НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНИХ СИЛ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

КАФЕДРА СПЕЦІАЛЬНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему: «Розробка складу вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів»

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти,
групи ХТк-20-245
галузі знань (освітньо-професійної програми)
16 «Хімічна інженерія та біоінженерія»,
за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія», (ОПП «Радіаційний та хімічний захист»)

Ганна РАДЧЕНКО
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Ольга СКОРОДУМОВА
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Антон ЧЕРНУХА
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Харків – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Факультет (підрозділ) оперативно-рятувальних сил
Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології
Галузь знань 16 «Хімічна інженерія та біоінженерія»
Спеціальність 161 «Хімічні технології та інженерія»
Освітньо-професійна програма «Радіаційний та хімічний захист»
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник кафедри спеціальної
хімії та хімічної технології
_____Євген СЛЕПУЖНІКОВ
«____» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА ПІДГОТОВКУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Радченко Ганни Миколаївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка складу вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів»
керівник роботи Скородумова Ольга Борисівна д.т.н., професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом НУЦЗ України від «31» січня 2024 року № 20
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 4 квітня 2024 року
3. Кваліфікаційна робота виконується на матеріалах: рідке скло, ортофосфатна кислота, оцтова кислота, діамонійгідрофосфат, амоній дігідрофосфат, дігідрофосфат натрію
4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити): написання літературного огляду, приготування та дослідження експериментальних вогнезахисних композицій та покриттів, підведення підсумків дослідження, написання розділу з охорони праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень/слайдів): мультимедійні слайди в кількості 15 штук

6. Консультанти за розділами кваліфікаційної роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Мінська Н.В., доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології	12.02.2024	22.03.2024

7. Дата видачі завдання 31.01.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва заходів кваліфікаційної роботи	Строк виконання заходів роботи	Відмітка про виконання
1	Отримання завдання	31.01.2024	
2	Збір інформації та аналітичний огляд літератури	01.02.2024	
3	Встановлення характеристик вихідних реактивів та методики дослідження	13.02.2024	
4	Розробка складу вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів	20.02.2024	
5	Охорона праці в хімічній лабораторії	22.03.2024	
6	Подання роботи на рецензування	26.03.2024	
7	Подання роботи на передзахист	04.04.2024	
8	Подання роботи на захист	08.04.2024	

Завдання одержав
здобувач вищої освіти _____ Ганна РАДЧЕНКО
(підпис) (Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання надав
керівник роботи _____ Ольга СКОРОДУМОВА
(підпис) (Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Звіт про КР : 52 с., 9 рис., 9 табл., 37 джерел.

Ключові слова: антипірени, будівельні матеріали, вогнезахисні покриття, вогнестійкість, Золі SiO_2, , просочування.

Об'єкт досліджень: вогнезахист будівельних матеріалів.

Мета роботи: розробити склад вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів.

Стислий зміст роботи та висновки:

Метою кваліфікаційної роботи є розробка складу вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів. Проведено огляд та аналіз досліджень пов'язаних з характеристикою будівельних матеріалів із деревини та спіненого полістиролу, підвищенні їх вогнестійкості та одержання вогнезахисних покриттів, використовуючи різні методи та склади. Наведено характеристику хімічних речовин, що використовуються в ході дослідження, такі як: рідке скло, ортофосфатна кислота, оцтова кислота, діамоній гідрофосфат, амоній дігідрофосфат, дігідрофосфат натрію. Розроблено склад вогнезахисних композицій на основі рідкого скла. Досліджено вплив вмісту ортофосфатної кислоти на реологічні властивості вогнезахисних композицій. Виконано вогневі випробування зразків деревини, захищених розробленими композиціями. Показано, що нанесення одного шару вогнезахисного покриття переводить зразки деревини в групу важкогорючих. Наведено правила охорони праці під час виконання досліду в хімічній лабораторії та описано небезпечні фактори при поводженні з небезпечними хімічними речовинами та засоби індивідуального захисту від їх небезпечного впливу.

Область використання: розроблені склади вогнезахисних композицій можуть бути використанні для вогнезахисту будівельних оздоблювальних матеріалів.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ …….	7
ВСТУП…….	8
1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД……..	9
1.1 Загальні відомості та класифікація будівельних матеріалів ……...	9
1.2 Вогнезахист та види вогнезахисних покриттів ……	10
1.3 Вогнезахист деревних матеріалів і конструкцій……...	11
1.4 Вогнезахист полімерних будівельних матеріалів (ПБМ)…….....	15
1.5 Токсичність продуктів горіння полімерних будівельних матеріалів (ПБМ)……...	17
1.6 Висновки до розділу…….	20
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ…….	21
2.1 Характеристика вихідних компонентів.....	21
2.2 Методика отримання експериментальних золів …….	21
2.3 Методи дослідження експериментальних композицій	22
2.4 Визначення силікатного модуля рідкого скла……..	22
2.4.1 Перевірка місткості лабораторного посуду……	23
2.4.2 Практичне проведення стандартизації розчину HCl за наважкою Na_2CO_3……	26
2.4.3 Визначення силікатного модуля рідкого скла……	29
2.5 Висновки до розділу…….	32
3.РОЗРОБКА СКЛАДУ ВОГНЕЗАХИСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ……...…….	33
3.1 Дослідження впливу вмісту ортофосфатної кислоти на вогнестійкість покриттів……...……...	33

3.2 Дослідження впливу силікатного модуля SiO_2 на реологічні вогнезахисні властивості покриттів для будівельних матеріалів……..	35
3.3 Отримання вогнезахисних покриттів по поверхні деревини……...	36
3.4 Дослідження впливу експериментальних покриттів на вогнезахист деревин……...	37
3.5 Висновки до розділу…….	40
4. ОХОРОНА ПРАЦІ…….	42
4.1 Загальні вимоги до охорони праці в хімічній лабораторії……...	42
4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори у хімічній лабораторії……	43
4.3 Аналіз та причини виникнення виробничого травматизму в хімічній лабораторії……...	46
4.4 Висновки до розділу ……	47
ВИСНОВКИ……	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГДК – Гранично допустима концентрація

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій

ЗІЗ – Засоби індивідуального захисту

КЗпП – Кодекс законів про працю України

МНС – Міністерство надзвичайних ситуацій України

ПБМ – полімерний будівельний матеріал

ППУ - пінополіуретани

ВСТУП

За останні кілька років в Україні спостерігається підвищений інтерес до результатів наукових досліджень в галузі розробки високоефективних засобів захисту будівельних конструкцій від впливу пожежі, а також їх впровадження.

Одним із недоліків будівельних матеріалів із деревини та полімерів є те, що вони здатні до горіння та швидкого розповсюдження полум'я, що призводить до охоплення великої площі пожежі, а отже завдає великі матеріальні збитки. Неконтрольовані пожежі становлять небезпеку для життя і майна, оскільки вони виділяють дим, токсичні сполуки, корозійні сполуки і теплові небезпеки на всіх стадіях пожежі [1-3].

Саме вогнезахист забезпечує обмеження розповсюдження вогню та, навіть, уповільнення й припинення розвитку пожежі на початкових стадіях. Він може бути здійснений за рахунок використання вогнезахисних речовин.

Підвищення вогнестійкості будівельних матеріалів буде набувати ще більшого попиту в майбутньому. Цього можна досягти покриттям та просочуванням вогнезахисними речовинами горючих матеріалів. Однак не всі речовини, що використовуються для обробляння є нетоксичними та деякі мають короткий термін дії. Тому для вогнезахисних речовин висуваються ряд вимог, наприклад, щоб при обробленні, будівельний матеріал не втрачав своїх властивостей, не мав неприємних запахів, не змінював колір, текстуру та інше.

Аналіз, проектування, регулювання та вирішення пожежної небезпеки матеріалів вимагає кращого розуміння пожежної небезпеки матеріалів, впливу та динаміки поширення горіння при пожежі, враховуючи при цьому різні фактори, які теж мають вплив на процес горіння. Оцінка пожежної небезпеки будівельних матеріалів є складним завданням, оскільки на цей процес впливає дуже багато змінних. Ці змінні включають властивості і склад матеріалу, умови навколишнього середовища і вплив огороджувальних конструкцій.

Мета роботи - розробити склад вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні відомості та класифікація будівельних матеріалів

Будівельні матеріали – це природні або штучні речовини різного складу, структури, форми і властивостей що використовуються для виконання певних функцій у будівництві та оздобленні будівель і споруд або як збірні вироби і конструкції [4].

Загальна класифікація будівельних матеріалів здійснюється за їх походженням, тобто поділяються на природні (вироби з каменю, деревини, піску та глини) та штучні (гіпс, вапно, черепиця, полімерні вироби). Також існує класифікація за призначенням та функціями (конструкційні, ізоляційні, облицювальні) та фізико-механічними властивостями (жорсткість, міцність, вогнестійкість, довговічність) [4].

Під вогнестійкістю розуміють здатність будівельного виробу витримувати протягом певного часу теплові прояви на нього, при цьому не змінюючи своїх форм та властивостей [5].

Будівельні матеріали мають такі фізико-механічні властивості як пористість, твердість, густина, міцність на стиск, стійкість до пружних та деформаційних напружень, повзучість, корозійна стійкість, водопоглинення, температура деформації під навантаженням, теплопровідність, теплоємність, термостійкість, вогнетривкість тощо [6].

З точки зору того, що багато будівельних матеріалів здатні вступати в реакцію горіння, а вони безпосередньо оточують людину та є частиною її побуту, важливо забезпечити пожежну безпеку за допомогою технологічних операцій вогнезахисту з метою запобігання поширення пожежі та мінімізувати людські втрати та матеріальні збитки. Але перед цим важливо дослідити поведінку горіння кожного типу будівельних матеріалів, їх склад та властивості.

Наприклад, горіння синтетичних матеріалів супроводжується плавленням і падінням палаючих крапель, що є найнебезпечнішою стадією пожежі, оскільки запалює поверхню інших матеріалів поруч, а горіння природних матеріалів

супроводжується карбонізацією і не призводить до плавлення чи розм'якшення [7-9].

1.2 Вогнезахист та види вогнезахисних покриттів

Під вогнезахистом розуміють систему заходів, спрямованих на зниження пожежної небезпеки будівельних матеріалів та конструкцій за допомогою спеціальних технологічних операцій [10].

Вогнезахист може бути досягнутий за допомогою речовин і матеріалів, фізико-хімічні властивості яких забезпечують вогнезахист, для зниження пожежної небезпеки будівельних матеріалів і підвищення їх вогнестійкості.

Існують такі види та заходи вогнезахисту як:

- вогнезахисне обробляння;
- глибоке або поверхневе просочування вогнезахисним засобом;
- покриття вогнезахисним засобом [10].

