу), зростання фондівіддачі тощо [46].

Продуктивність праці - це показник, який, з одного боку, характеризує ефективність використання персоналу підприємства, а, з іншого боку, показує здатність працівника випускати певну кількість продукції за одиницю часу.

Продуктивність праці визначається за двома напрямками:

- 1) як кількість продукції, що виробляється в одиницю робочого часу;
- 2) як витрати праці на одиницю продукції, що виготовлена.

Тобто продуктивність праці визначається за двома головними показниками:

- 1) виробіток - прямий показник, який визначається через відношення результатів праці до витрат праці (наприклад, 5 одиниць продукції в годину);
- 2) трудомісткість - обернений показник, який визначається через відношення витрат праці до результатів праці (наприклад, 0,2 години на одиницю продукції).

Розглянемо обидва показники більш докладно.

Виробіток - це показник рівня продуктивності праці, який характеризує кількість продукції, що виготовлено за одиницю часу або приходиться на одного середньооблікового працівника.

Існують наступні методи визначення виробітку:

- 1) натуральний метод - передбачає визначення виробітку шляхом ділення обсягу виробленої продукції в натуральних одиницях на кількість затраченого часу в нормо-годинах;

- 2) вартісний метод - передбачає визначення виробітку шляхом ділення обсягу виробленої продукції в грошовому вираженні до затрат часу, виражених в середньообліковій чисельності працівників або відпрацьованій ними кількості людино-днів, людино-годин.

3) трудовий метод - передбачає визначення виробітку шляхом ділення обсягу продукції, представленої в затратах робочого часу в нормо-годинах, на кількість працівників.

На підприємстві продуктивність праці визначається за формулою:

$$\Pi = \frac{\text{ВП}}{\text{Чсс}}, \text{ шт/чол} \quad (5.1)$$

де, ВП – обсяг продукції (шт., т, м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>, грн., н-год.);

Чсс – середньосписковий склад промислово виробничого персоналу (ПВП), чол.

В данному науковому проекті, для дослідження властивостей модифікованного матеріалу за одиницю ВП, можна взяти 100 шт зразків за рік. Розрахунок проводимо за формулою 5.1 і отримуємо :

$$\Pi = \frac{100 \text{ шт}}{1 \text{ чол.}} = 100 \text{ шт/чол}$$

Продуктивність праці може бути визначена і як кількість продукції за одиницю часу за формулою:

$$\Pi = \frac{\text{ВП}}{\text{Т}}, \text{ шт /год} \quad (5.2)$$

де, ВП – обсяг продукції (шт., т, м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>, грн., н-год.);

Т – час, витрачений робітником на виробництво продукції.

В даному науковому проекті за годину в середньому можна зробити 3 зразка, розраховуємо продуктивність вже з урахуванням кількості зразків зроблених за годину та отримуємо:

$$\Pi = \frac{3 \text{ шт}}{1 \text{ год}} = 3 \text{ шт/год}$$



Якщо урахувати всі отриманні данні то за робочу восьми годинну добу, одна людина може зробити 24 зразка. Щоб розрахувати кількість зразків яку може виготовити одна людина за рік скористаємося таблицею 5.1

Таблиця 5.1 - Баланс використання робочого часу промислово-виробничого персоналу підприємства

Робочий час	Витрати робочого часу за рік, людино днів.
	У розрахунку на 1 особу
Відпрацьовано людино-днів	215,2
Відпрацьовано людино-годин	1713,5
Вихідні	108,1
Чергові відпустки	26,7
Хвороби	12,7
Неявки, дозволені законом	0,7
Неявки, дозволені адміністрацією	0,7
Відпустки з навчання	1,0
Прогоули	0,0
Усього ( баланс робочого часу)	365,0

З даних таблиці ми бачимо скільки людино-днів використовуються за рік, з цього виходить що за рік одна людина за восьмигодинний день може виготовити 5165 зразків.

