ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ
З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

**Іван АДОЛЬФ**
**Володимир ТОВАРЯНСЬКИЙ**

# ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ПІДПРИЄМСТВ ШВЕЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Монографія**

Львів 2026

**УДК 614.841.2**

**Рецензенти:** **СІДНЕЙ Станіслав Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Національного університету цивільного захисту України.

**ГАВРИЛЮК Андрій Федорович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри електронних обчислювальних машин Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка»

**ВЕСЕЛІВСЬКИЙ Роман Богданович** – кандидат технічних наук, доцент, т.в.о. заступника начальника інституту навчально-наукового інституту цивільного захисту з навчально-наукової роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Львівського державного університету безпеки життєдіяльності**
*(протокол № х від хх.хх.2026 року)*

**Адольф,** Іван Іванович

Пожежна небезпека підприємств швейної промисловості: монографія / І. І. Адольф, В. І. Товарянський. – Львів: ЛДУ БЖД, 2026. – 208 с.

Підприємства швейної промисловості характеризуються високим рівнем автоматизації технологічних процесів, значною інтенсивністю експлуатації виробничого обладнання, а також накопиченням великих обсягів сировини та готової продукції. Сукупність технологічного устаткування, матеріалів і виробничих ресурсів формує підвищену пожежну навантагу, що за наявності джерел займання істотно підвищує ризик виникнення та розвитку пожеж. Пожежна небезпека підприємств швейної промисловості є актуальною проблемою не лише для господарського комплексу України, а й у міжнародному контексті, що зумовлює необхідність посиленої уваги до питань запобігання пожежам і мінімізації їх наслідків.

Монографія присвячена теоретичним і експериментальним дослідженням, спрямованим на виявлення та аналіз небезпечних факторів, що формують пожежну небезпеку підприємств швейної промисловості. Особливу увагу зосереджено на оцінюванні ефективності застосування місцевих протипожежних перешкод — екранувальних панелей у межах виробничо-складських зон, під час виникнення та поширення пожеж, а також на визначенні розрахункового часу евакуації з виробничих приміщень швейних підприємств. Отримані результати спрямовані на удосконалення системи протипожежного захисту та підвищення рівня безпеки таких об’єктів.

Монографія становитиме практичний інтерес для фахівців, які здійснюють освітню, наукову, практичну та превентивну діяльність у сфері пожежної й техногенної безпеки.

© І. І. Адольф, 2026
© В. І. Товарянський, 2026

## ЗМІСТ

**ВСТУП**..... 6
**INTRODUCTION**..... 8
**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ** 10
**РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ШВЕЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ**..... 11
**1.1.** Аналіз пожеж на підприємствах швейної промисловості… 11
**1.2.** Аналіз причин виникнення пожеж на швейних підприємствах..... 15
**1.3.** Дослідження процесів горіння тканин, що обертаються у виробничих процесах підприємств швейної промисловості..... 23
**1.4.** Наукові дослідження у сфері моделювання пожеж підприємств швейної промисловості ……. 29
**1.5.** Основні заходи з протипожежного захисту підприємств швейної промисловості……. 39
**РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ШВЕЙНО-ВИРОБНИЧИХ ДІЛЯНОК**..... 52
**2.1.** Планування експерименту щодо дослідження ефективності застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів..... 52
**2.2.** Вплив чинників під час застосування екранувальних панелей на основі FDS моделювання..... 59
**2.3.** Застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів на основі визначення часу до займання тканин з бавовни і поліестеру…… 44
**2.4.** Теоретичні дослідження ефективності застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів на основі визначення швидкості поширення горіння для тканин з бавовни і поліестеру..... 48
**РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ..** 56
**3.1.** Методика визначення температур займання та

самозаймання в залежності від зміни відсоткового складу бавовни у тканині..... 56
**3.2.** Дослідження температур займання та самозаймання залежно від зміни відсоткового складу бавовни у тканині..... 62
**3.3.** Валідація моделі, отриманої шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim FDS..... 65
**3.4.** Методика дослідження ефективності застосування теплозахисних панелей шляхом проведення польових експериментальних досліджень..... 69
**3.5.** Дослідження впливу пожежі на експериментальні швейно-виробничі ділянки, захищені екрануючими панелями…… 77
**РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....** 82
**4.1.** Застосування екранувальних панелей у виробничому просторі швейних підприємств..... 82
**4.2.** Дослідження впливу застосування екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі..... 137
**ВИСНОВКИ.....** 168
**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....** 171
**ДОДАТКИ.....** 186

# ВСТУП

Процеси виникнення та поширення пожеж на підприємствах швейної промисловості безпосередньо пов'язані з особливостями організації виробництв та рівнем впровадження заходів спрямованих на запобігання виникненню горіння. Вагомий вплив на можливість виникнення та швидкого поширення пожеж мають температури займання та самозаймання, які є мабуть найбільш важливими параметрами, що дають характеристику пожежної небезпеки будь яких речовин та матеріалів, в тому числі матеріалів, що застосовуються в технологічних процесах швейних підприємств з метою отримання готової продукції. Тому важливим є дотримання безпечних температурних режимів під час експлуатації виробничого обладнання швейних цехів.

Враховуючи різноманітні причини виникнення пожеж на підприємствах швейної промисловості запроваджуються різноманітні заходи спрямовані на забезпечення належного рівня пожежної безпеки. Профілактика пожеж швейних підприємств здійснюється на основі встановлених нормативних вимог, спрямованих на забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки їх виробничих та складських приміщень. Заходи із забезпечення пожежної безпеки швейних підприємств полягають у створенні безпечних умов роботи, які виключають або забезпечують мінімальну ймовірність виникнення позарегламентного неконтрольованого процесу горіння. Це досягається комплексним застосуванням конструктивних, технічних та організаційних заходів як на території так і у внутрішньому просторі будівель швейних підприємств.

У таких умовах важливим є формування ефективної системи запобігання пожежам швейних підприємств, яка охоплює комплекс конструктивних, технічних і

організаційних заходів для мінімізації ймовірності займання й швидкого поширення пожежі.

Метою цієї монографії є дослідження, спрямоване на забезпечення пожежної безпеки швейних виробництв шляхом зменшення розповсюдження пожежі та збільшення проміжку часу до настання небезпечних чинників від пожежі за допомогою екранувальних панелей.

Монографія базується на багаторічних дослідженнях, які охоплюють аналіз, узагальнення, порівняння науково-технічних досягнень сучасного стану забезпечення пожежної безпеки виробничих приміщень швейних підприємств, комп'ютерне моделювання, застосування повного факторного експерименту, проведення полігонних випробувань.

**Вклад авторів.**

У монографії використані результати дисертаційної роботи доктора філософії Івана АДОЛЬФА та наукових публікацій кандидата технічних наук, доцента Володимира ТОВАРЯНСЬКОГО.

**Ключові слова:** пожежна небезпека, пожежа, протипожежна захищеність, вогнестійкість, перекриття, швейне підприємство, експеримент, екранувальна панель, перешкода, небезпечні фактори пожежі, ризик, комп'ютерне моделювання.

# INTRODUCTION

The processes of fire ignition and spread at garment industry enterprises are directly related to the specific features of production organization and the extent to which measures aimed at preventing the occurrence of combustion have been implemented. A significant influence on the possibility of fire occurrence and its rapid spread is exerted by the ignition and self-ignition temperatures, which are arguably among the most important parameters characterizing the fire hazard of any substances and materials, including those used in the technological processes of garment manufacturing enterprises to obtain finished products. Therefore, compliance with safe temperature operating conditions during the operation of production equipment in sewing workshops is essential.

Given the variety of causes of fires at garment industry enterprises, a range of measures are introduced to ensure an appropriate level of fire safety. Fire prevention at garment manufacturing enterprises is carried out on the basis of established regulatory requirements aimed at ensuring explosion and fire safety in their production and storage facilities. Fire safety measures for garment enterprises consist in creating safe working conditions that eliminate or ensure a minimal likelihood of the occurrence of an off-specification, uncontrolled combustion process. This is achieved through the comprehensive application of structural, technical, and organizational measures both on the enterprise premises and within the interior spaces of garment industry buildings.

Under such conditions, it is important to establish an effective fire prevention system for garment enterprises, encompassing a комплекс of structural, technical, and organizational measures to minimize the likelihood of ignition and the rapid spread of fire.

The purpose of this monograph is to conduct research aimed at ensuring fire safety in garment production by reducing fire

spread and increasing the time interval before the onset of hazardous fire factors through the use of shielding panels.

The monograph is based on many years of research, including analysis, generalization, and comparison of scientific and technical advances in the current state of ensuring fire safety in the production premises of garment enterprises, computer modeling, the use of a full factorial experiment, and the conduct of field tests.

**Author Contributions:** The monograph uses the results of the PhD dissertation research conducted by Ivan ADOLF, Doctor of Philosophy, and the scientific publications of Volodymyr TOVARIANSKYI, Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering), Associate Professor.

**Keywords:** fire hazard, fire, fire protection, fire resistance, floor/ceiling slab, garment enterprise, experiment, shielding panel, barrier, hazardous fire factors, risk, computer modeling.

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ЦЗ – цивільний захист
ЕП – екранувальна панель
ПРП – пожежно-рятувальний підрозділ
ПФЕ – повнофакторний експеримент
FDS – Fire Dynamics Simulator
ППБУ – Правила пожежної безпеки в Україні
ПБ – пожежна безпека
ПС – пожежний сповіщувач
КЗ – коротке замикання
ВПО – великий перехідний опір
НЧП – небезпечні чинники пожежі
ДЗ – джерело займання
ЛЗР – легкозаймисті рідини
ГР – горючі рідини
ГП – горючий пил
ГВ – горючі волокна
ПВ – пожежна водойма

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ПІДПРИЄМСТВ ШВЕЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

## 1.1. Аналіз пожеж на підприємствах швейної промисловості

Швейні підприємства вирізняються інтенсивним використанням автоматизованих систем у технологічних циклах, а також суттєвою концентрацією як робочого устаткування, так і запасів сировинних матеріалів [10, 19, 56]. Поєднання технічних засобів та текстильних ресурсів на цих потужностях формує значну пожежну навантагу, яка за наявності джерела займання створює передумови для виникнення масштабних пожеж.

Згідно зі статистичними даними, випадки займання на підприємствах з пошиття одягу регулярно фіксуються як на території України, так і за її межами. При цьому показники частоти таких подій залишаються стабільно високими та демонструють динаміку зростання [77, 78, 79, 80].

Зокрема, 03 січня 2017 року масштабна пожежа була зафіксована у місті Львові за адресою: вул. Олени Степанівни, 45, де вогонь охопив приміщення заводу «Електрон» (рис. 1.1).



а) б)

Рисунок 1.1 – Процес ліквідації пожежі (а) та наслідки, спричинені пожежею у виробничих та складських приміщеннях швейного підприємства (б)

Для ліквідації цієї пожежі залучено 62 рятувальники та 12 одиниць пожежно-рятувальної техніки. Масштаби пожежі були значними, а охоплена площа становила близько 2500 м². Під час виконання завдань за призначенням один із рятувальників отримав термічні ураження. В результаті пожежі було повністю втрачено технічне оснащення цехів, запаси сировини та партії готових виробів [74].

«26 травня 2017 року в місті Володимир-Волинський (Волинська область) на території швейної фабрики було зафіксовано займання в одному з виробничих корпусів, що призвело до травмування однієї особи. За попередніми висновками, осередок горіння локалізувався у просторі горища. У результаті пожежі деструктивного впливу зазнали стінові конструкції та міжповерхові перекриття будівлі; крім того, було у значній мірі пошкоджено та знищено технологічне устаткування і запаси сировини, призначеної для виробничого циклу (рис. 1.2). Пряма дія відкритого полум'я також спричинила суттєві пошкодження несучих конструкцій покрівлі [59]».



Рисунок 1.2 – Процес ліквідації пожежі у швейному цеху у м. Володимир-Волинський Волинської області [59]

26 січня 2020 року в селі Блощинці Білоцерківського району Київської області сталося займання в одноповерховій споруді швейного цеху. Вогонь розповсюдився на площу 1400 м², що призвело до повної втрати готових виробів та текстильної сировини. Окрім цього, суттєвих пошкоджень зазнало технологічне устаткування та конструктивні елементи виробничої будівлі підприємства. [51].

У Харкові 6 серпня 2020 року за адресою пров. Карпатський, 2, сталася пожежа в одноповерховій нежитловій споруді, яка використовувалася як швейний цех. На момент прибуття пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС, вогонь охопив площу близько 325 м²; на щастя, жертв або постраждалих не зафіксовано. Внаслідок дії вогню було пошкоджено покрівлю та мансарду будівлі. Крім того, всередині цеху полум'я повністю знищило обладнання, запаси сировини та готової продукції. [13].

7 лютого 2022 року в Одесі (вул. Варненська, 21) виникло займання у швейному цеху, що належить підприємству Українського товариства сліпих. Під час ліквідації вогню фахівці ДСНС виявили та вивели з небезпечної зони чоловіка, який перебував безпосередньо у виробничому приміщенні на першому поверсі. В ході подальшої розвідки на третьому поверсі було знайдено ще одну особу: через сильне задимлення чоловік опинився у пастці та не міг вийти самостійно. Рятувальники успішно провели евакуацію та передали потерпілого лікарям.

За попередніми даними, осередком пожежі стала електрощитова на першому поверсі чотириповерхового виробничого корпусу. Через високу концентрацію диму в будівлі особовий склад ДСНС виконував завдання виключно в апаратах захисту органів дихання (ізолюючих апаратах на стисненому повітрі). До гасіння та усунення наслідків надзвичайної події було залучено 12 одиниць спецтехніки та 45 чоловік особового складу [14].

Однією з наймасштабніших трагедій за межами України стала пожежа 24 листопада 2012 року в місті Дакка, Бангладеш. Займання почалося ввечері на першому поверсі багатоповерхової будівлі швейної фабрики, де розташовувалися склади з готовими виробами та сировиною. Через значну кількість горючих матеріалів вогонь стрімко поширився по всій споруді та між рівнями. Ця подія забрала життя понад 100 осіб. Ймовірною причиною пожежі вважають коротке замикання в електромережі. Вогонь повністю знищив будівлю, технічне оснащення та майно. Варто зауважити, що пожежі з численними жертвами є системною проблемою для текстильної галузі Бангладеш [59].

Того ж року, 11 вересня, сталася катастрофічна пожежа на швейному підприємстві в місті Карачі, Пакистан. Трагедія, що відбулася у вечірній час, призвела до загибелі понад 200 людей. Багато хто з тих, кому вдалося вижити, отримали травми, оскільки були змушені стрибати з вікон. Велика кількість жертв та затримка евакуації були зумовлені відсутністю достатньої кількості виходів та наявністю грат на вікнах. Для ліквідації вогню було задіяно понад 40 одиниць спецтехніки [16].

4 грудня 2012 року в китайському місті Шаньтоу (провінція Гуандун) пожежа на швейній фабриці стала причиною смерті 14 осіб. Правоохоронні органи встановили, що причиною інциденту став навмисний підпал. Слід додати, що КНР наразі утримує статус світового лідера з виробництва та експорту одягу [75].

Щодо вітчизняних випадків, то 30 листопада 2020 року в Хмельницькому на вул. Тернопільській горіло приміщення швейного цеху. До ліквідації було залучено 23 рятувальники та 5 пожежних машин. Роботу вогнеборців ускладнювали висока щільність задимлення та значне пожежне

навантаження. Загалом вогонь вдалося приборкати на площі 40 м² [52].

24 січня 2018 року близько 11:29 на диспетчерський пункт надійшов виклик про пожежу в Індустріальному районі Харкова. Займання сталося у швейному цеху, що розміщувався у двоповерховій споруді за адресою: проспект Московський (нині Героїв Харкова), 299А/4. До моменту приїзду першого рятувального підрозділу площа вогню вже сягала приблизно 500 м². З небезпечної будівлі було успішно евакуйовано 70 співробітників підприємства. До ліквідації цієї масштабної пожежі залучено 10 пожежних автоцистерн, 2 автодрабини та 2 спеціальні аварійно-рятувальні машини. Загалом до гасіння було залучено 70 чоловік особового складу [76].

Таким чином, на основі дослідження випадків пожеж на підприємствах швейної галузі в Україні та світі, можна дійти висновку, що такі події становлять серйозну небезпеку для життя та здоров'я працівників. Характерними особливостями пожеж у цій сфері є швидке охоплення великих площ, що супроводжується повним знищенням сировинної бази, готових товарів, технологічного устаткування та самих будівельних конструкцій. Окрім значних економічних втрат, такі надзвичайні ситуації спричиняють суттєвий негативний вплив на стан навколишнього середовища.

## 1.2. Аналіз причин виникнення пожеж на швейних підприємствах

У швейному секторі зосереджено близько 50% від загальної чисельності персоналу легкої промисловості. Виробничі потужності розташовані як у великих обласних центрах, так і в малих населених пунктах, оскільки ключовим фактором при виборі місця для підприємства є доступність трудових ресурсів. Географія галузі в Україні охоплює такі міста, як Київ, Львів, Харків, Одеса, Дніпро, Донецьк,

Запоріжжя, Чернівці, Дрогобич, Бахмут (колишній Артемівськ), Умань та інші [70]. Динаміку кількості підприємств швейного профілю та чисельності їхніх працівників за період з 2010 по 2019 рік відображено в таблиці 1.1 [37].

Таблиця 1.1

Кількість швейних підприємствах України у 2010–2019 рр. [37]

| Роки | Кількість підприємств | Кількість зайнятих працівників |
|---|---|---|
| 2010 | 3361 | 109153 |
| 2011 | 3215 | 106669 |
| 2012 | 2924 | 103329 |
| 2013 | 3189 | 97300 |
| 2014 | 2769 | 83706 |
| 2015 | 2765 | 81655 |
| 2016 | 2341 | 85030 |
| 2017 | 2518 | 87860 |
| 2018 | 2672 | 91742 |
| 2019 | 2734 | 94101 |

Ключовою місією швейної індустрії є задоволення потреб споживачів у різноманітному асортименті одягу та текстилю. Враховуючи високу концентрацію персоналу на таких об'єктах, критично важливим аспектом є забезпечення належного рівня пожежної безпеки під час виробничого циклу.

Функціонування швейних фабрик базується на технологічних процесах різного ступеня складності та автоматизації. Будь-яка стадія виготовлення продукції

супроводжується використанням легкозаймистих рідин, горючих речовин та матеріалів. При цьому особливості розвитку пожеж на таких підприємствах безпосередньо залежать від специфіки організації виробництва та ефективності впроваджених превентивних заходів.

У роботі [115] детально проаналізовано стан пожежної безпеки на швейних підприємствах Бангладеш. Дослідження дозволило ідентифікувати типові порушення, що виникають при експлуатації обладнання. Зокрема, виокремлено такі системні проблеми:

- захаращення шляхів евакуації та неналежний стан евакуаційних виходів (їх недостатня кількість або невдале розташування).
- відсутність вогнестійких бар'єрів, зокрема протипожежних дверей, що сприяє швидкому поширенню вогню.
- недостатнє оснащення системами автоматичного пожежогасіння та оповіщення про небезпеку через складну економічну ситуацію.

На основі виявлених недоліків було запропоновано комплекс рекомендацій, спрямованих на приведення швейних виробництв у відповідність до нормативних вимог пожежної безпеки [115].

Аналізуючи специфіку розвитку небезпечних подій на підприємствах швейної галузі, варто підкреслити, що такі пожежі вирізняються високою швидкістю розповсюдження вогню, показники якої варіюються в межах від 0,35 до 2 м/хв [12, 66, 89].

Інтенсивність поширення полум'я безпосередньо залежить від щільності розміщення об'єктів із пожежним навантаженням: встановлено зворотну залежність — чим менша відстань між технологічними ділянками, тим швидше зростає площа горіння.

Крім того, для таких інцидентів характерні такі небезпечні чинники:

- температурний режим: тепловий вплив у зоні пожежі сягає від 300 °С до 930 °С.
- токсичність: інтенсивне виділення диму та отруйних продуктів термічного розкладу матеріалів.

Сукупність цих факторів не лише створює критичну загрозу для життя персоналу, а й спричиняє безповоротну втрату виробничих потужностей, запасів сировини та готових товарів, а також призводить до деформації або повного руйнування несучих конструкцій будівлі.

Аналіз технічного оснащення сучасних швейних фабрик дозволяє класифікувати основне обладнання за такими категоріями: промислові швейні машини, устаткування для прасування та розкрою, допоміжне оснащення, а також обчислювальна техніка. Окремо слід виділити інженерні системи, що забезпечують робочий процес: вентиляційне та освітлювальне обладнання, а також силові й освітлювальні електромережі [10, 19].

Невід'ємною складовою виробничого циклу є персонал, який безпосередньо взаємодіє з обладнанням та матеріалами для створення кінцевого продукту. Саме ця комплексна взаємодія людей, енергоємного устаткування та значних обсягів горючої сировини формує постійні ризики виникнення пожеж на підприємствах галузі.

З огляду на технологічні потреби, структура основного виробництва розподілена на функціональні підрозділи. Співвідношення різних етапів виробничого процесу у відсотковому розрахунку за відповідними цехами наведено на рисунку 1.3 [10].

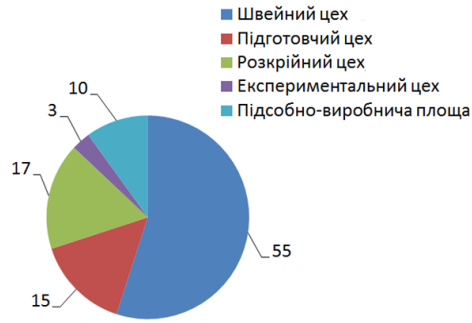



Рисунок 1.3 – Схема співвідношення у відсотках виробничих площ швейного підприємства

Технологічний процес виготовлення швейної продукції можна відобразити у вигляді схеми [10] (рис. 1.4).

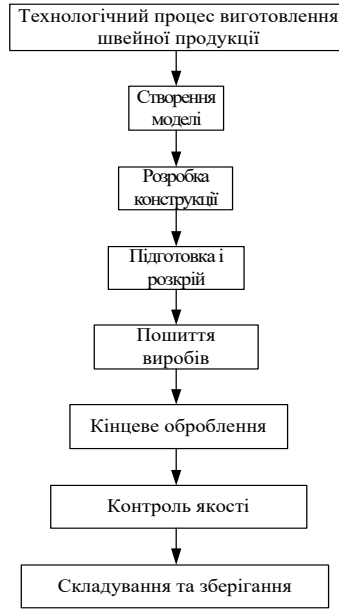



Рисунок 1.4 – Схема технологічного процесу виготовлення швейної продукції

Ключовими показниками, що визначають ступінь пожежної небезпеки будь-яких речовин, зокрема й текстильної сировини, є температури займання та самозаймання. Саме ці параметри відіграють вирішальну роль у можливості виникнення та інтенсивності розповсюдження вогню в межах технологічних процесів швейного виробництва.

Кожен випадок займання на таких об'єктах має індивідуальну етіологію та різні за масштабом наслідки. Під причиною пожежі слід розуміти специфічне поєднання подій, дій персоналу або технічного стану обладнання, взаємодія яких ініціює неконтрольований процес горіння. На основі аналізу статистичних [77-80] та науково-методичних праць [53, 69], чинники виникнення пожеж на швейних підприємствах класифіковано за такими типами:

- людський фактор;
- стан виробничого устаткування;
- властивості речовин та матеріалів;
- природні явища.

Детальніше розглянемо групу причин, що зумовлені людським фактором. До них належать:

1. Навмисні підпали (використання стороннього джерела запалювання).
2. Необережне поводження з вогнем у побутових або робочих ситуаціях.
3. Порушення регламентів під час вогневих робіт (зокрема, використання відкритого полум'я для прогріву комунікацій чи двигунів).
4. Недотримання правил монтажу та експлуатації електротехнічних пристроїв.

Як зазначається у дослідженні [69], пожежі з цих причин здебільшого є наслідком халатності працівників, неналежного виконання посадових обов'язків або відсутності системного навчання персоналу з питань пожежної безпеки.

До чинників виникнення пожеж, обумовлених технічним станом та експлуатацією виробничого устаткування, належать:

− технічні несправності та конструктивні дефекти: використання обладнання з вадами конструкції, поломки рухомих вузлів, а також потрапляння сторонніх предметів у механізми, що працюють;

− порушення регламентів: недотримання встановлених графіків технічного обслуговування, відхилення від технологічних норм виробництва та ігнорування правил експлуатації апаратів;

− електротехнічні причини: аварійні режими роботи електричних мереж та споживачів, виникнення електростатичних розрядів, а також відсутність або несправність систем іскрогасіння;

− механічний та тепловий вплив: надмірне тертя поверхонь деталей, що рухаються, та критичний перегрів обладнання внаслідок виходу з ладу систем охолодження [69].

До факторів виникнення пожеж, що зумовлені специфікою речовин та матеріалів, належать процеси теплового, хімічного та мікробіологічного самозаймання. У таких випадках ініціювання горіння безпосередньо залежить від фізико-хімічних властивостей сировини, її об’ємного накопичення (маси) та дотримання регламентованих умов зберігання й використання у виробничому циклі [69].

Характеристика видів самозаймання у швейній галузі:

Теплове самозаймання виникає внаслідок тривалого впливу зовнішнього нагрівання (наприклад, поблизу прасувального обладнання або несправних систем опалення), що призводить до поступового накопичення тепла всередині текстильних матеріалів.

Хімічне самозаймання стає результатом взаємодії речовин (наприклад, просочених оливами чи розчинниками тканин) з киснем повітря або іншими хімічними агентами.

Мікробіологічне самозаймання притаманне натуральним волокнам (бавовна, льон), які зберігаються в умовах підвищеної вологості. Життєдіяльність мікроорганізмів у товщі матеріалу викликає підвищення температури до критичних значень.