Не зважаючи на тип покриття вони виконують головну функцію – це захист від теплового впливу вогню, а відрізняються побічними властивостями, які теж мають вагомий внесок у забезпечення вогнезахисту поверхні матеріалу, наприклад утворення коксового шару, поглинання тепла внаслідок розкладання, виділення у процесі горіння газів, які уповільнюють процес горіння тощо [9].

Загальна класифікація покриттів базується на тих, які спучуються та тих, що не спучуються [5].

Покриття, що не спучуються – це ті речовини, які при нагріванні не змінюють структуру, розміри та товщину шару, який був нанесений на поверхню матеріалу. Відповідно, покриття, що спучуються – це покриття, які при нагріванні утворюють товстий шар, тобто спінюються, надійно захищаючи поверхню будівельного матеріалу. Як показує практика, покриття, що спучуються значно ефективніші, тому що внаслідок теплового впливу утворюється спінений шар, який є закоксованим розплавом негорючих речовин, а утворений вспінений шар володіє теплоізоляційними властивостями [5,9].

Залежно від виду конструктивного матеріалу та речовини, з якої він виготовлений обирають відповідно вид та речовину для просочення або покриття.

1.3 Вогнезахист деревних матеріалів і конструкцій

Деревина - один з найстаріших і найпоширеніших матеріалів у світі, який має багато переваг як будівельний матеріал. Деревина є відновлюваним ресурсом, легким в обробці та довговічним органічним матеріалом. Вона не становить серйозної загрози для навколишнього середовища і, на відміну від деяких інших матеріалів, у неї можлива вторинна переробка. Деревина як будівельний матеріал має один суттєвий недолік - вона є горючою речовиною і становить велику загрозу виникнення пожежі та її розповсюдження. Тому її вогнезахист є першочерговою задачею, перш ніж її будуть використовувати в якості будівельного матеріалу для виконання визначених функцій [5, 9].

Дерева можна розділити на дві основні категорії: хвойні та листяні. Фізична структура та хімічний склад цих двох видів дерев суттєво відрізняється. Отже, ботанічна категорія, а також вміст вологи в деревині має значний вплив на вогнестійкість. Процес горіння передбачає карбонізацію, але наявність неорганічних речовин, таких як антипірени, впливає на швидкість цього процесу, в результаті чого утворюється більше деревного вугілля і менше горючих летючих речовин [5].

Фосфатні солі і сполуки бору (бура і борна кислота) є найпоширенішими антипіренами, вони розчинні у воді і виявляють нестійкість до вилуговування в умовах вологості та вологості. Для зовнішнього застосування були розроблені композиції, що відзначаються стійкістю до вилуговування. Залежно від конкретної хімічної речовини, використованої в процесі, вогнезахисні просочення або знижують швидкість обвуглювання деревини під дією звичайних умов пожежі, або не мають на неї впливу взагалі [11].

Часто вироби з деревини піддаються обробці вогнезахисними хімікатами з метою підвищення їх протипожежних властивостей. Це робиться для відповідності конкретним будівельним нормам, які стосуються внутрішніх оздоблювальних

матеріалів та горючих елементів конструкцій. Вогнезахисні хімікати можуть наноситися шляхом обробки під тиском або включатися до складу поверхневого покриття [12].

Застосування антипіренів під тиском суттєво покращує вогнезахисні властивості поверхні дерев'яних виробів. Однак цей процес може призвести до зниження міцності самої деревини [13].

Для ефективного вогнезахисту дерев`яних матеріалів потрібно унеможливити не лише горіння, але й тління [9].

У таблиці 1.1 наведено основні антипірени, які використовуються для вогнезахисного обробляння виробів з деревини.

Таблиця 1.1.

Перелік основних антипіренів

Формула	**Назва**
$(NH_4)_2HPO_4$	Фосфорнокислий амоній двозаміщений. Діамоній фосфат
$(NH_4)H_2PO_4$	Фосфорнокислий амоній однозаміщений. Фосфат амонію
$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	Бура тетраборнокислий натрій
$Al(OH)_3$	Гідроксид алюмінію

Щоб отримати вогнезахищені дерев'яні матеріали, існують різноманітні методи просочування :

- поверхневе просочування;
- вогнезахисне заповнення;
- поверхневе обробляння [10].

Підхід до вогнезахисту обумовлюється характеристиками самого вогнехахисного засобу, особливостями об'єкта, що потребує захисту від вогню, та умовами його подальшої експлуатації [10].

Під вогнезахисним просочуванням розуміють проведення технологічних операцій вогнезахисту з використанням проникаючих вогнезахисних засобів на матеріал, який потребує просочення [10].

Поверхневе просочування здійснюється шляхом нанесення на поверхню за допомогою різноманітних інструментів, таких як пензель, щітка, валик, або за допомогою механічних пристроїв для повітряного або безповітряного розпилення. Це також може включати метод вимочування та метод "прогрів - холодна ванна" [10].

Глибоке просочування виконується в спеціальних контейнерах, таких як автоклави, які герметично закриваються, з використанням вакууму та/або надлишкового тиску [10].

Хороші ізолювальні властивості мають склади на основі поліфосфатів епоксидних і формальдегідних смол. Для стабілізації спучених покриттів в умовах високих температур вводять аеросил, перліт і деякі оксиди металів. До вогнезахисних фарб іноді додають пігменти, загусники та розчинники. В умовах високотемпературного нагрівання компоненти «працюють» в такому порядку, який забезпечує вивільнення фосфорної кислоти, дегідратацію та етерифікацію поліолу, розм’якшення композиції, виділення газів для спінювання, утворення вуглецево-фосфорних залишків, спінювання карбідної маси негорючими газами і водяною парою, гелеутворення і затвердіння пінного шару. Така послідовність може бути досягнута при відповідних температурних параметрах і швидкостях процесу [14].

Вогнезахисні та металізовані покриття менш ефективні, їх наносять товстим шаром для досягнення ізоляційного ефекту. Металізовані покриття тимчасово запобігають досягненню критичних умов горіння завдяки локальній теплопровідності матеріалу. Обидва типи покриттів (оброблені склади, які утворюють шар на поверхні об’єкта, що захищається в результаті вогнезахисту) відносяться вогнезахисні лаки, фарби та обмазки.

В основі лакофарбових матеріалів лежать синтетичні плівкоутворювальні речовини – олігомери та полімери. Вогнезахисні лакофарбові матеріали локалізують процес горіння і сповільнюють швидкість поширення вогню, що робить їх ефективними засобами пожежогасіння. Однак тривалий вплив високих температур спричиняє втрату адгезії до основи, оголюючи горючі матеріали. Тому

її використовують для покриття зовнішніх стін дерев'яних будівель, як самостійно, так і в складі. У разі пожежі значна кількість тепла відводиться холодною масою навколишнього повітря. Використовується для внутрішнього оздоблення деревини, просоченої антипіренами [14].

Вогнезахисні покриття залежать від типу в'яжучого. Як правило, основним інгредієнтом вогнезахисних силікатних покриттів (ВП) є натрієве (калієве) «рідке скло» – зв'язуюче з механічної суміші антипіренів і волокнистих матеріалів. Рецептура будь-якої силікатної композиції базується на схожій схемі, з єдиною різницею в складі пігментів, що використовуються для забарвлення готового покриття. Коли до силікатної основи добавок, стабілізаторів і мінералів, що набухають (наприклад, вермикуліту), призводить до отримання високов'язкої композиції, тобто вогнестійкої мастики (рис.1.1) [14].

Рис.1.1 – Спучені покриття по деревині [14]

До вогнезахисних покриттів на основі полімерів відносяться такі препарати як Pyrotech, меламіноформальдегідні смоли та суміші фенольних і акрилових смол, які використовуються як антипірени та зв'язуючі для текстильних компонентів. Покриття на основі сечовини (Барріер 87) у поєднанні з ортофосфатими є найефективнішими, але їх використання аналогічне до покриттів на основі силікатів. Як і у випадку з силікатними фарбами, їх використання аналогічне до покриттів на основі силікатів. Як і у випадку з силікатними фарбами, їх

використання обмежене через високу розчинність у воді та кислотне або лужне середовище, яке вони утворюють [14].

За кордоном розроблено метод обробки деревини, заснований на зв`язуванні брому з лігніном шляхом термохімічної обробки. Деревину подають у розчин бромистого калію, натрію або магнію, а потім обробляють газоподібним хлором за відповідних умов. Бром додається в кількості 4-6% від маси сухої деревини, він не звітрюється і не вимивається. В результаті просочення міцність дерев'яних елементів не знижується, колір деревини суттєво не змінюється, але деревина стає важчою. Деревина просочена бромом не горить під впливом вогню [9].

1.4 Вогнезахист полімерних будівельних матеріалів

Полімери – це природні та штучні макромолекулярні сполуки, молекули яких складаються з великої кількості повторюваних однакових або різних атомних груп, з'єднаних між собою в довгі лінійні або розгалужені ланцюги хімічними або координаційними зв'язками [15].

Будівельні матеріали та вироби, що створені на основі полімерних органічних речовин поділяють на групи за типом основного полімеру, що використовується в їхньому складі, методом виробництва та галуззю застосування в будівництві [16].

Вогнестійкість полімерних будівельних матеріалів можна підвищити, активно впливаючи на кожну стадію горіння фізичними та хімічними засобами. Найпоширенішими методами є:

- хімічна модифікація полімерів;
- введення наповнювачів;
- введення антипіренів, димоподавлювачів та інших цільових речовин та матеріалів;
- нанесення вогнезахисних покриттів;
- комбінація декількох методів [9].

Механізм горіння та піролізу полімерів можна зобразити наступною схемою (рис.2) (R – молекула полімеру). Саме виділення атомарного водню і

гідроксильних радикалів веде до утворення розгалуженого ланцюга, сприяє протіканню ланцюгової реакції розповсюдження фронту полум'я у газовій сфері [9].

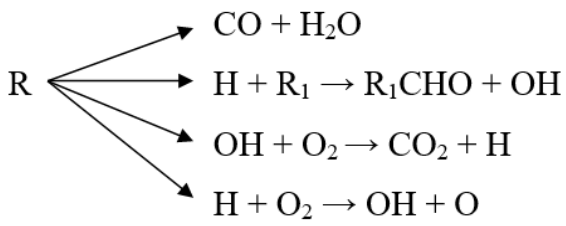

Рис.1.2 Схема горіння полімерів [9]

Додавання галоїдопохідних, кремнійорганічних сполук, а також антипіренів підвищують вогнестійкість ПБМ. Антипірени, що містять фосфор або бор, можуть запобігати тлінню і повторному займанню полімеру після згоряння [9, 17].