Трудомісткість продукції - сума всіх витрат праці на виробництво одиниці продукції на даному підприємстві. І розраховується за формулою:

$$П = \frac{\Phi}{ВП}, \text{ год/шт} \quad (5.3)$$

де,  $\Phi$  - відпрацьована кількість часу за рік,

ВП - обсяг продукції (шт., т, м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>, грн., н-год.)

Для розрахунку трудомісткості продукції значення “Ф” беремо з таблиці 5.1 а значення обсягу продукції беремо за рік , це становить 5165 зразків і отримуємо:

$$П = \frac{1713,5}{5165} = 0,33 \text{ год/шт} \quad (5.4)$$

Розрізняють наступні види трудомісткості:

- 1) нормативна - сума витрат робочого часу окремого робітника чи бригади на виготовлення одиниці продукції або виконання комплексу робіт;
- 2) планова - визначається на основі показників нормативної трудомісткості;
- 3) фактична - показує фактичні витрати робочого часу на виконання аналізованих робіт.

Як вже зазначалося, продуктивність праці є важливим показником, що відображає ефективність використання підприємством наявних трудових ресурсів. Проаналізуємо вплив та наслідки зміни рівня продуктивності праці для господарсько-фінансової діяльності підприємства:

- 1) зниження продуктивності праці:
  - втрата позицій на ринку;
  - зниження ефективності використання всіх наявних ресурсів;
  - зниження рівня використання виробничої потужності;
  - втрата обсягів виробництва та реалізації продукції;
  - підвищення собівартості продукції;
  - зниження рентабельності господарської діяльності в цілому.
- 2) підвищення продуктивності праці - має обернені позитивні наслідки для підприємства.

Економічний ефект - результативність економічної діяльності, реалізації економічних програм та заходів, що характеризується відношенням

отриманого економічного ефекту(результату) до витрат ресурсів, які зумовили отримання цього результату.

Річний економічний ефект нової техніки (винаходів та раціоналізаторських пропозицій) відображає сумарну економію всіх виробничих ресурсів (живої праці, матеріалів, капітальних вкладень), яку отримує господарство у результаті виробництва й використання нової техніки. Визначення річного економічного ефекту засновується на зіставленні приведених витрат по базовій і новій техніці.

Показник економічного ефекту - (перевищення вартісної оцінки результатів над вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів за весь строк здійснення заходу:

$$E_{st} = R_{st} - V_{st} \quad (5.5)$$

де  $E_{st}$  - економічний ефект заходів науково-технічного прогресу за розрахунковий період;

$R_{st}$  - вартісна оцінка результатів здійснення заходів за розрахунковий період;

$V_{st}$  - вартісна оцінка витрат на здійснення заходу науково-технічного прогресу за розрахунковий період.

При вартісній оцінці результатів і витрат заходу можливі два основних випадки:

- використання заходу дає змогу одержати додатковий обсяг продукції. При цьому вартісна оцінка результатів являє собою оцінку виробленої продукції в оптових цінах;

- використання заходу змінює економічні показники існуючого виробництва. В цьому випадку вартісна оцінка результатів при постійних обсягах кінцевої продукції виражається в зміні витрат на її виробництво. При різних обсягах кінцевої продукції вартісна оцінка

результатів повинна, крім зміни витрат, враховувати зміни обсягу продукції в оптових цінах.

Вартісна оцінка результатів визначається як сума основних ( $R_{sto}$ ) і супутніх ( $R_{stc}$ ) результатів:

$$R_{st} = R_{sto} + R_{stc} \quad (5.6)$$

Вартісна оцінка основних результатів заходів визначається:

а) для нових засобів праці тривалого використання, якщо їх застосування дає змогу одержати продукцію, виробництво якої вже існуючими способами було неможливе:

$$R_{sto} = Z_t * A_t * P_t \quad (5.7)$$

де  $Z_t$  - ціна одиниці продукції, що виробляється з допомогою нових засобів праці в t-му році;

$A_t$  - обсяг застосування нових засобів праці в t-му році;

$P_t$  - продуктивність засобів праці в t-му році.

