

# ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**ТАРАХНО ОЛЕНИ ВІТАЛІЇВНИ**

**«Розвиток наукових основ створення еластичних вогнезахисних**

**покриттів по текстильних матеріалах»,**

**яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук**

**за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека**

**Актуальність.** Текстильні матеріали є одним з поширених видів пожежної навантаги в житловому секторі – за статистикою у світі понад 90 % від загальної кількості постраждалих гине під час пожежі.

Загибель людей, насамперед, зумовлена пожежною небезпекою текстильних матеріалів через їх легку займистість, високу токсичність продуктів горіння та велику швидкість поширення полум'я. Зниження горючості текстильних матеріалів є важливим питанням. Його вирішенню приділяють увагу науковці багатьох розвинених країн світу.

Зниження горючості текстильних матеріалів зазвичай досягається введенням антипіренів – фосфорорганічних сполук, які містять в своїй структурі галогени та азот. Але наряду з підвищенням вогнезахисних властивостей покриттів виникає важлива проблема впливу залишків цих антипіренів що утворилися в результаті термодеструкції підчас пожежі або утилізації будівельних матеріалів на навколишнє середовище.

Логічним вирішенням цієї проблеми є використання простих антипіренів, що не містять галогенів та фосфорорганічних структур та розробка методів закріплення антипіренів на поверхні текстильних матеріалів. Цей шлях обрано в даній роботі. Він дозволяє забезпечити вогнезахист текстильних матеріалів без втрати ними функціональних властивостей з одночасним забезпеченням цінової доступності для широкого застосування.

Актуальність роботи підтверджується також тим, що вона виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт Національного університету цивільного захисту України в рамках науково-дослідних робіт

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ	
Вх. №	2772
27.06.2021	20-21 р.
Кількість аркушів:	
Сен. док.	11 додат.

«Розробка вогнезахисних складів підвищеної ефективності на основі гелеутворюючих систем (№ держреєстрації 0105U004228, 2009), «Дослідження фізико-хімічних характеристик тканин для нош рятувальних захисних (НРВ-1)» ((№ держреєстрації НДР 0118 U001002).

### **Огляд змісту роботи.**

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 335 найменувань і двох додатків. Загальний обсяг дисертації містить 383 сторінки друкованого тексту, 37 таблиць, 105 рисунків.

У вступі автор на основі аналізу технічної та патентної літератури обґрунтував актуальність теми дисертаційної роботи; показав її зв'язок з науковими програмами та темами; сформулював об'єкт, предмет, мету роботи та задачі досліджень; показав наукову новизну одержаних результатів та їх практичне значення, а також навів публікації результатів роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи **«Аналіз стану питання захисту текстильних матеріалів від дії вогню»** автором проведено критичний аналіз існуючих на цей час методів зниження горючості тканин та виконано систематизацію матеріалу щодо сучасних напрямів зменшення пожежної небезпеки текстильних матеріалів у країнах світу та Україні.

Автором відмічено, що велика кількість досліджень в обраній тематики досліджень присвячена створенню і застосуванню антипіренових складів і вогнезахисних покриттів із використанням золь-гель методу. Автором встановлено недоліки технологій вогнезахисту текстильних матеріалів, які базуються на золь-гель методі, це тривалість процесу і складна будова синтетичних компонентів суміші, які зазнають гелірування. На основі цього було запропоновано модифікувати існуючі технології.

У другому розділі **«Одержання золів  $\text{SiO}_2$  та еластичних гелевих покриттів на їх основі та методики їх досліджень»** розглянуто процеси утворення еластичних вогнезахисних покриттів на поверхні текстильних матеріалів з використанням кремнійорганічних золів.



Показано, що одержання кремнійорганічних гелів – це складний багатостадійний процес, що включає одночасне протікання реакцій гідролізу алкоксисиланів і поліконденсації силанольних груп  $\equiv\text{SiOH}$ , що утворюються, з отриманням лінійних або сітчастих силоксанів.