За механізмом дії антипірени поділяють на групи:

- які створюють захисні плівки та сприяють підвищенню коксуванню;
- галоїдомісткі, що інгібують радикальні ланцюгові процеси у газовій фазі;
- що розкладаються з виділенням негорючих газів [17].

Існують також речовини, які не є антипіренами, але здатні підсилювати їх дію – синергісти. Яскравим прикладом є триоксид сурми [9].

До антипіренів та синергістів висуваються певні вимоги:

- володіти високою ефективністю полум'яногасячої дії;
- добре поєднуватися з полімерами;
- мати нетоксичні властивості;
- бути доступними;
- мінімально впливати на фізико-механічні властивості матеріалу [9, 17].

Найбільш розповсюдженим, дієвим і вигідним способом забезпечення вогнестійкості будівельних матеріалів є застосування антипіренів в низьких концентраціях. Наприклад, введення в структуру полімеру ізоціануратних ланцюгів знижує горючість поліуретану (ППУ). При термічній обробці ППУ з введеними ізоціануратними ланцюгами утворюються стабільні фрагменти з

подвійними зв’язками. Завдяки цій властивості структура таких пінопластів не руйнується при нагріванні до 600 ºС [9,17].

Звільнення водню є важливим фактором для зниження горючості ПБМ. Оскільки структура галоїдовмісних сполук визначає ефективність антипіренів, для збереження вогнезахисних властивостей до складу додають оксиди й сульфіди сурми, вісмуту, алюмінію, цинку, миш’яку та ін. Ці речовини утворюють захисну плівку, яка обмежує доступ кисню [9,17].

Найкращим способом отримання вогнезахищених ППУ є їх синтез і модифікація з метою підвищення термічної стабільності. Традиційними методами зниження горючості є введення неорганічних наповнювачів (тонкомелені силікати, азбест, перліт, склобісер). Крім того, для підвищення вогнестійкості використовують велику групу антипіренів на основі галоген- і фосфоровмісних речовин, комплексів металів з амінами і мікрокапсульованих додатків. Ці методи роблять поліуретанові вироби важко займистими [9].

Для кожного типу полімеру характерні свої методи підвищення вогнестійкості.

1.5 Токсичність продуктів горіння полімерних будівельних матеріалів

Притаманна багатьом полімерам горючість, особливо матеріалам з високим вмістом вуглецю, означає, що необхідні заходи для забезпечення безпечного використання цих матеріалів там, де існує ризик виникнення пожежі. Для багатьох полімерів найбільш економічно ефективним способом підвищення пожежної безпеки є додавання антипіренів під час переробки [18].

Основні антипірени, які зараз використовуються в полімерах, включають галогенні сполуки, фосфорні сполуки та низку неорганічних сполук.

Існуючі антипірени можна розділити на наступні групи:

- неорганічні антипірени (гідроксид алюмінію, гідроксид магнію, поліфосфат амонію, червоний фосфор тощо);
- галогенові антипірени (хлор, бром);

- фосфорорганічні антипірени ;
- азотовмісні антипірени [19].

Антипірени підбираються для кожного полімеру окремо, щоб забезпечити максимальну вогнестійкість при додаванні до полімеру. Всі вони по суті запобігають або інгібують процес горіння шляхом хімічної або фізичної дії в газоподібній або конденсованій фазі. У таблиці 1.2 перераховані антипірени, які широко використовуються в багатьох полімерах (та наведені рекомендовані концентрації, мас.%).

Таблиця 1.2.

Перелік антипіренів, які широко використовуються в полімерах

Полімер	**Назва антипірену**
Поліетилен	Декабромдифенілоксид (21 %)
Поліпропілен	Тетрабромбісфенол А (6-15%)
Полівінілхлорид	Тригідрат оксиду алюмінію (60%)
Поліамід	Поліфосфат амонію (13%)
Епоксидні смоли	Тетрабромбісфенол А (18%)

Існують докази того, що полібромдифенілові ефіри, які широко використовуються як антипірени, є досить небезпечними забруднювачами навколишнього середовища [20, 21]. Крім того, є дані, що ці сполуки накопичуються в організмі людини в небезпечних концентраціях і є гепатотоксичними, нефротоксичними та гонадотоксичними. Слід зазначити, що гексаполібромізовані дифенілові ефіри є основною формою, що потрапляє в організм людини із забрудненими продуктами харчування [22].

У США основним джерелом надходження полібромдифенілових ефірів в організм людини є домашній пил. Рівень споживання полібромдифенілових ефірів становить 7,7 нг/кг маси тіла на добу для дорослих американців і 49,3 нг/кг добу для дітей віком до 5 років. Споживання полібромізованих дифенілових ефірів також вивчалося у китайців, які їли забруднену рибу; середній рівень споживання з грудним молоком для дітей віком до 1 року становив 48,2 нг/кг. В інших вікових

групах воно коливалося в межах 1,7-12,9 нг/кг. При інгаляційному надходженні – 2,7-9,2 нг/кг.

Слід зазначити, що в останні роки інтенсивні токсикологічні дослідження бромованих антипіренів у всьому світі дозволили не тільки виявити нові деталі їх токсичного впливу на здоров'я людини, але й встановити закономірності екотоксичності глобальних стійких органічних забруднювачів, таких як діоксини, які за біологічними властивостями, токсикокінетикою та патогенетичними механізмами отруєння подібні до антипіренів [22].

Хлоровмісні антипірени містять велику кількість хлору і діють переважно в газовій фазі. Цей тип антипіренів також має низьку вартість і високу світлостійкість, але вимагає високих концентрацій при введені в полімерні матеріали для досягнення необхідного класу пожежної безпеки.

Існує три основні типи хлоровмісних антипіренів: хлорпарафіни, хлоралкілфосфати та хлоровані циклоаліфатичні вуглеводні. За нормальних умов токсичність цих типів антипіренів відносно низька, а їхнє місцеве подразнення слабке. Однак для визначення характеру їхнього впливу на організм людини необхідні додаткові випробування на токсичність.

На сьогоднішній день токсичності антипіренів, які широко використовуються в полімерній промисловості, приділяється недостатньо уваги. Класифікація антипіренів за їх токсикологічними властивостями ще не є загальноприйнятою, а також відсутні систематичні дослідження впливу додавання (або обробки) матеріалів цієї групи сполук на токсикологічні властивості продуктів згоряння вогнезахисних композицій, порівняно з необробленими зразками.

Таким чином, незважаючи на очевидні переваги використання антипіренів для виробництва вогнестійких полімерних композитів, не слід забувати про потенційну небезпеку продуктів піролізу самих антипіренів.

1.6 Висновки до розділу

Під час проведення аналітичного огляду було виявлено, що за своїми фізико-механічними властивостями будівельні матеріали на основі деревини та полімерів потребують заходів щодо підвищення їх вогнетривкості, через те, що вони є потенційною загрозою виникнення та розповсюдження пожежі. Також було з'ясовано, що найбільш застосовуваними вогнезахисними речовинами є антипірени, але варто зауважити, що серед своїх переваг, вони здатні виділяти небезпечні продукти піролізу, які є дуже токсичними. Антипірени частково розкладаються під час термічної обробки та забруднюють навколишнє середовище.

Звертаючи увагу на проблему вогнезахисту будівельних матеріалів, було прийнято рішення щодо розроблення нового складу вогнезахисних композицій, який буде доступним, надійним, виконуватиме функції вогнезахисту та при тепловому впливі не утворюватиме токсичні речовини.

Мета роботи – розробити склад вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів за допомогою використання дешевих та безпечних речовин.

Досягнення поставленої мети залежить від успішного вирішення наступних задач:

- Визначення силікатного модуля рідкого скла;
- Дослідження впливу вмісту ортофосфатної кислоти на вогнестійкість покриттів;
- Дослідження впливу силікатного модуля SiO_2 на реологічні вогнезахисні властивості покриттів для будівельних матеріалів;
- Дослідження впливу експериментальних покриттів на вогнезахист деревини.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика вихідних компонетів

В ході дослідження я використовувала такі хімічні реактиви:

Рідке скло	ISO 1690:1976
Ортофосфатна кислота	ISO 22000
Оцтова кислота	ДСТУ 13189:2019
Діамоній гідрофосфат	DAP 21-53-0
Амоній дігідрофосфат	CAS 7722-76-1
Дігідрофосфат натрія	ISO 3360:2008

2.2 Методика отримання експериментальних золів

Приготування вогнезахисних покриттів здійснювала за допомогою перемішування рідкого скла, оцтової та ортофосфатної кислоти з використанням ванного методу. Потім нанесла перший шар покриття та висушила в сушильній шафі при температурі 80 ℃, після чого нанесла другий шар та аналогічно висушила в сушильній шафі при температурі 80℃, а наприкінці нанесла розчин антипіренів за допомогою розпилювання та також висушила в сушильній шафі (рис.2.1).

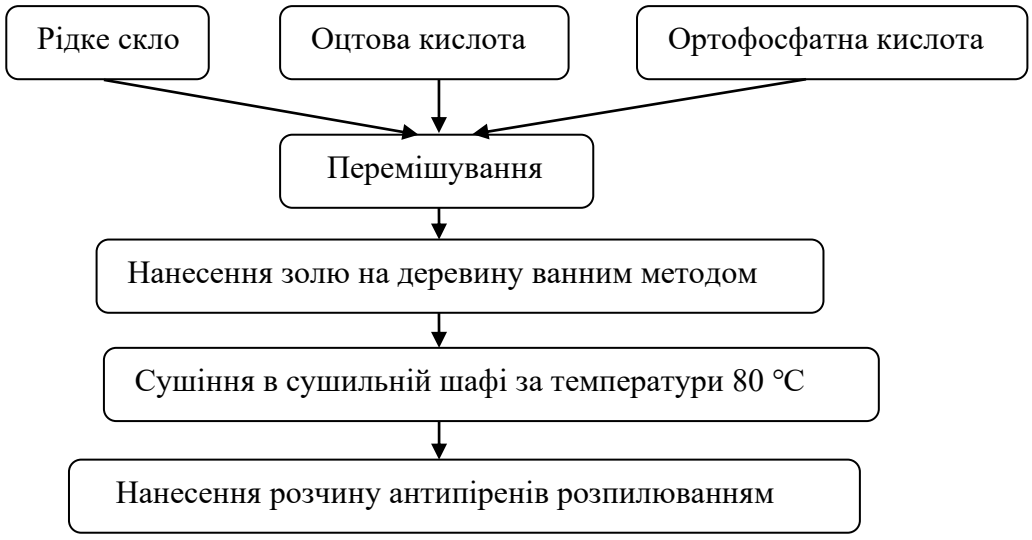

Рис.2.1 – Схема приготування та нанесення вогнезахисних покриттів на деревину

2.3 Методи дослідження експериментальних композицій

2.3.1. Вихідні компоненти перемішували за допомогою магнітної мішалки Heidolph MR Hei Standart.