б) для нових предметів праці, якщо їх використання дає змогу одержати продукцію, виробництво якої вже існуючими способами було неможливе:

$$R_{stc} = \frac{A_t}{U_t} * Z_t \quad (5.8)$$

де  $U_t$  - витрати предметів праці на одиницю продукції, що виробляється з їх використанням в t-му році.

в) для нових предметів і засобів праці довготривалого використання яких в обсязі  $A_t$  змінює економічні показники існуючого виробництва продукції:

$$R_{sto} = \pm \Delta Q_t * Z_t \pm \Delta C_t \pm \Delta K_t \quad (5.9)$$

де  $\pm \Delta Q_t$  - зміни обсягу продукції, що випускається в t-му році;

$\pm \Delta K_t$  - зміни капітальних вкладень, пов'язаних з використанням нових предметів і засобів праці в t-му році;

$\pm \Delta C_t$  - зміни поточних витрат на виробництво продукції в t-му році.

Вартісна оцінка супутніх результатів включає додаткові економічні результати в різних галузях господарства, а також економічні оцінки соціальних і екологічних наслідків реалізації заходів науково-технічного прогресу. Вартісна оцінка супутніх результатів визначається за формулою:

$$R_{\mu t} = \sum_{t=t_p}^{t_k} R_t a_t \quad (5.10)$$

де  $R_t$  - вартісна оцінка результатів в t-му році розрахункового періоду;

$t_p$  - початковий рік розрахункового періоду (початковим роком вважається рік початку фінансування робіт зі здійсненням заходів, включаючи проведення наукових досліджень);

$t_k$  - кінцевий рік розрахункового періоду; визначається нормативними строками служби створюваних засобів праці (з врахуванням їх морального зносу).

Вартісна оцінка витрат - це витрати ( $V_{n.p}$ ) на впровадження нових технічних рішень за розрахунковий період включають витрати при виробництві ( $V_{vr}$ ) і при використанні продукції ( $V_{vn}$ ) без врахування витрат на її придбання [47]:

$$V_{n.p} = V_{vr} + V_{vn} \quad (5.11)$$

## 5.2 Собівартість продукції та її розрахунок

Одним із важливих узагальнюючих якісних показників ефективності виробництва є собівартість, що дозволяють здійснювати контроль над витратами та оцінювати результати господарської діяльності підприємства. Вона формується безпосередньо на підприємстві і відображає індивідуальні витрати та умови виробництва, а також конкретні результати господарювання цього виробничого підприємства.

Як правило, собівартість виробництва продукції завжди буде нижче на тих підприємствах, які мають великі масштаби. Це пов'язано з тим, що і партії сировини вони закуповують досить серйозні, і вартість таких поставок істотно нижче, ніж якщо закуповувати сировину дрібними партіями.

Найкраще завжди знаходити собівартість для кожної конкретної продукції і галузі, щоб напевно не забути нічого врахувати в дану суму. Приміром, багато починаючі підприємці забувають врахувати в собівартість витрати на комунальні послуги. Вони вважають, що оплата електроенергії та інших послуг — це не настільки істотні суми. Насправді у бізнесі немає дрібниць — поступово обороти почнуть збільшуватися і для великих партій суми вже будуть досить значними. Крім того, таким чином істотно збільшується навантаження на електропроводку і прискорюється її знос. Тому все це в обов'язковому порядку необхідно врахувати при розрахунку собівартості продукції.

У будь-якому випадку потрібно також стежити, щоб собівартість не була штучно завищена. Наприклад, доставка малих партій товарів істотно збільшує собівартість, так як за фактом бензину витрачається стільки ж, а ось товару вдається доставити за цей час набагато менше. Виробнича собівартість містить витрати виробничого етапу. Ними є:

- плата за сировину і основні виробничі матеріали;
- паливно-енергетичні витрати;
- заробітна плата;

- транспортні витрати (внутрішнє переміщення сировини і напівфабрикатів);
- ремонт і утримання основних засобів;
- амортизація основних фондів і НМА [48].