Стосовно чинників виникнення пожеж, зумовлених природними явищами, слід зазначити, що такі інциденти можуть бути спровоковані дією сфокусованого сонячного проміння або тепловими ефектами розрядів атмосферної електрики під час грозової активності. Окрім прямого удару блискавки, необхідно брати до уваги ризики, пов'язані з вторинними проявами грозових розрядів, такими як електромагнітна чи електростатична індукція, а також занесення високого потенціалу в будівлю.

Займання через сонячну енергію стає можливим у разі наявності в архітектурних конструкціях елементів, здатних фокусувати промені, за умови потрапляння такої теплової енергії на ділянки з наявним пожежним навантаженням. У контексті атмосферної електрики, виникнення пожеж найчастіше пов’язане з відсутністю на підприємстві комплексної системи блискавкозахисту, її конструктивними недоліками (неправильним вибором типу захисту) або неналежним технічним обслуговуванням [45, 69].

Визначення ймовірних чинників виникнення пожеж на об’єктах швейної індустрії здійснюється на підставі комплексного аналізу даних щодо специфіки та етапності технологічних процесів, переліку експлуатованого виробничого устаткування, а також якісних і кількісних характеристик пожежного навантаження. Окрім технічних аспектів, оцінка базується на вивченні регламенту роботи підприємства, рівня фахової обізнаності персоналу з питань

протипожежного захисту та ефективності впроваджених заходів із нівелювання ризиків, зумовлених природними явищами.

### 1.3. Дослідження процесів горіння тканин, що обертаються у виробничих процесах підприємств швейної промисловості

Функціонування швейних підприємств, що характеризуються широким асортиментом продукції, супроводжується використанням у технологічних циклах різноманітних видів текстильних матеріалів. У поєднанні з виробничим устаткуванням ці матеріали формують складне пожежне навантаження, що зумовлює ризики виникнення та інтенсивного розповсюдження вогню. Подібні загрози детермінуються порушеннями регламентів пожежної безпеки, відхиленнями від параметрів технологічних процесів, а також появою потенційних джерел запалювання [53]. Останні можуть виникати як за штатного режиму експлуатації обладнання, так і внаслідок аварійних ситуацій чи інших позарегламентних явищ [69].

Згідно з результатами досліджень [29], текстильні матеріали класифікують за походженням їхніх волокон на природні, штучні та синтетичні.

Група природних тканин охоплює волокна:

- мінерального походження (азбест);
- рослинного походження (бавовна, льон, коноплі, джут, бамбук, сизаль, рамі, а також менш поширені — абака, капок, кенаф, койр, пінья, рафія та деревне волокно);
- тваринного походження (шовк, павутина, різні види вовни: верблюжа, собача, альпака, ангора, вікунья, гуанако, кашемір, лама, мохер, пашміна; а також специфічні матеріали — бісус, кетгут, ківіют, кріль та сухожилля).

Штучні тканини систематизують за сировинною базою на:

- мінеральні (скловолокно, базальтове волокно, мінеральна вата);
- целюлозні (віскоза, ацетат, модал, ліоцелюлоза, штучний шовк, бамбук).

До категорії синтетичних тканин відносять полімерні матеріали, серед яких: акрилік, анід, арселон, арамідні волокна (Kevlar, Nomex, Twaron, Technora), віналон, вуглеволокно (Tenax), дерклон, еластан (лайкра, спандекс), зейлон, мікрофібра, модакрил, нейлон, олефінові та фторволокна, поліестер, поліпропілен (пролен), поліетилен (Dyneema, Spectra) та полігліколід.

Зважаючи на значну номенклатуру та високий рівень пожежної небезпеки текстилю, вивченню його фізико-хімічних характеристик присвячено численні наукові праці. Зокрема, у дослідженні А. С. Пушкаренка та А. А. Чернухи [64] проаналізовано показники займистості та горючості матеріалів, підданих обробці вогнезахисною гелеутворювальною композицією на основі силікату натрію та хлориду кальцію (розробка НУЦЗУ). Автори експериментально довели високу ефективність використання зазначеної суміші для підвищення вогнестійкості тканин.

Питання зниження горючості волокнистих структур розглянуто у праці Н. І. Коровникової та співавторів [48]. Дослідники підтвердили гостроту проблеми пожежної вразливості текстилю та здійснили науковий пошук оптимальних антипіренів, що поєднують у собі високу вогнезахисну спроможність та екологічну безпеку.

Аналогічний вектор досліджень обрано З. С. Сірком та групою авторів [67], які, з урахуванням специфіки пожежної небезпеки тканин провели аналіз існуючих антипіренів для целюлозовмісних матеріалів та запропонували вдосконалені рецептури просочувальних композицій.

Вагомий внесок у методологію оцінювання якості декоративних виробів зробили Н. І. Осипенко та Д. В. Колчева [57]. Вони модифікували методику визначення займистості портьєрних тканин. У роботі представлено порівняльний аналіз параметрів займання зразків у вихідному стані та після застосування вогнезахисних засобів.

У наукових працях зарубіжних дослідників [91, 101, 104, 119] значна увага приділена вивченню механізмів займання бавовняних полотен, а також розробці методів підвищення їхньої вогнестійкості шляхом застосування інгібіторів горіння та антипіренів. Результати цих робіт поглиблюють фундаментальне розуміння термохімічних процесів, що супроводжують термічну деструкцію бавовни.

Фундаментальний внесок у вивчення кінетики займання та самозаймання зробив учений Дурбетакі [90]. Дослідником визначено перелік ключових параметрів, необхідних для адекватного прогнозування моменту займання:

- поверхнева щільність (маса одиниці площі);
- питома теплоємність і теплопровідність;
- температура запалювання та ентальпія піролізу.

Окремо наголошено на важливості врахування відбивної здатності текстилю при дії променистого теплового потоку. Автор встановив, що займання термопластичних волокон відбувається безпосередньо після фази їх плавлення. Експериментальні вимірювання часу займання проводилися для зразків, схильних до карбонізації (обвуглювання), за інтенсивності теплового випромінювання у діапазоні від 0,25 до 15 Вт/см².

Комплексний аналіз пожежної небезпеки одежних тканин представлено у роботі [94]. Автором систематизовано чинники, що детермінують процес горіння:

1. Сприйнятливість до займання за різних умов ініціювання (контакт із відкритим полум'ям, розігрітим

об'єктом, нагрітим газовим середовищем або радіаційним полем).

2. Кінетичні показники: швидкість поширення полум'я та масова швидкість вигоряння.

3. Фізичні параметри: температура полум'я та інтенсивність тепловіддачі.

4. Екологічні та токсикологічні аспекти: димоутворювальна здатність і концентрація продуктів неповного згоряння.

У праці [99] висвітлено особливості поведінки текстилю, виготовленого з модифікованих вогнезахисними сполуками волокон, в умовах термічного впливу. Аналіз горіння змішаних тканин (поліестер з вовною) наведено у дослідженні [105], де акцентовано на високому рівні їхньої пожежної небезпеки, зокрема через токсичність летких продуктів піролізу та високу швидкість поширення фронту вогню.

Питання математичного моделювання та методології опису термічного розкладу багатокомпонентних полімерних систем висвітлені у роботі [106]. Розвиток цієї теми продовжується у дослідженнях [107, 112], де автори аналізують вплив окремих інгредієнтів сумішевих тканин на загальну динаміку займання. Зокрема, у праці [108] детально порівнюються показники горючості композицій бавовни та поліестеру.

Узагальнююче дослідження текстильних полімерних систем [114] розкриває кореляцію між хімічною структурою макромолекул та їхньою горючістю. Авторами підтверджено домінуючу роль процесів газифікації та піролізу в загальному циклі горіння. На основі опрацьованих термодинамічних даних обґрунтовано механізми дії трьох базових груп антипіренів (галогено-, фосфоро- та металовмісних), а також оцінено їхній інгібуючий вплив на радикальні реакції у зоні горіння.

Проте варто зауважити, що наукові праці [91, 101, 104, 119] базуються на методологічних підходах, розроблених у період 1979–1996 років, які на сучасному етапі розвитку науки частково втратили свою актуальність. Відповідно, з огляду на еволюцію випробувальних стандартів та необхідність адаптації до сучасних умов, постає потреба у проведенні додаткових експериментальних досліджень бавовняних тканин. Це дозволить не лише актуалізувати наявні дані, а й виявити нові закономірності та залежності, що відповідають чинним вимогам пожежної безпеки.

Результати аналізу наведених джерел свідчать, що більшість авторів розглядають текстильні матеріали переважно як елементи внутрішнього оздоблення приміщень різного функціонального призначення. При цьому основна увага в наукових працях приділяється зниженню показників горючості та займистості як базовим методам підвищення пожежної безпеки. Водночас поза увагою дослідників залишилися питання ідентифікації найбільш пожежонебезпечних типів текстилю, а також вивчення кореляції між температурами займання і самозаймання та відсотковим співвідношенням компонентів у сумішевих тканинах.

Викладене вище підтверджує актуальність проведення поглиблених наукових досліджень параметрів пожежної небезпеки бавовняних тканин. Отримані дані дозволять оптимізувати процеси вибору та експлуатації матеріалів, а також удосконалити заходи щодо запобігання пожежам і обмеження їхнього поширення на підприємствах швейної галузі.

Зокрема, за результатами теоретичних досліджень, викладених у праці [73], було систематизовано значення температур займання для низки матеріалів, включаючи тканини, що становлять основу сировинної бази сучасних швейних виробництв (табл. 1.2).

Таблиця 1.2
Температури займання деяких тканин та матеріалів [73]

| № з/п | Назва тканини, матеріалу | Температура займання *t*, °С |
|---|---|---|
| 1 | целюлоза | 275 |
| 2 | деревина | 240−270 |
| 3 | бавовна | 210 |
| 4 | каучук | 220−285 |
| 5 | поліпропілен | 325−343 |
| 6 | поліестер | 390 |
| 7 | вовна | 580 |
| 8 | капрон | 395 |
| 9 | нейлон | 355 |
| 10 | полістирол | 310 |

Аналіз даних, наведених у табл. 1.2, свідчить, що мінімальні значення температури займання характерні для бавовняного волокна. Водночас встановлено, що продукція текстильної промисловості на основі бавовни переважно містить сумішеві композиції з поліестером у широкому діапазоні відсоткового співвідношення компонентів [29]. Зазначений фактор зумовлює необхідність проведення цілеспрямованих експериментальних досліджень щодо визначення температурних показників займання та самозаймання бавовняних тканин з різним компонентним складом.

## 1.4. Наукові дослідження у сфері моделювання пожеж підприємств швейної промисловості

Пожежі на підприємствах швейної промисловості відзначаються інтенсивним розвитком та здатністю до охоплення значних площ за короткий проміжок часу. Висока швидкість поширення вогню детермінована концентрацією у виробничих зонах великої кількості горючої сировини,

готових виробів, а також специфічного технологічного устаткування, що в сукупності формує високий рівень пожежної небезпеки.

Мінімізація ризиків виникнення пожеж у межах технологічних процесів швейного виробництва потребує ґрунтовних наукових розвідок. Найбільш репрезентативними, проте й найбільш небезпечними, є експериментальні дослідження, спрямовані на відтворення реальних процесів горіння з їх подальшим моделюванням. Через високу ймовірність втрати контролю над пожежею та загрозу життю людей проведення таких випробувань безпосередньо на діючих підприємствах є неможливим.

Задля забезпечення безпеки під час моделювання пожеж та зменшення антропогенного навантаження на довкілля у науковій практиці застосовується комплексний методичний інструментарій. Він включає математичне та комп'ютерне моделювання, а також натурні експерименти на масштабованих або повнорозмірних макетах виробничих приміщень і дільниць. Оскільки швейні фабрики є частиною загальної індустріальної системи, при розробці моделей доцільно враховувати досвід науковців, які спеціалізуються на моделюванні пожеж на промислових об'єктах різного профілю.

У науковій праці [23] реалізовано моделювання потенційних збитків від пожеж на об'єктах різного функціонального призначення з урахуванням факторів пожежного ризику. Своєю чергою, у дослідженні [24] обґрунтовано застосування статистичних методів моделювання для аналізу динаміки розвитку пожежі безпосередньо у приміщенні осередку займання.

Окрему наукову увагу привертає робота [71], у якій на основі синтезу методу редукції, концепції квазіпохідних та положень сучасної теорії систем лінійних диференціальних рівнянь розроблено прямий метод розрахунку

нестаціонарних температурних полів. Для вирішення поставленої задачі автори застосували метод Фур'є та апарат власних функцій, що дозволило змоделювати термічний стан чотиришарової огороджувальної конструкції в умовах пожежі. Отримані результати мають високу практичну значущість і можуть бути імплементовані для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій та оптимізації протипожежного захисту виробничих приміщень швейних підприємств.

У дослідженні [25] на підставі результатів дробово-факторного експерименту авторами запропоновано методику моделювання та виведено статистичну модель розвитку пожежі в замкненому просторі за умов обмеженої дифузії кисню. Розроблена модель дозволяє з високою точністю прогнозувати температурні показники як безпосередньо в осередку горіння, так і в різних точках температурного поля на відстані від нього.

Наукова праця [30] присвячена експериментальному визначенню розрахункових температурних кривих пожежі в обмеженому об'ємі. Випробування проводилися із застосуванням спеціалізованої експериментальної печі, параметри якої імітували приміщення з фіксованими геометричними характеристиками та заданою щільністю пожежного навантаження. За результатами порівняльного аналізу автори встановили, що розрахункова модель (крива) BFD демонструє найбільш високу кореляцію з експериментальними даними порівняно зі стандартними та параметричними температурними кривими.

У науковій праці [47] за допомогою математичного моделювання проаналізовано детермінанти розвитку пожеж на деревообробних підприємствах з метою обмеження масштабів їхнього поширення. Автор довів, що фізико-хімічні властивості матеріалів та геометрична конфігурація пожежного навантаження суттєво впливають на

інтенсивність вигоряння твердих горючих речовин. У роботі змодельовано два базові режими розвитку пожежі:

1. Режим, регульований навантаженням: за умови достатньої концентрації кисню динаміка горіння визначається кількістю та властивостями пожежного навантаження.

2. Режим, регульований вентиляцією: розвиток пожежі лімітується обмеженим припливом окиснювача. Запропоновані математичні моделі та виявлені закономірності є релевантними для прогнозування пожежної небезпеки у виробничих приміщеннях швейної галузі.

Питання оперативного реагування та технічного забезпечення протипожежних заходів розглянуто у дослідженні [49]. Автор розробив оптимізаційні імітаційні моделі ліквідації пожеж на промислових об'єктах з урахуванням показників надійності пожежно-рятувальної техніки та обладнання.

Методологічні підходи до оцінювання індивідуального пожежного ризику представлені у праці [54]. Автор запропонував системну послідовність врахування параметрів, що дозволяють визначити кореляцію між ефективністю функціонування систем протипожежного захисту та кінцевим значенням рівня ризику.

Дослідження авторського колективу [58] присвячене аналізу факторів, що впливають на часові показники прибуття пожежних підрозділів до місця виклику. Метою роботи є розроблення та оптимізація прогностичних моделей логістики, що забезпечують мінімізацію часу оперативного реагування.

Питання моделювання динаміки пожеж та процесів евакуації на об'єктах швейної промисловості висвітлено у численних працях зарубіжних дослідників, серед яких варто відзначити A. Shamsul, A. Firoz, F. M. Haque, M. A. R. Khandoker, M. Wasi, R. M. Khan, S. A. Mahmud, M. A. Rahman, R. J. Mou та A. Muntaha.

Для отримання верифікованих результатів та візуалізації небезпечних факторів пожежі зазначені автори використовували сучасні програмні комплекси та методи обчислення, зокрема:

- Computational Fluid Dynamics (CFD): для детального розрахунку газодинаміки та тепломасообміну в умовах пожежі;
- PyroSim (на базі FDS): для імітації розповсюдження диму та температурних потоків у приміщеннях зі складним пожежним навантаженням;
- Pathfinder: для аналізу та прогнозування часових параметрів евакуації персоналу з урахуванням антропометричних характеристик та архітектурних особливостей будівель;
- Space Syntax System: для дослідження просторової конфігурації об'єктів та її впливу на логістику переміщення людей.

У науковій праці [93] реалізовано моделювання процесів евакуації персоналу в умовах виникнення пожежі з використанням аналітичного інструментарію Space Syntax System. Цей програмний комплекс, розроблений на базі Університетського коледжу Лондона (*University College London*) у 1990-х роках, призначений для фундаментального дослідження закономірностей просторового переміщення людей. Методологічні можливості системи дозволяють здійснювати багаторівневий аналіз трафіка та пішохідних потоків у різних масштабах: від глобального моделювання міських структур до детального прогнозування динаміки руху в межах окремих виробничих приміщень.

Функціонал зазначеного програмного забезпечення реалізовано у двох форматах: аксіальному (*axial*) та ізовіст-аналізі (*isovist*). Для дослідження архітектурно-планувальних рішень швейної фабрики було застосовано формат isovist, який дозволяє оцінити поле видимості з конкретних точок простору. Аналіз процесу евакуації персоналу здійснювався із залученням

двох ключових інструментів — кутового та метричного аналізів.

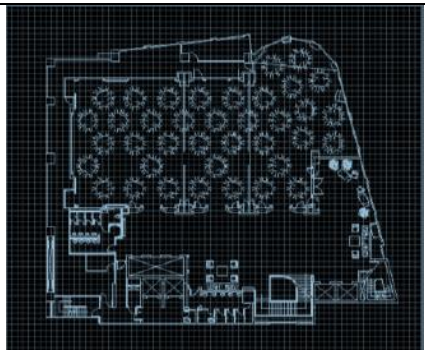
Кутовий аналіз базується на розрахунку діагональної відстані від заданої точки до евакуаційного виходу. Варто зазначити, що цей метод має певні допущення: він не враховує кількість поворотів на шляху руху персоналу, геометричні параметри (ширину) евакуаційних виходів, а також щільність людського потоку.

Натомість метричний аналіз моделі пересування оперує значенням фактичної фізичної відстані від вихідної точки до евакуаційного виходу. Цей підхід є більш деталізованим, оскільки він враховує всі наявні перешкоди, архітектурні бар'єри та конфігурацію шляхів евакуації, включаючи кожен поворот на маршруті.

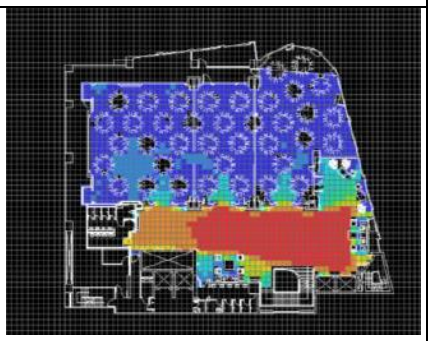
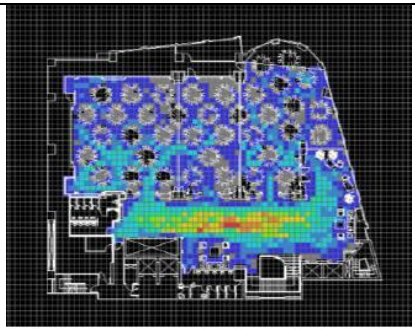
Методологічну послідовність та основні етапи реалізації кутового й метричного аналізів із застосуванням інструментарію Space Syntax систематизовано й представлено у таблиці 1.3 [93].

Таблиця 1.3.

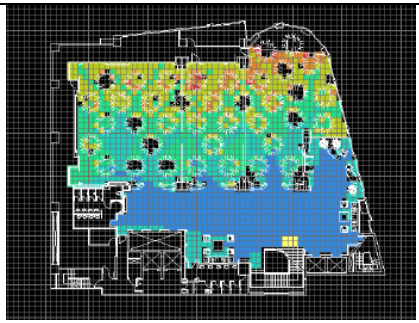
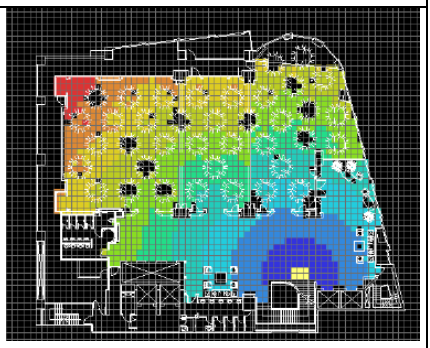
Кутовий та метричний аналіз з використанням Space Syntax [93]

| **Етапи дослідження моделей руху людей** | **Графічне відображення етапів** |
|---|---|
| **Крок 1-й.** Конвертування графічних даних про об'єкт досліджень у робочий формат програми. |  |

Продовження табл. 1.3.

| | |
|---|---|
| **Крок 2-й.** Вибір зони дослідження. Для дослідження безпеки внутрішніх приміщень та візуалізації використовується інструмент Depth map VGA. Область дослідження виділяється «інструментом заливки». Відбувається вивчення рухової активності досліджуваного поверху. |  |
| **Крок 3-й.** Створення загальної моделі видимості досліджуваного приміщення. Частина приміщення відображена синім кольором, інша — червоним. Відбувається врахування розміщених меблів, обладнання та поділ зон приміщення за рейтингами видимості. |  |
| **Крок 4-й.** Інструментальний аналіз. Визначаються найбільш та найменш використовуванні для переміщення людей шляхи. Виокремлюються найбільші місця скупчення персоналу під час евакуації. |  |

Продовження табл. 1.3.

| | |
|---|---|
| **Крок 5-й.** Запуск інструментарію програмного забезпечення з визначених місць, що враховують видимість, кут розміщення. Користувачем визначається точка, з якої здійснюється найважче і найтриваліше переміщення персоналу до евакуаційного виходу з досліджуваного приміщення. |  |
| **Крок 6-й.** Запуск метричного інструментарію. Враховуючи отримані метричні дані, встановлюються градієнти з найбільшим ризиком, що позначаються червоним кольором. Метричним аналізом враховано всі наявні перешкоди, які потрібно подолати, щоб дістатись до безпечного місця. |  |

На основі подальшого аналізу було ідентифіковано сукупність детермінант, що впливають на динаміку евакуаційного процесу. До переліку факторів, які зумовлюють потенційні загрози для персоналу швейних підприємств у разі виникнення пожежі, автором віднесено:

- геометричні параметри шляхів евакуації: лінійні розміри (довжина та ширина) проходів, що ведуть до безпечних зон;
- характеристики виходів: габаритні розміри евакуаційних виходів та їхня розрахункова пропускна здатність;
- топологічні показники: відстані від найбільш віддалених робочих місць у виробничому приміщенні до найближчих евакуаційних виходів;
- параметри людського потоку: щільність розміщення персоналу, що підлягає евакуації;
- просторову орієнтацію: кути розташування евакуаційних виходів відносно основних векторів руху;
- кількісні показники: загальна кількість доступних шляхів та виходів із виробничого простору;
- планувальні рішення: конструктивні та дизайнерські особливості розміщення технологічних ділянок і обладнання.

У науковому дослідженні [118] здійснено оцінювання пожежної небезпеки об'єктів швейної галузі. Автором застосовано лінійну математичну модель для чисельного визначення імовірності виникнення пожежі з урахуванням низки змінних параметрів. Розрахунковий алгоритм базується на комплексному аналізі характеристик евакуаційних шляхів, забезпеченості приміщень первинними засобами пожежогасіння (їхнього виду, кількості та технічного стану), а також наявності та достатності джерел протипожежного водопостачання. Особливої актуальності набуло впровадження методів комп’ютерного моделювання з використанням програмного середовища PyroSim. Зокрема, у праці [100] реалізовано імітаційну модель пожежі в семиповерховій будівлі швейної фабрики для верифікації ефективності існуючої схеми евакуації персоналу. Під час проведення симуляції ключова увага приділялася моніторингу таких критичних факторів, як: інтенсивність

задимлення приміщень; концентрація токсичних продуктів термічної деструкції (зокрема оксиду вуглецю CO); динаміка зростання температурних показників.

На основі отриманих результатів автори обґрунтували необхідність модернізації систем протидимного захисту та встановлення сертифікованих протипожежних дверей у складських зонах. Такі заходи спрямовані на локалізацію продуктів горіння та недопущення їх потрапляння до сходових кліток, що є критично важливим для забезпечення безпеки на шляхах евакуації.

У дослідженні [95] для імітаційного моделювання евакуаційних процесів на швейній фабриці застосовано програмний комплекс Pathfinder, тоді як динаміка димоутворення та температурного режиму розраховувалася у середовищі PyroSim. Це програмне забезпечення дозволяє інтегрувати складні архітектурні плани завдяки підтримці форматів Autodesk (DXF, DWG), а також IFC, FBX, DAE та OBJ. Використання інструменту екстракції поверхонь дозволило авторам змоделювати варіативні сценарії розвитку небезпечних факторів пожежі та відповідні алгоритми евакуації. За результатами аналізу було ідентифіковано критичні точки ризику, визначено оптимальну модель виведення персоналу та запропоновано конструктивні рішення для підвищення рівня безпеки будівель.

Окрему увагу привертає робота [116], де на основі повнофакторного експерименту встановлено математичну залежність часу інерційності пожежних сповіщувачів від специфіки горючого навантаження. До ключових змінних віднесено масову швидкість вигорання матеріалу, а також геометричні параметри розміщення сенсорів (висоту та дистанцію від осередку займання). Отримана регресійна залежність лягла в основу методики оптимізації розміщення компонентів систем пожежної сигналізації, що забезпечує верифікацію загоряння на ранній стадії.

Узагальнюючи результати аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду моделювання пожеж на підприємствах швейної галузі, можна стверджувати, що домінуючим підходом є використання сучасних програмних засобів обчислювальної гідродинаміки та агентного моделювання. Більшість досліджень сфокусована на вдосконаленні систем раннього виявлення вогню та оптимізації шляхів евакуації працівників. Проте вивчення ефективності застосування локальних протипожежних перешкод, зокрема екранувальних панелей, у виробничих цехах швейних підприємств наразі представлено фрагментарно, що вказує на дефіцит науково обґрунтованих даних у цьому напрямку.