Визначальними параметрами цього процесу є рН середовища і співвідношення між вмістом кремнійорганічної речовини та води, а також температура проведення гідролізу.

Процеси гелеутворення в експериментальних гібридних композиціях досліджувались за допомогою інфрачервоної спектроскопії, рентгенофазового та диференціально-термічного аналізу, а також електронної мікроскопії. Отримані результати узгоджуються між собою.

В дисертації наведено дослідження гібридної системи на основі метилтриетоксисилану та тетраетоксисилану, лужних золів тетраетоксисилану, а також кислотно-основних золів тетраетоксисилану та технічних етилсилікатів. Поетапне дослідження процесів гелеутворення в кожній системі дозволило сформулювати основні висновки стосовно того, за яких умов необхідно проводити гідроліз кремнійорганічних компонентів, щоби відокремити у часі перебіг послідовно-паралельних реакцій гідролізу та поліконденсації та змодельовати умови перебігу переважно лінійної поліконденсації. Дослідження процесів дозрівання золів в індукційному періоді показали шляхи зберігання високої текучості золів.

Уточнення складів гелевих покриттів виконано за допомогою математичного методу планування експерименту. Було поставлено експеримент типу  $2^2$ . Для побудови полінома другого порядку в роботі використовувались ротатабельні плани другого порядку із зірковими точками. Це дозволило встановити оптимальну концентрацію лужного коагулятора та співвідношення ТЕОС/вода відносно втрат маси під час термообробки досліджуваних гелів.

Вивчення кислотно-основних властивостей поверхні досліджуваних гелів дозволило встановити взаємозв'язок між складом, режимом гідролізу, ступенем активності поверхні гелевих покриттів та еластичністю покриттів. Показано, що якісне просочення тканини, коли кожне волокно ниток покрите

тонким шаром гелю, обумовлює високу еластичність, яка зберігається навіть після часткової термодеструкції. Необхідно, щоб поверхня гелю була пасивованою або мала гідрофобні ділянки для того, щоб тканина не втрачала своєї рухливості та м'якості.

**Третій розділ** дисертаційної роботи «Розроблення складів вогнестійких еластичних кремнеземистих покриттів по текстильних матеріалах» присвячений дослідженню впливу складу та технологічних параметрів нанесення золь-гель композицій на ступінь вогнезахисту різних типів текстильних матеріалів. При цьому було сформульовано основні вимоги до вогнестійких покриттів по текстильних матеріалах: еластичність, висока адгезія до волокон тканини, стійкість до стирання, гідрофобність і вогнестійкість.

Дослідження гелевих покриттів на основі різних золь-гель композицій виконували, використовуючи різні типи текстильних матеріалів: вовняні, бавовняні чисті, а також з добавками синтетичних волокон.

Адгезію покриття по волокнах оцінювали за ступенем осипання покриття за умов механічного впливу. Для оцінки стійкості гелевого покриття до дії водних розчинів агресивних речовин було використано оптичний метод. На основі цих досліджень була встановлена гідростійкість гелевих покриттів. Показана важливість використання термічного удару для закріплення гелевого покриття на волокнах тканини. Показано, що жорстке сушіння при 60-80 °С просочених золем зразків сприяє підвищенню їх вогнестійкості, а також знижує площу пошкодження після вогневих випробувань.

В розділі наведено дослідження впливу добавок деяких антипіренів на процеси термоокислювальної деструкції у вуглецевому матеріалі волокна, а також гальмування реакції окиснення в газовій фазі. В якості антипіренів використовували фосфати амонію й натрію. Встановлено, що найбільш ефективним є використання діамоній гідрофосфату, який забезпечує підвищення вогнестійкості тканин і значно знижує площу їх пошкодження. Показано можливість одержання непомітних візуально покриттів по



тканинах, які не втрачають свого зовнішнього вигляду та зберігають м'якість і еластичність.