2.3.2. Отримані гелі сушили в сушильній шафі СНОЛ-3,5. 3,5. 3,5 - И1 (ТУ 16 - 681.032 - 84).

2.3.3. За допомогою універсального індикаторного паперу визначали pH отриманого розчину.

2.3.4. За допомогою фотоколориметру КФК-2 було визначено оптичну густину отриманого золю у кварцовій кюветі з довжиною оптичного шляху 50 мм, при довжині хвилі 490 нм. Еталоном порівняння була дистильована вода. З інтервалом у 2 хвилини проводили заміри для фіксації початку прихованої коагуляції.

2.3.5. Мікроструктуру отриманих вогнезахисних покриттів дослідили за допомогою оптичного мікроскопа Digital Microscope S10 1000^x у відбитому світлі.

2.3.6. Вогневі випробовування досліджуваних зразків проводили на лабораторній установці (рис. 2.2), яка складається з: керамічного коробу, металічної підставки для кріплення керамічного короба з газовою горілкою, газового балону, тримача дослідного зразка, що фіксує його положення по центру короба, датчика температури, електронного вимірювального блока ІТМ та програмного забезпечення ІТМ.

2.4 Визначення силікатного модуля рідкого скла

Інформація про силікатний модуль рідкого скла є важливою для розуміння його хімічного складу та характеристик. Перед тим, як визначити силікатний модуль, щоб прогнозувати поведінку рідкого скла при змішуванні з іншими речовинами та його процес затвердіння, а також властивості кінцевого продукту, необхідно забезпечити чистоту та створити сприятливі умови для проведення експерименту. В цьому сенсі важливим етапом досліджень є градуювання лабораторного посуду.

Рис.2.2 - Лабораторна установка з визначення вогнестійкості зразків деревин

2.4.1 Перевірка місткості лабораторного посуду

Перевірка місткості лабораторного посуду здійснюється з декількох причин:

- для точного вимірювання об’ємів речовин (у лабораторних дослідах і хімічних реакціях необхідно користуватися точними об’ємами речовин. Перевірка ємності посуду забезпечує той факт, що ми використовуємо правильну кількість реагентів, що призводить до отримання більш точних і повторюваних результатів);
- для збереження вихідних даних (детальне розуміння об’єму лабораторного посуду, яке використовується в експерименті, має важливе значення для документування та повторення цього досліду);

- для відповідності нормативним вимогам (деякі лабораторії повинні відповідати нормативним вимогам щодо точності та ведення обліку лабораторного посуду) [23];

Найрозповсюдженими методами перевірки місткості посуду є: зважування, використання відградуйованих мірних приладів та еталонних розчинів [23].

Під час проведення досліду я проводила перевірку місткості такого лабораторного посуду: мірної колби на 200 см^3, піпетки на 20 см^3 та бюретки на 25 см^3.

Перевірку місткості мірної колби на 200 см^3 проводила за методикою зважування, у такому порядку:

Спочатку відкалібрувала колби на вливання, тобто на вміст у них певного об'єму рідини. Калібрування мірних колб провела на електронних вагах з точністю вимірювання 0,01 г. Перед калібруванням виміряла температуру дистильованої води, яка використовується для заповнення колби (вона не повинна відрізнятись від температури навколишнього повітря більш, ніж на 10 °С). Ретельно вимиту суху колбу помістила на електронні ваги.

Колбу заповнила дистильованою водою до мітки, витерла зовні рушником і видалила стрічками фільтрувального паперу краплі води на внутрішній поверхні шийки колби і знову помістила на електронні ваги.

Провела три зважування, отримані результати записала у таблицю 2.1. А визначення об'єму мірної колби провела декілька разів до отримання відтворюваних результатів, при цьому результати зважувань не повинні відрізнятись більш, ніж на ±0,1 г.

Результати вимірювань наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Результати перевірки місткості мірної колби на 200 см^3

№	Δm, г	V, мл	$\overline{V} \pm t_f^P S_{\overline{V}}$, мл
1.	-0,31	200,79	200,79±0,01
2.	-0,30	200,78	
3.	-0,31	200,79	

Статистична обробка результатів:

1) Розраховуємо значення поправок (A+B+C) для t = 17,4 °C:

$$\frac{\Delta(A+B+C)}{\Delta t} = \frac{(2{,}49-2{,}33)}{(18-17)} = 0{,}16 \text{ г/(дм}^3 \cdot \text{°C)}$$

$$(A+B+C) = 2{,}33 + (17{,}4 - 17{,}0) \cdot 0{,}16 = 2{,}39 \text{ г/дм}^3$$

2) Розраховуємо значення ефективної густини для t = 17,4 °C:

$$\rho^*_{t=17{,}4\,^\circ C} = 1000 - (A+B+C) = 1000 - 2{,}39 = 997{,}61 \text{ г/дм}^3$$

3) Розрахуємо значення V за формулою:

$$V = 200{,}00 + (0{,}2 \cdot 2{,}39 - \Delta m)$$

4) Середнє значення для V:

$$\overline{V} = (V_1 + V_2 + V_3) / 3 = (200{,}79 + 200{,}78 + 200{,}79) / 3 = 200{,}79 \text{ мл}$$

5) Розраховуємо середнє квадратичне відхилення для вибірки:

$$S^2_{\overline{V}} = \frac{\sum_i (V_i - \overline{V})^2}{n\,(n-1)} = \frac{(200{,}7867-200{,}7900)^2 + (200{,}7867-200{,}7800)^2 + (200{,}7867-200{,}7900)^2}{3 \times 2}$$

$$= 1{,}11 \cdot 10^{-5}$$

$$S_{\overline{V}} = \sqrt{S^2_{\overline{V}}} = \sqrt{1{,}1112 \times 10^{-5}} = 3{,}33 \cdot 10^{-3}$$

$$\overline{V} \pm t^{P=0{,}95}_{f=2} S_{\overline{V}} = 200{,}79 \pm 4{,}3 \cdot 3{,}33 \cdot 10^{-3} = (200{,}79 \pm 0{,}01) \text{ мл}$$

Перевірку місткості піпетки на 20 см^3 також проводила за такою ж методикою зважування. Результати вимірювань наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати перевірки місткості піпетки на 20 см^3

№	m (бюкса), г	m(бюкса + H_2O), г	m(H_2O), г	V, мл	$\bar{V} \pm t_f^P S_{\bar{V}}$
1.	107,83	127,45	19,63	19,68	19,66±0,06
2.	127,45	147,08	19,63	19,69	
3.	147,08	166,67	19,59	19,64	

Аналогічно як проводила перевірку місткості мірної колби і піпетки, так і зробила перевірку місткості бюретки на 25 см^3 методом зважування.

Точки, здобуті з експерименту, сполучила ламаною, не намагаючись її згладити. За графіком знайшла поправки для будь-якого об'єму титранту (рис.2.3).

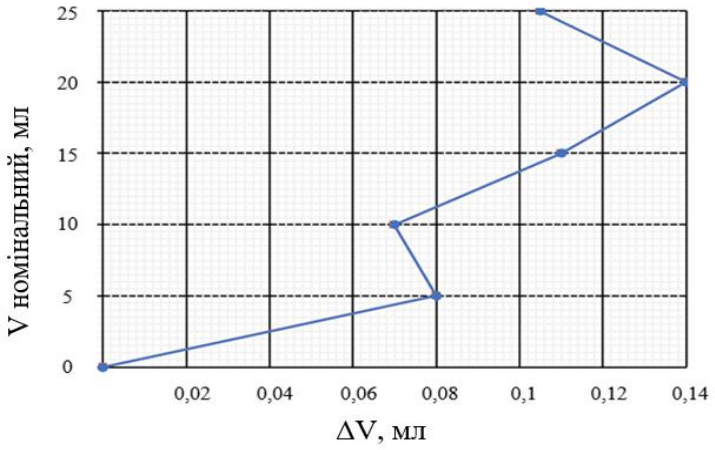

Рис.2.3 – Крива поправки місткості ділянок бюретки на 25 см^3

2.4.2 Практичне проведення стандартизації розчину HCl за наважкою Na_2CO_3

Для визначення силікатного модуля рідкого скла велике значення має використання розчинів відомої концентрації реагенту, виходячи з цього прийнято рішення провести експериментальні роботи зі стандартизації розчину соляної кислоти HCl.

Стандартизація розчину означає встановлення точної концентрації реагенту у розчині. Це ключовий крок у хімічному аналізі, оскільки він забезпечує:

- точність, оскільки гарантує, що результати аналізу будуть надійними, через те, що ми матимемо точні відомості про концентрацію реагенту;
- можливість порівняння результатів аналізів, які проводилися в різних лабораторіях або в різні періоди часу;
- відтворюваність, тому що при повторному правильному проведенні досліджень результати аналізу будуть подібними;
- економію, яка полягає в тому, що не потрібно витрачати час і ресурси на приготування та стандартизацію розчинів кожного разу;
- безпеку, яка гарантується тим, що робота з розчином буде безпечною, оскільки ми матимемо точні відомості про концентрацію реагенту.

Найпоширенішими методами стандартизації є:

- титрування (це метод, який ґрунтується на кількісному хімічному аналізі, де до досліджуваного розчину додають реагент з відомою точною концентрацією, відомого як титрант);
- спектрофотометрія (це метод, що базується на вимірюванні поглинання світла розчином);
- гравіметрія (це метод, який ґрунтується на вимірюванні маси осаду, утвореного під час хімічної реакції) [24].

Для проведення експерименту мені потрібно було провести стандартизацію розчину соляної кислоти HCl за наважкою карбонату натрію Na_2CO_3. Для визначення концентрації хлоридної кислоти користуються первинними стандартами – речовинами, титровані розчини яких готують розчиненням точної наважки речовини в певному об’ємі води.

Як стандартні речовини в кислотно-основному титруванні часто використовують натрій карбонат Na_2CO_3.

Натрій карбонат реагує з хлоридною кислотою за рівнянням:

$Na_2CO_3+HCl \rightarrow NaHCO_3+NaCl$ ($CO_3^{2-}+H^+ \rightarrow HCO_3^-$)

$Na_2CO_3 +2HCl \rightarrow H_2CO_3+2NaCl$ ($CO_3^{2-}+2H^+ \rightarrow H_2O + CO_2$)

Як видно з рівнянь, Na_2CO_3 перетворюється спочатку в $NaHCO_3$ (pH~8.3), який при подальшому додаванні HCl перетворюється на карбонатну кислоту, що розкладається на H_2O та CO_2 (pH~4.2). У першому випадку титрується половина натрій карбонату (індикатор – фенолфталеїн). Зазвичай стандартизацію HCl проводять з метилоранжем (за другим рівнянням), при цьому витрачається весь натрій карбонат. У цьому випадку еквівалентом буде умовна частинка ½ молекули Na_2CO_3, оскільки 1 молекула Na_2CO_3 взаємодіє з 2 йонами Гідрогену.