### 1.5. Основні заходи з протипожежного захисту підприємств швейної промисловості

Підприємства швейної промисловості функціонують як виробничі комплекси, що інтегрують значні обсяги сировинних, матеріальних та людських ресурсів. Діяльність таких об'єктів спрямована на масове виготовлення товарів широкого вжитку, проте сам виробничий цикл зазвичай є високотехнологічним і характеризується підвищеним рівнем пожежної небезпеки. Основне пожежне навантаження зосереджене безпосередньо на робочих місцях, де, відповідно до стадій технологічного процесу, розміщуються запаси сировини, готові вироби, а також швейне та допоміжне устаткування. Як свідчить практика, пожежі на підприємствах цієї галузі мають тенденцію до стрімкого розповсюдження на значні площі, що зумовлює потребу в залученні потужного угруповання сил та засобів для їх ефективної ліквідації.

Питання забезпечення протипожежного захисту промислових об'єктів різного функціонального призначення є предметом ґрунтовних наукових розвідок. Зокрема, у праці [20] розроблено концепцію комплексного впровадження організаційно-технічних заходів, що базується на методології

оцінки пожежного ризику. Дослідження [21] присвячене аналізу термічного впливу на залізобетонні будівельні конструкції, які є найбільш поширеними в індустріальному секторі; отримані результати щодо динаміки нагрівання поверхонь дозволяють прогнозувати момент настання граничних станів конструктивних елементів.

Теоретичне вивчення закономірностей розвитку пожеж на виробничих площах, представлене в роботах [22, 27], підтвердило доцільність використання різноманітних протипожежних перешкод для суттєвого зниження лінійної швидкості розповсюдження полум'я. У науковій роботі [26] проаналізовано поточний стан безпеки промислових та складських споруд, що дало змогу авторам у подальшому дослідженні [28] запропонувати методику оптимізації захисних систем на основі імовірнісного аналізу ризиків.

Досвід експлуатації протипожежних завіс, що традиційно застосовуються в адміністративних та культурно-видовищних закладах, визнано актуальним і для виробничої сфери, зокрема для зонування швейних цехів [46]. Наукові праці [49, 50] акцентують увагу на показниках надійності пожежної техніки та обладнання, а також на розробці критеріїв прийняття управлінських рішень для ефективної ліквідації загорянь.

Окремої уваги заслуговує робота [85], у якій досліджено пожежну небезпеку складів із висотним стелажним зберіганням матеріалів; авторами встановлено параметри температурних режимів та підтверджено високу ефективність спринклерних систем автоматичного пожежогасіння за таких умов.

У дослідженні [88] проаналізовано рівень пожежної небезпеки складських приміщень, обладнаних стелажними системами зберігання, що характеризуються високою концентрацією горючих матеріалів. З метою уповільнення динаміки розвитку пожежі автори запропонували оснащувати

стелажі горизонтальними екранами-перешкодами та інтегрувати спринклерні зрошувачі безпосередньо у внутрішньостелажний простір. Експериментально доведено, що використання таких горизонтальних бар'єрів дозволяє зменшити швидкість вертикального поширення полум'я приблизно на 30%, а також скорочує час інерційності системи автоматичного пожежогасіння. У роботі [96] наведено огляд сучасних спринклерних установок для логістичних комплексів та підтверджено їхню високу експлуатаційну ефективність. Крім того, у праці [98] досліджено особливості виникнення та розповсюдження вогню на складських стелажах промислових об'єктів шляхом порівняльного аналізу сценаріїв розвитку пожежі за наявності систем автоматичного гасіння та у разі їх відсутності.

Важливим аспектом у системі превентивних заходів є проведення вогневих випробувань облицювальних фасадних систем і матеріалів. Метою таких досліджень є ідентифікація найбільш безпечних зразків, придатних для використання на будівлях різного призначення [87]. Зокрема, у праці [102] висвітлено результати тестувань зовнішніх стінових конструкцій на вогнестійкість, що дозволяє встановити можливість їхнього безпечного монтажу згідно з нормативними вимогами. У наукових працях [110, 111] за допомогою програмного комплексу FDS проведено математичне моделювання та порівняльний аналіз ефективності горизонтальних виступів і штангелів як засобів стримування вертикального поширення вогню по фасаду будівлі.

Профілактика виникнення пожеж на об'єктах швейної індустрії базується на суворому дотриманні нормативних положень, що регламентують вибухопожежну та пожежну безпеку виробничих і складських потужностей [63]. Система превентивних заходів спрямована на формування безпечних умов праці, які мінімізують ризик ініціювання

неконтрольованого горіння. Це реалізується через поєднання конструктивних рішень, технічних засобів захисту та організаційних процедур як усередині споруд, так і на прилеглій території підприємства [31, 32].

Ключовим етапом у проектуванні та експлуатації швейних фабрик є ідентифікація категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою згідно з чинними нормами [43]. Аналіз технологічних процесів свідчить, що більшість виробничих і складських зон швейних підприємств класифікується за категорією В. Саме на основі встановлених критеріїв небезпеки визначається періодичність проведення перевірок та заходів державного нагляду у сфері пожежної безпеки [61].

При плануванні територій швейних підприємств особлива увага приділяється обмеженню потенційного поширення вогню між будівлями. Це досягається завдяки:

- раціональному зонуванню: врахуванню рози вітрів та особливостей місцевого рельєфу.
- протипожежним розривам: суворому дотриманню нормативних відстаней між спорудами та влаштуванню протипожежних перешкод.
- вибору матеріалів: застосуванню негорючих компонентів для зовнішнього оздоблення та огородження території [31].

Крім того, інфраструктура підприємства має включати достатню кількість контрольно-пропускних пунктів, систем зовнішнього освітлення, блискавкозахисту та засобів оповіщення про пожежу. Обов'язковою є наявність схем руху транспорту та джерел протипожежного водопостачання. Під’їзні шляхи та внутрішні дороги повинні мати тверде покриття, залишатися вільними для проїзду та забезпечувати безперешкодний доступ пожежно-рятувальної техніки до будь-якої точки об'єкта у разі надзвичайної ситуації [63].

Забезпечення пожежної безпеки внутрішнього простору швейних підприємств ґрунтується на реалізації комплексу конструктивних та об'ємно-планувальних рішень, що мають на меті обмеження поширення вогню як у межах окремих зон, так і між поверхами будівлі [32]. На етапі зведення об'єктів швейної індустрії критично важливо, щоб основні конструктивні елементи — стіни, перегородки, опори, перекриття та марші сходових кліток — відповідали встановленим класам вогнестійкості згідно з нормативними вимогами (таблиця 1) [31].

Дотримання вимог ДБН при влаштуванні будівельних конструкцій суттєво мінімізує ризики обвалення споруди під час пожежі та створює умови для локалізації осередку горіння в межах одного приміщення. Об'ємно-планувальна структура будівлі повинна забезпечувати необхідний ступінь вогнестійкості, передбачати поділ об'єкта на протипожежні відсіки та гарантувати наявність розрахункової кількості евакуаційних шляхів [31, 32, 40].

Окрему увагу слід приділяти недопущенню використання горючих облицювальних матеріалів у виробничих цехах та на шляхах евакуації. Горіння таких матеріалів спричиняє інтенсивне виділення токсичних сполук та критичне задимлення, що перешкоджає візуальній орієнтації персоналу та створює безпосередню загрозу життю людей під час виходу з небезпечної зони [40]. Рекомендується застосовувати оздоблювальні матеріали, показники пожежної небезпеки яких (горючість, димоутворювальна здатність, токсичність) не перевищують нормативно допустимих меж [31].

Важливим вектором підвищення рівня протипожежного захисту швейних цехів є цілеспрямоване зниження пожежної небезпеки будівельних матеріалів. Це реалізується шляхом вогнезахисного оброблення дерев'яних елементів горищних приміщень, нанесення спеціальних покриттів на металеві

конструкції (зокрема, ферми перекриття), а також влаштування додаткового вогнезахисного шару бетону для несучих та самонесучих залізобетонних конструкцій (колон). Впровадження таких заходів дозволяє суттєво підвищити межу вогнестійкості будівельних вузлів, запобігаючи їхньому передчасному руйнуванню або критичним температурним деформаціям у разі пожежі.

Мінімізація вибухопожежної небезпеки безпосередньо в технологічному циклі швейного виробництва досягається за допомогою систем штатної та аварійної примусової вентиляції. Це забезпечує ефективне розрідження концентрації парів легкозаймистих речовин (ЛЗР), які використовуються на певних етапах (наприклад, для технічного обслуговування та знежирення вузлів обладнання). Системи кондиціювання та вентиляції повинні суворо відповідати чинним нормативам ДБН [35].

Крім того, для запобігання накопиченню горючого пилу та текстильних волокон у виробничому середовищі на підприємствах встановлюється регламент щоденного вологого прибирання як відкритих площ, так і важкодоступних ділянок. Результати таких робіт фіксуються у спеціалізованому журналі контролю. Системне поєднання роботи вентиляційних установок та вологого прибирання дозволяє унеможливити утворення вибухонебезпечних концентрацій пилоповітряних сумішей та парів ЛЗР, що могли потрапити у виробничий простір внаслідок розливу чи порушення герметичності.

З огляду на те, що значна частина пожеж на швейних підприємствах спричинена аварійними режимами роботи електричних мереж, критично важливим аспектом безпеки є прецизійний розрахунок параметрів електромережі. Цей процес реалізується на етапі проектування об’єкта та його окремих виробничих ділянок. При розрахунках обов'язково враховується сумарна потужність технологічного

устаткування, систем освітлення та інших споживачів, зокрема комп'ютерної техніки, що використовується для автоматизованого проектування одягу або адміністрування процесів.

Відповідно до нормативних вимог, під час експлуатації об'єктів необхідно забезпечувати регулярний контроль стану електромереж. Залучення ліцензованих організацій для проведення замірів опору ізоляції провідників та перевірки цілісності заземлювальних пристроїв є обов'язковою умовою безпечного функціонування [63].

Для запобігання виникненню джерел запалювання внаслідок технічних несправностей встановлюється низка заборон та вимог:

- Захисна апаратура: категорично заборонено використання несертифікованих або саморобних засобів аварійного відключення (запобіжників).
- Монтажні з'єднання: Не допускається з'єднання провідників методом «скрутки»; натомість мають використовуватися виключно спеціалізовані клемні блоки та затискачі.
- Спеціальне виконання: Оскільки виробничі приміщення належать до категорії В, усе електрообладнання повинне мати відповідний рівень пожежозахищеного виконання.

Важливим організаційним чинником є суворе дотримання технологічного регламенту. Чітке чергування періодів роботи та зупинки обладнання запобігає критичному перегріву струмопровідних частин, що мінімізує ймовірність формування умов для виникнення осередку займання [63].

Фундаментальним аспектом забезпечення пожежної безпеки на швейних підприємствах є оснащення виробничих площ системами протипожежного захисту (СПЗ). До їхнього складу входять автоматичні установки пожежної сигналізації, пожежогасіння та системи димовидалення [33]. Ці засоби

належать до активних методів захисту, оскільки ініціюють свою роботу на ранніх етапах розвитку небезпечної події та здатні повністю ліквідувати осередок горіння за умови коректного вибору типу установки та її безвідмовної роботи [9, 11].

Згідно з нормативними вимогами [33, 43], монтаж автоматичних систем пожежогасіння є обов'язковим для приміщень категорії В, площа яких перевищує 500 м². Проте під час проектування вкрай важливо враховувати специфіку текстильного виробництва: вибір вогнегасної речовини повинен не лише гарантувати приборкання вогню, а й мінімізувати побічні збитки для обладнання, сировини та товарних запасів на ділянках, що не були охоплені полум'ям. Ефективність спрацювання таких систем безпосередньо залежить від точності інженерних розрахунків на стадії проектування.

Протягом періоду експлуатації СПЗ підлягають обов'язковому технічному обслуговуванню та регламентним перевіркам, що здійснюються ліцензованими організаціями у встановлені законодавством терміни. Результати цих заходів фіксуються у відповідній службовій документації об'єкта [33].

У науковій праці [65] проаналізовано ефективність Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» та запропоновано оновлення нормативно-правової бази. Автор наголошує на доцільності впровадження інноваційних бездротових технологій пожежної сигналізації та оповіщення, що за умов широкого розповсюдження дозволить суттєво знизити вартість таких систем.

Черговим поширеним заходом протипожежного захисту є оснащення виробничих площ первинними засобами пожежогасіння, ключове місце серед яких посідають вогнегасники [38, 42, 63]. Використання цих засобів є найбільш ефективним на початковій стадії займання, поки пожежа не набула значних масштабів. На підприємствах

швейної галузі критично важливо підтримувати вогнегасники у справному стані, забезпечуючи їх технічне обслуговування та перезарядку вогнегасними речовинами у суворій відповідності до нормативних термінів [62].

Адміністрація швейного підприємства зобов'язана вести журнали обліку та експлуатації первинних засобів пожежогасіння. У цій документації відображаються дані про загальну кількість засобів, їхні типи, точки дислокації, а також дати проведеного та запланованого технічного сервісу [63].

Поряд із первинними засобами, вагоме значення має підготовка до ліквідації масштабних пожеж із залученням оперативних підрозділів ДСНС. Оскільки такий процес вимагає значних обсягів вогнегасних речовин (передусім води), обов'язковою умовою є належне облаштування та підтримка в робочому стані систем внутрішнього та зовнішнього протипожежного водопостачання [34, 36].

До переліку організаційних заходів, що впроваджуються на швейних підприємствах і потребують постійної модернізації з огляду на статистику пожеж, належать:

- Оптимізація умов праці з метою підвищення рівня загальної безпеки.
- Мінімізація ризиків ініціювання процесів горіння до гранично низьких значень.
- Системний контроль за оснащенням об’єктів технічними засобами попередження та ліквідації загорянь.
- Регламентація процесів порятунку, що включає розробку схем евакуації персоналу, а також алгоритмів збереження обладнання та товарних запасів.
- Моніторинг відповідності діяльності підприємства вимогам чинних нормативно-правових актів у сфері пожежної безпеки.
- Проведення кваліфікованого навчання та регулярних інструктажів як для пересічних співробітників, так і для осіб, відповідальних за протипожежний стан.

Окремо наголошується на необхідності підвищення оперативної ефективності пожежно-рятувальних підрозділів безпосередньо під час ліквідації масштабних пожеж у текстильній галузі [17].

Теоретичне дослідження чинних методів захисту дозволило виявити критичну особливість: згідно з нормативами [33], для виробничих площ категорії В, що не перевищують 500 м², встановлення автоматичних систем пожежогасіння не є обов'язковим. Відсутність найбільш дієвих засобів автоматичної ліквідації вогню на таких об'єктах створює наукове підґрунтя для пошуку альтернативних рішень, які б посилили потенціал первинних засобів пожежогасіння.

У разі виникнення надзвичайної ситуації пріоритетним завданням адміністрації є негайна евакуація персоналу. На ранній стадії ефективним може бути застосування вогнегасників, проте, як свідчить досвід, на підприємствах без автоматичних систем захисту вогонь встигає охопити всю площу приміщення ще до прибуття оперативно-рятувальних загонів. Така ситуація зумовлює гостру необхідність розробки та впровадження додаткових методів підвищення рівня пожежної безпеки швейних виробництв.

Дослідження чинних стратегій протипожежного захисту в швейній індустрії вказує на відсутність досвіду впровадження локальних вогнестійких бар'єрів, зокрема теплозахисних екранів, призначених для ізоляції індивідуальних робочих місць. Така ситуація, ймовірно, пояснюється браком відповідних регламентацій у чинному законодавстві та нормативних актах з пожежної безпеки. Зазначений дефіцит практичних рішень зумовлює необхідність реалізації системних теоретичних та прикладних досліджень, спрямованих на верифікацію ефективності захисних екрануючих конструкцій.

Під час визначення об'єкта дослідження пріоритетними критеріями слугували щільність розміщення персоналу та ймовірність наявності потенційних джерел ініціювання горіння. Проведений аналіз дозволив ідентифікувати швейний цех як найбільш вразливу структурну одиницю підприємства. Це зумовлено високою концентрацією працівників та інтенсивною експлуатацією різнопланового електротехнічного устаткування, що створює сприятливі умови для виникнення осередків займання. Як показує досвід, точка первинного загоряння найчастіше локалізується безпосередньо в межах конкретної робочої зони.

З метою оптимізації роботи персоналу з первинними засобами пожежогасіння у виробничих залах швейних фабрик критично важливо забезпечити умови для сповільнення лінійної швидкості поширення вогню. У контексті вирішення цієї проблеми у праці [68] представлено інноваційну методику, яка передбачає створення технічних бар'єрів, що перешкоджають комунікації вогню між суміжними ділянками з високим пожежним навантаженням.

Запропонований підхід потребує подальшої наукової апробації для детального вивчення впливу специфічних небезпечних чинників пожежі, характерних саме для текстильного виробництва, а також для встановлення реальної ефективності методу. На нинішньому етапі найбільш доцільним вбачається застосування комбінованого підходу, що включає комп'ютерне моделювання динаміки пожежі та проведення верифікаційних натурних вогневих випробувань.

**Висновки до розділу**

Ліквідація пожеж на об’єктах швейної промисловості становить складне інженерне та тактичне завдання, що вимагає мобілізації значного обсягу матеріальних ресурсів та особового складу. Найбільш дієвим підходом у цьому контексті є детекція та локалізація осередку займання на

початковій стадії. Це дозволяє не лише мінімізувати загрози для життя персоналу та підрозділів ДСНС, а й попередити масштабні економічні втрати. Враховуючи високу питому пожежну небезпеку текстильних виробництв, системне дотримання нормативних вимог та розробка інноваційних превентивних засобів є фундаментальними факторами запобігання надзвичайним ситуаціям.

За результатами аналізу поточного стану пожежної безпеки в галузі встановлено таке:

1) відсутність практики локального екранування: На сьогодні не зафіксовано випадків використання захисних екранувальних панелей безпосередньо на робочих місцях швейних підприємств. Впровадження таких бар'єрів мало б забезпечити стримування вогню в межах виробничого простору та нівелювати вплив небезпечних чинників пожежі (теплового потоку, продуктів горіння);

2) потреба у верифікації методу: Обґрунтування ефективності застосування локальних екранувальних перешкод потребує проведення ґрунтовних наукових досліджень, що поєднують методи комп'ютерного моделювання (CFD-аналіз) та натурні вогневі випробування на полігонах.

Викладені тези стали фундаментом для формулювання основної ідеї роботи, яка полягає у підвищенні рівня протипожежного захисту підприємств швейної промисловості України. Запропоноване рішення базується на впровадженні екранувальних панелей як локальних протипожежних перешкод, дія яких спрямована на сповільнення лінійної швидкості поширення полум'я та зниження інтенсивності впливу термічних чинників пожежі.

# РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ШВЕЙНО-ВИРОБНИЧИХ ДІЛЯНОК

## 2.1. Планування експерименту щодо дослідження ефективності застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів

Доцільність та актуальність реалізації наукових досліджень із залученням методології повного факторного експерименту (ПФЕ) обґрунтована фахівцями у численних працях, присвячених пожежній безпеці індустріальних об'єктів [55]. Алгоритм ідентифікації значущих чинників впливу, а також регламент проведення та оформлення результатів відповідних досліджень детально висвітлено у джерелах [15, 18].

Ключовим інструментом верифікації ефективності використання екранувальних панелей в умовах пожежі виступає теоретико-експериментальний аналіз. Цей етап наукового пошуку структурований за такою послідовністю дій:

1. Визначення факторів впливу, які дозволять найбільш якісно встановити ефективність або навпаки неефективність застосування екранувальних панелей для робочих місць швейних підприємств. Фактори впливу, обрані для досліджень: відстань $L$ від екранувальної панелі до робочого місця; висота екранувальної панелі $h$; та пожежна навантага робочого місця $Q$.

2. Розроблення плану проведення експерименту. Дослід передбачає проведення повного факторного експерименту, що охоплює всі можливі комбінації взаємодії випробуваних параметрів.

На основі принципів планування експерименту, з метою подальшої математичної обробки даних ПФЕ, здійснюється процедура кодування факторів. Значення їхніх рівнів

(верхнього, нижнього та основного) систематизовано та наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Кодування факторів та значення їх рівнів

| Інтервали та рівні факторів | Відстань від екранувальної панелі до ділянки з навантаженням $L$, м | Висота екранувальної панелі (екрана) $h_n$, м | Значення питомої пожежної навантаги ділянки $Q$, *кВт* |
|---|---|---|---|
| Нульовий рівень $x_i = 0$ | $x_{i0} = \frac{L_{i(-1)} + L_{i(+1)}}{2};$ | $x_{i0} = \frac{h_{i(-1)} + h_{i(+1)}}{2};$ | $x_{i0} = \frac{Q_{i(-1)} + Q_{i(+1)}}{2};$ |
| Інтервал варіювання $\delta_i$ | $\delta_i = \frac{L_{i(+1)} - L_{i(-1)}}{3};$ | $\delta_i = \frac{h_{i(+1)} - h_{i(-1)}}{3};$ | $\delta_i = \frac{Q_{i(+1)} - Q_{i(-1)}}{3};$ |
| Нижній рівень $x_i = -1$ | $L_{i-1}$ | $h_{i-1}$ | $Q_{i-1}$ |
| Верхній рівень $x_i = +1$ | $L_{i+1}$ | $h_{i+1}$ | $Q_{i+1}$ |
| Кодове позначення | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |

Де нульовий рівень $x_i$ та інтервал варіювання $\delta_i$ визначаються відповідно до формул [15, 18]:

$$x_{i0} = \frac{x_{i(-1)} + x_{i(+1)}}{2}; \quad \delta_i = \frac{x_{i(+1)} - x_{i(-1)}}{3}; \tag{2.1}$$

де $x_{i(-1)}$ та $x_{i(+1)}$ − нижній та верхній рівні факторів.

Для повного факторного експерименту типу $2^k$ при кількості факторів k = 3, стандартна математична модель, що описує вплив визначених чинників на температуру нагрівання (Т), представляється у формі рівняння регресії. Ця модель враховує не лише індивідуальний вплив кожного параметра, а й ефекти їхньої взаємної дії. Математична залежність має такий вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3, \quad (2.2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ – коефіцієнти регресії.

Враховуючи тип експерименту з числом факторів 3, для виявлення впливу факторів необхідно провести 8 дослідів. Матрицю планування та результати дослідів відображено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Матриця планування та результати дослідів

| № Досліду | Кодування факторів | | | | | | | Значення часу до займання та швидкості поширення горіння (дослід 1) | Значення часу до займання та швидкості поширення горіння (дослід 2) | Середнє значення результатів |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_3x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $\tau, v_i$ | $\tau, v_i$ | $\tau, v_{cз}$ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | $\tau, v_{11}$ | $\tau, v_{21}$ | $\tau, v_{cз}$ |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | $\tau, v_{12}$ | $\tau, v_{22}$ | $\tau, v_{cз}$ |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | $\tau, v_{13}$ | $\tau, v_{23}$ | $\tau, v_{cз}$ |

Продовження табл. 2.2.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | $\tau, v_{14}$ | $\tau, v_{24}$ | $\tau, v_{сз}$ |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | $\tau, v_{15}$ | $\tau, v_{25}$ | $\tau, v_{сз}$ |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | $\tau, v_{16}$ | $\tau, v_{26}$ | $\tau, v_{сз}$ |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | $\tau, v_{17}$ | $\tau, v_{27}$ | $\tau, v_{сз}$ |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | $\tau, v_{18}$ | $\tau, v_{28}$ | $\tau, v_{сз}$ |

Проводиться перевірка відтворюваності процесів при однаковому числі паралельних дослідів за критерієм Кохрена (G):

$$G = \frac{S^2_{i\max}}{\sum_{i=1}^{n} S_i^2} \le G(0,05; f_n; f_в), \tag{2.3}$$

де $S^2_{i\max}$ – найбільше значення дисперсії з проведених дослідів;

$S_i^2$ - значення дисперсії *i*-го досліду

де $S^2_{i\max}$ обираємо з $S_i^2$.

$$S_i^2 = \frac{\sum (y_{1i} - y_{серi})^2}{m_0 - 1}, \tag{2.4}$$

Підставимо отримані значення з таблиці 2 в формулу

$$G = \frac{S^2_{i\max}}{\sum_{i=1}^{n} S_i^2} \le G(0,05; f_n; f_в), \tag{2.5}$$

де $f_n$ – число незалежних дослідів. У даному випадку проводиться 8 дослідів; $f_в$ – число ступенів вільності кожної

оцінки $f_в=m_0-1$. Оскільки проводиться 2 паралельні досліди, то число ступенів вільності, відповідно, буде рівним $f_в = 1$.

З таблиці додатку для заданих значень вибираємо значення критерію Кохрена:

$$G(_{0,05;8;1}) = 0,6798. \tag{2.6}$$

Визначається дисперсію відтворюваності за формулою:

$$Sв^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i^2}{N}. \tag{2.7}$$

Коефіцієнти регресії визначаються відповідно до формул:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_{сер.i}}{N};\ b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_1 y_{сер.i}}{N};\ b_2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_2 y_{сер.i}}{N};$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_3 y_{сер.i}}{N};\ b_4 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_1 x_2 y_{сер.i}}{N};$$

$$b_5 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_1 x_3 y_{сер.i}}{N};\quad b_6 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_2 x_3 y_{сер.i}}{N};\ b_7 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_1 x_2 x_3 y_{сер.i}}{N}. \tag{2.8}$$

Перевірка адекватності моделі проводиться за допомогою критерію Фішера.

Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_в^2} \le F_{(0,05;\, f_n;\, f_в)}, \tag{2.9}$$

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left( y_{сер} - y_{мод.i} \right)^2}{N - m - 1}, \tag{2.10}$$

де $N$ – кількість дослідів, $m$ - повторюваність дослідів.

$y_{сер}$ – середнє значення відгуку в *i*-досліді.

$y_{мод.i}$ – розраховане за моделлю значення відгуку в *i*-досліді.