В дисертації наведено дослідження впливу різних методів нанесення покриття на вогнезахисні властивості просочених текстильних матеріалів. Встановлено, що найкращі результати можна одержати, якщо 20%-й розчин діамоній гідрофосфату наносити розпилюванням на попередньо висушену поверхню гелевого покриття (метод ЗСАР).

Запропоновано для підвищення текучості золів на основі технічних етилсилікатів розводити їх водою. При цьому знижується концентрація золю і, відповідно підвищується його стійкість. Згідно результатів досліджень часу повного прогорання встановлено, що просочені тканини зовсім не загоряються та не поширюють горіння. Тканина під дією вогню поступово піддається піролізу без доступу кисню, не втрачає своєї еластичності.

Основним висновком за результатами вогневих випробувань вогнезахисних покриттів є те, що використання бінарного покриття на основі технічних етилсилікатів з 20 %-м діамоній гідрофосфатом забезпечує зменшення термічного пошкодження тканини в 2–2,5 рази та підвищує час повного прогорання з 30с до 10 хв. В розділі також наведено оптимізацію складів золів етилсилікатів стосовно площі пошкодження та часу прогорання та одержано оптимальний склад покриття.

У четвертому розділі «Створення математичної моделі вогнезахисної дії гелевого покриття по целюлозних волокнах» розглянуто фізико-хімічні процеси, що відбуваються під тепловим впливом в шарі вогнезахисного гелевого покриття та в целюлозному волокні. На підставі фізичної моделі процесів тепло- і масообміну побудовано математичну модель вогнезахисної дії гелевого покриттям по целюлозних волокнах. Цю модель може бути застосовано для одержання прогнозних оцінок пожежної безпеки текстильних матеріалів та підбору захисних покриттів із заданими властивостями для текстильних матеріалів, що використовуються як протипожежні завіси, покривала, рятувальні ноші, для створення захисного одягу.

У п'ятому розділі «Дослідження димоутворення під час термодеструкції оброблених текстильних матеріалів та теоретичне обґрунтування формування захисних покриттів» наведено результати досліджень процесу газоутворення під час термодеструкції зразків текстильних матеріалів. За допомогою газоаналізаторів визначено змінення концентрації в газовому середовищі  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}$ . Встановлено, що застосування запропонованих вогнезахисних покриттів на основі «кремнеземистий гель – антипірен» зменшує процес димоутворення під час термічного впливу на оброблені зразки тканин. Це дозволяє пропонувати розроблені композиції для вогнезахисту текстильних матеріалів, що використовуються на об'єктах із масовим перебуванням людей.

В розділі наведені основні висновки, одержані в результаті експериментальних досліджень гелів та захисних покриттів на їх основі та запропоновано теоретичне узагальнення, яке дозволило надати теоретичне пояснення закріплення покриття на волокнах тканини, обґрунтувати вибір оптимального методу нанесення покриття, пояснити причини збереження еластичності просочених тканин та надати хімізм утворення бінарного покриття по текстильних матеріалах. Наведені висновки є теоретичними основами отримання еластичних комплексних кремнеземистих вогнезахисних покриттів

У шостому розділі «Практичне застосування отриманих результатів досліджень і видача рекомендацій» розглянуто вимоги щодо створення ефективних вогнезахисних композицій для зниження горючості й димоутворювальної здатності оброблених текстильних матеріалів.

На підставі отриманих у роботі результатів рекомендовано рецептуру вогнезахисних комбінованих гелевих покриттів, витрату й умови нанесення і сушіння покриттів, необхідні для вогнезахисту текстильних матеріалів від термічного впливу пожежі. Наведено результати стандартизованих досліджень оптимального складу захисного покриття, чий технологічний регламент одержання також наведений в розділі.