Собівартість розраховується за формулою:

$$C = M + M_d + Z_{o.v.1} + E_{св}, \text{ грн.} \quad (5.12)$$

де,  $C$  – собівартість;

$M$  – вартість матеріалу;

$M_d$  – вартість допоміжних матеріалів;

$Z_{o.v.1}$  - основна зарплата основних робітників на одиницю зразка;

$E_{св}$  – єдиний соціальний внесок у розмірі 22%.

Для калькулювання собівартості отриманого модифікованого полімеру нам потрібна ціна на використаний матеріал, ціни на матеріали які входили для отримання модифікованого композиту можна побачити в таблиці 5.2, кількість матеріалу показано у таблиці 3.1.

Таблиця 5.2 – Вартість матеріалів, які були використанні при науково-дослідницькій роботі.

№	Матеріал	Ціна, грн
1	Епоксидна смола (100 г)	43.50
2	Тальк (20 г)	13
3	Оксид алюмінію ( 1кг)	140

Щоб отримати вартість отриманого матеріалу використаємо формулу:

$$M = M_{ED-20} + M_T + M_{Al_2O_3} \quad (5.13)$$

Отримані данні занесемо у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок собівартості матеріалів

№ зразку	Хімічний склад	Вартість матеріалів, грн
1	ЕД-20 (вихідний зразок)	15,22
2	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0,5%)	15,46
3	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,0%)	15,71
4	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1,5%)	15,95
5	ЕД-20+ Тальк(0,75%)	15,39
6	ЕД-20+ Тальк(1,0%)	15,45
7	ЕД-20+ Тальк(1,5%)	15,56
8	ЕД-20+ Тальк(2,0%)	15,67
9	ЕД-20+ Тальк(12,5%)	18,06
10	ЕД-20+ Тальк(15,0%)	18,63
11	ЕД-20+ Тальк(17,5%)	19,20
12	ЕД-20+ Тальк(20,0%)	19,77
13	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (образец 2 типа)	15,34
14	ЕД-20+ тальк (образец 2 типа)	15,30
15	ЕД-20+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +тальк	45,86
Всього:		115,47

Основна зарплата основних робітників на одиницю полімерного зразка визначається за формулою:

$$Z_{\text{о.відр.1}} = C_{\text{Г}} \cdot T_{\text{сум.}} / 60 \quad (5.14)$$

де  $C_{\text{Г}}$  - годинна тарифна ставка, яка відповідає розряду роботи, грн.;

$T_{\text{сум.}}$  - сумарний час роботи;

Після проведених розрахунків отримуємо що, основна заробітна плата робітників дорівнює :



$$З_{\text{о.відр.1}} = 25 * 0,33 / 60 = 0,14 \text{ грн}$$

Відрахування у позабюджетні фонди основних робітників у грн., які приймаються у розмірі 22% від суми заробітної плати та розраховується за формулою:

$$E_{\text{св}} = З_{\text{о.в.1}} \cdot \text{Кп.ф.} / 100, \text{ грн.} \quad (5.15)$$

де, Кп.ф – єдиний державний податок у розмірі 22%

Проводимо розрахунок і отримуємо:

$$E_{\text{св}} = (0,14 * 22\%) / 100 = 0,000308 \text{ грн}$$

Враховуючи усі попередні розрахунки собівартість розробки полімерного зразка буде дорівнювати:

$$C = 115,47 + 3,46 + 0,14 + 0,000308 = 119,07 \text{ грн}$$

Економічний ефект такої наукової розробки можна розрахувати по формулі:

$$E_{\text{еф}} = (K_{\text{м}} + K_{\text{о}}) * C * N \quad (5.16)$$

де,  $K_{\text{м}}$  – коефіцієнт міцності;

$K_{\text{о}}$  – коефіцієнт вогнестійкості;

$N$  – кількість продукції.