Перевірка адекватності моделі:

$$S_{ад}^2 = 0 \tag{2.11}$$

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_в^2} \le F_{(0,05;\, f_n;\, f_в)} = 3,687. \tag{2.12}$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії.

Дана оцінка проводиться за допомогою критерію Стьюдента. Якщо коефіцієнт незначущий, то це й означає, що даний чинник не впливає на параметр оптимізації.

Умова значущості має вигляд:

$$\left| b_i \right| \ge b = t_{(0,05;f_в)} \cdot \frac{S_в}{\sqrt{N}} \tag{2.13}$$

$t_{(0,05;8)} = 2,3$ критерій Стьюдента вибирається з таблиці.

Якщо $\Delta b_i = 0$, то всі коефіцієнти регресії, значення яких прийняте по модулю, є більшим від 0 та є значущими.

Із врахуванням значущості всіх коефіцієнтів регресії відображається рівняння функції відгуку.

Одержана математична залежність трансформується з кодованих значень факторів у натуральні змінні, після чого рівняння подається у спрощеній формі, зручній для подальшого аналізу.

Етап підготовки та моделювання. Для реалізації експериментальної частини у програмному комплексі PyroSim розробляється тривимірна модель випробувального полігону. У межах моделі імітується динаміка розвитку пожежі з урахуванням визначених параметрів впливу. Робоча зона швейного виробництва, що підлягає дослідженню, оснащується захисними екранувальними конструкціями. Реєстрація температурних показників здійснюється за допомогою встановлених у системі віртуальних термопар.

Процедура проведення вимірювань. У ході моделювання фіксуються значення температур на різному віддаленні від поверхні екрана. При цьому враховується варіативність геометричних параметрів (висоти панелі) та інтенсивності потенційного джерела загоряння (величини пожежного навантаження). Задля підтвердження відтворюваності отриманих даних реалізується серія паралельних ітерацій експерименту для різноманітних сполучень досліджуваних чинників.

Аналітична обробка та інтерпретація результатів. На заключному етапі здійснюється систематизація накопичених даних із застосуванням методів математичної статистики. Це дає змогу верифікувати ступінь впливу окремих факторів, а також їхню синергетичну взаємодію на результативність функціонування екранувальних систем.

Висновки: Спираючись на аналіз отриманих експериментальних показників, формулюються узагальнення щодо доцільності та ефективності впровадження екранувальних панелей у специфічних умовах виникнення та поширення пожежі.

## 2.2. Вплив чинників під час застосування екранувальних панелей на основі FDS моделювання

Підтримка регламентованого рівня пожежної безпеки на підприємствах швейної промисловості реалізується через комплексний підхід до впровадження захисних засобів. Даний перелік охоплює пристрої блискавкозахисту, автоматизовані системи виявлення та ліквідації загорянь, механізми аварійної вентиляції, а також використання первинних засобів пожежогасіння та вогнестійких перегородок для зонування площ на окремі протипожежні відсіки.

Однак варто зауважити, що для певних категорій приміщень швейної галузі, площа яких не перевищує 500 м², встановлення автоматичних систем пожежогасіння нормативно не передбачене [33]. У таких випадках захист обмежується монтажем протипожежних дверей на вхідних групах та комплектацією цехів переносними вогнегасниками відповідних типів.

У разі виникнення надзвичайної ситуації пріоритетним завданням менеджменту є оперативна евакуація працівників. Додатково, використання первинних засобів пожежогасіння на початковому етапі може локалізувати осередок займання. Проте досвід свідчить, що на об'єктах без автоматизованих систем захисту пожежа встигає поширитися на весь об'єм приміщення ще до моменту розгортання сил пожежно-рятувальних підрозділів.

Критерії вибору об'єкта для проведення дослідження. Вибір конкретної локації для проведення експериментальних розвідок базується на принципах максимальної концентрації персоналу та потенційної щільності джерел запалювання. Згідно з результатами теоретичного аналізу, найбільш критичним об'єктом у цьому контексті є швейний цех.

Це зумовлено двома ключовими факторами:

1. Високий рівень ризику для персоналу: одночасне перебування великої кількості працівників створює передумови для значних людських втрат.

2. Технологічна насиченість: наявність різнофункціонального швейного обладнання формує множину ймовірних точок виникнення термічного впливу.

При цьому встановлено, що просторове розміщення потенційного осередку займання, як правило, детерміноване конфігурацією конкретного робочого місця [4].

Наукові розвідки щодо визначення детермінантів ефективності теплозахисних панелей на робочих місцях швейного виробництва охоплюють комплекс показників. Зокрема, аналізу підлягають пікові температурні значення нагріву екранованих та відкритих зон, часові інтервали досягнення температурного максимуму на захищених поверхнях, а також динаміка розповсюдження полум'я по площах із наявним пожежним навантаженням.

**Програмно-апаратне забезпечення та алгоритм моделювання.** Відповідно до встановлених методик [113], було реалізовано комп'ютерне моделювання процесу горіння матеріалів у середовищі PyroSim (FDS). Метою цього етапу є вивчення експлуатаційних характеристик екранувальних панелей в умовах термічного впливу. Розрахункове ядро програми базується на розв'язанні системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, адаптованих під специфіку пожежі з використанням верифікованих даних із науково-технічних джерел [92, 113].

Просторову 3D-модель виробничого сегмента розроблено в інтерфейсі PyroSim, а безпосередню симуляцію пожежі проведено в обчислювальному модулі FDS. Обчислення виконувалися на базі процесора Intel(R) Core i5-2500K (3.7 GHz) з об'ємом оперативної пам'яті 16,0 ГБ. Аналітична обробка отриманих результатів здійснювалася шляхом екстракції числових даних із вихідних файлів

моделювання з подальшим застосуванням регресійного аналізу в середовищі MS Excel.

**Експериментальне визначення критичних параметрів матеріалів.** Для верифікації захисної спроможності панелей, з урахуванням специфіки текстильної сировини, що використовується у виробництві, було встановлено температурні пороги самозаймання бавовняних та поліестерових тканин. Саме ці показники визначають момент переходу пожежного навантаження робочого місця у фазу активного горіння.

Проведено моделювання для 8 дослідів із врахуванням зміни таких факторів: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі; висота екранувальної панелі $h_n$; пожежна навантага ділянки Q МДж. Виробнича ділянка представлена у вигляді робочого місця, на якому розміщено швейний стіл з виробничим обладнанням, сировиною та готовою продукцією. Площа обраної ділянки становила 1,5 м$^2$, площа макетного вогнища – 1 м$^2$, питома пожежна навантага Q змінювалась від 600 МДж до 1200 МДж, а висота модельованої ділянки − 0,8 м. Питома теплота згорання тканини з поліестеру − 30,8 МДж/кг. Висота екранувальної панелі $h_n$ змінювалась від 0,8 м до 0,95 м, товщина панелі − 0,00045 м, відстань від пожежної навантаги сусіднього робочого місця до екранувальної панелі $L_n$ змінювалась від 0,05 м до 0,1 м. Відстань від внутрішньої сторони макетного вогнища до ЕП $l_{вн}$ 0,05 м − 8 м. Відстань від внутрішньої сторони макетного вогнища до ЕП $l_{вн}$ становить 0,05 м для 8-ми дослідів. Максимальна висота ЕП була обрана з метою забезпечення нормального функціонування швейного цеху. Для вимірювання температур над осередком горіння, а також з захищеної та незахищеної екранувальною панеллю сторін використовували віртуальні термопари, які розташували на висоті 0,8 м, що є верхньою точкою пожежної навантаги робочого місця.

Термопари розміщували на відстані 0,25 м одна від одної. Із захищеної та незахищеної сторін перші термопари

розміщували на відстаннях від 0,05 м до 0,1 м від екранувальної панелі та від пожежної навантаги відповідно. Інші значення для побудови моделі залишили в межах стандартних величин за нормальних умов. Моделювання в програмному комплексі проводили тривалістю 20 хв, яка є достатньою для доїзду підрозділів ДСНС України, оперативного розгортання та подавання стволів на гасіння пожежі [83]. На основі отриманих під час моделювання результатів, використовуючи додаток *Smokeview*, здійснили візуалізацію процесу перебігу горіння. За відстань для вимірювання швидкості поширення горіння для захищеної сторони приймається відстань від геометричного центра макетного вогнища до першої термопари, розташованої за екрануючою захисною панеллю. За відстань для вимірювання швидкості розповсюдження пожежі з незахищеної сторони приймається відстань від геометричного центра макетного вогнища до першої термопари.

Схема розташування макетного вогнища, обладнаного екранувальними панелями та розміщення термопар відображено на рис. 2.1.

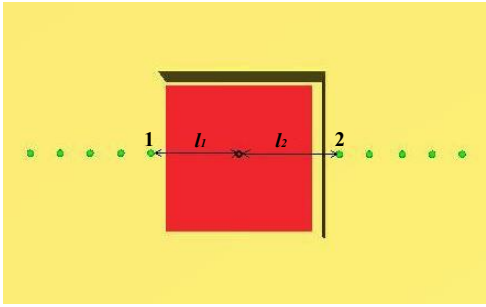



Рисунок 2.1 – Схема розміщення макетного вогнища, обладнаного екранувальними панелями, де 1, 2 – термопари, $l_1$, $l_2$ – відстані від геометричного центра до термопар

Швидкість поширення горіння для незахищеної сторони запропоновано визначати за формулою:

$$v_1 = \frac{l_1}{\tau_{сз1}} \quad (м/с), \tag{2.14}$$

$$\text{де} \quad l_1 = 0,5 l_{мв} + 0,05 \ (м), \tag{2.15}$$

при цьому $l_{мв}$ – довжина сторони макетного вогнища, а 0,05 – стале значення, яке дорівнює відстані розміщення першої термопари від макетного вогнища, *м;* $\tau_{сз1}$ – час до виникнення температури самозаймання у місці розташування термопари.

Швидкість поширення горіння для захищеної екранувальними панелями сторони запропоновано визначати за формулою:

$$v_1 = \frac{l_2}{\tau_{сз2}} \quad (м/с) \tag{2.16}$$

$$Де \ l_2 = 0,5 l_{мв} + \Delta L + 0,05 \ (м), \tag{2.17}$$

При цьому 0,05 стале значення, яке дорівнює відстані розміщення від макетного вогнища до екранувальної панелі, м, а $\Delta L$ – змінна величина відстані від екранувальної панелі до першої термопари із захищеної сторони, яка відображена числом 2 на рисунку 2.1, $\tau_{сз2}$ – час до виникнення температури самозаймання у місці розташування термопари із захищеної ЕП сторони.

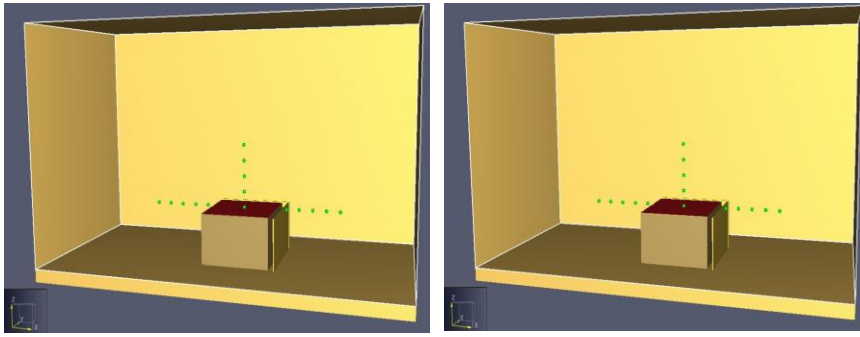
Використовуючи отримані значення для визначення часу виникнення горіння та застосовуючи формули 2.14-2.17 отримано значення швидкостей поширення горіння. Для проведення дослідів з незахищеної сторони застосовували $l_1$=0,66м, із захищеної $l_2$=0,71 м та 0,76 м.

Використовуючи властивості програми, які дають змогу сформувати температурні шари, отримано температурні

розподіли всередині фрагмента моделі приміщення. З використанням методу регресійного аналізу опрацьовано результати комп'ютерного моделювання та отримано температурні залежності для захищеної та незахищеної екранувальними панелями сторін швейного робочого місця (досліди №1–№8).

**Дослід №1** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить – 0,05 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,8 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки $Q$ – 600 МДж.

Вигляд полігону для умов досліду №1 із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння відображено на рисунку 2.2.



а) б)

Рисунок 2.2 − Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 125–ій с від початку моделювання

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні

розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння відповідно до вихідних даних досліду №1.

Отримано результати з 5-ти термопар, які відображено в таблиці 2.4. При цьому перша термопара з незахищеної сторони, розміщена на відстані 0,05 м від макетного вогнища, а термопара із захищеної сторони, розташована на відстані 0,05 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, що розміщені після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.4

Проміжні результати показів термопар, розташованих з незахищеної сторони для досліду №1

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №1 | №2 | №3 | №4 | №5 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | 20,11 | 20,27 | 20,36 | 20,06 | 20,10 |
| 100 | 96,23 | 69,36 | 52,50 | 31,20 | 25,99 |
| 200 | 281,18 | 153,22 | 99,50 | 61,24 | 41,69 |
| 300 | 578,42 | 369,23 | 200,13 | 124,41 | 68,24 |
| 400 | 525,31 | 415,33 | 194,28 | 123,89 | 64,27 |
| 500 | 550,05 | 372,52 | 177,70 | 116,90 | 70,53 |
| 600 | 590,36 | 367,66 | 216,27 | 136,30 | 63,55 |
| 700 | 569,21 | 388,44 | 178,49 | 136,95 | 70,87 |
| 800 | 543,46 | 323,13 | 214,76 | 137,26 | 61,54 |

Продовження табл. 2.4.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 559,34 | 394,73 | 184,49 | 120,45 | 72,46 |
| 1000 | 506,14 | 395,87 | 224,13 | 126,50 | 63,99 |
| 1100 | 544,28 | 372,18 | 187,29 | 120,85 | 71,45 |
| 1200 | 523,43 | 365,29 | 197,74 | 129,14 | 67,33 |

З даних, представлених у зведеній таблиці, видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах 200–300 с для термопари №1, а для термопари №2 було досягнуто лише температурні межі самозаймання тканин з бавовни.

Для термопари №1, розміщеної на відстані 0,05 м від макетного вогнища, зміни температур залежно від часу моделювання відображені на рис. 2.3 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.4.

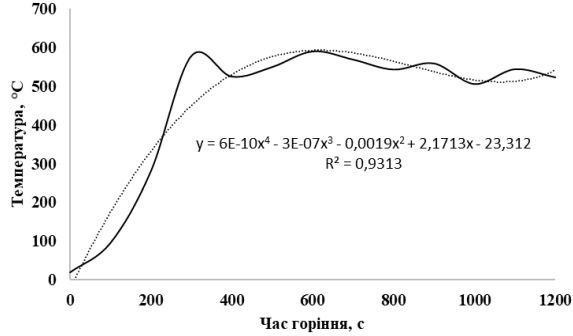



Рисунок 2.3 − Залежність температури від часу горіння для термопари №1

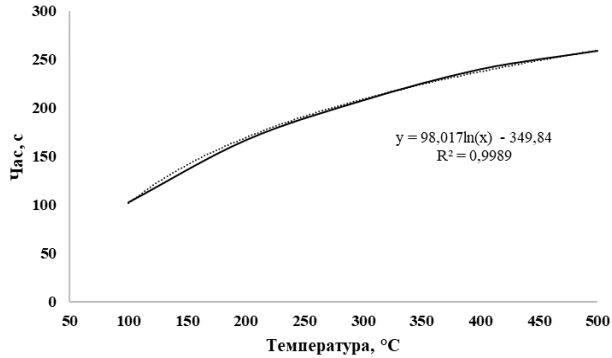



Рисунок 2.4 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 600 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = 0{,}0000000006\tau^4 - 0{,}0000003\tau^3 - 0{,}0019\tau^2 + 2{,}1713\tau - 23{,}312$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9313$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 100 с до 300 с, та температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau = 98{,}017\ln(t) - 349{,}84$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9989$.

За результатами комп'ютерного моделювання з незахищеної сторони температура самозаймання тканин з бавовни, а саме 400°С була досягнута на 240 с, а для тканин з поліестеру 500°С отримано на 259 с від початку моделювання.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в

залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння із незахищеної сторони, для досліду №1

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_1$=0,66 м |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 100 | 400 | 237,4 | 0,2622 |
| 2 | 80 | 420 | 242,2 | 0,2589 |
| 3 | 60 | 435 | 245,6 | 0,2566 |
| 4 | 40 | 450 | 249,0 | 0,2544 |
| 5 | 20 | 460 | 251,1 | 0,2530 |
| 6 | 0 | 470 | 253,2 | 0,2423 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 259,2 | 0,2313 |

Встановлено, що за результатами проведення перших чотирьох дослідів з пожежною навантагою експериментальної ділянки 600 МДж температурні розподіли для незахищеної сторони є ідентичними між собою, тому прийнято результати, представлені у досліді №1.

Для термопар, розміщених з захищеної сторони, сформовано таблицю даних температур (табл. 2.6), отриманих на проміжку 1200 с.

Таблиця 2.6

Проміжні результати показів термопар,
розташованих із захищеної сторони для досліду №1

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,83 | 20,11 | 20,28 | 20,12 | 20,13 |
| 100 | 70,19 | 47,17 | 34,89 | 28,84 | 27,45 |
| 200 | 132,05 | 80,86 | 57,85 | 41,87 | 33,59 |
| 300 | 268,32 | 123,91 | 89,67 | 64,41 | 46,19 |
| 400 | 558,24 | 370,32 | 243,12 | 97,96 | 66,69 |
| 500 | 577,44 | 362,33 | 266,47 | 145,34 | 94,25 |
| 600 | 584,82 | 397,58 | 270,85 | 148,40 | 99,79 |
| 700 | 550,13 | 378,81 | 216,46 | 140,15 | 101,75 |
| 800 | 582,41 | 359,40 | 241,72 | 139,87 | 101,78 |
| 900 | 594,32 | 406,26 | 244,21 | 138,82 | 105,62 |
| 1000 | 587,07 | 390,34 | 229,45 | 127,53 | 98,57 |
| 1100 | 558,27 | 366,60 | 212,58 | 139,10 | 94,13 |
| 1200 | 558,24 | 370,32 | 243,12 | 164,33 | 100,48 |

З отриманих даних встановлено, що значення температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали в інтервалах між 300 с та 400 с – для тканин з бавовни та на проміжку між 400 с та 500 с – для тканин з поліестеру. Температури самозаймання для обраних тканин були досягнуті в місці розташування термопари № 2.1. Для термопари № 2.1, яка знаходилась на відстані 0,05 м від екранувальної панелі, якою обладнана швейно-виробнича експериментальна ділянка, зміни температур, отримані в залежності від часу моделювання, відображені на рисунку 2.5 та залежність часу нагрівання до заданої температури на рисунку 2.6.

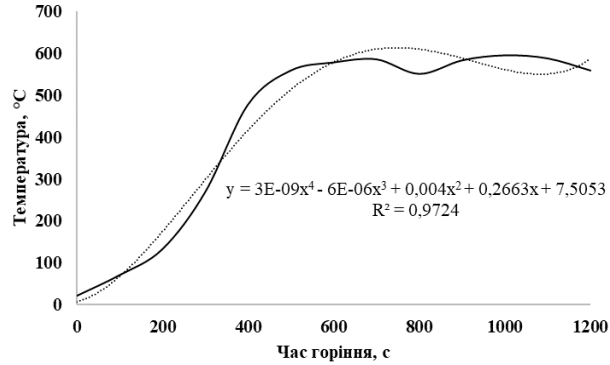



Рисунок 2.5 – Залежність температури від часу горіння для термопари №2.1

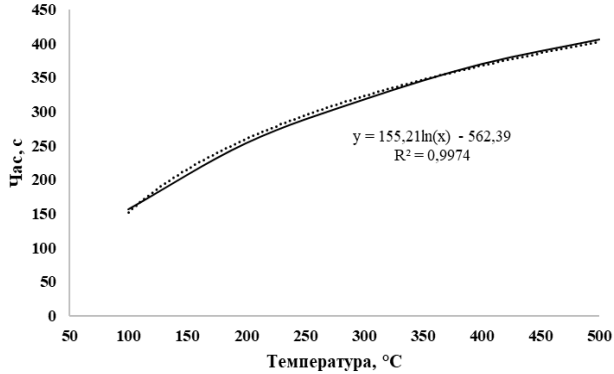



Рисунок 2.6 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №2.1

Для термопари № 2.1, при величині пожежної навантаги 600 МДж та заданих умов досліду №1 отримано залежність температури від тривалості нагрівання $t = 0{,}000000003\tau^4 - 0{,}000006\tau^3 + 0{,}004\tau^2 + 0{,}2663\tau + 7{,}5053$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9724$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 150 с до 450 с, та

температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau = 155{,}21ln(t) - 562{,}39$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9974$.

За результатами комп'ютерного моделювання із захищеної сторони температура самозаймання тканин з бавовни, а саме 400°С, була досягнута на 370 с, а для тканин з поліестеру 500°С отримано на 406 с від початку моделювання.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.7.

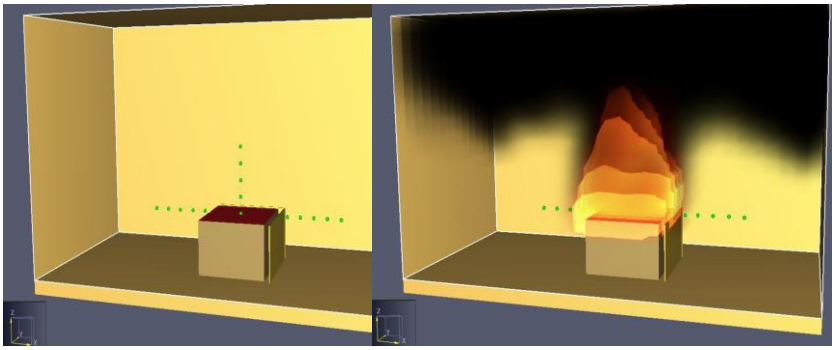
Таблиця 2.7

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння із захищеної сторони для досліду №1

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температури самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, (с) та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв ($l_2$=0,71м) та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 400 | 367,5/1,548 | 0,2012/1,303 |
| 2 | 80 | 420 | 375,1/1,548 | 0,1982/1,306 |
| 3 | 60 | 435 | 380,6/1,549 | 0,1961/1,308 |
| 4 | 40 | 450 | 385,8/1,549 | 0,1942/1,309 |
| 5 | 20 | 460 | 389,2/1,549 | 0,1930/1,310 |
| 6 | 0 | 470 | 392,6/1,550 | 0,1864/1,299 |
| 7 | Цілісний поліестер | 500 | 402,2/1,551 | 0,1789/1,292 |

**Дослід №2** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить – 0,1 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,8 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки Q – 600 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння зображені на рисунку 2.7.



а) б)

Рисунок 2.7 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 145–ій с від початку моделювання

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння, відповідно до вихідних даних досліду №2.

Отримано результати з 5-ти термопар, на основі яких сформовано зведену таблицю (табл. 2.8). При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,1 м

від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, що розташовані після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.8

Проміжні результати показів термопар, розташованих із захищеної сторони для досліду №2

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,19 | 20,12 | 20,33 | 20,11 | 20,11 |
| 100 | 65,22 | 42,94 | 29,91 | 24,89 | 25,20 |
| 200 | 123,54 | 66,56 | 45,95 | 36,68 | 29,22 |
| 300 | 255,37 | 125,64 | 76,96 | 54,52 | 39,36 |
| 400 | 400,06 | 230,98 | 128,71 | 86,92 | 60,28 |
| 500 | 567,14 | 380,35 | 205,41 | 134,18 | 85,43 |
| 600 | 582,21 | 408,15 | 197,81 | 133,61 | 91,12 |
| 700 | 574,38 | 428,12 | 180,70 | 128,28 | 94,27 |
| 800 | 556,53 | 399,52 | 221,53 | 125,93 | 91,20 |
| 900 | 587,44 | 391,44 | 191,25 | 121,85 | 82,11 |
| 1000 | 557,31 | 373,50 | 202,18 | 135,88 | 81,93 |
| 1100 | 582,39 | 424,12 | 202,25 | 141,58 | 78,56 |
| 1200 | 574,19 | 352,51 | 222,85 | 142,59 | 91,99 |

З даних, представлених у зведеній таблиці, видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру, виникали на інтервалах 400 – 500 с для термопари № 2,1, а для термопари № 2,3 було досягнуто лише температурні межі самозаймання тканин з бавовни на проміжку 500 – 600 с. Надалі зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари № 2.1, яка розташована на відстані 0,1 м від макетного вогнища, зміни температур в залежності від

часу моделювання відображені на рисунку 2.8 та залежність часу нагрівання до заданої температури – на рис. 2.9.