Молярна маса еквівалента Na_2CO_3 для цієї реакції буде рівна:

$M(1/2Na_2CO_3)= M/2=11/2=53$г/моль

Для приготування 200 мл 0,1 н розчину необхідно взяти:

$m\ (Na_2CO_3) = c\ (Na_2CO_3) \cdot M(1/2Na_2CO_3) \cdot V_{р\text{-}ну} = 0,1 \cdot 53 \cdot 0,02=0,11$ г

Стандартизацію розчину HCl наважкою Na_2CO_3 я проводила у такій послідовності:

Спочатку я зважила на аналітичних вагах спочатку чисте сухе годинникове скло, а потім годинникове скло з наважкою натрій карбонату. Взята наважка не повинна точно відповідати розрахованій (теоретичній), важливо знати її істину величину, за якою легко визначити концентрацію добутого розчину.

У шийку колби об’ємом 200 мл вставила чисту суху лійку. Наважку речовини обережно, не розсипаючи, пересипала через воронку до колби та декілька разів ретельно омивала водою з промивалки годинникове скло, після чого омивала лійку та вийняла її з шийки колби. Додала в колбу воду (на 2/3 її об’єму) та повністю розчинила речовину, перемішуючи вміст колби плавними круговими рухами. Коли вся речовина перейшла в розчин, довела об’єм розчину водою до мітки. Після цього колбу щільно закрила пробкою та ретельно перемішала розчин, багаторазово перевертаючи та струшуючи колбу.

У бюретку налила розчин хлоридної кислоти. Відібрала піпеткою 20 мл приготованого стандартного розчину натрій карбонату, перенесла його в конічну колбу для титрування, додала 2-3 краплі метилового помаранчевого, 20 мл дистильованої води та титрувала хлоридною кислотою до зміни забарвлення з

жовтого на помаранчевий. Титрування провела декілька разів до результатів, що зводяться. Концентрацію HCl розраховала за формулою:

$$c(HCl) = 2m(Na_2CO_3)/ M(Na_2CO_3) \cdot V_{розчину}$$

Результати вимірювань наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Результати стандартизації розчину хлоридної кислоти

№	m (скла), г	m(скла+ Na_2CO_3), г	m(Na_2CO_3), г	V(HCl), мл	$V(HCl)_{випр.}$, мл	c(HCl), моль/л	$\bar{c} \pm t_f^P S_{\bar{c}}$, моль/л
1.	2,56	2,67	0,1	20,25	20,39	0,09	0,09±0,0004
2.	2,56	2,66	0,1	20,55	20,68	0,09	
3.	2,56	2,66	0,1	20,30	20,43	0,09	

2.4.3 Визначення силікатного модуля рідкого скла

Силікатний модуль рідкого скла є ключовим показником його якості, який використовується для контролю процесу виробництва та вибору підходящого рідкого скла для конкретних застосувань [25].

Існує декілька способів силікатного модуля рідкого скла:

- хімічний метод (цей метод вважається найбільш точним і застосовується в лабораторних умовах. Він базується на розчиненні рідкого скла у кислоті і у подальшому титруванні отриманого розчину. На основі результатів титрування визначають співвідношення між оксидом кремнію та оксидом натрію або калію);
- фізичний метод (цей метод базується на вимірюванні щільності рідкого скла. За допомогою спеціальних таблиць, що відображають значення щільності, можна визначити силікатний модуль);
- експрес-метод (цей метод використовується для швидкого визначення

силікатного модуля у польових умовах. Він базується на вимірюванні pH рідкого скла. За допомогою спеціальних таблиць, що відображають значення pH, можна визначити силікатний модуль) [25].

Вибір методу загалом базується на таких факторах як:

- точність (хімічний метод вважається найбільш точним, у той час як фізичний та експрес-методи є менш точними);
- час (зрозуміло, що фізичний та експрес-методи є швидкими, в той час як хімічний є більш тривалим);
- умови (хімічний метод проводиться лише в лабораторії, в той час як фізичний та експрес-методи можна проводити в польових умовах).

Я використовувала більш точний метод визначення силікатного модуля рідкого скла, тобто хімічний. Дослід проводила у такій послідовності:

У конічну колбу місткістю 250 $см^3$ внесла піпеткою від 5 до 7 крапель досліджуваного розчину рідкого скла та додала з мірного циліндра 70-80 $см^3$ дистильованої води та 5-7 крапель розчину змішаного кислотно-основного індикатора. Досліджуваний розчин титрувала розчином хлоридної кислоти 0,5 М до зміни зеленувато-блакитного забарвлення на фіолетове(об'єм V).

Потім додала із мірного циліндра 50 $см^3$ розчину суміші натрій фториду та калій хлориду, після чого додала із бюретки з ціною поділки 0,1 $см^3$ місткістю 25 $см^3$. Розчин хлоридної кислоти 0,1 моль/$дм^3$ до зміни зеленовато-блакитного забарвлення на стійке фіолетове (об'ємV_1).

Надлишок кислоти відтитрувала 0,5 М розчином натрій гідроксиду до переходу фіолетового забарвлення в зеленовато-блакитний (об'єм V_2).

Приготування розчину натрій фториду та калій хлориду здійснювала у такий спосіб:

6 г натрій фториду та 10 г калій хлориду зважила з похибкою не більше 0,5 г, перенесла в конічну колбу місткістю 200 $см^3$ та додала з мірного циліндра 100$см^3$ дистильованої води.

Приготування розчину змішаного кислотно-основного індикатора здійснила за допомогою змішування рівних об'ємів 0,2% спиртового розчину метилового червоного та 0,1% спиртового розчину.

Силікатний модуль (М) розраховують за формулою:

$$M = \frac{V_1 - V_2}{2V},$$

де V- об'єм розчину хлоридної кислоти, витрачений на титрування, мл;

V_1- об'єм доданого розчину хлоридної кислоти, мл;

V_2- об'єм розчину натрій гідроксиду, витрачений на титрування, мл.

Результати вимірювань наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Результати визначення силікатного модуля рідкого скла

Виробник	V (HCl), мл	V_1 (HCl), мл	V_2 (NaOH), мл	M
«Клебріг»	3,5	16,7	0,45	2,32
«Нова-Хім»	2,8	14,6	0,6	2,5
«Нова-Хім» (2)	2,8	16,4	0,25	2,88

Статистична обробка результатів

Виробник «Нова-Хім»:

$$V = \frac{V1 - V2}{2V} = \frac{14,6 - 0,6}{2 \cdot 2,8} = 2,5$$

Виробник «Клебріг»:

$$V = \frac{V1 - V2}{2V} = \frac{16,7 - 0,45}{2 \cdot 3,5} = 2,32$$

Виробник «Нова-Хім» (2):

$$V = \frac{V1 - V2}{2V} = \frac{16,4 - 0,25}{2 \cdot 2,8} = 2,88$$

2.5 Висновки до розділу

Визначено силікатний модуль рідкого скла різних виробників. Для точного визначення силікатного модуля було проведено градуювання лабораторного посуду та стандартизація розчину HCl. Встановлено, що значення силікатного модуля рідкого скла виробництва «Клебріг» становить 2,32. Визначено, що в залежності від партії силікатного виробництва «Нова-Хім» силікатний модуль значно відрізняється за значенням. Тому було прийняте рішення визначати силікатний модуль у кожної партії виробництва «Нова-Хім», які склали значення 2,5 та 2,88.

3. РОЗРОБКА СКЛАДУ ВОГНЕЗАХИСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Дослідження впливу вмісту ортофосфатної кислоти на вогнестійкість покриттів

Досліджували вплив вмісту ортофосфатної кислоти на оптичну густину золів SiO_2 (рис.3.1). На рисунку показано характер зміни оптичної густини експериментальних золів до моменту втрати текучості.

З підвищенням вмісту ортофосфатної кислоти зростає оптична густина золів. Звісно, на оптичну густину вливає не тільки концентрація компонентів в золі, але й ступінь поліконденсації, розмір та кількість зародків твердої фази в золі.

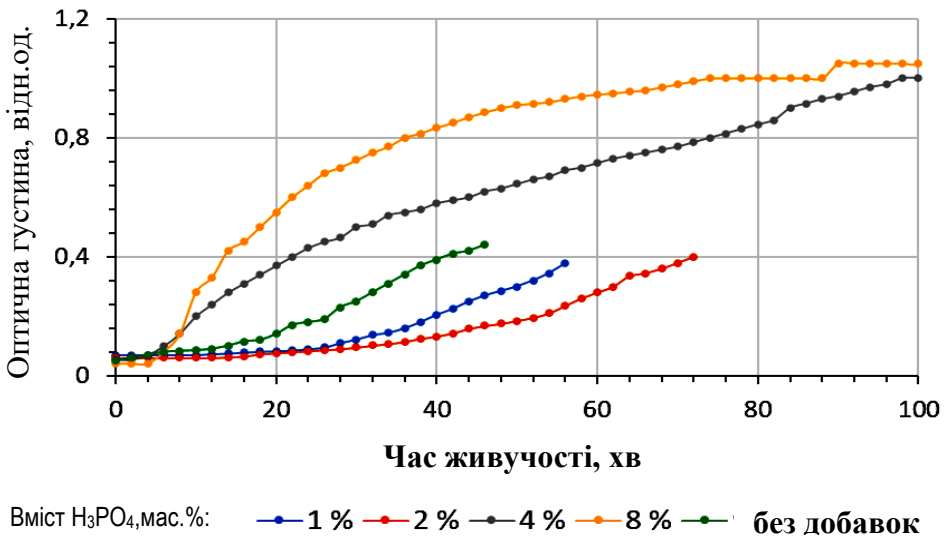

Рис.3.1 - Криві зміни оптичної густини експериментальних золів з різним вмістом ортофосфатної кислоти

Введення малих добавок ортофосфатної кислоти в перші 20 хв після приготування практично не відбивається на оптичній густині золів. Тільки під час початку прихованої коагуляції, в так званому індукційному періоді, спостерігається помітне збільшення оптичної густини золів. Проводячи дотичну до сімейства крапок на кривих визначили, що період прихованої коагуляції в

залежності від вмісту ортофосфатної кислоти починається пізніше у разі додавання 1–2% кислоти і прискорюється за умови додавання більших її кількостей (4–8%). В роботі [26] доведено, що малий вміст ортофосфатної кислоти ініціює лінійну поліконденсацію полікремнієвої кислоти. Відомо також, що тетраедри PO_4 здатні вбудовуватися в силоксановий каркас. Тому можна припустити, що зменшення оптичної густини золів з добавкою 1–2 кислоти пояснюється саме цим вбудовуванням. Збільшення вмісту ортофосфатної кислоти призводе до різкого збільшення оптичної густини, значного скорочення періоду прихованої коагуляції та до збільшення терміну «живучості» золів.