Розрахуємо економічний ефект модифікованого полімерного зразка і він дорівнює:

$$E_{\text{еф}} = (2,85 + 1,61) * 119,07 * 150 = 79657,83$$

Тепер щоб порівняти розрахуємо собівартість та економічний ефект зразка до модифікування:

$$C=15,22+3,46+0,14+0,000308 = 18,82 \text{ грн}$$

$$E_{\text{ef}} = (1,0+1,0)*18,82*150 = 5646,0$$

### **5.3 Висновки**

Собівартість нового модифікованого полімеру більша за не модифікований але економічну ефективність він має вищу. Це пов'язано з тим що модифікований полімер має вищі механічні та експлуатаційні характеристики, тож це значить що він має більшу довговічність. Модифікування полімерів проводиться насамперед через те, що використання металів в багатьох галузях це дуже коштовне та не екологічне виробництво, а більшість полімерів мають такі ж високі характеристики як більшість металів, та низьку собівартість, що дозволяє з кожним роком все більш вивчати полімери та надавати їм необхідні властивості.

## **ВИСНОВКИ**

Модифікування полімерної матриці – це перспективний і актуальний розвиток матеріалознавства полімерних композиційних матеріалів, які досить широко використовуються в машино- та авіабудування. За результатами даної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Введення наночастинок тальку в кількості 0,75 % мас. призводить до збільшення межі міцності на 272% в порівнянні з не модифікованим зразком. Введення наночастинок оксиду алюмінію збільшує показник міцності на 278% , в порівнянні з не модифікованим.

2. Сумісний вплив наночастинок оксиду алюмінію та тальку призводить до збільшення межі міцності на 208%.

3. Було також виявлено, що концентрація тальку 1,0% та 1,5% викликає бурхливу термічну реакцію при змішування з епоксидним клеєм ЕД-20, що призводить до вспінення композиту.

4. При модифікуванні епоксидних смол слід враховувати не тільки форму та розмір наночастинок , але і рівномірність розподілу часток в об'ємі матриці, а так само їх агломерування в матеріалі, так як це може суттєво впливати на структуру та властивості полімерної матриці.

5. Собівартість нового модифікованого полімеру більша за не модифікований але економічну ефективність він має вищу. Це пов'язано з тим що модифікований полімер має вищі механічні та експлуатаційні характеристики, тож він має більшу довговічність.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Гурченко П.С. Композиционные и неметаллические материалы в машиностроении / Гурченко П.С., Дашкевич В.Г. - Учебное пособие. – Беларусь, БНТУ. – 2012. – 410 с.
2. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів / Суберляк О.В., Баштанник П.І. – Київ.:2006. - 270 с.
3. Коваленко О.А. Новые материалы: Учебное пособие. – Алчевск: ДГМИ, 2002. – 218 с.
4. Коломієць В.О., Поглинальні покриття НВЧ діапазона на основі композитних матеріалів / Коломієць В.О., Путяк Д.О., Черченко М.О. // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (випуск 32), Тернопіль, ст. 130-136
5. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / Под ред. Ю. М. Барона. — СПб.: Питер, 2012. — 512 с.
6. Справочник по композиционным материалам: В 2кн.: Пер. с англ.: / Под ред. Дж. Любина. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1. 448 с.; Кн. 2. 584 с.
7. Пахаренко В.А., Зверлин В.Г., Кириенко Е.М. Наполненные термопласты. -Киев: Техніка, 1986. -182 с.
8. Електронний ресурс [режим доступу [https://sdo.ivanovo.ac.ru/pluginfile.php/15004/mod\\_resource/content/1/.pdf](https://sdo.ivanovo.ac.ru/pluginfile.php/15004/mod_resource/content/1/.pdf) ]
9. Сокольская М.К. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов / М.К. Сокольская, А.С. Колосова, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10–2. – С. 290–295.
10. Власова И.Л. Материаловедение: учеб. пособие. — М.: ФГБОУ "УМЦ ЖДТ", 2016. — 129 с.