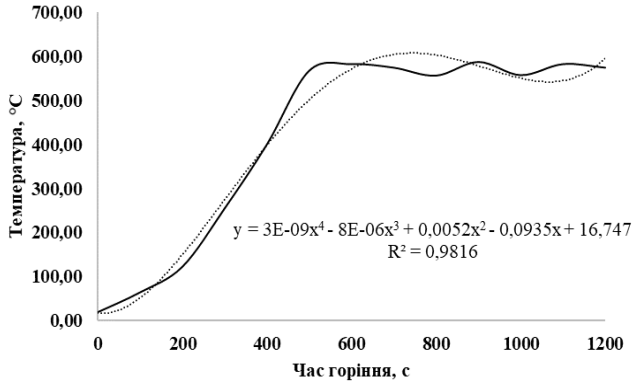



Рисунок 2.8 – Залежність температури від часу нагрівання для термопари № 2.1

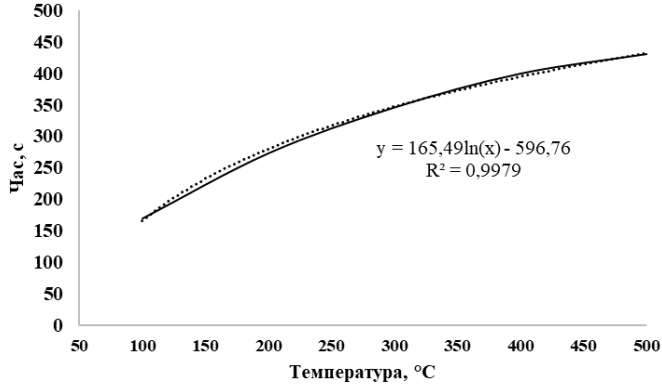



Рисунок 2.9 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари № 2.1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 600 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = 0{,}000000003\ \tau^4 - 0{,}000008\ \tau^3 + 0{,}0052\ \tau^2 - 0{,}0935\ \tau + 16{,}747$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9816$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 150 с до 450 с, та температурному проміжку від 100°С до 500 °С, яка описується виразом $\tau = 165{,}49\ln(t) - 596{,}76$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9979$. За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°С та 500°С виникали на 400 с та 431 с відповідно.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Результати прогнозування
часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння для досліду №2

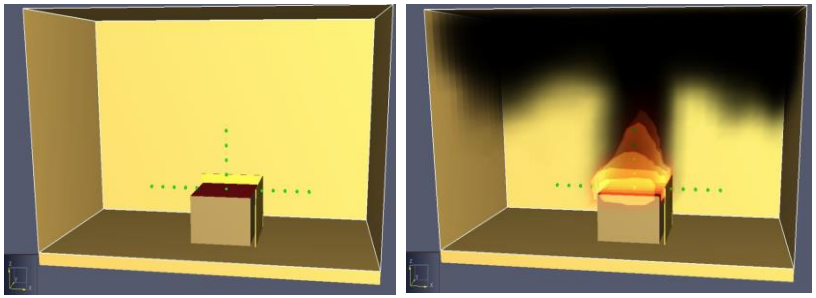
| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур займання та самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2$=0,76м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 100 | 400 | 394,76/1,663 | 0,1966/1,334 |
| 2 | 80 | 420 | 402,84/1,663 | 0,1936/1,337 |

Продовження табл. 2.9.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 60 | 435 | 408,64/1,664 | 0,1916/1,339 |
| 4 | 40 | 450 | 414,25/1,664 | 0,1897/1,341 |
| 5 | 20 | 460 | 417,89/1,664 | 0,1884/1,343 |
| 6 | 0 | 470 | 421,45/1,664 | 0,1823/1,329 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 431,69/1,665 | 0,1751/1,321 |

**Дослід №3** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить – 0,05 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,95 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки $Q$ – 600 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння зображені на рисунку 2.10.



а) б)

Рисунок 2.10 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на185–ій с від початку моделювання

За результатами комп’ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні

розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння відповідно до вихідних даних досліду №3.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.10. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,05 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.10

Проміжні результати показів термопар, розташованих із захищеної сторони, для досліду №3

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,94 | 20,12 | 20,14 | 20,10 | 20,15 |
| 100 | 44,17 | 26,67 | 25,29 | 25,30 | 24,39 |
| 200 | 66,04 | 35,87 | 28,36 | 29,46 | 28,96 |
| 300 | 88,11 | 46,91 | 30,97 | 32,33 | 31,12 |
| 400 | 123,43 | 72,52 | 43,84 | 39,70 | 33,72 |
| 500 | 161,30 | 103,24 | 60,10 | 51,33 | 39,89 |
| 600 | 219,27 | 140,91 | 82,94 | 68,18 | 50,85 |
| 700 | 297,35 | 191,39 | 125,24 | 85,37 | 62,25 |
| 800 | 392,44 | 266,97 | 181,68 | 114,98 | 76,29 |
| 900 | 588,21 | 380,15 | 233,24 | 153,16 | 90,35 |

Продовження табл. 2.10

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1000 | 525,25 | 410,61 | 230,27 | 167,49 | 85,67 |
| 1100 | 532,67 | 413,47 | 256,36 | 167,72 | 96,30 |
| 1200 | 508,45 | 377,39 | 223,91 | 143,63 | 100,77 |

З даних, представлених у зведеній таблиці, видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 800 – 900 с для термопари № 2.1, а для термопари № 2,3 було досягнуто лише температурні межі самозаймання тканин з бавовни на проміжку 900 – 1000 с. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари № 2.1, яка розташована на відстані 0,05 м від макетного вогнища, зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рисунку 2.11 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рисунку 2.12.

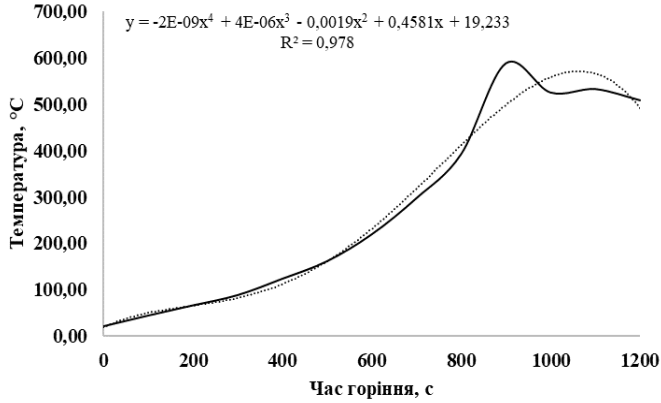



Рисунок 2.11 – Залежність температури від часу горіння для термопари № 2.1

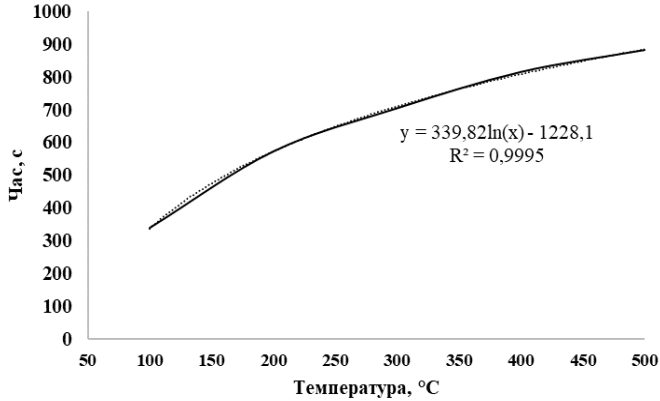



Рисунок 2.12 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари № 2.1

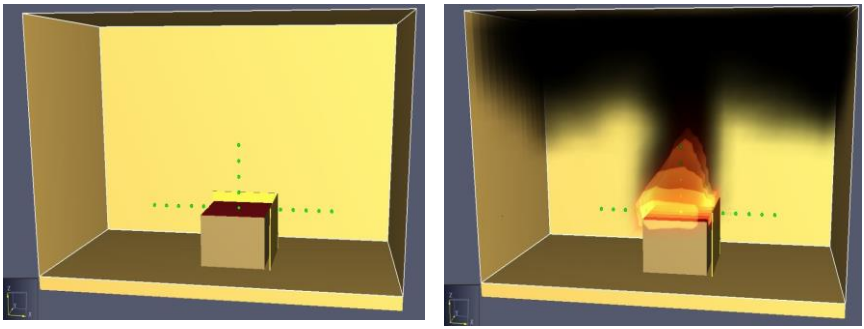
Таблиця 2.11

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння для досліду №3

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур займання та самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2$=0,76 м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 100 | 400 | 807,92/3,403 | 0,1080/2,428 |
| 2 | 80 | 420 | 824,5/3,404 | 0,1061/2,440 |
| 3 | 60 | 435 | 836,42/3,406 | 0,1048/2,448 |
| 4 | 40 | 450 | 847,94/3,405 | 0,1036/2,456 |
| 5 | 20 | 460 | 855,41/3,407 | 0,1028/2,461 |
| 6 | 0 | 470 | 862,72/3,407 | 0,1005/2,411 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 883,75/3,410 | 0,0972/2,380 |

**Дослід №4** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить 0,1 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,95 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки $Q$ – 600 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння зображені на рисунку 2.13.



а) б)

Рисунок 2.13 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 207–ій с від початку моделювання

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння відповідно до вихідних даних досліду №4.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.12. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,1 м

від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.12

Проміжні результати показів термопар, розташованих із захищеної сторони, для досліду №4

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,31 | 20,15 | 20,10 | 20,13 | 20,13 |
| 100 | 40,19 | 26,29 | 24,28 | 23,98 | 22,42 |
| 200 | 66,09 | 30,56 | 28,98 | 27,22 | 24,67 |
| 300 | 86,35 | 35,24 | 37,51 | 32,43 | 26,51 |
| 400 | 112,51 | 48,99 | 46,80 | 38,77 | 27,80 |
| 500 | 149,22 | 69,54 | 62,46 | 45,96 | 29,00 |
| 600 | 207,31 | 100,78 | 78,89 | 57,87 | 35,13 |
| 700 | 259,47 | 139,99 | 105,97 | 70,38 | 40,81 |
| 800 | 360,12 | 188,71 | 137,97 | 84,67 | 50,78 |
| 900 | 471,36 | 267,53 | 177,68 | 102,50 | 62,82 |
| 1000 | 583,16 | 371,33 | 213,26 | 123,14 | 73,23 |
| 1100 | 542,24 | 380,36 | 216,88 | 133,11 | 76,26 |
| 1200 | 528,41 | 383,97 | 207,14 | 124,56 | 68,59 |

З даних, представлених у зведеній таблиці, видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру, виникали на інтервалах 800 – 1000 с для термопари № 2.1. Для термопари № 2.3 було досягнуто лише температурні значення в межах від 267°С до 383°С. Надалі зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари № 2.1, розташованої на відстані 0,1 м від макетного вогнища зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рисунку 2.14 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.15.

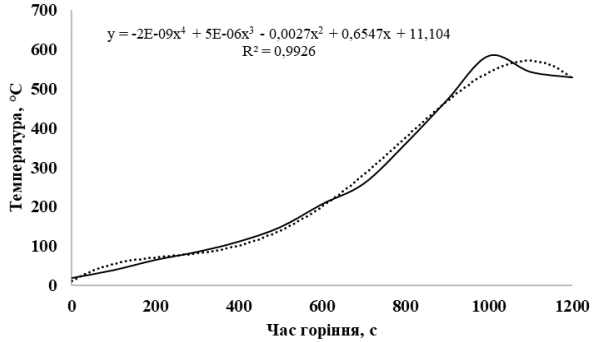



Рисунок 2.14 – Залежність температури від часу горіння для термопари № 2.1

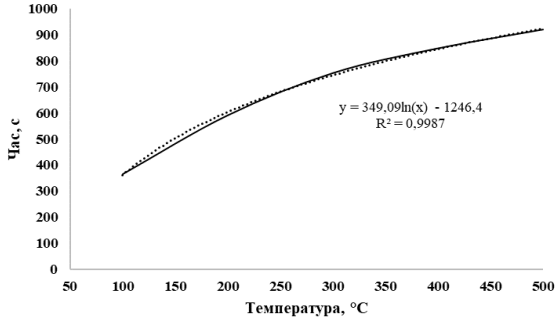



Рисунок 2.15 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари № 2.1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 600 МДж залежність температури від тривалості

нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = -0.000000002\,\tau^4 + 0.000005\,\tau^3 - 0{,}0027\,\tau^2 + 0{,}6547\,\tau + 11{,}104$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9926$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 365 с до 920 с, та температурному проміжку від 100°С до 500°С, яка описується виразом $\tau = 349{,}09\ln(t) - 1246{,}4$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9987$.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°С та 500°С виникали на 848 с та 920 с відповідно.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння для досліду №4

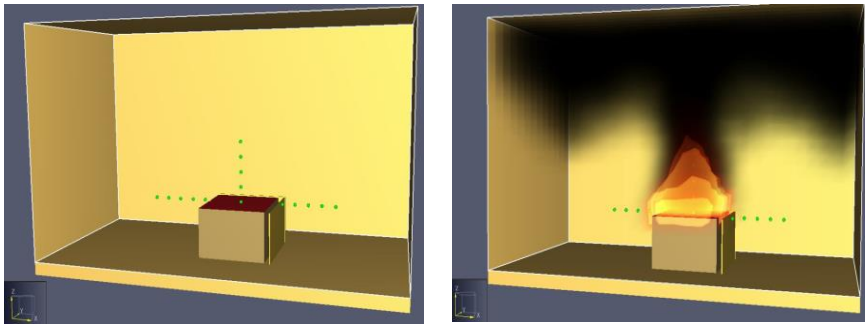
| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/с $l_2$=0,76 м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 100 | 400 | 845,16/3,560 | 0,1069/2,453 |
| 2 | 80 | 420 | 862,19/3,560 | 0,1051/2,463 |

Продовження табл. 2.13

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 60 | 435 | 874,44/3,560 | 0,1038/2,472 |
| 4 | 40 | 450 | 886,27/3,559 | 0,1026/2,480 |
| 5 | 20 | 460 | 893,94/3,560 | 0,1019/2,483 |
| 6 | 0 | 470 | 901,45/3,560 | 0,0997/2,430 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 923,05/3,561 | 0,0965/2,397 |

**Дослід №5** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить – 0,05 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,8 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки Q – 1200 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння, зображені на рисунку 2.16.



а) б)

Рисунок 2.16 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 330–ій с від початку моделювання

За результатами комп’ютерного моделювання в програмному середовищі *PyroSIM*, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною

панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння, відповідно до вихідних даних досліду №5.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.14. При цьому перша термопара з незахищеної сторони, розміщена на відстані 0,05 м від макетного вогнища, а термопара із захищеної сторони, розташована на відстані 0,05 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.14

Таблиця проміжних результатів показів термопар, розташованих з незахищеної сторони, для досліду №5

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,15 | 20,28 | 20,12 | 20,15 | 20,10 |
| 100 | 128,24 | 52,92 | 51,22 | 44,49 | 29,69 |
| 200 | 400,35 | 150,96 | 102,13 | 88,64 | 50,36 |
| 300 | 513,19 | 389,11 | 242,23 | 158,41 | 91,34 |
| 400 | 518,44 | 350,76 | 241,51 | 154,15 | 92,42 |
| 500 | 531,21 | 354,22 | 268,99 | 149,16 | 94,42 |
| 600 | 568,32 | 444,57 | 232,54 | 166,70 | 78,60 |
| 700 | 629,11 | 362,88 | 275,79 | 150,92 | 97,45 |
| 800 | 581,41 | 373,96 | 265,74 | 171,37 | 101,32 |
| 900 | 600,52 | 431,44 | 246,79 | 138,98 | 85,47 |
| 1000 | 503,41 | 367,99 | 262,67 | 137,51 | 104,13 |
| 1100 | 608,18 | 403,47 | 217,86 | 147,49 | 95,44 |
| 1200 | 532,23 | 415,56 | 237,90 | 135,89 | 100,81 |

З даних, представлених у зведеній таблиці, видно, що значення температур, наближених до температур

самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру, виникали на інтервалах між 200 – 300 с для термопари №1, а для термопари №2 було досягнуто лише температурні межі самозаймання тканин з бавовни, проте, надалі зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари №1, розташованої на відстані 0,05 м від макетного вогнища, зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рисунку 2.17 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.18.

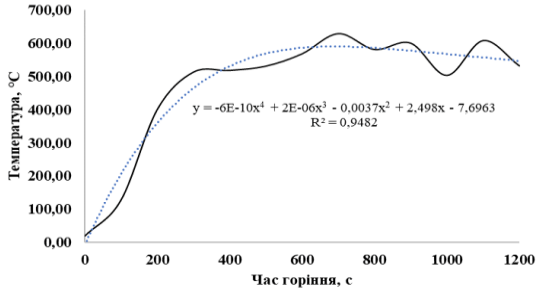



Рисунок 2.17 – Залежність температури від часу горіння для термопари №1

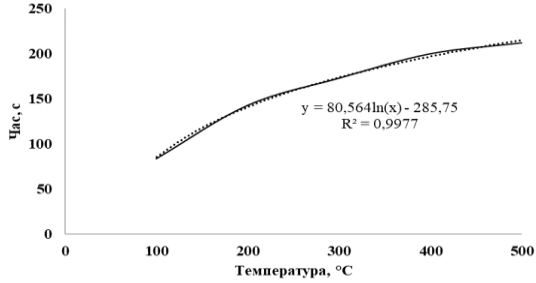



Рисунок 2.18 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 1200 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = -0{,}0000000006\tau^4 + 0{,}000002\tau^3 - 0{,}0037\tau^2 + 2{,}498\tau - 7{,}6963$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9482$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 84 с до 212 с, та температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau = 80{,}564\ln(t) - 285{,}75$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9977$.

За результатами комп'ютерного моделювання з незахищеної сторони температура самозаймання тканин з бавовни, а саме 400 °С була досягнута на 200 с, а для тканин з поліестеру 500 °С отримано на 212 с від початку моделювання.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах.

Результати прогнозування представлено у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння з незахищеної сторони для досліду №5

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_1$=0,66м |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 100 | 400 | 196,94 | 0,2934 |

Продовження табл. 2.15

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 80 | 420 | 200,87 | 0,2901 |
| 3 | 60 | 435 | 203,70 | 0,2877 |
| 4 | 40 | 450 | 206,43 | 0,2854 |
| 5 | 20 | 460 | 208,20 | 0,2840 |
| 6 | 0 | 470 | 209,93 | 0,2708 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 214,92 | 0,2578 |

Встановлено, що за результатами проведення подальших чотирьох дослідів з пожежною навантагою експериментальної ділянки 1200 МДж температурні розподіли для незахищеної сторони є ідентичними між собою, тому прийнято результати, представлені у досліді №5.

Для термопар, розміщених з захищеної сторони сформовано таблицю даних температур, отриманих на проміжку 1200 с (табл. 2.16).

Таблиця 2.16

Таблиця проміжних результатів показів термопар, розташованих із захищеної сторони для досліду №5

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,39 | 20,31 | 20,15 | 20,39 | 20,14 |
| 100 | 76,57 | 55,16 | 34,91 | 30,89 | 29,55 |
| 200 | 191,57 | 100,67 | 67,20 | 46,62 | 41,84 |
| 300 | 400,74 | 195,49 | 132,23 | 79,61 | 59,38 |
| 400 | 624,11 | 396,40 | 242,12 | 134,26 | 86,31 |
| 500 | 609,18 | 372,51 | 235,39 | 130,71 | 79,51 |
| 600 | 580,85 | 344,68 | 211,28 | 141,62 | 77,35 |
| 700 | 521,54 | 410,49 | 254,68 | 143,51 | 83,22 |
| 800 | 557,13 | 399,67 | 210,29 | 150,28 | 76,96 |

Продовження табл. 2.16

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 588,37 | 406,17 | 217,73 | 147,69 | 93,18 |
| 1000 | 503,58 | 394,27 | 233,35 | 120,92 | 81,11 |
| 1100 | 587,77 | 395,86 | 253,29 | 121,86 | 74,88 |
| 1200 | 527,31 | 383,64 | 267,91 | 116,27 | 97,94 |

З отриманих даних встановлено, що значення температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали в інтервалах між 300 с та 400 с. Температури самозаймання для обраних тканин були досягнуті в місці розташування термопари № 2.1. Зі зростанням відстаней від захисних екрануючих панелей до термопар, температури їх нагрівання мали тенденцію до зниження. Для термопари № 2.1, розташованої на відстані 0,05 м від екранувальної панелі, якою обладнана швейно-виробнича експериментальна ділянка, зміни температур, отримані в залежності від часу моделювання, відображені на рисунку 2.19 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.20.

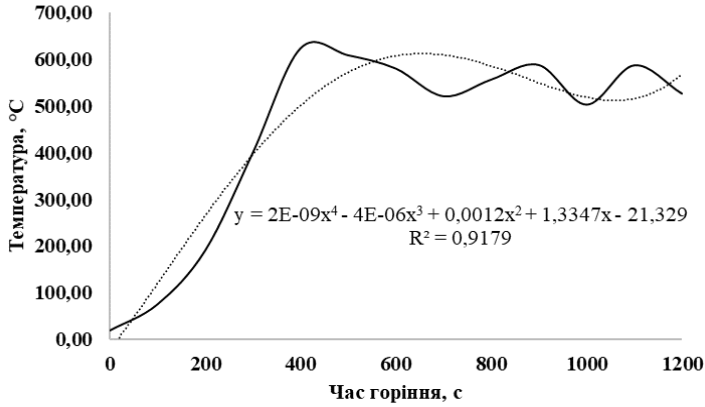



Рисунок 2.19 – Залежність температури від часу горіння для термопари №2.1

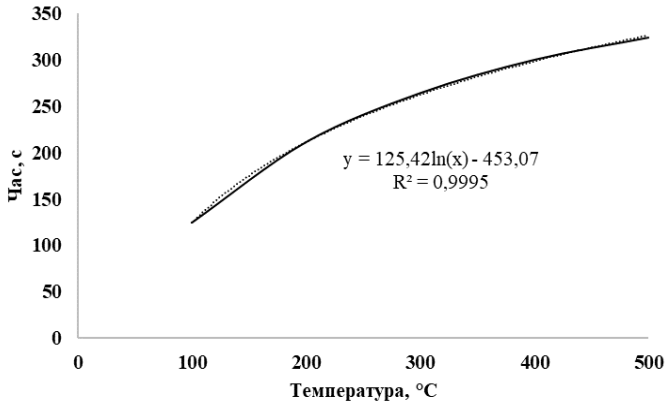



Рисунок 2.20 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №2.1

Для термопари №2.1, при величині пожежної навантаги 1200 МДж та заданих умов досліду №5 отримано залежність температури від тривалості нагрівання $t = 0.000000002\ \tau^4 - 0.000004\ \tau^3 + 0{,}0012\ \tau^2 + 1{,}3347\ \tau - 21{,}329$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9179$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 124 с до 324 с, та температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau = 125{,}42\ln(t) - 453{,}07$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9995$. За результатами комп'ютерного моделювання із захищеної сторони температура самозаймання тканин з бавовни, а саме 400 °С була досягнута на 300 с, а для тканин з поліестеру 500 °С отримано на 324 с від початку моделювання.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.17.

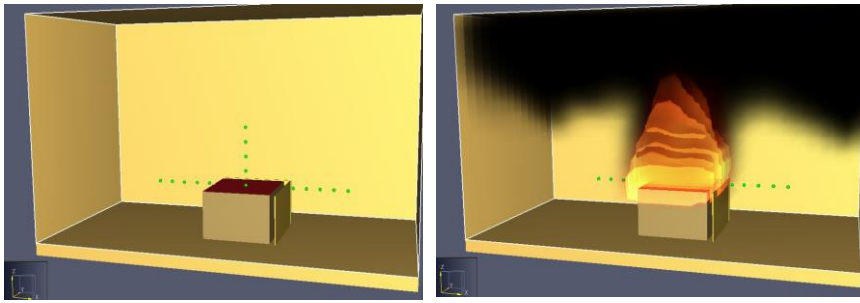
Таблиця 2.17

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння із захищеної сторони для досліду №5

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2$=0,71м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 400 | 298,4/1,515 | 0,2327/1,261 |
| 2 | 80 | 420 | 304,5/1,516 | 0,2295/1,264 |
| 3 | 60 | 435 | 308,9/1,516 | 0,2273/1,266 |
| 4 | 40 | 450 | 313,2/1,517 | 0,2251/1,268 |
| 5 | 20 | 460 | 315,9/1,517 | 0,2238/1,269 |
| 6 | 0 | 470 | 318,6/1,518 | 0,2153/1,258 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 326,4/1,519 | 0,2061/1,251 |

**Дослід №6** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить 0,1 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,8 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки $Q$ – 1200 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння зображені на рисунку 2.21.



а) б)

Рисунок 2.21 − Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 349–ій с від початку моделювання

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння відповідно до вихідних даних досліду №6.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.18. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,1 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.18

Проміжні результати показів термопар, розташованих із захищеної сторони для досліду №6

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,45 | 20,40 | 20,23 | 21,31 | 20,18 |

Продовження табл. 2.18

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 77,98 | 63,37 | 37,26 | 37,80 | 28,66 |
| 200 | 155,66 | 122,24 | 71,66 | 56,92 | 41,26 |
| 300 | 332,87 | 237,99 | 130,51 | 88,92 | 57,88 |
| 400 | 606,38 | 411,11 | 235,15 | 136,14 | 81,15 |
| 500 | 636,10 | 375,38 | 218,50 | 121,22 | 83,35 |
| 600 | 621,42 | 460,12 | 243,26 | 120,81 | 80,76 |
| 700 | 592,70 | 470,39 | 245,79 | 124,52 | 75,11 |
| 800 | 504,61 | 377,45 | 249,63 | 128,37 | 83,69 |
| 900 | 624,37 | 425,26 | 259,64 | 118,21 | 70,22 |
| 1000 | 611,19 | 430,54 | 238,16 | 127,70 | 81,35 |
| 1100 | 617,11 | 435,78 | 220,71 | 116,74 | 93,83 |
| 1200 | 645,32 | 350,65 | 226,45 | 129,31 | 78,17 |

З даних, представлених у зведеній таблиці, видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру, виникали на інтервалах 300 – 400 с для термопари №2,1, а для термопари №2,3 значення температур сягали значень від 237°С до 411°С. Надалі зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари №2.1, розташованої на відстані 0,1 м від макетного вогнища, зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рисунку 2.22 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.23.