Додавання ортофосфатної кислоти може змінювати кислотність експериментальних золів, тому визначали pH, використовуючи універсальний індикаторний папір. Встановлено, що малі добавки ортофосфатної кислоти не змінюють pH золів, який залишається на рівні 6. Збільшення вмісту призводить до зменшення pH до 4 у разі додавання 4% кислоти і до 3, якщо додавати 8% ортофосфатної кислоти.

Приймаючи до уваги теорію Айлера, який встановив, що золі полікремнієвої кислоти є стійкими в двох інтервалах pH: менше 2 та більше 10, зрозуміло, що за умов pH 6 термін «життя» золю значно скорочується. Але з урахуванням того, що вогнезахисні композиції будуть наноситися на будівельні матеріали розпиленням, потрібно зменшити ризик агресивної дії золю на поверхню матеріалів, а також на шкіру та дихальні шляхи людей, які будуть цю композицію наносити на поверхню. Тому було прийняте рішення корегувати склад композиції таким чином, щоби pH залишався близьким до 6.

Зберігання pH на рівні 6 в композиції забезпечується наявністю оцтового буферного розчину, який утворися під час змішування водних розчинів рідкого скла та оцтової кислоти. Виходячи з цього, можна сказати, що малі добавки ортофосфатної кислоти компенсуються буферною ємністю оцтового буферного розчину. Збільшення вмісту ортофосфатної кислоти перебільшує буферну ємність, що призводить до зменшення pH золів.

Згідно досліджень Айлера в сильно кислому середовищі ініціюється переважно сітчаста поліконденсація полікремнієвої кислоти. В сильно лужному середовищі, навпаки, реалізується переважно лінійна поліконденсація. Згідно роботи [27] лінійна поліконденсація забезпечує утворення більш однорідного гелевого покриття, яке може витримувати термічні навантаження без утворення деформаційних тріщин. Таким чином, представляється більш перспективним використовувати малі кількості добавки ортофосфатної кислоти в золях SiO_2.

3.2 Дослідження впливу силікатного модуля SiO_2 на реологічні вогнезахисні властивості покриттів для будівельних матеріалів

Зміна величини силікатного модуля вимагає корегування співвідношення рідкого скла та оцтової кислоти, які використовуються для отримання золю кремнекислоти. Тому визначали вплив на реологічні характеристики золю не тільки значення силікатного модуля, але й співвідношення рідкого скла до оцтової кислоти в вихідних сумішах. Зміна співвідношення рідке скло/оцтова кислота незначно впливає на pH композицій, тому індикаторним папером визначався pH 6.

Додатково досліджували вплив вмісту ортофосфатної кислоти на зміну живучості експериментальних композицій (табл. 3.1). Збільшення значення силікатного модуля призводить до незначного зростання часу живучості композицій. Зменшення відношення рідкого скла до оцтової кислоти також впливає на час живучості золів SiO_2: спостерігали збільшення часу живучості композицій більше ніж в 1,5 рази.

Додавання навіть малих кількостей ортофосфатної кислоти в суміш сприяє підвищенню живучості композиції: з таблиці видно значне збільшення часу живучості у разі додавання 1% кислоти. Додавання 8 % H_3PO_4 забезпечує зберігання текучості золю протягом більше 1 доби.

Таким чином, можна зробити висновок, що в більшій мірі на живучість композицій впливає саме вміст ортофосфатної кислоти.

Таблиця 3.1

Вплив складу на живучість експериментальних композицій

Склад композиції			Живучість золів, хв..
Силікатний модуль	Співвідношення рідке скло/ оцтова кислота	Вміст ортофосфатної кислоти, мас.%	
2,5	40/50	0	47
		1	56
		2	72
		4	102
		8	>24 год.
	35/55	0	82
		1	137
		2	155
		4	231
		8	>24 год.
2,88	40/50	0	56
		1	68
		2	80
		4	118
		8	>24 год.
	35/55	0	92
		1	154
		2	167
		4	245
		8	>24 год.

3.3 Отримання вогнезахисних покриттів на поверхні деревини

Вогнезахисні покриття наносили згідно методики наведеної в розділі 2.2. За допомогою оптичного мікроскопу оцінювали якість нанесення покриття на поверхню дерев'яних зразків (рис.3.2).

Найбільш якісне покриття можна отримати, додаючи 1 та 8% ортофофатної кислоти. Враховуючи, що 8% - занадто високий вміст кислоти, який ініціює сітчасту поліконденсацію, в подальших дослідженнях використовували добавку ортофосфатної кислоти у кількості 1%.

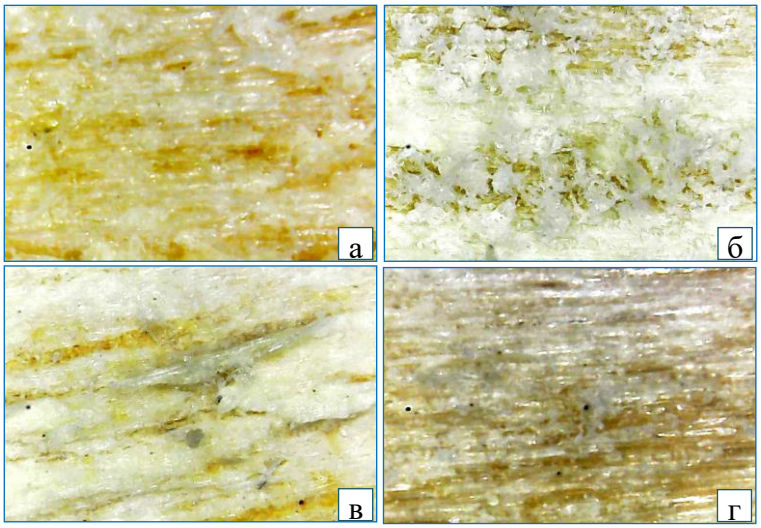

Рис.3.2. - Мікроструктура покриттів по поверхні дерев'яних зразків на основі композицій з добавкою ортофосфатної кислоти (ваг.%): а – 1, б – 2, в – 4, г – 8.

3.4 Дослідження впливу експериментальних покриттів на вогнезахист деревини

Дослідження проводили на лабораторній установці, яка складається з керамічної труби та комп'ютерної приставки (рис.2.2).

Під час вогневих випробувань спостерігали зміну температури в керамічній трубі, а також зменшення маси зразків (рис.3.3, табл..3.2).

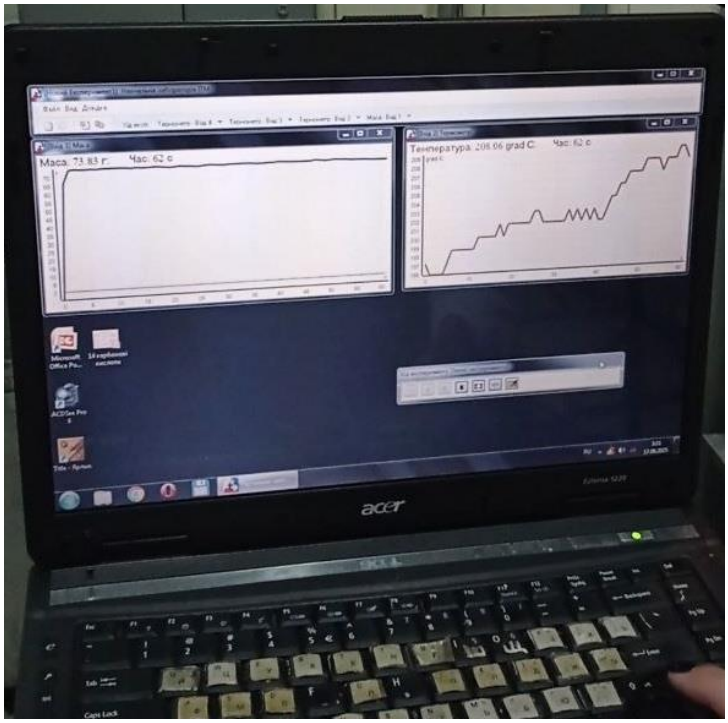

Рис.3.3 - Загальний вигляд програми під час вогневих випробувань зразків

На рис. 3.4 чітко видно, що маса зразків із покриттям залишалася сталою під час горіння майже протягом 5 хвилин, тоді як для необробленого зразка спостерігалася більш різка зміна залежності маси від часу. Слід також звернути увагу на значний екзотермічний ефект в інтервалі від 120 с до 250 с для випадку двошарового покриття, саме в цьому діапазоні можна спостерігати, як поступово починає зменшуватися маса зразка. Також значне підвищення температури можна відзначити для необробленого зразка деревини в інтервалі від 1340 до 1770 с – широкий екзотермічний пік може бути пов'язаний з необоротними процесами термічної деструкції, і співвідноситься із відповідним зменшенням маси зразка.

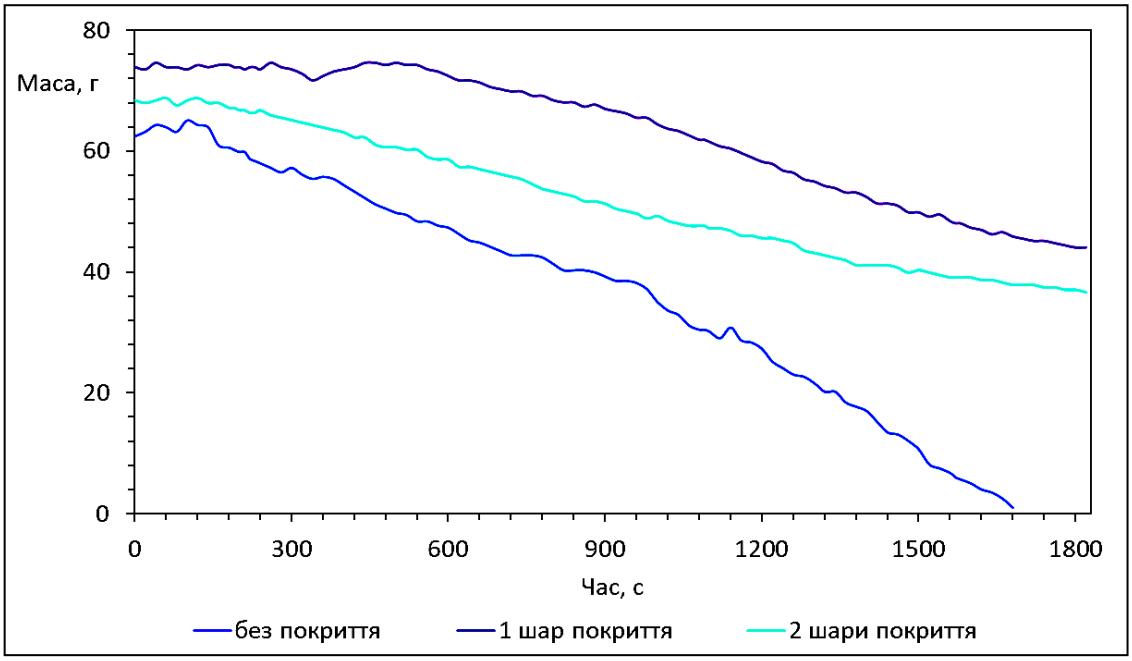

Рис.3.4 - Залежність змінення маси зразків, що піддавалися вогневим випробуванням, в часі

У табл. 3.2 наведено результати досліджень з визначення групи вогнезахисної ефективності покриття.