11. Dekkers MEJ, Heikens D. The effect of interfacial adhesion on the tensile behavior of polystyrene–glass-bead composites. *J Appl. Polym. Sci.* 1983;28: P. 3809–3915.
12. Huinan Liu, Thomas J Webster. Mechanical properties of dispersed ceramic nanoparticles in polymer composites for orthopedic applications. *International Journal of Nanomedicine* 2010;5 299–313.
13. T. Lan et. al. Clay-Reinforce Epoxy Nanocomposites, *Chem. Of Mater.* 6 (1994), P. 2216–2219.
14. K. Wang, L. Chen, J. Wu, M.L. Toh, C. He, A.F. Yee. Epoxy nanocomposites with highly exfoliated clay: Mechanical properties and fracture mechanisms. *Macromolecules.* 2005. 38. P. 788-800.85
15. Omrani, A., Simon, L.C., Rostami, A.A. The effects of alumina nanoparticle on the properties of an epoxy resin system. *Mater. Chem. Phys.* 2009, 114, P. 145-150.
16. Ng CB, Schadler LS, Siegel RW. Synthesis and mechanical properties of TiO<sub>2</sub>-epoxy nanocomposites. *Nanostructured Materials* 1999;12:507–510
17. S.H. Limetal. / *Materials Science and Engineering. A.* 527 (2010) P. 5670–5676.
18. Электронный ресурс [режим доступа <http://www.dpk-deck.ru/page/napolniteli.html> ]
19. Платэ Н. А., Литманович А. Д., Ноа О. В., Макромолеку-лярные реакции, М., 1977
20. Noraiham Mohamad, Andanastuti Muchtar, Mariyam Jameelah, Ghazali Dahlan, Hj. Mohd, Che Husna Azhari. The Effect of Filler on Epoxidised Natural Rubber-Alumina Nanoparticles Composites. *European Journal of Scientific Research.* Vol.24 No.4 (2008), P.538-547
21. S.H. Limetal. / *Materials Science and Engineering. A.* 527 (2010) P. 5670–5676.
22. E. Vassileva, K. Friedrich. Epoxy/Alumina Nanoparticle Composites. II. Influence of Silane Coupling Agent Treatment on Mechanical Performance and Wear Resistance. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 101, 4410–4417 (2006).

23. Z. Guo, T. Pereira, O. Choi, Y. Wang and H. Thomas Hahn. Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric nanocomposites with enhanced mechanical properties. *J. Mater. Chem.*, 2006, 16, P. 2800–2808.
24. M. Arroyo, M.A. Lopez-Manchado, J.L. Valentin and J. Carretero. Morphology/behaviour relationship of nanocomposites based on natural rubber/epoxidized natural rubber blends, *Compo. Sci. & Tech.*, 2006.
25. J. Jordan, K.I. Jacob, R. Tannenbaum, M.A. Sharaf, I. Jasiuk. Experimental trends in polymer nanocomposites – a review. *Materials Science and Engineering . A* 393 (2005). P. 1-11.
26. Чвалун С.Н. Полимерные нанокомпозиты // *Природа*. 2000. №7. 86 С. 22–30.
27. F. Caruso. Nanoengineering of Particle Surfaces. *Adv. Mater.* 2001.13
27. Мостовой А.С., Таганова А.А., Прокопович К.В., Яковлева Е.В. Модификация эпоксидных полимеров нанодисперсным оксидом алюминия. *Тонкие химические технологии*. 2017;12(5):21-27.
28. С. А. Трифонов, А. А. Малыгин, А. К. Дьякова, Ж.-М. Лопез-Квеста, Н. Синозеро. Термостабильность полимерных композиций с модифицированным оксидом алюминия. Электронный ресурс [режим доступа <http://www.chem.msu.su/rus/jvho/2008-1/42.pdf> ].
29. Машков Ю.К., Кропотин О.В., Суриков Вал.И. и др. / *Физическая мезамеханика* 10. 6 (2007) 109-114.
30. Зависимость электропроводности полипропилена от концентрации наполнителя и термообработки. 2009. Гайдаев А.А., Камалов А.Н.
31. Влияние графитовых нанопластин на термоокислительную деструкцию полиэтилена. Бревнов П.Н. Кирсанкина Г.Р, Заболотнов А.С, Крашенинников В.Г., Новокшонова Л.А., Монахова Т.В., Ломакин С.М., Берлин А.А.
32. Влияние структуры и морфологических особенностей наноуглеродного компонента на электрофизические свойства фторопластовых композиционных материалов Т. Г. Авраменко , Г. А. Максимова , Е. А. Иваненко , В. В. Михайловс , И. П. Шевченко , С. Л. Ревоа