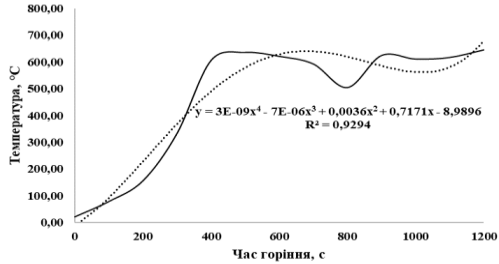



Рисунок 2.22 − Залежність температури від часу горіння для термопари №2.1

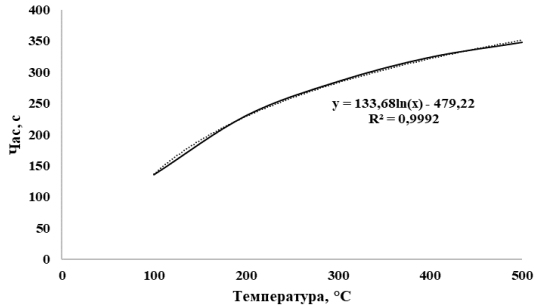



Рисунок 2.23 − Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №2.1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 1200 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = 0{,}000000003\ \tau^4 - 0{,}000007\ \tau^3 + 0{,}0036\ \tau^2 + 0{,}7171\ \tau - 8{,}9896$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9294$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 135 с до 348 с, та температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau = 133{,}68\ln(t) - 479{,}22$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9992$. За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°С та 500°С виникали на 324 с та 348 с відповідно.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.19.

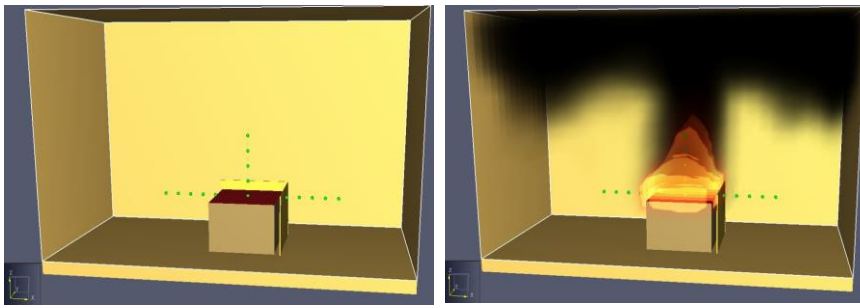
Таблиця 2.19

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння із захищеної сторони для досліду №6

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур займання та самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2$=0,76м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 400 | 321,71/1,634 | 0,2275/1,290 |
| 2 | 80 | 420 | 328,24/1,634 | 0,2243/1,293 |
| 3 | 60 | 435 | 332,93/1,634 | 0,2221/1,295 |
| 4 | 40 | 450 | 337,46/1,635 | 0,2200/1,297 |
| 5 | 20 | 460 | 340,40/1,635 | 0,2187/1,299 |
| 6 | 0 | 470 | 343,27/1,635 | 0,2107/1,285 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 351,55/1,636 | 0,2019/1,277 |

**Дослід №7** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_п$ до екранувальної панелі становить 0,05 м; висота екранувальної панелі $h_п$ – 0,95 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки Q – 1200 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння зображені на рисунку 2.24.



а) б)

Рисунок 2.24 − Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 375–ій с від початку моделювання

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння, відповідно до вихідних даних досліду №7.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.20. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,05 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.20

Таблиця проміжних результатів показів термопар, розташованих із захищеної сторони для досліду №7

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,95 | 20,65 | 20,47 | 20,35 | 20,12 |
| 100 | 77,28 | 49,53 | 36,92 | 32,87 | 28,24 |
| 200 | 154,38 | 94,25 | 63,47 | 58,83 | 39,93 |
| 300 | 323,85 | 173,32 | 121,52 | 89,51 | 54,73 |
| 400 | 637,35 | 351,28 | 221,26 | 136,41 | 80,19 |
| 500 | 526,31 | 371,14 | 195,68 | 153,20 | 87,97 |
| 600 | 642,67 | 378,35 | 211,67 | 146,21 | 76,75 |
| 700 | 608,32 | 311,69 | 233,35 | 156,26 | 70,78 |
| 800 | 586,68 | 376,17 | 239,18 | 122,31 | 85,91 |
| 900 | 621,72 | 315,22 | 233,45 | 147,39 | 70,45 |
| 1000 | 640,36 | 309,29 | 197,86 | 143,90 | 73,60 |
| 1100 | 647,27 | 393,69 | 218,75 | 115,93 | 71,24 |
| 1200 | 572,44 | 309,27 | 247,85 | 115,87 | 87,90 |

З даних, представлених у зведеній таблиці видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання, для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах 300–400 с для термопари №2,1, а для термопари №2,3 на вказаному часовому проміжку було досягнуто значення температур 173–351°С. Надалі зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари №2.1, розташованої на відстані 0,05 м від екранувальної панелі зміни температур в залежності від

часу моделювання відображені на рисунку 2.25 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.26.

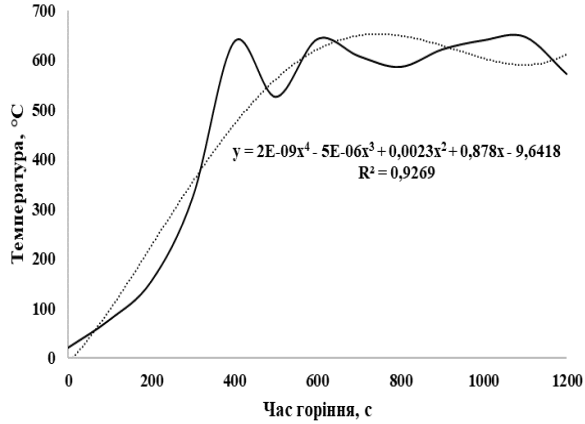



Рисунок 2.25 − Залежність температури від часу горіння для термопари №2.1

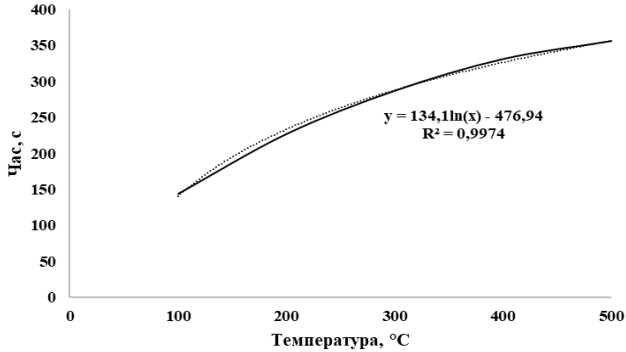



Рисунок 2.26 − Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №2.1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 1200 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом t =

0,000000002 $\tau^4$ – 0,000005 $\tau^3$ + 0,0023 $\tau^2$ + 0,878 $\tau$ - 9,6418 з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2$ = 0,9269. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 144 с до 356 с, та температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau$ = 134,1ln($t$) - 476,94 з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2$ = 0,9974.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°С та 500°С виникали на 331 с та 356 с відповідно.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.21.

Таблиця 2.21

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння із захищеної сторони для досліду №7

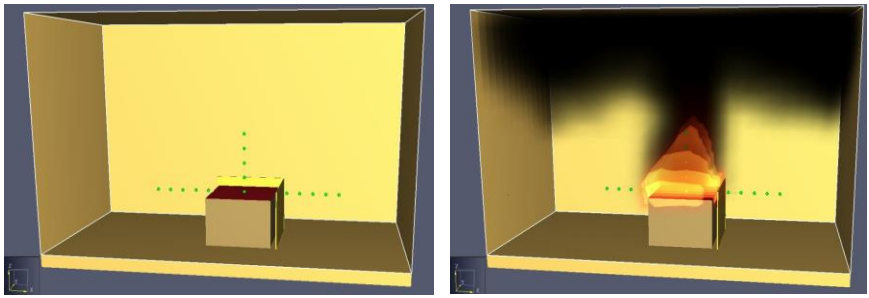
| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2$=0,71м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 100 | 400 | 326,51/1,658 | 0,2188/1,341 |
| 2 | 80 | 420 | 333,05/1,658 | 0,2158/1,344 |
| 3 | 60 | 435 | 337,76/1,658 | 0,2136/1,347 |

Продовження табл. 2.21

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 40 | 450 | 342,31/1,658 | 0,2116/1,349 |
| 5 | 20 | 460 | 345,25/1,658 | 0,2104/1,350 |
| 6 | 0 | 470 | 348,14/1,658 | 0,2028/1,335 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 356,44/1,658 | 0,1944/1,326 |

**Дослід №8** проведено на основі таких вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_n$ до екранувальної панелі становить 0,1 м; висота екранувальної панелі $h_n$ – 0,95 м; величина пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки $Q$ – 1200 МДж.

Вигляд полігону із запроектованим швейним робочим місцем та розміщеними термопарами, а також візуалізація процесу горіння зображені на рисунку 2.27.



а) б)

Рисунок 2.27 − Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки: а) перед початком моделювання; б) вигляд на 476–ій с від початку моделювання

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною

панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння, відповідно до вихідних даних досліду №8.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.22. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,1 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

Таблиця 2.22

Таблиця проміжних результатів показів термопар, розташованих із захищеної сторони

| Тривалість модельованого горіння, с | Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °С | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | №2.1 | №2.2 | №2.3 | №2.4 | №2.5 |
| 0 | 20,31 | 20,11 | 20,42 | 20,12 | 20,16 |
| 100 | 71,58 | 50,97 | 35,76 | 33,68 | 32,24 |
| 200 | 135,22 | 96,92 | 63,27 | 59,78 | 50,57 |
| 300 | 254,45 | 193,22 | 119,53 | 87,86 | 71,15 |
| 400 | 606,50 | 371,21 | 223,10 | 147,25 | 96,14 |
| 500 | 525,91 | 333,32 | 249,93 | 158,17 | 109,94 |
| 600 | 612,15 | 388,49 | 249,46 | 148,20 | 81,60 |
| 700 | 521,47 | 408,24 | 255,55 | 142,54 | 84,32 |
| 800 | 639,94 | 329,28 | 235,78 | 169,43 | 101,79 |
| 900 | 634,94 | 386,24 | 214,57 | 161,84 | 93,18 |
| 1000 | 554,32 | 326,31 | 206,80 | 159,93 | 85,73 |
| 1100 | 512,48 | 409,74 | 203,90 | 164,35 | 110,90 |
| 1200 | 508,62 | 359,38 | 192,84 | 147,42 | 91,46 |

За результатами комп'ютерного моделювання в програмному середовищі PyroSIM, отримано температурні розподіли для незахищеної та захищеної екранувальною панеллю сторін виробничої експериментальної ділянки, на яких відбувалось горіння відповідно до вихідних даних досліду №8.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких сформовано зведену таблицю 2.22. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,1 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, розташованих після першої, становить 0,25 м.

З даних, представлених у зведеній таблиці видно, що значення температур, наближених до температур самозаймання, для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах 300 – 400 с для термопари №2,1. Для термопари №2,3 було досягнуто температурні значення в межах від 193 °С до 371 °С. Надалі зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопари №2.1, яка знаходилась на відстані 0,1 м від макетного вогнища, зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рисунку 2.28 та залежність часу нагрівання до заданої температури − на рис. 2.29.

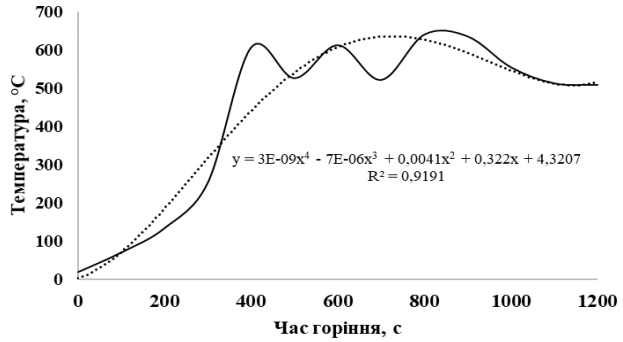



Рисунок 2.28 − Залежність температури від часу горіння для термопари №2.1

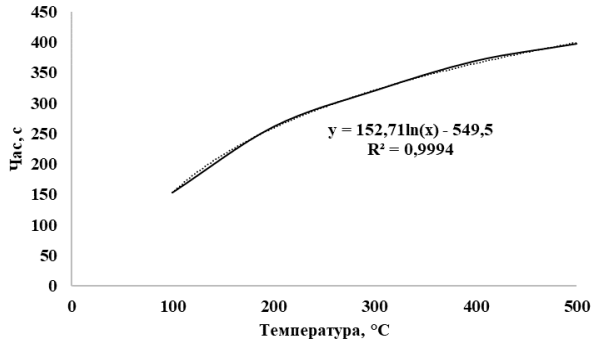



Рисунок 2.29 − Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопари №2.1

Для заданої термопари, при величині пожежної навантаги 1200 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t$ = 0,000000003 $\tau^4$ – 0,000007 $\tau^3$ + 0,0041 $\tau^2$ + 0,322 $\tau$ + 4,3207 з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2$ = 0,9191. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 153 с до 397 с, та температурному проміжку від 100 °С до 500 °С, яка описується виразом $\tau$ = 152,71ln($t$) – 549,5 з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2$ = 0,9994. За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°С та 500°С виникали на 369 с та 397 с відповідно.

Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання та формулами визначення швидкості поширення горіння отримали результати, які змінюються в залежності від відсоткового вмісту бавовни у тканинах. Результати прогнозування представлено у таблиці 2.23.

Таблиця 2.23

Результати прогнозування часу виникнення температури самозаймання та швидкості поширення горіння із захищеної сторони для досліду №8

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур самозаймання, °С | Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони | Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2$=0,76 м та значення відмінності від незахищеної сторони |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 400 | 365,45/1,856 | 0,2079/1,411 |
| 2 | 80 | 420 | 372,90/1,856 | 0,2049/1,416 |
| 3 | 60 | 435 | 378,26/1,857 | 0,2028/1,419 |
| 4 | 40 | 450 | 383,44/1,857 | 0,2008/1,421 |
| 5 | 20 | 460 | 386,79/1,858 | 0,1995/1,424 |
| 6 | 0 | 470 | 390,08/1,858 | 0,1927/1,405 |
| 7 | цілісний поліестер | 500 | 399,53/1,859 | 0,1850/1,394 |

## 2.3 Застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів на основі визначення часу до займання тканин з бавовни і поліестеру

Відповідно до плану експерименту, представленого у розділі 2.1 проведено перевірку ефективності роботи екранувальних панелей під час пожежі робочого місця, яке обладнане ЕП з допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim в залежності від впливу факторів.

Для проведення дослідження в середовищі PyroSim визначено фактори впливу, які дозволять найбільш якісно визначити ефективність або навпаки неефективність застосування екранувальних панелей для робочих місць

швейних підприємств. Фактори впливу, обрані для досліджень: відстань $L$ від екранувальної панелі до захищуваної швейно-виробничої ділянки; висота екранувальної панелі $h$; та значення пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки $Q$.

На основі розробленого плану досліду, який передбачає проведення повно факторного експерименту, що охоплює всі можливі комбінації взаємодії досліджуваних факторів. Для кожного експерименту було проведено по два досліди з допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim. За результатами дослідів встановлено, що значення часу до займання для першого да другого досліду є ідентичними, тому було прийнято рішення до значень у другому досліді додати число, яке дозволяє уникнути ділення на 0 під час встановлення адекватності отриманої моделі з допомогою критерію Фішера та інших критеріїв, при визначенні яких може виникати подібна проблема. Значення цього числа має прямувати до 0 та не впливати на отримані результати, тому прийнято число 0,001, яке надалі застосоване під час проведення розрахунків.

Використовуючи методи планування експерименту з метою подальшого проведення повнофакторного експерименту проведено кодування факторів та визначено значення їх рівнів, інформація про які наведена у таблиці 2.24.

Таблиця 2.24

Кодування факторів та значення їх рівнів

| Інтервали та рівні факторів | Відстань від екранувальної панелі до захищуваної ділянки $L$, м | Висота екранувальної панелі (екрана) $h_п$, м | Пожежна навантага швейно-виробничої ділянки $Q$, *МДж* |
|---|---|---|---|
| Нульовий рівень $x_i=0$ | 0,075 | 0,875 | 900 |
| Інтервал варіювання $\delta_i$ | 0,025 | 0,075 | 300 |

Продовження табл. 2.24

| | | | |
|---|---|---|---|
| Нижній рівень $x_i=-1$ | 0,05 | 0,8 | 600 |
| Верхній рівень $x_i=+1$ | 0,1 | 0,95 | 1200 |
| Кодове позначення | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |

Для дослідження часу до займання тканин з бавовни і поліестеру з температурами самозаймання 400°С та 500°С, а також визначення швидкості поширення горіння для заданих тканин за критерієм Кохрена (G), використовуючи формули (2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7) проведено перевірку відтворюваності процесів ($S\varepsilon^2$=0,0000005) при однаковому числі паралельних дослідів. Відповідно до довідкових даних G = 0,6798, що є більшим від отриманого розрахункового занячення G = 0,125, отже, відтворюваність дослідів виконується. Також, відповідно до формул (2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12) розраховано значення відтворюваності дослідів, коефіцієнти регресії та обгрунтовано адекватність моделі за критерієм Фішера (F=0). За допомогою критерію Стьюдента відповідно до формули (2.13) проведена оцінка значущості коефіцієнтів регресії ($\Delta b$=0,000575). Встановлено, що всі отримані коефіцієнти регресії є значущими та враховуються під час оптимізації моделі.

Матрицю планування та результати дослідів для тканин з бавовни з температурою самозаймання 400 °С відображено в таблиці 2.25.

Таблиця 2.25

Матриця планування та результати дослідів для тканин з бавовни з температурою самозаймання 400 °С

| № Досліду | Кодування факторів | | | | | | | Значення часу до займання, с (дослід 1) | Значення часу до займання, с (дослід 1) | Середнє значення часу до займання, с |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $\tau_1$ $y_{1i}$ | $\tau_2$ $y_{2i}$ | $\tau_{cp}$ $y_{cpi}$ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 370 | 370,001 | 370,0005 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 400 | 400,001 | 400,0005 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 815 | 815,001 | 815,0005 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 848 | 848,001 | 848,0005 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 300 | 300,001 | 300,0005 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 324 | 324,001 | 324,0005 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 331 | 331,001 | 331,0005 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 369 | 369,001 | 369,0005 |

Розраховано коефіцієнти регресії, які відображено у таблиці 2.26.

Таблиця 2.26

Коефіцієнти регресії

| $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ | $b_6$ | $b_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 469,63 | 15,63 | 121,13 | -138,63 | 2,13 | -0,13 | -102,13 | 1,38 |

Проведено розрахунок значень відгуків відповідно до отриманої моделі, які занесено у зведену таблицю (табл. 2.27)

Таблиця 2.27

Розрахункові значення відгуків

| $y_{мод1}$ | $y_{мод2}$ | $y_{мод3}$ | $y_{мод4}$ | $y_{мод5}$ | $y_{мод6}$ | $y_{мод7}$ | $y_{мод8}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 370,00 | 400,00 | 815,00 | 848,00 | 300,00 | 324,00 | 331,00 | 369,00 |

Із врахуванням значущості всіх коефіцієнтів регресії

рівняння має вигляд:

$$y = 469,63 + 15,63x_1 + 121,13x_2 - 138,63x_3$$
$$+ 2,13x_1x_2 - 0,13x_1x_3 - 102,13x_2x_3 + 1,38x_1x_2x_3$$

Представимо отримане рівняння з кодовими факторами у вигляді з натуральними змінними:

$$\tau_{дз} = 469,63+15,63\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)+121,13\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right)-138,63\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)$$
$$+2,13\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right)-0,13\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)$$
$$-102,13\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right)\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)+1,38\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right)\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)$$

Після спрощення рівняння отримано його кінцевий вигляд:

$$\tau_{дз400} = 1,579\cdot10^3 L+5,781\cdot10^3 h_n+3,672Q-1,072\cdot10^3 h_n L-2,164QL-4,723Qh_n+2,453Qh_n L-4,221\cdot10^3$$

Отримана залежність дозволяє визначати час до виникнення горіння на захищеній екранувальними панелями швейно-виробничій ділянці, на якій обертаються тканини з поліестеру з температурою самозаймання 500 °С.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що мінімальні значення часу до займання було отримано при мінімальних значеннях факторів: висоти екранувальної панелі $h$ та відстані від пожежного навантаження до екранувальної панелі $L$ та максимальному значенню фактора величини пожежної навантаги $Q$ швейно-виробничої ділянки. При збільшенні значення відстані $L$ та $h$ і зменшенні $Q$ спостерігалось зростання часу до виникнення горіння.

### 2.4 Теоретичні дослідження ефективності застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів на основі визначення швидкості поширення горіння для тканин з бавовни і поліестеру

Із врахуванням результатів комп'ютерного моделювання отримано значення середньої швидкості поширення горіння по ділянках обладнаних екранувальними панелями для ділянок з тканинами з бавовни і поліестеру.

Для тканин із бавовни розроблено матрицю планування з результатами дослідів, яку відображено у таблиці 2.28.

Таблиця 2.28

Матриця планування та результати дослідів для тканин із бавовни

| № досліду | Кодування факторів | | | | | | | Значення швидкості поширення горіння м/хв (дослід 1) | Значення швидкості поширення горіння м/хв (дослід 2) | Середнє значення швидкості поширення горіння, м/хв |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2$ $x_3$ | $v_1$ $y_{1i}$ | $v_2$ $y_{2i}$ | $v_{ср}$ $y_{сpi}$ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 0,201 | 0,201 | 0,201 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0,197 | 0,197 | 0,197 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 0,108 | 0,108 | 0,108 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 0,107 | 0,107 | 0,107 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 0,233 | 0,233 | 0,233 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 0,228 | 0,228 | 0,228 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 0,219 | 0,219 | 0,219 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,208 | 0,208 | 0,208 |

За результатами розрахунків проведених в середовищі програми Excel, отримано коефіцієнти регресії (табл. 2.29).

Таблиця 2.29

Значення коефіцієнтів регресії

| $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ | $b_6$ | $b_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,1875 | -0,00273 | -0,02705 | 0,034275 | -0,00028 | -0,0013 | 0,018675 | -0,00115 |

В таблиці 2.29 представлено розраховане за моделлю значення відгуку $y_{мод.i}$ - в *i*-досліді.

Таблиця 2.30

Розрахункові значення відгуків

| $y_{мод1}$ | $y_{мод2}$ | $y_{мод3}$ | $y_{мод4}$ | $y_{мод5}$ | $y_{мод6}$ | $y_{мод7}$ | $y_{мод8}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,2013 | 0,1967 | 0,1081 | 0,1070 | 0,2328 | 0,2276 | 0,2189 | 0,2080 |

Отже, рівняння із врахуванням значущості всіх коефіцієнтів регресії має вигляд:

$$y = 0,1875 - 0,00273x_1 - 0,02705x_2 + 0,034275x_3$$
$$-0,00028x_1x_2 - 0,0013x_1x_3 + 0,018675x_2x_3 - 0,00115x_1x_2x_3$$

Представимо отримане рівняння з кодовими факторами у вигляді з натуральними змінними:

$$v_{пг400} = -1,43L - 1,23h_n - 7,33 \cdot 10^{-4}Q + 1,69h_nL + 9,83 \cdot 10^{-4}Qh_n + 1,62 \cdot 10^{-3}QL - 2,04 \cdot 10^{-3}Qh_nL + 1,16$$

Отримана залежність дозволяє визначати швидкість поширення горіння на захищеній екранувальними панелями швейно-виробничій ділянці, на якій обертаються тканини з бавовни з температурою самозаймання 400 °С.

Для тканин з поліестеру з температурою самозаймання 500 °С розроблено матрицю планування з результатами дослідів, яку відображено у таблиці 2.31.

Таблиця 2.31

Матриця планування та результати дослідів

| № досліду | Кодування факторів | | | | | | | Значення швидкості поширення горіння, м/хв (дослід 1) | Значення швидкості поширення горіння, м/хв (дослід 2) | Середнє значення швидкості поширення горіння, м/хв |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2$ $x_3$ | $v_1$ $y_{1i}$ | $v_2$ $y_{2i}$ | $v_{сер}$ $y_{сері}$ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 0,179 | 0,179 | 0,179 |

Продовження табл. 2.31

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0,175 | 0,175 | 0,175 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 0,097 | 0,097 | 0,097 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 0,097 | 0,097 | 0,097 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 0,206 | 0,206 | 0,206 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 0,202 | 0,202 | 0,202 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 0,194 | 0,195 | 0,194 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,185 | 0,185 | 0,185 |

За результатами розрахунків проведених в середовищі програми Excel, отримано коефіцієнти регресії (табл. 2.32).

Таблиця 2.32

Значення коефіцієнтів регресії

| $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ | $b_6$ | $b_7$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,16694 | -0,00226 | -0,02361 | 0,02996 | -0,00026 | -0,00114 | 0,01646 | -0,00104 |

Розраховане за моделлю значення відгуку $y_{мод1}$ в *і*-досліді, які відображено в таблиці 2.33.

Таблиця 2.33

Розрахункові значення відгуків

| $y_{мод1}$ | $y_{мод3}$ | $y_{мод4}$ | $y_{мод5}$ | $y_{мод6}$ | $y_{мод7}$ | $y_{мод8}$ | $y_{мод2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,179 | 0,097 | 0,097 | 0,206 | 0,202 | 0,194 | 0,185 | 0,175 |

Отже, рівняння із врахуванням значущості всіх коефіцієнтів регресії має вигляд:

$$y = 0,16694 - 0,00226x_1 - 0,02361x_2 + 0,02996x_3$$
$$-0,00026x_1x_2 - 0,00114x_1x_3 + 0,01646x_2x_3 - 0,00104x_1x_2x_3$$

Представимо отримане рівняння з кодовими факторами у вигляді з натуральними змінними:

$$v_{пг500} = 0,16694 - 0,00226\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right) - 0,02361\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right) + 0,02996\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)$$
$$-0,00026\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right) - 0,00114\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)$$
$$+0,01646\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right)\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right) - 0,00104\cdot\left(\frac{L-0,075}{0,025}\right)\cdot\left(\frac{h_n-0,875}{0,075}\right)\cdot\left(\frac{Q-900}{300}\right)$$

Після спрощення рівняння отримано його кінцевий вигляд:

$$v_{пг500} = -1,29L - 1,09h_n - 6,5\cdot10^{-4}\mathrm{Q} + 1,53h_nL + 1,47\cdot10^{-3}QL + 8,7\cdot10^{-4}\mathrm{Qh}_n - 1,85\cdot10^{-3}Qh_nL + 1,03$$

Отримана залежність дозволяє визначати швидкість поширення горіння на захищеній екранувальними панелями швейно-виробничій ділянці, на якій обертаються тканини з поліестеру з температурою самозаймання 500 °С.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що швидкість поширення горіння зростала зі збільшенням значень пожежної навантаги $Q$, зменшенням висоти екранувальної панелі $h$ та зменшенням відстані від екранувальної панелі до «сусідньої ділянки» $L$. Зі зміною значень факторів впливу у протилежну сторону швидкість поширення знижувалась.