Таблиця 3.2.

Результати досліджень з визначення групи вогнезахисної ефективності покриттів деревини

Кількість шарів покриття	Маса зразка		Втрата маси зразка, %	Група вогнезахисної ефективності покриття
	до випробування, г	після 2 хв випробування, г		
1	74,20	73,83	0,5	I
2	68,72	68,31	0,6	I

Результати досліджень з визначення групи горючості зразків деревини із вогнезахисним покриттям наведені в табл. 3. 3.

Значення втрати маси зразків з одно- та двошаровим покриттям не перевищують 9 %, тобто встановлено I групу вогнезахисної ефективності покриття згідно з згідно з ДСТУ 8829:2019 [28].

Таблиця 3. 3

Результати досліджень з визначення групи горючості зразків деревини із вогнезахисним покриттям

Кількість шарів покриття	Температура газоподібних продуктів горіння, °С		Δt_{max}, °С	Проміжок часу до досягнення максимальної температури	Маса зразка		Втрата маси зразка, %	Горючість
	початкова	максимальна			до випроб., г	після випроб., г		
1	197	242	45	300	74,20	73,47	1	важко-горючий
2	180	275	95	170	68,72	67,50	1,8	горючий, середньої займисто-сті

Згідно з [28], деревина, покрита одним шаром вогнезахисної композиції, належить до важкогорючих матеріалів, оскільки максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння < 60 °С та втрата маси зразка < 60 %. Зразок, вкритий двома шарами золю є горючим, тому що Δt_{max} > 60 °С та належить до матеріалів середньої займистості, бо час досягнення t_{max} < 240 с, але > 30 с. Отже, виходячи з розрахунків, кращу вогнестійкість забезпечує одношарове покриття.

Покриття композиціями на основі золю кремнезему, модифікованого розчином ортофосфатної кислоти, та додаткова обробка розчином амоній гідрофосфату, дозволяє перевести деревину до групи «важкогорючі».

3.5 Висновки до розділу

Експериментально досліджено вплив вмісту ортофосфатної кислоти на зміну оптичної густини та живучості експериментальних композицій та визначено, що додавання малих кількостей ортофосфатної кислоти в суміш сприяє підвищенню живучості композиції. Встановлено, що малі добавки ортофосфатної кислоти не змінюють pH золів, який залишається на рівні 6, а якщо збільшення вмісту ортофосфатної кислоти перебільшує буферну ємність, то це призводить до зменшення pH золів.

Також було досліджено вплив силікатного модуля SiO2 та співвідношення рідкого скла до оцтової кислоти в вихідних сумішах на реологічні вогнезахисні властивості покриттів для будівельних матеріалів і встановлено, що зміна співвідношення рідке скло/оцтова кислота незначно впливає на pH композицій.

Експериментально було досліджено вплив вмісту ортофосфатної кислоти на вогнестійкість покриттів.

В ході дослідження отримано вогнезахисне покриття для матеріалів на основі деревини та за допомогою оптичного мікроскопу було оцінено якість нанесення цього покриття на поверхню дерев'яних зразків. Встановлено, що

найбільш якісне покриття можна отримати, додаючи 1 та 8% ортофосфатної кислоти.

Також було досліджено вплив експериментальних покриттів на вогнезахист деревини та визначено, що встановлений склад композиції забезпечує І групу вогнезахисної ефективності покриття (згідно з ДСТУ 8829:2019**).**

4.ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги до охорони праці в хімічній лабораторії

На мою думку, охорона праці в хімічних лабораторіях є невід'ємною частиною діяльності, спрямованої на забезпечення безпеки працівників і запобігання небезпечним ситуаціям. Хімічні лабораторії часто працюють з небезпечними речовинами, які можуть становити загрозу не лише для навколишнього середовища, а й для здоров'я та безпеки працівників.

Охорона праці – це система правил, які спрямовані на збереження здоров`я і працездатності людей в процесі праці на підприємствах, вони включають в себе: організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні та правові засоби та заходи [29].

Основним завданням охорони праці є запобігання виникнення можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів та створення на підприємствах безпечних умов праці в найширшому розумінні цього слова [29].

Хімічна лабораторія - організація, підприємство, установа або їх окремий підрозділ, які проводять дослідження, випробування або іншу діяльність, пов'язану з хімічними процесами, спеціальним обладнанням або використанням різних хімічних речовин [30].

В хімічній лабораторії важливе значення для забезпечення безпечних умов праці мають такі фактори як:

- наявність загальнообмінної примусової вентиляції (для короткочасного і постійного провітрювання приміщення від сторонніх запахів, пилу та хімічних речовин);
- місцевими відсмоктувачами (в місцях безпосереднього накопичення хімічних речовин) зі справними фільтрами;
- наявність системи пожежогасіння (первинні засоби гасіння пожежі та автоматична система пожежогасіння та сповіщення);

- надійно заземлене електрообладнання;
- рівень шуму повинен бути не більше 60 дБА;
- виробнича та локальна вібрація повинна бути в межах норм;
- забезпечення приміщення штучним, природним та комбінованим освітленням (що становить рекомендовані значення від 500 до 1000 люксів, також воно повинно бути рівномірним);
- показники мікроклімату (температура повинна бути в межах від 20 до 24 °С, відносна вологість – 40-60%, швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с);
- неслизька, рівна, зручна у очищенні та стійка до механічних напружень підлога;
- спеціально обладнанні місця для миття хімічного посуду;
- якість води (важлива її чистота, pH, електропровідність, твердість, концентрація хлору, відсутність шкідливих речовин);
- наявність аптечки з необхідним набором медикаментів для надання першої домедичної допомоги [30].

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори у хімічній лабораторії

Під час проведення досліду у хімічній лабораторії виникають як небезпечні виробничі так і шкідливі фактори. За допомогою норм і правил охорони праці можна виключити вплив цих факторів на дослідника.

В ході досліду я використовувала такі хімічні речовини, як: рідке скло, ортофосфатна кислота, оцтова кислота, діамоній гідрофосфат, амоній дігідрофосфат та дігідрофосфат натрія. Багато з них володіють токсичними властивостями та є небезпечними для здоров`я працюючого, тому вкрай важливі засоби індивідуального захисту та заходи безпеки під час поводження з ними, через ризик виникнення виробничого травматизму та професійних захворювань.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) – спорядження, що призначене для індивідуального захисту працюючого від небезпечних чинників, або їх мінімізації. ЗІЗ мають відповідати вимогам Технічного регламенту засобів індивідуального

захисту, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року № 761, ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація» [30].

Під час виконання досліду я використовувала захисний халат, рукавички, окуляри, взуття. Пильно слідкувала за їх станом та вчасно змінювала.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий чинник, який за певних умов впливає на працівника, що призводить до травмування або швидкого погіршення стану здоров'я. [31].

Перед виконанням досліду було вивчено насамперед склад хімічних речовин та виділено, що найрозповсюдженішими небезпечними виробничими факторами в даній лабораторії є:

- термічні та хімічні опіки шкіри, почервоніння шкіри та свербіж (тому було прийнято рішення захистити себе лабораторним халатом та захисними рукавичками);
- подразнення слизових оболонок дихальних шляхів та очей (рекомендовано при роботі використовувати захисні окуляри, респіратор, провітрювати приміщення);
- виникнення кашлю, болю у грудях, утрудненого дихання (як раніше зазначалося було прийнято використовувати респіратор для захисту органів дихання) [32-36].

Було прийнято загальне рішення у доцільності провітрюванні приміщення, за допомогою використання систем припливно-витяжної вентиляції. У разі потраплянні токсичних речовин на шкіру та інших слизових оболонок негайно промити великою кількості водою та звернутися до медичної допомоги.

Також небезпечним виробничим фактором у хімічній лабораторії є можливість поранення при роботі зі склом, яке може розбитися. Було прийнято рішення перевірити весь лабораторний посуд на наявність дефектів та їх утилізація.

Шкідливий виробничий фактор – це фактор виробничого середовища або трудового процесу, вплив якого на працівників за певних умов може спричинити професійне захворювання, тимчасову або стійку втрату працездатності, підвищити частоту виникнення соматичних чи інфекційних захворювань або викликати порушення здоров'я у їхніх нащадків [31].

Токсичність - це властивість певного отруйного хімічного елемента, сполуки чинити шкідливий вплив на живі організми і здоров`я людини [36].

Перед проведенням досліду було досліджено шкідливі виробничі фактори, які можуть виникнути в процесі виконання робіт з вище переліченими хімічними речовинами. Серед них виділила наступні:

- вплив на органи травлення (при потраплянні дігідрофосфату натрію в шлунково-кишковий тракт подразнюються слизові оболонки, які в подальшому розвиваються у вигляді виразок);

- токсичність (всі речовини, які я використовувала у досліді є токсичними та можуть викликати шкоду для здоров'я, наприклад головний біль, нудоту, блювоту, діарею, руйнування тканин та запаморочення);

- вплив на нервову систему (ортофосфатна кислота може впливати на нервову систему, призводячи до її розладу, головного болю та запаморочення);

- вплив на кістки та зуби (всі хімічні речовини, що використовувалися в досліді здатні руйнувати зубну емаль та призводять до дефіциту кальцію);

- атрофія слизової оболонки (вдихання парів вище перелічених речовин протягом певного часу призводить до втрати своєї функції слизової оболонки носа) [32-35].

Було прийнято рішення у доцільності використання ЗІЗ, вчасної їх зміни, частого провітрюванні приміщення, дотримання правил безпечної роботи у хімічній лабораторії під час поводження з небезпечними, шкідливими та

токсичними хімічними речовинами таких як - ретельно мити шкіру, нічого не їсти, не пити на робочому місці, робити вологе прибирання та обробку поверхонь тощо.