**Наукова новизна та ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Автором запропоновано ряд нових експериментальних методів з визначення вогнезахисних властивостей кремнійорганічного покриття по целюлозовмісному волокну. В більшості випадків експеримент організовано таким чином, що дозволяє одержати однозначні кількісні або якісні характеристики запропонованої вогнезахисної системи. Теоретичні та експериментальні результати знаходяться у взаємному узгодженні.

Достовірність та обґрунтованість результатів та висновків підтверджено коректністю постановки задачі, раціональністю теоретичних припущень, строгістю математичних викладок, надійністю використаних методів розв'язання задач, раціональним вибором експериментальних методів, порівняльним аналізом результатів розрахунків та експериментальних даних.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Наукова новизна полягає у розвитку наукових основ створення еластичних вогнезахисних покриттів по текстильних матеріалах.

У роботі вперше розроблено теоретичні основи одержання еластичних покриттів шляхом корегування параметрів дозрівання кремнійорганічного золю в індукційному періоді, що зумовлює ефективність їх застосування для цілей вогнезахисту текстильних матеріалів.

Автором вперше запропоновано умови закріплення гелевого кремнійорганічного покриття по целюлозних волокнах ниток текстильних матеріалів шляхом утворення ковалентних зв'язків між функціональними групами целюлозного волокна та полікремнієвої кислоти.

Внаслідок зниження кількості активних центрів на поверхні гелевого покриття, закріпленого на волокнах целюлози, використання антипіренів у кількості 0,01–0,1 мас. % забезпечує підвищення вогнезахисної дії комплексних покриттів у 12–20 разів.

У роботі розроблено математичну модель вогнезахисної дії кремнійорганічного покриття по целюлозовмісному волокну ниток тканини,

що забезпечує одержання прогнозних оцінок параметрів пожежної безпеки текстильних матеріалів.

В якості подальшого розвитку:

1. Встановлено, що застосування комплексних композицій на основі кремнеземистих гелів та хімічно активних уповільнювачів горіння (антипіренів) збільшує ступінь вогнезахисту текстильних матеріалів, що зумовлено інгібуванням процесів, які протікають як у конденсованій фазі (за рахунок сполук фосфору), так і в газовій фазі (за рахунок амонію).

2. Встановлено, що нанесення комплексних композицій на основі кремнеземистих гелів та хімічно активних уповільнювачів горіння сприяє пригніченню процесу димоутворення під час дії відкритого полум'я або теплового впливу пожежі на захищені покриття текстильні матеріали, що дозволяє застосовувати розроблені композиції для вогнезахисту текстильних матеріалів на об'єктах з масовим перебуванням людей.

Удосконалено лабораторні методи дослідження ефективності вогнезахисного оброблення зразків тканин золь-гель композиціями, що дало змогу довести відповідність отриманих експериментальних результатів параметрам пожежної небезпеки текстильних матеріалів, що визначені за стандартизованими методиками.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Одержані у дисертаційній роботі результати є науковою основою використання комплексних покриттів системи «золь  $\text{SiO}_2$  – антипірени» для захисту текстильних матеріалів різного призначення від теплового впливу пожежі або відкритого вогню.

Запропоновані математичні моделі вогнезахисної дії шару гелевого покриття і відповідне програмне забезпечення дозволяють використовувати їх для прогнозних оцінок пожежної безпеки текстильних матеріалів та підбору захисних покриттів із заданими властивостями.

Результати дисертаційної роботи, а саме: рецептура комплексного гібридного гелю на основі кремнійорганічних сполук технічної чистоти, алгоритм нанесення комплексного вогнезахисного покриття на текстильні



матеріали залежно від призначення виробу, математична модель процесу нагрівання системи «целюлозовмісне волокно – гелеве покриття» і комп'ютерна програма, що реалізує зазначену модель, використані у діяльності ТОВ «Пожежно-технічне підприємство «Брандмайстер» і «Бранд Трейд», ПУ «НПІ експертиз у галузі пожежної безпеки», ГУ ДСНС України в Донецькій області та Запорізькій області та в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України.

**Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.**

Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи повністю висвітлено в 1 монографії, 27 наукових статтях, з яких 2 – у закордонних виданнях, 25 – у фахових виданнях України, які входять до переліку ДАК України (1 входить до наукометричної бази Scopus, 2 – в Google Scholar, 1 – Ulrich's Periodicals Directory та Index Copernicus, 6 – в Ulrich's Periodicals Directory та Academic Research Index - ResearchBib), у 2 навчальних посібниках, а також 15 тезах доповідей на науково-технічних конференціях і 2 патентах України на корисну модель.

**Оцінка дисертації, її завершеність в цілому, зауваження і проблема яка розглядається, оформлення дисертації та автореферату.**

Зміст автореферату повною мірою відповідає змісту дисертації.

**Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Для формування необхідної структури і регулювання властивостей кремнійорганічних полімерів автор запропонував цікаву ідею – пошук оптимального співвідношення між швидкостями двох паралельних реакцій гідролізу і поліконденсації. В цьому контексті раціонально було б спробувати використати каталізатори з більш м'якою дією ніж луги і мінеральні сильні кислоти. Наприклад, слабкі мінеральні кислоти, основи лужноземельних металів, кислоти або основи Льюїса, тощо.
2. В розділі 3 не знайшла відображення технологія просочення тканин золями чи антипіренами для одержання вогнезахисних покриттів. Цей процес можна здійснювати, наприклад, нанесенням золю

безпосередньо на тканину шпателем чи пензлем, зануренням у золь та висушуванням на повітрі шляхом вільного стікання у вертикальному положенні або віджимання залишків золю. Також важлива технологія багатократного просочення тканин, яка була описана тільки для комплексного покриття з антипіреном. Не зрозуміло, чи в усіх дослідженнях була використана саме ця технологія.

3. В роботі товщина вогнезахисного покриття вимірюється числом просочень: одношарове, двошарове, тощо. Було б раціональним виміряти або розрахувати реальну товщину нанесеного покриття.
4. Незважаючи на всебічне дослідження розроблених вогнезахисних систем, залишилось поза увагою питання довговічності вогнезахисних тканин, тобто збереження основних вогнезахисних характеристик текстильних виробів в процесі експлуатації. Враховуючи інтенсивність використання, важливість довговічності вогнезахисту, наприклад, спеціального одягу, важко переоцінити.
5. В розділі 4 представлена математична модель процесу нагрівання вогнезахисного целюлозного волокна. По складу газів, що виділяються в процесі нагрівання волокна можна стверджувати, що в модель закладене покриття, яке не містить антипірен. Але ж автором рекомендуються саме такі комплексні системи для вогнезахисту. Було б доцільно розширити модель і врахувати наявність антипірену у покритті.
6. Використання терміну «прекурсор», який зустрічається в тексті декілька разів, в контексті дисертації є недоречним.
7. В тексті дисертаційного дослідження та автореферату зустрічаються поодинокі друкарські помилки, русизми у назвах хімічних елементів, на деяких рисунках відсутні позначення.

#### **Оформлення дисертаційної роботи.**

Структура та обсяг представленої роботи відповідають вимогам ДАК України, що висуваються до тексту дисертацій (наказ МОН України №40 від 12.01.2017 р.). Дисертацію викладено грамотною науковою мовою.



Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації. В роботі не використовуються результати та висновки кандидатської дисертації.

### Загальний висновок по дисертаційній роботі.

За актуальністю теми, науковою новизною результатів, їх практичною цінністю і повнотою публікування дисертаційна робота Тарахно Олени Віталіївни «РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ СТВОРЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ПО ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ» відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека а також п. 9, 10, 12–14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор Тарахно Олена Віталіївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека.

Доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри загальної хімії  
Харківського національного  
університету будівництва та архітектури



Ю.М. ДАНЧЕНКО