## Висновки до розділу

1. З використанням комп'ютерної моделі *PyroSim FDS* проведено дослідження пожежі швейно-виробничої ділянки, обладнаної екранувальними панелями залежно від 3 факторів: зміни величини пожежної навантаги експериментальної ділянки $Q$, зміни відстані від екранувальної панелі до сусідньої ділянки $L$ та зміни висоти екранувальної панелі $h$.

2. Для умов досліду з пожежною навантагою $Q$ = 600 МДж, висотою ЕЗП $h$ = 0,95 м та відстанню до сусідньої ділянки $L$ =0,1 м, значення часу до виникнення горіння становило 845,16 с для тканин з бавовни та 923 с для тканин з поліестеру, що в 3,56 раза більше від значень, отриманих для незахищеної ділянки.

3. При пожежній навантазі ділянки $Q$ = 1200 МДж, висоті ЕЗП $h$ = 0,95 м та відстані $L$ =0,1 м значення часу до виникнення горіння становило 365,45 с для тканин з бавовни та 399,53 с для тканин з поліестеру, що у 1,86 раза більше від значень, отриманих для незахищеної ділянки.

4. Дослідженнями встановлено, що для умов досліду №4 швидкість поширення горіння становила 0,1069 м/хв, що в 2,453 раза менше ніж з незахищеної сторони та 0,0965 м/хв для тканин з поліестеру, що у 2,397 рази менше від значень швидкості поширення горіння для незахищеної сторони. Для досліду №8 для тканин з бавовни швидкість поширення горіння становила 0,2079 м/хв, що в 1,41 раза менше від швидкості поширення горіння для незахищеної сторони.

5. На основі проведення моделювання встановлено, що найбільш ефективно застосовувати захисні екрануючі панелі за умови висоти панелі не менше 0,15 м над верхньою точкою пожежної навантаги значенням 600 МДж, при розміщенні сусідньої ділянки на відстані не менше ніж 0,1 м від панелі

6. На основі проведення повного факторного експерименту в залежності від величини пожежної навантаги ділянки, висоти екранувальної панелі та відстані від ЕП до сусідньої швейно-виробничої ділянки отримано залежності часу $\tau_i$ до виникнення займання на робочих місцях:

$\tau_{400}=1,579\cdot10^3L+5,781\cdot10^3h_n+3,672Q-1,072\cdot10^3h_nL-2,164QL-4,3Qh_n+2,453\cdot Qh_nL-4,221\cdot10^3;$

$\tau_{500}=-4,4\cdot10^{-2}L+6,07\cdot10^3h_n+3,85Q+1,2\cdot10^3h_nL-0,74QL-4,98Qh_n+0,89Qh_nL-4,397\cdot10^3;$

та залежності швидкості поширення горіння $\boldsymbol{v_i}$ по швейно-виробничих ділянках:

$v_{400}=-1,43L-1,23h_n-7,33\cdot10^{-4}Q+1,69h_nL+9,83\cdot10^{-4}Qh_n+1,62\cdot10^{-3}QL-2,04\cdot10^3Qh_nL+1,16;$

$v_{500}=-1,29L-1,09h_n-6,5\cdot10^{-4}Q+1,53h_nL+1,47\cdot10^{-3}QL+8,7\cdot10^{-4}Qh_n-1,85\cdot10^{-3}Qh_nL+1,03$

для пожежного навантаження з температурами самозаймання 400 ºС та 500 ºС.

# РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 3.1. Методика визначення температур займання та самозаймання в залежності від зміни відсоткового складу бавовни у тканині

Методика полягає у поєднанні методу регресійного аналізу з методом випробувань, пов'язаних з визначенням температур займання та самозаймання для зразків тканин з бавовни та поліестеру.

Об'єктом випробувань є бавовняна та поліестерова тканини в цілісному та розрихленому (подрібненому) станах загальною масою 300-350 г, розділена на окремі зразки з різним відсотковим складом бавовни. Дослідження температур займання та самозаймання проводиться за допомогою приладу ОТП відповідно до ДСТУ [41]. З подрібнених бавовняної та поліестерової тканин формуємо зразки з різним відсотковим складом бавовни. Склад зразків 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 45%, 0% (бавовни). Дослід призначений для визначення температур займання та самозаймання вихідних зразків. Результатом проведення досліджень є отримання залежності температур займання та самозаймання від відсоткового складу бавовни у зразках.

Дослідження проводили з використанням засобів вимірювальної техніки наведених у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Засоби вимірювальної техніки для проведення досліджень

| № з/п | Найменування приладу чи обладнання | Заводський номер | Границя вимірювання | Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Ваги BTU-210/C3 | 1826 | Від 0.001 до 210 г | Клас точн. 3 |

Продовження табл. 3.1.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2. | Прилад ОТП | б/н | Від 0°С до 600°С | ---------- |
| 3. | Сушильна камера 2Ш-0-01 | 115 | Від 20°С до 250°С | ---------- |
| 4. | РТ 0102 з ТХА | 10.385 | 0 – 1200 | ±2°С |
| 5. | Секундомір СОП пр. | 8625 | 0 – 3600 | Клас точн. 2 |

Для досліджень використовують прилад ОТП (рис. 2.1). Схему установки для визначення температури займання наведено на рисунку 1. Установка являє собою вертикальну електропіч з двома коаксіально розташованими циліндрами, виконаними з кварцового скла. Один із циліндрів із внутрішнім діаметром (80 ± 3) мм, заввишки 240 мм є реакційною камерою; другий циліндр з такою самою висотою має внутрішній діаметр (101 ± 3) мм. На циліндри намотано спіральні електронагрівачі загальною потужністю не менше ніж 2 кВт, що дає змогу створювати температуру робочої зони 600 °С за час не більше ніж 40 хв.

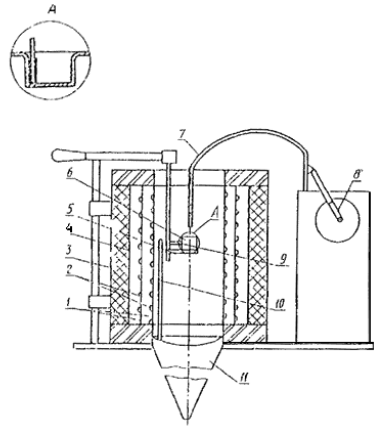



Рисунок 3.1 − Прилад ОТП: 1 – керамічні циліндри, 2 – спіральні електронагрівачі; 3 – теплоізоляційний матеріал; 4 – сталевий екран; 5 – тримач зразка; 6 – контейнер; 7 – газовий пальник; 8 – електропривід пальника; 9, 10 – термоелектричні перетворювачі; 11 – ламінатор

Для проведення випробування готують 10−15 зразків досліджуваної речовини (матеріалу) масою по (3,0±0,1) г. Зразки матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром (45±1) мм. Плівкові та листові матеріали набирають у стопку діаметром (45±1) мм, накладаючи шари один на одного до досягнення вказаної маси. Перед випробуванням зразки витримують у вентильованій сушильній шафі за температури (60±5)°С не менше ніж 20 год, потім охолоджують до температури довкілля, не виймаючи їх з шафи. Залежно від об'єму зразка визначають за допомогою шаблонів і фіксують положення контейнера всередині камери та відстань між газовим пальником і поверхнею зразка. Придатність установки до роботи перевіряють по стандартній речовині − поліметилметакрилату (органічному склу), температура займання якого дорівнює (260±10)°С.

Для реалізації методики випробувань необхідно провести підготовку зразків, що включає в себе такі етапи:

1. Руйнування структури (подрібнення) тканин бавовни та поліестеру з метою подальшого формування зразків діаметром 45 мм та вагою 3 г кожен.

2. Формування зразків тканин з різним відсотковим складом бавовни (100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 45%, 0%);

3. Досліджуються температури займання та самозаймання зразків по (3,0±0,1) г тканини бавовни (100%, цілісної) та тканини поліестеру (100%, цілісної).

4. Досліджуються зразки по (3,0±0,1) г тканини бавовни з відсотковим складом бавовни 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 0%.

5. Результати вимірювань фіксуються у табличній формі.

На основі визначених температур займання та самозаймання досліджуваних зразків проводяться розрахунки за результатами досліджень. Ці дослідження включають в

себе обробку отриманих результатів з використанням методу регресійного аналізу. За результатами проведеного аналізу передбачено отримання поліноміальних моделей, що відображатимуть зміни температур займання та самозаймання тканин бавовни та поліестеру залежно від відсоткового вмісту складових компонентів.

### 3.2. Дослідження температур займання та самозаймання залежно від зміни відсоткового складу бавовни у тканині

В технологічних процесах швейних підприємств використовуються тканини різних типів. Разом із виробничим устаткуванням ці тканини стають пожежною навантагою та можуть створювати загрозу виникнення та розповсюдження пожеж. Потенційні загрози виникнення пожеж можуть спричиняти порушення правил пожежної безпеки, невідповідність виробничого обладнання технологічним вимогам, а також можливі займання, пов'язані з людським фактором.

Метою досліджень є отримання залежностей значень температур займання та самозаймання бавовняних тканин від відсоткового вмісту бавовни.

З метою виявлення найбільш пожежонебезпечних тканин, а також інших складових пожежного навантаження, які можуть обертатись в технологічних процесах швейних підприємств, необхідно досліджувати показники їх пожежної небезпеки. Важливими інформативними показниками пожежної небезпеки речовин і матеріалів є температури займання та самозаймання [41]. Відповідно, пожежна небезпека речовини зростає із наявністю матеріалів з низькими значеннями температури займання та самозаймання.

Експериментальні дослідження проводились в науково-дослідній лабораторії пожежної безпеки ЛДУБЖД, згідно з

[41]. Досліджувані зразки формували з бавовни (100%) та поліестеру (100%). Для зручності укладання зразки тканин подрібнювали. Суміші тканин отримували шляхом змішування бавовни та поліестеру таким чином, щоб відсотковий склад бавовни у них становив 100%, 80%, 60%, 40%, 20% та 0% відповідно, де за 0% бавовни взято подрібнену тканину поліестеру (100%). Додатково, згідно з [41], досліджували температури займання і самозаймання бавовни та поліестеру в неподрібненому стані. Приклади зразків тканин зображено на рисунку 3.2



а) б) в) г)

Рисунок 3.2 − Приклади дослідних зразків: а) цілісний поліестер; б) цілісна бавовна; в) подрібнений поліестер; г) подрібнена бавовна

В процесі досліджень виявлено, що найкраще займалась подрібнена 100%-ва тканина бавовни, а найгірше − цілісний поліестер як тканина без вмісту бавовни. Найменше значення температури, за якої спостерігалося займання, становило 215°С для бавовни (100%, подрібнена тканина), а за умови зменшення цієї величини − спостерігалися відмови. Це пояснюється тим, що за нижчих температур не утворюються горючі пари в концентраціях, достатніх для горіння. Тому врахування температур займання та самозаймання для тканин, які містять бавовну, забезпечуватиме створення

передумов для зниження пожежної небезпеки ділянок, на яких вони обертаються.

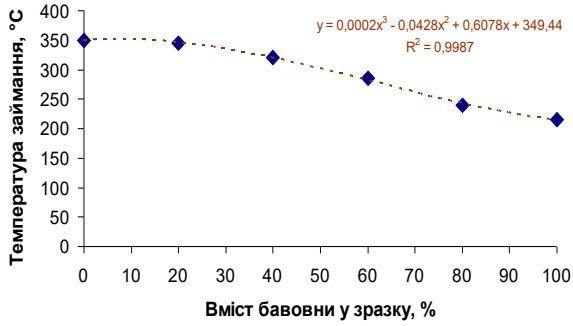
За результатами досліджень встановлено, що температури займання/самозаймання для цілісного зразка тканини зі складом бавовни 100% становлять 235°С/420°С, а для цілісного зразка тканини зі складом поліестеру 100% − 360°С/500°С відповідно. Зауважено, що температури займання/самозаймання для тканин з подрібненою структурою є нижчими на 8,5%/4,78% (бавовняна тканина) і 2,8%/6% (поліестер) порівняно із значеннями, отриманими для цілісних тканин, що пояснюється особливостями процесів розкладу та окиснення [73, 89]. Значення діапазону температур займання та самозаймання зразків тканин, отриманих за результатами експериментальних досліджень, наведені в таблиці 3.2 [73].

Таблиця 3.2

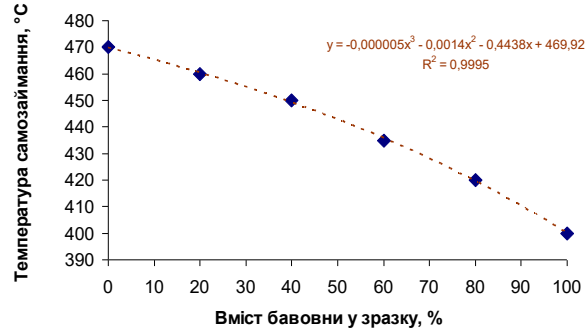
Значення діапазону температур займання та самозаймання для досліджуваних зразків тканин

| № досліду | Температура займання/самозаймання, °С | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Зразки тканин | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | бавовна (100%, подрібнена тканина) | бавовна (80%, подрібнена тканина) | бавовна (60%, подрібнена тканина) | бавовна (40%, подрібнена тканина) | бавовна (20%, подрібнена тканина) | бавовна (0%, подрібнена тканина) |
| 1 | 228/414 | 248/421 | 300/443 | 334/463 | 357/471 | 351/482 |
| 2 | 224/407 | 249/435 | 289/446 | 332/458 | 351/468 | 359/480 |
| 3 | 225/413 | 251/431 | 296/449 | 326/464 | 359/467 | 365/471 |
| 4 | 217/409 | 253/421 | 298/439 | 321/452 | 358/462 | 361/473 |
| 5 | 220/405 | 245/425 | 290/440 | 325/455 | 350/465 | 355/475 |
| 6 | 215/400 | 240/420 | 285/435 | 320/450 | 345/460 | 350/470 |
| Середнені значення температур | 222/408 | 248/426 | 293/442 | 326/457 | 353/466 | 357/475 |

На рисунку 3.3 зображено залежності температур займання та самозаймання досліджуваних зразків від відсоткового вмісту бавовни у них [73].




а)




б)

Рисунок 3.3 − Залежності температур займання (а) та самозаймання (б) від відсоткового вмісту бавовни у зразку

Отримані поліноміальні регресійні моделі для температури займання $t_з=0,0002\varphi^3-0,0428\varphi^2+0,6078\varphi+349,44$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2=0,9987$ та температури самозаймання $t_{сз}=-0,000005\varphi^3-0,0014\varphi^2-0,4438\varphi$

$+469{,}92$ ($R^2=0{,}9995$), де $\varphi$ – відсотковий склад бавовни у зразку, вказують на те, що із зменшенням відсоткового вмісту бавовни зростають значення температур займання та самозаймання досліджуваних зразків. Похибки між результатами вимірювань та регресійними моделями наведено у таблиця 3.3 [73].

Таблиця 3.3

Експериментальні значення та результати регресійної моделі досліджуваних зразків

| Номер зразка | Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, % | Значення температур займання та самозаймання, °С | | Абсолютні відхилення результатів вимірювань, °С |
|---|---|---|---|---|
| | | отримані експериментально | поліноміальної регресійної моделі | |
| 1 | 100 | 215/400 | 182/406 | 33/6 |
| 2 | 80 | 240/420 | 226/423 | 14/3 |
| 3 | 60 | 285/435 | 275/437 | 10/2 |
| 4 | 40 | 320/450 | 318/449 | 2/1 |
| 5 | 20 | 345/460 | 346/460 | 1/0 |
| 6 | 0 | 350/470 | 349/469 | 1/1 |

Ці регресійні моделі дають змогу визначати температури займання і самозаймання для зразків із різним відсотковим вмістом бавовни в діапазоні значень, що різняться з експериментальними. Мінімальні значення температур займання та самозаймання бралися для оцінювання пожежної небезпеки досліджуваних тканин. Спостерігається тенденція до зменшення температур займання та самозаймання із збільшенням відсоткового вмісту бавовни, що спричинює збільшення пожежної небезпеки досліджуваних тканин.

## 3.2. Валідація моделі, отриманої шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim FDS

На даний момент комп'ютерне моделювання пожеж шляхом використання різноманітного програмного забезпечення набуло значного поширення та актуальності, про що свідчать результати досліджень, представлені у наукових статтях як іноземних, так і українських науковців [7, 72, 82, 83, 100, 113]. Цей вид моделювання є екологічним та найбільш економним з точки зору витрати ресурсів на його реалізацію, проте за обставин проведення досліджень горіння окремих ділянок з пожежним навантаженням виникає необхідність проведення перевірки адекватності отриманих результатів.

Метою досліджень є отримання залежностей температури в осередку пожежі від часу виникнення горіння та від висоти над осередком пожежі та порівняння цих величин із результатами моделювання [72].

Процес атестації можливо провести шляхом порівняння даних, отриманих з допомогою моделювання, з результатами, отриманими в процесі експериментальних досліджень.

Для проведення експериментального дослідження було застосовано такі методи та обладнання: зведений випробувальний полігон, пірометр марки *Benetech GM1150A* з діапазоном вимірювань від −50°С до +1150°С, сукупність нагрівальних екранів, секундомір *Casio*, цифрова фотокамера марки *Canon Powershot a550*, вимірювальна рулетка, газовий пальник. Обробку результатів досліджень здійснювали з використанням електронних таблиць *Excel*. Побудову 3D-моделі «транспортерної стрічки» здійснювали в середовищі *PyroSim*, а моделювання пожежі − в *FDS* з використанням персонального комп'ютера з процесором *Intel(R) Corei3 M330 2.13 GHz* та оперативною пам'яттю 4,00 ГБ.

Експериментальне дослідження проводилось на полігоні, стіни та покриття якого виконані з металевих листів. Розміри експериментального полігону – 6×2,5×2,5 м. Цей полігон виконано з трьох стін, що є своєрідним відтворенням частини-фрагменту швейного приміщення, в якому відбувається виробничий процес. В приміщенні цього

полігону повітрообмін наближено відповідає повітрообміну, характерному для приміщень швейних виробництв. Температура навколишнього середовища в час дослідження становила +20°С, відносна вологість повітря − 58%, що наближено відповідає умовам виробничих приміщень швейних підприємств. Експериментальну ділянку, де здійснювався підпал, виконано у вигляді дерев'яної лави, верхня частина якої покрита металевим листом товщиною 0,45 мм. Висота "транспортерної стрічки" − 0,63 м, а її ширина − 0,5 м. Площа експериментальної ділянки становила 2,5 м$^2$, а пожежне навантаження — 35 кг/м$^2$. Зазначену ділянку використовували з метою імітації "транспортерної стрічки", що призначена для тимчасового розміщення сировини (тканини). Потрібно зазначити, що "транспортерна стрічка" в реальних умовах процесу виробництва розташована в безпосередній близькості до робочих місць і за умови пожежі найбільше сприяє поширенню горіння між ними, оскільки проходить біля них і є нерозривною.

Фото полігону з "транспортерною стрічкою" для проведення експериментального дослідження представлене на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 − Експериментальний полігон з «транспортерною стрічкою»

Після завершення етапу підготовки до проведення досліджень, а саме розміщення дослідної ділянки в межах полігону, проведено підпал з допомогою газового пальника та зафіксовано значення температур, що виникали під час горіння на різних висотах від осередку пожежі. Процес початкової стадії поширення полум’я поверхнею імітованої "транспортерної стрічки" у вигляді конструкції з дерев'яних елементів, покритих металевим листом, зображено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 − Початок горіння пожежного навантаження "транспортерної стрічки"

Під час горіння ділянки спостерігалось плавлення тканин з поліестеру з подальшим падінням палаючих крапель на підлогу експериментального приміщення, що за реальних умов виробничих приміщень з горючою підлогою вважається додатковими джерелами займання. Поширення вогню відбувалось таким чином, що на заданій ділянці спостерігалося стале горіння незмінною площею 0,75 м$^2$ з висотою полум'я в межах від 0,35 до 0,85 м. Процес

поширення полум’я поверхнею імітованої "транспортерної стрічки" зображено на рисунку 3.6.



а) б)

Рисунок 3.6 – Горіння пожежного навантаження "транспортерної стрічки": а) на початку експерименту; б) на 4-ій хв від початку горіння

Конструкція експериментальної ділянки, яка складалась з дерев'яних елементів, покритих металевим листом, зазнала часткових температурних пошкоджень у вигляді звуглення, проте втрати цілісності та несучих властивостей впродовж експерименту не відбулось. Під час горіння експериментальної ділянки не спостерігалось виділення летких продуктів горіння, які здатні переміщуватись тепловими потоками та бути джерелами займання сусідніх ділянок, розташованих на відстані від фронту полум'я. З метою виявлення максимальної температури осередку горіння експериментальне дослідження проводили тривалістю 20 хв, що приймається як нормативний та достатній час для доїзду та оперативного розгортання пожежно-рятувального підрозділу на місці пожежі [83].

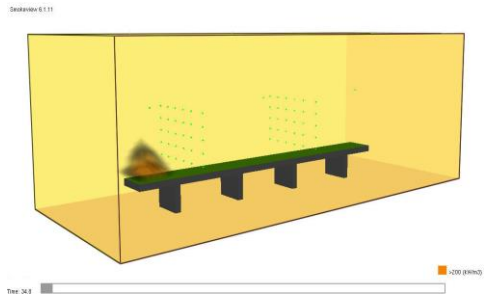
Встановлено, що зі збільшенням часу горіння експериментальної ділянки температура в осередку пожежі

зростала, а її максимальне значення спостерігалось на 12-ій хв від початку займання та становило 720°С, після чого спостерігалось її поступове зниження. Також експериментально досліджено значення зміни температур середовища над осередком горіння залежно від висоти вимірювання. Враховуючи те, що висота полум'я була в межах 0,35−0,86 м, вимірювання температур виконували на висотах від 0 до 1,2 м з інтервалом 0,2 м. При цьому значення температур змінювались від 720°С в осередку горіння до 330°С у найвищій точці вимірювання. Зростання температури на проміжку до 12 хв пояснюємо збільшенням швидкості прогрівання пожежного навантаження експериментальної ділянки, що своєю чергою призводить до зростання швидкості піролізу та виділення горючих газів у кількості, достатній для горіння. Зниження температури над осередком горіння зі зростанням висоти вимірювання можна пояснити охолодженням горючого середовища шляхом його перемішування з повітрям, що надходить у зону горіння.

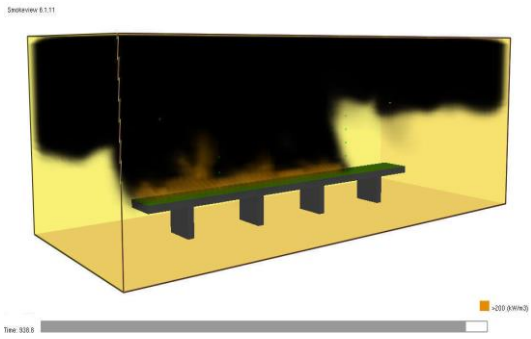
На наступному етапі досліджень виконали креслення моделі полігону *з* "транспортерною стрічкою" в середовищі *PyroSim*, де задали геометричні розміри моделі та параметри просторового розташування. Також, для отримання значень температур в осередку пожежі та над ним, розташували віртуальні термопари на висоті 0−1,2 м з інтервалом 0,2 м. Моделювання процесу виникнення та поширення пожежі "транспортерної стрічки" здійснювали з використанням програми *FDS* безпосередньо в середовищі *PyroSim*. Для реалізації моделі окрім геометричних параметрів експериментального полігону застосовували фізико-хімічні властивості горючого навантаження (матеріалу), які відповідають даним горючих речовин та матеріалів з бібліотеки програмного середовища. Інші значення параметрів моделі взято як стандартні за нормальних умов [113]. Для побудови використано також швидкість вітру, температуру повітря та параметри джерела запалювання. Моделювання здійснено на сітці розмірами 60×25×25, геометричні розміри домену — 6×2,5×2,5 м. Хімічний склад

горючого матеріалу на основі бавовни та поліестеру з розподілом атомів карбону, гідрогену та оксисену — $C_{2,1}H_{33,8}O_{1,7}$, теплота згорання матеріалу — 19600 кДж/кг.

В процесі моделювання *FDS* автоматично створює комплекс файлів з результатами. Для візуалізації цих результатів використовували додаток *Smokeview*, який після завантаження файлу з розширенням .smv дає змогу переглядати перебіг процесу горіння у просторі (рис. 3.7).



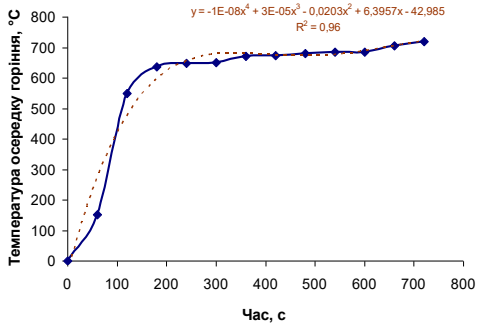
а)



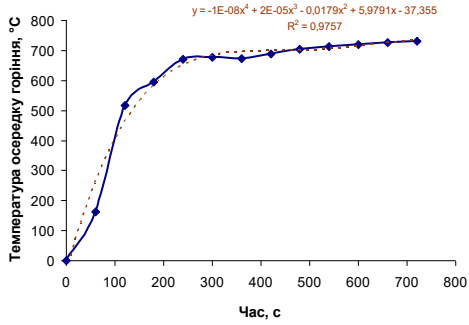
б)

Рисунок 3.7 – Моделювання пожежі "транспортерної стрічки" а) на 1-ій хв від початку горіння; б) на 16-ій хв від початку горіння

Опрацювавши результати експериментального дослідження та моделювання, отримали залежності зміни температури пожежі експериментальної ділянки від тривалості горіння (рис. 3.8).