4.3 Аналіз та причини виникнення виробничого травматизму в хімічній лабораторії

Проаналізувавши статистику виникнення виробничого травматизму в хімічній лабораторії зробила висновок, що найпоширенішою причиною є організаційні та технічні причини (нехтування правилами безпеки (не носіння ЗІЗ, невчасна їх заміна), недостатня підготовка щодо роботи з хімічними речовинами та лабораторним посудом, інструментом, пошкоджене, несправне обладнання, порушення умов зберігання реактивів тощо). Також мають місце санітарно-гігієнічні причини (недотримання встановленого нормативними документами умов мікроклімату, перевищення ГДК небезпечних речовин у повітрі робочої зони), психофізіологічні причини (викликані внаслідок перевтоми працівника, хворобливий стан тощо) [37].

В даній хімічній лабораторії були випадки виробничого травматизму, що супроводжувалися порізами робітників пошкодженим скляним лабораторним посудом, хімічними опіками, через нехтування носіння захисного спорядження, отруєння парами хімічних речовин, через не закриту та не прибрану на своє місце ємність з летючим реактивом.

На мою думку, ефективними заходами щодо запобігання виробничого травматизму є в першу чергу, навчання правил безпеки роботи в хімічній лабораторії, поводження з реактивами та з хімічним посудом та інструментами, обладнанням, навчання правил пожежної безпеки, забезпечення ЗІЗ у достатній кількості для їх заміни, проведення у зазначені терміни технічного обслуговування та ремонту техніки та обладнання, які знаходяться на оснащення в лабораторії, правильне зберігання хімічних реактивів та спеціальні відведенні місця та ємності для їх утилізації.

4.4 Висновки до розділу

Отже, охорона праці в хімічній лабораторії є важливим елементом, без якої неможливо уявити взагалі її функціонування. Перш ніж, приступити до виконання визначених робіт я спочатку вивчила правила охорони праці в хімічній лабораторії, проаналізувала які небезпечні та шкідливі фактори можуть виникнути, зробила висновки щодо попередження їх виникнення, вивчила властивості і склад хімічних речовин та прийняла рішення щодо власного захисту від їх небезпечного впливу за допомогою використання захисного спорядження. Саме через такі заходи створюються безпечні умови праці та запобігання виробничого травматизму.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень було розроблено склад вогнезахисних композицій для будівельних матеріалів.

1. Проведено аналітичний огляд технічної літератури з питання вогнезахисту будівельних матеріалів.
2. Наведено характеристику реактивів та методику отримання експериментальних золів.
3. Проведено експериментальні роботи з визначення силікатного модуля рідкого скла. Встановлено, що для точного визначення силікатного модуля необхідно провести експериментальні роботи з градуювання лабораторного посуду та стандартизації розчину HCl.
4. Досліджено вплив вмісту ортофосфатної кислоти на зміну оптичної густини та живучості експериментальних композицій. Визначено, що додавання малих кількостей ортофосфатної кислоти в суміш сприяє підвищенню живучості композиції, а з підвищенням вмісту ортофосфатної кислоти зростає оптична густина золів.
5. Досліджено вплив силікатного модуля SiO_2 та співвідношення рідкого скла до оцтової кислоти в вихідних сумішах на реологічні вогнезахисні властивості покриттів для будівельних матеріалів. Встановлено, що зміна співвідношення рідке скло/оцтова кислота незначно впливає на pH композицій.
6. Досліджено вплив вмісту ортофосфатної кислоти на вогнестійкість покриттів.
7. Досліджено вплив експериментальних покриттів на вогнезахист деревини. Визначено, що встановлений склад композиції забезпечує I групу вогнезахисної ефективності покриття (згідно з ДСТУ 8829:2019).
8. Розглянуто загальні вимоги до охорони праці в хімічній лабораторії, які небезпечні й шкідливі виробничі фактори можуть виникнути та проведено аналіз виробничого травматизму, причини його виникнення та запропоновано заходи та засоби щодо запобігання його виникнення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Beck, V., “Performance-Based Fire Engineering Design and Its Application in Australia,” Fire Safety Science, Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, Japan, 1997.
2. Meacham, B.J., “Concepts of a Performance-Based Building Regulatory System for the United States,” Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, Japan, 1997.
3. Meacham, B.J., “Concepts of a Performance-Based Building Regulatory System for the United States,” Fifth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, Japan, 1997.
4. https://esu.com.ua/article-36526
5. Charles A. Harper., Handbook of building materials for fire protection, New York 2004.
6. Будівельне матеріалознавство. Підручник/ Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. – Рівне: НУВГП, 2016. – 448 с.
7. Lyons, J.W., The Chemistry and Uses of Fire Retardants, John Wiley and Sons, New York, 1970.
8. Papazoglou, E., “Flame Retardants for Plastics”.
9. Вогнезахисне обробляння будівельних матеріалів і конструкцій: навч. посіб./ А.С. Пушкаренко, О.В. Васильченко, Ю.В. Квітковський, Ю.В. Луценко, О.В. Миргород. – Х.: НУЦЗУ, КП "Міська друкарня", 2011. – 176 с.
10. Наказ МВС України №1064 від 26.12.2018 «Про затвердження Правил з вогнезахисту»
11. Schaffer, E., “Effect of Fire-Retardant Impregnations on Wood Charring Rate,” Journal of Fire and Flammability/Fire Retardant Chemistry, 1: 96–109, 1974.
12. LeVan, S., “Chemistry of Fire Retardancy,” Advances in Chemistry Series 207, R. Rowell, ed., American Chemical Society, Washington, DC, 1984, pp. 531–574.

13. LeVan, S., and Winandy, J., “Effect of Fire-Retardant Treatments on Wood Strength: A Review,” Wood and Fiber Science, 22: 113–131, 1990.
14. Конспект лекцій. Технологія вогнестійких захисних покриттів/ О.Б. Скородумова.-Х.: НУЦЗУ, 2023.- 111 с.
15. Теоретичні основи хімії та технології полімерів/ О. В. Суберляк, В. Й. Скорохода, Н. Б. Семенюк. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014.
16. Будівельне матеріалознавство: Підручник/ Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О., Гасан Ю.Г., Константинівський Б.Я., Ракша В.О. – К: «Видавництво Ліра-К», 2012.-624 с.
17. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур: Навчальний посібник/ Осипенко В.І., Поздєєв С.В., Тищенко І.Ю. – Черкаси: 2011. – 170 с.
18. Х. Цвайфель, Р.Д. Маер, М. Шиллер. Добавки к полимерам. Справочник / Пер. анг. 6-го изд. Под ред. В. Б. Узденского, А.О. Григорова. СПб.: ЦОП «Профессия», 2010.-1144 с., ил., табл.
19. Рябініна Г. О. Вогнезахисна дія антипіренів та теоретичне обґрунтування їх вибору і технології застосування для ефективного захисту волокнистих матеріалів // Вісник Хмельн. нац. ун-ту. Тех. науки. 2014. № 6. С. 112–117.
20. Harley, Kim G.; Marks, Amy R.; Chevrier, Jonathan; Bradman, Asa; Sjödin, Andreas; Eskenazi, Brenda (2010-5). PBDE Concentrations in Women’s Serum and Fecundability. Environmental Health Perspectives 118 (5). с. 699–704
21. Rahman, Frank; Langford, Katherine H; Scrimshaw, Mark D; Lester, John N (25 липня 2001). Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. Science of The Total Environment (англ.) 275 (1). с. 1–17.
22. Talsness C.E. Overview of toxicological aspects of polybrominated diphenyl ethers: a flameretardant additive in several consumer products / C.E. Talsness // Environ. Res. 2008. – V.108. – P. 158-167.
23. Техніка хімічного експерименту: Методичні вказівки до лабораторних робіт для студ. спеціальності – 102 Хімія, освітньої програми «Хімія». /

Укладачі: Оксана Мар’янівна Строк, Ірина Іванівна Петрусь. – Луцьк: П “Зоря–плюс” ВОО ВОІ СОІУ, 2019. – 49 с.

24. Базель Я.Р., Шкумбатюк Р.С., Воронич О.Г., Сухарева О.Ю., Мага І.М.. Навчальний посібник з курсу «Аналітична хімія». Частина 2. Кількісний хімічний аналіз. - Ужгород: в-во ПП «Штеф», 2012. - ч. 2. -87 с.
25. ISO 385:2005 https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/31385551-5b57-424e-99c1- 1ac38693e222/iso-385-2005
26. Скородумова О. Б., Тарахно О. В., Чеботарьова О. М., Атаманенко М. О., Переверзєва О. М., Волощук А. Д. Одержання еластичних вогнестійких покриттів по текстильних матеріалах на основі розчинів рідкого скла. Проблеми пожежної безпеки. Збірник наукових праць. Харків, 2020. Вып. 48 С. 172-179 Про охорону праці : Закон України. – К. : Знання, 1992. – 129 с
27. Skorodumova O., Tarakhno O., Chebotaryova O., Bezuglov O., & Emen F. M. (2021). The Use of Sol-Gel Method for Obtaining Fire-Resistant Elastic Coatings on Cotton Fabrics. In Materials Science Forum (Vol. 1038, pp. 468–479).
28. Lysak N., Skorodumova O., Chernukha A. Development of a fire-proof coating containing silica for polystyrene. Problems of Emergency Situations. 2023. Vol. 2, № 38. P. 192–202. doi: 10.52363/2524-0226-2023-38-10
29. Наказ МНС України № 1192 від 11.09.2012 «Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях»
30. Постанова МПУ № 41 від 01.09.1992 «Методичні рекомендації для проведення атестації робочих місць за умовами праці»
31. Наказ МОЗ № 528 від 27.12.2001 «Про затвердження гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»
32. Оцтова кислота. Властивості, використання, виробництво : Моногр. / Я. В. Ластов'як, Н. С. Караман, М. С. Полутаренко, Ю. А. Паздерський; Нац.

ун-т "Львів. політехніка". - Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2004. - 166 с.

33. Рідке скло // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 171.
34. Gard D. R. Phosphoric Acids and Phosphates // Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. — 4th. — New York : John Wiley & Sons, 2004. — Vol. 18. — P. 324-331.
35. Lide, David R. (1998). Handbook of Chemistry and Physics (87 ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 4-40.
36. Глосарій термінів з хімії / уклад. Й. Опейда, О. Швайка ; Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. — Дон. : Вебер, 2008. — 738 с.
37. Охорона праці : курс лекцій. практикум: Навчальний посібник/ Л. А. Катречко, Ю. В. Кіт, І. П. Пістун. – 2-е вид., стер. – Суми : ВТД "Університетська книга", 2007. – 496с.