33. Полубояров В. А., Коротаева З. А., Белкова Т. Б., Гончаров А. И., Трофимова А. С. Влияние модифицирования полимеров нанодисперсными керамическими частицами на свойства нанокompозитов // Вестник КемГУ. 2010. №1.
34. Трибология. Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ./под ред. В.А. Белого, К.Лудсмы, Н.К. Мышкина, Машино-строение. М.:1987, 205с.
35. Влияние размера частиц талька на межфазные взаимодействия композиционных материалов на основе полипропилена // Universum: Химия и биология : электрон. научн. журн. Тураев Э.Р. [и др.]. 2018. № 12(54).
36. Д. Э. Темнов, Е. Е. Фомичева, В. М. Стожаров. Влияние талька на электретные свойства и структуру полиэтилена высокого давления. Электронный ресурс [режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-talka-na-elektretnye-svoystva-i-strukturu-polietilena-vysokogo-davleniya> ].
37. В.Г. Шевченко. Основы физики полимерных композиционных материалов. МГУ, М. (2010). Электронный ресурс [режим доступа [http://nano.msu.ru/files/master/I/materials/mechanical\\_properties.pdf](http://nano.msu.ru/files/master/I/materials/mechanical_properties.pdf) ].
38. Ананьева Е.С. и др. Свойства эпоксидиановых связующих, модифицированных полиметилен-п-трифенилборатом и наночастицами различной природы // Ползуновский вестник. 2013. 1.
39. L. D. Rhein, M. Schlossman, A. O'Lenick, P. Somasundaran. Surfactants in personal care products and decorative cosmetics. E.3. 2006: Publisher CRC Press. P. 480.
40. BS ISO 14887 (2000), Sample preparation - dispersing procedures for powders in liquids. P. 24.
41. Хмелев В.Н. и др. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности // Бийск. 2010.
42. Нгуен Ле Хоанг. Разработка эпоксикремнийорганических материалов с улучшенными теплостойкостью и прочностными характеристиками//

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, 2017г.

43. Электронный ресурс [режим доступа <http://nanosized-powders.com/production/nanopowders/al2o3.php> ]

44. Электронный ресурс [режим доступа <http://rospolimer.ru/produktsiya/himicheskoe-syre/himicheskie-dobavki-dlya-betonov-suhih-stroitelnyh-smesej/talki-dlya-polimerov/> ]

45. ГОСТ Р 56785-2015 Композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов. Электронный ресурс [режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200131389>].

46. Енциклопедія сучасної України. Электронный ресурс [режим доступа [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=18769](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=18769) ]

47. «Экономика предприятия». учебник. под редакцией доктора экономических наук, профессора Н. А. Сафронова.

48. Электронный ресурс [режим доступа <https://i.factor.ua/ukr/journals/nibu/2016/april/issue-32/article-17156.html> ]