а)



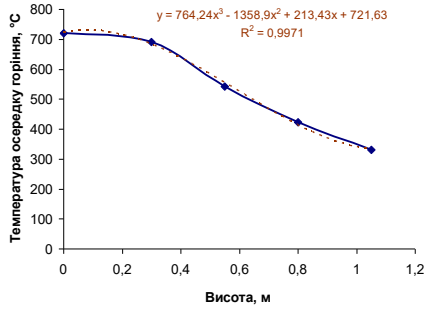

б)

Рисунок 3.8 – Залежності температури в осередку горіння від часу горіння: а) отримані за результатом експерименту; б) отримані за результатом моделювання

Отримані залежності найкраще описуються поліноміальними моделями 4-го степеня. В результаті комп'ютерного моделювання, як і у випадку

експериментального дослідження, зростання температури відбувалось до 12 хв, а її максимальне значення становило 731°С, що на 1,52% більше від результатів, отриманих під час вимірювання температур горіння експериментальної ділянки.

Поруч з цим, ми дослідили температури середовища горіння експериментальної ділянки залежно від зміни висоти вимірювань. Після опрацювання результатів отримано залежності як для експериментального дослідження, так і для процесу моделювання (рис. 3.9).




а)

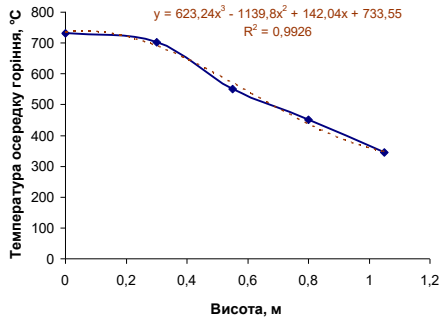



Рисунок 3.9 − Залежність температури над осередком горіння від висоти вимірювання: а) отримані за результатом експерименту; б) отримані за результатом моделювання

Отримані залежності найкраще описуються поліноміальними моделями 3-го степеня. Зазначимо, що значення температури над осередком горіння, отримані за результатами моделювання, зменшувалися зі збільшенням висоти розташування термопар, і становили в межах від 731°С в нижній точці до 344°С у верхній точці розміщення термопари.

Для порівняння результатів експериментального дослідження та результатів, отриманих з допомогою моделювання, використали інструментарій середовища електронних таблиць *Excel* та визначили похибки результатів вимірювань (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Відносні похибки результатів досліджень

| Тривалість досліджень, с | 0 | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 | 600 | 660 | 720 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Відносна похибка $\varepsilon$, % | 0 | 7,2 | 6,0 | 6,6 | 3,5 | 4,1 | 1,3 | 2,2 | 3,5 | 4,1 | 4,8 | 2,97 | 1,5 |

Порівнявши між собою результати експериментального дослідження та комп'ютерного моделювання встановили, що максимальна відносна похибка отриманих результатів становить 7,2%, що є допустимим значенням. Таким чином, отримані за результатами експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання регресійні поліноміальні моделі дають змогу визначати величини температур в осередку горіння від часу та висоти вимірювання.

## 3.2. Методика дослідження ефективності застосування теплозахисних панелей шляхом проведення польових експериментальних досліджень

Сутність методики полягає у визначенні проміжку часу від моменту займання макетного вогнища пожежі, яке розміщене в підготовленому експериментальному полігоні, до виникнення горіння на ділянках, що межують з ділянкою розміщення макетного вогнища, а також дослідження впливу відстані від екранувальної панелі до ділянки з пожежним навантаженням на температури нагрівання.

Методика застосовується з метою встановлення часу нагрівання захищених екрануючими панелями швейно-виробничих ділянок до виникнення горіння і розроблена на основі [44].

Як горюче навантаження застосовується макетне вогнище, обладнане металевими екрануючими панелями, сусідня ділянка із тканинами з бавовни та поліестеру. Дослідження температур нагрівання проводиться за допомогою РТ 0102 з ТХА та безконтактного інфрачервоного пірометра марки HoldPeak HP – 1300.

Послідовність підготовки до випробувань. З дерев'яних брусків розмірами 39×89×1000 мм формується макетне вогнище. Макетне вогнище облаштовується металевими екрануючими панелями. На відстані 0,05 м від екранувальної панелі розміщується сусідня ділянка, яка складається з пожежної навантаги у вигляді деревини, тканин з бавовни та поліестеру. Дослід призначений для встановлення часу до займання матеріалів, розміщених на сусідній ділянці. Результатом проведення досліджень є визначення часу самозаймання сусідньої ділянки з пожежною навантагою та встановлення зміни температур нагрівання сусідньої ділянки залежно від відстані до екранувальної панелі. Засоби вимірювальної техніки відображено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Засоби вимірювальної техніки для проведення досліджень

| № з/п | Найменування приладу чи обладнання | Границя вимірювання | Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки |
|---|---|---|---|
| 1. | ТВЕ – 24 | Від 0,5 до 24000 г | Клас точн. 3 |
| 2. | Метеостанція Kestrel 4000 | від 0 до 40 м/с | 1 |
| 3. | РТ 0102 з ТХА | 0 – 1200 °С | ±2°С |
| 4. | Секундомір СОП пр. | 0 – 3600 с | Клас точн. 2 |
| 5. | Ваги – вологоміри AXIS - 120 | 20 – 160 °С | Клас точн. 2 |

Порядок проведення випробувань.

1. Вимірювання температури, вологості, швидкості повітряного потоку в приміщенні експериментального полігону, ваги та вологості дерев'яних брусків розмірами 39×89×1000 мм;

2. Підготовка макетного вогнища з дерев'яних брусків, які формують методом решітчастої кладки у кількості, що створює пожежну навантагу, наближену до значень виробничих ділянок швейних підприємств.

3. Формування сусідньої ділянки, яка складається з дерев'яної конструкції, по якій укладено шари тканин з бавовни та поліестеру.

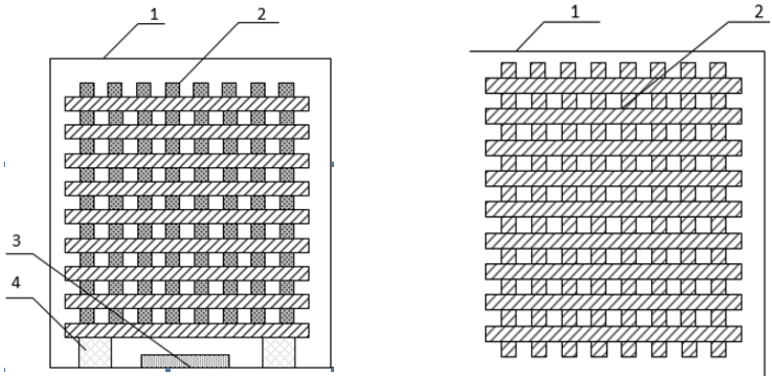
4. Вимірюються значення температур на сусідній з макетним вогнищем ділянці на відстанях 0,01 м, 0,26 м, 0,51 м, 0,76 м, 1,01 м від зовнішньої сторони екранувальної панелі.

5. Вимірюється час від початку вогневого випробування до виникнення горіння на сусідній ділянці із захищеної та незахищеної екрануючими панелями сторін.

6. Результати вимірювань фіксуються у табличній формі.

Для проведення випробувань використовується експериментальний полігон, що моделює фрагмент швейного підприємства з розмірами, достатніми для розміщення макетного вогнища з сусідніми ділянками, а також для забезпечення вимірювальних операцій. Експериментальний полігон виконано у вигляді фрагменту приміщення з розмірами 6×2,5×2,5 м. З п'яти сторін експериментальний полігон облицьовано листами з оцинкованої сталі товщиною 0,00045 м. Одна зі сторін експериментального полігону залишена відкритою для забезпечення достатнього повітрообміну та зручності проведення спостережень і досліджень.

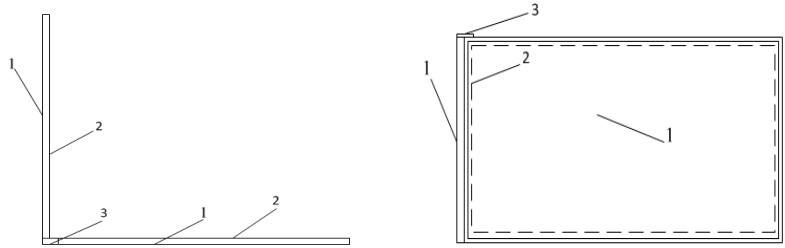
Пожежне навантаження швейно-виробничої ділянки являє собою макетне вогнище (рис.3.10), горіння якого формує умови температурного режиму, що наближений до умов горіння реальної ділянки. Макетне вогнище розміщується на бетонних блоках на висоті 200±10 мм над рівнем підлоги експериментального полігону. Для підпалювання макетного вогнища застосовують деко, в якому поміщається не менше 3,0 ± 0,2 л палива.




а) б)

Рисунок 3.10 − Макетне вогнище, обладнане екранувальними панелями: а) вигляд з фронту; б) вигляд згори

В якості протипожежних перешкод в середовищі полігону застосовуються екрануючі панелі, призначені для запобігання поширенню пожежі між виробничими місцями швейного цеху. Екрануючі панелі виконані з негорючого матеріалу – металевого листа з оцинкованої сталі, який закріплено на металевий каркас, розмірами: висота $h$ – 0,95 м, ширина панелі $a=l+0,1$ *м,* де $l$ – довжина сторони ділянки макетного вогнища, товщина металевого листа панелі становить 0,00045 м. Конструктивно екранувальна панель складається з металевого листа – 1, рамки для кріплення металевого листа – 2, з'єднувального елемента – 3. Загальна будова та вигляд екранувальної панелі відображені на рис. 3.11.



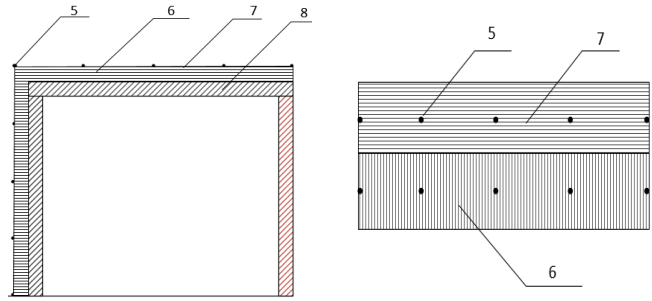

а) б)

Рисунок 3.11 − Екранувальна панель: а) вигляд з верху; б) вигляд з фронту

Екрануючі металеві панелі розміщуються на відстані 0,05 м від ділянки з пожежним навантаженням (швейно-виробничої ділянки). Верхня сторона екранувальної панелі розміщується на висоті $h_п=h_д+0,15$ м, де $h_д$ – висота ділянки з макетним вогнищем. На рис. 3.11 відображено вигляд ділянки, на якій розміщено макетне вогнище, обладнане екрануючими панелями. Де 1– екранувальна панель, 2 – макетне вогнище, 3 – металеве деко для пального, 4 – бетонні блоки для розміщення дерев'яних брусків макетного вогнища.

Проведення випробувань відбувається за умови відсутності атмосферних опадів, температура середовища експериментального полігону повинна становити не менше 20 °С, швидкість повітряного потоку – не більше 5 м/с. Під час проведення випробувань у приміщенні експериментального полігону створюють температурний режим, який забезпечують спалюванням макетного вогнища, характеристики пожежної навантаги якого наближені до значень навантаги реальної швейно-виробничої ділянки.

Сусідня ділянка відображає робоче місце або ділянку швейного підприємства, на яке здійснюється вплив факторів горіння, що виникло на ділянці, обладнаній екрануючими панелями. Сусідня ділянка представляє собою дерев'яну конструкцію, на якій розміщено шари тканини з бавовни та поліестеру товщиною не менше 0,03 м. Розміри конструкції становлять: висота – 0,8 м, ширина – 0,5 м, довжина – 1,25 м. На цій конструкції розміщуються термопари для отримання значень температури нагрівання. Вигляд «сусідньої ділянки» відображено на рисунку 3.12, де 5 – термопари для вимірювання температур прогрівання, 6 – шар тканини бавовни, 7 – шар тканини з поліестеру, 8 – дерев'яна конструкція, на якій закріплено шари тканин.




а) б)

Рисунок 3.12 − Вигляд «сусідньої ділянки»: а) вигляд з фронту; б) вигляд згори

Підготовка та проведення випробувань. Для визначення часу виникнення горіння на сусідній ділянці проводиться три експерименти. До початку проведення випробувань з дерев'яних брусків виготовляється макетне вогнище, яке облаштовується екранувальними панелями. На відстанях від 0,05 м до 0,1 м від екранувальної панелі встановлюється «сусідня ділянка». На відстанях від 0,05 до 0,1м від екранувальної панелі, розміщуються термопари для вимірювання температур нагрівання поверхні сусідньої ділянки, на якій розміщено пожежне навантаження у вигляді деревини, тканин з бавовни та поліестеру.

Встановлюється не менше 8-ми термопар, які розміщені на відстані 0,25 м одна від одної. Загальний вигляд експериментальної ділянки, який відображає комплексне розміщення макетного вогнища, обладнаного екрануючими панелями та сусідньої ділянки з термопарами відображено на рисунках 3.13 та 3.14.

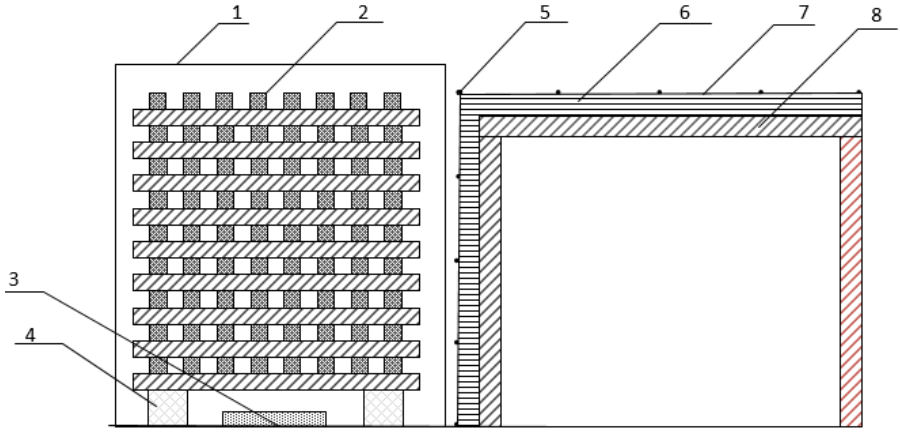



Рисунок 3.13 − Ділянка перед випробуваннями. Вигляд з фронту

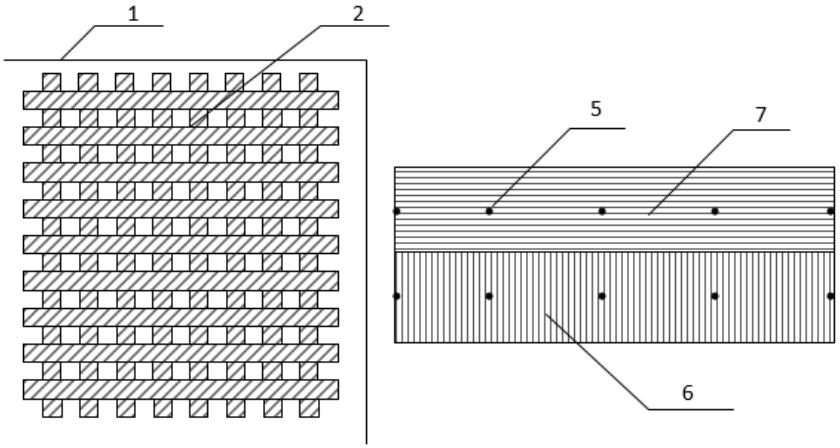



Рисунок 3.14 − Ділянка перед випробуваннями. Вигляд згори

Початок вогневих випробувань. Не більше ніж за 5 хв до початку випробувань необхідно зареєструвати початкові значення температури на ділянці розміщення макетного вогнища з екрануючими панелями та на сусідній ділянці, а також температури та вологості навколишнього середовища, швидкості повітря. Початкова температура за показаннями всіх термопар має бути від 5 °С до 40 °С. Початком випробування вважають час запалювання макетного вогнища.

Вимірювання та спостереження в процесі випробувань. Температуру за показаннями всіх термопар необхідно вимірювати та реєструвати з інтервалом не більше 1 хв.

Під час випробувань необхідно спостерігати за експериментальним полігоном, складати хронологічний опис змін під час горіння макетного вогнища, тобто: деформацій екрануючих панелей, процесу займання сусідньої ділянки. Спостереження проводять візуально та за допомогою фото- та відеофіксації.

Випробування припиняються та вважаються завершеними після виникнення горіння на сусідній ділянці, при цьому відбувається фіксація часу появи горіння та відстань від екранувальної панелі до місця виникнення горіння. Результати проведених випробувань заносяться до таблиць.

Далі, за допомогою методів регресійного аналізу, досліджується зміна температур сусідньої ділянки під час горіння макетного вогнища залежно від відстані до екранувальної панелі. Встановлюються залежності температур на поверхні сусідньої ділянки від відстані до екранувальної панелі, які найбільш точно відображають процес горіння для заданих умов. Отримані результати випробувань дадуть можливість встановити ступінь ефективності застосування екранувальних панелей для робочих місць швейних підприємств.

### 3.5. Дослідження впливу пожежі на експериментальні швейно-виробничі ділянки, захищені екранувальними панелями

Швейні підприємства належать до виробництв із високим ризиком виникнення пожеж. Пожежі, що виникають на таких підприємствах, мають тенденцію до швидкого поширення значними площами, і становлять загрозу для життя та здоров’я персоналу, знищення сировини, готової продукції, а також технологічного обладнання.

Для запобігання пожежам на швейних підприємствах важливо контролювати дотримання правил пожежної безпеки, здійснювати регулярну перевірку справності виробничого обладнання, систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння, проводити планові навчання з правил пожежної безпеки для працюючого персоналу. Додатковим запропонованим заходом, важливим для зменшення площ потенційних пожеж, що можуть виникати у

швейних цехах підприємств, є застосування місцевих протипожежних перешкод − екранувальних панелей, призначених для захисту окремих робочих місць від впливу факторів пожежі.

Дослідженню поведінки різноманітних протипожежних перешкод, які застосовуються для запобігання поширенню пожеж різними за призначенням приміщеннями, присвячено низку наукових праць як закордонних, так і українських науковців. Автори у представлених роботах досліджували вплив факторів пожежі на несучу здатність, цілісність та теплоізоляційні властивості різноманітних протипожежних перешкод, а також їх вплив на поширення пожеж. Зокрема в [120] автором досліджувались протипожежні властивості металоорганічних решіток на основі: цирконію (Zr-MOF), розгалуженого поліетиленіміну (BPEI) та вінілтріетоксисилану (VTES), які були внесені в структуру целюлозних волокон, для дослідження їх бар'єрних властивостей. Автором встановлено, що у порівнянні з необробленим вогнезахисною речовиною зразком бавовни, температура максимальної швидкості втрати маси (Tmax) C-Zr-MOF/BPEI/VTES збільшилася з 479 °C до 523,3 °C, а максимальна швидкість втрати маси (*Rmax*) при *Tmax* знизилася з 37,6 до 17,2 мас.%/хв. При 800°C чиста бавовна згоріла без залишків, тоді як залишковий вміст вугілля у зразку C-Zr-MOF/BPEI/VTES становив 7,26 мас.%. Результати випробувань вертикального горіння показали, що зразок C-Zr-MOF/BPEI/VTES має кращі бар'єрні ефекти завдяки зниженню швидкості розповсюдження полум'я та створенню більшої кількості захисних шарів вугілля. В роботі [86] представлено тестування фасадних систем в реальному розмірі. Дослідження було проведено з метою порівняння поведінки системи ETICS при різних термічних ізоляційний шарах (горюча ізоляція, горюча ізоляція з протипожежним бар’єром із негорючого матеріалу,

негорючий утеплювач) в умовах пожежі. Результати випробувань підтвердили, що перешкода з негорючого матеріалу (наприклад, мінеральної вати), навіть на порівняно невеликій висоті 20 см над отвором, може сповільнити поширення пожежі та знизити температури в процесі нагрівання фасаду. В роботах [109, 117] автори досліджували поведінку вогнестійких тканин, які використовують в обшивці меблів. Оскільки для отримання вогнестійких тканин застосовується низка хімічних речовин – антипіренів, інгібіторів горіння, то виникає питання щодо впливу таких тканин на здоров'я людей. Водночас під час проведення експериментальних досліджень авторами встановлено, що тканини, оброблені антипіренами, запобігають швидкому прогріванню інших тканинних шарів та можуть застосовуватись для сповільнення швидкості поширення горіння. В роботі [121] автори досліджували поведінку систем зовнішньої теплоізоляції під час експериментального горіння. Зокрема представлено результати експериментів вогневих випробувань, які проводилися для вивчення впливу протипожежних бар'єрів на вертикальне поширення пожежі. Протипожежною перешкодою була горизонтальна смуга з мінеральної вати шириною 300 мм. Термопари використовувалися для вимірювання температури ззовні та всередині системи. Встановлено, що значення температур над протипожежним бар'єром були значно нижчими, ніж під ним, що підтверджує ефективність застосування протипожежних бар'єрів у системах зовнішньої теплоізоляції. В роботі [103] проведено дослідження протипожежних перешкод на основі спучених перлітових композитів. Отримані результати досліджень стосуються визначення впливу різноманітних мінеральних в'яжучих, які використовуються при виготовленні теплоізоляційних плит зі спученого перліту на вогнестійкість і, як наслідок, на підвищення вогнестійкості в умовах горіння целюлози та

вуглеводнів. Найкращі теплоізоляційні та вогнестійкі властивості спостерігалися у перлітових плит, зв'язаних в'яжучим із найменшим вмістом лужних речовин, для яких коефіцієнт теплопровідності був найнижчим, а вогнестійкість в умовах пожежі целюлози становила 98 хв. Автори роботи [122] досліджували пожежну небезпеку стелажних складів, які характеризуються значною кількістю пожежної навантаги. Для мінімізації поширення пожежі запропоновано облаштовувати стелажі горизонтальними перешкодами та внутрішньо-стелажними спринклерами. Автори встановили, що застосування горизонтальних протипожежних перешкод дозволяє знизити вертикальне розповсюдження вогню по конструкції стелажа приблизно на 30%, зменшивши при цьому час спрацювання спринклера системи пожежогасіння. В роботі [82] автором досліджено вплив зовнішніх вертикальних огороджувальних конструкцій на розповсюдження горіння поверхнею стін, облаштованих фасадною теплоізоляцією. Встановлено, що застосування в якості утеплювача плит з мінеральної вати в конструкціях протипожежного поясу сприяє уповільненню поширення вогню фасадами будинків.

Проте, варто зазначити, що досліджень щодо поведінки поширення пожеж всередині різних за призначенням приміщень швейних виробництв, які враховують використання протипожежних перешкод у вигляді екрануючих захисних панелей, на сьогодні проведено недостатньо.

Для порівняння результатів комп'ютерного моделювання та натурних вогневих випробувань провели дослідження поведінки експериментальних швейно-виробничих ділянок, екранованих захисними панелями в умовах пожежі.

Для проведення досліджень в середовищі експериментального полігону застосовували макетне

вогнище, яке обладнали металевими екрануючими панелями; сформовано ділянки з тканинами з бавовни та поліестеру. Дослідження температур нагрівання проводили за допомогою РТ 0102 з ТХА та безконтактного інфрачервоного пірометра марки HoldPeak HP – 1300. Опрацювання результатів досліджень здійснювали, використовуючи методи регресійного аналізу та електронні таблиці MS Excel.

Для проведення досліджень в середовищі експериментального полігону застосовували макетне вогнище, яке обладнали металевими екрануючими панелями; сформовано ділянки з тканинами з бавовни та поліестеру. Дослідження температур нагрівання проводили за допомогою РТ 0102 з ТХА та безконтактного інфрачервоного пірометра марки HoldPeak HP – 1300. Опрацювання результатів досліджень здійснювали, використовуючи методи регресійного аналізу та електронні таблиці MS Excel.

Експериментальний полігон імітує фрагмент середовища швейного підприємства з розмірами, достатніми для розміщення макетного вогнища із сусідніми ділянками, а також для забезпечення вимірювальних операцій. Полігон виконано розмірами 6×2,5×2,5 м. З п’яти сторін експериментальний полігон облицьовано листами з оцинкованої сталі товщиною 0,00045 м. Одна зі сторін експериментального полігону залишена відкритою для забезпечення достатнього повітрообміну та зручності проведення спостережень за дослідженням.

З метою створення пожежного навантаження швейно-виробничої ділянки застосовували макетне вогнище, горіння якого формує умови температурного режиму, що наближений до умов горіння реальної ділянки. У випадку даних випробувань питома пожежна навантага змінювалась від 600 МДж до 1200 МДж. Макетне вогнище пожежі формували з брусків деревини хвойних порід. Вологість дерев’яних брусків не перевищувала 15 %. Бруски макетного

вогнища укладали у вигляді решітчастої кладки, розміщуючи на бетонних блоках висотою 200±10 мм над рівнем підлоги експериментального полігону. Для підпалювання макетного вогнища застосовували деко, в якому поміщається не менше 3,0 ± 0,2 л палива відповідно до [39]. Екрануючі панелі виконали з негорючого матеріалу – металевого листа з оцинкованої сталі, який закріплено на металевий каркас, розмірами: висота – 0,95 м; ширина – 1,1 м; товщина металевого листа панелі – 0,00045 м. Загальний вигляд експериментальної ділянки, яка складається з макетного вогнища, обладнаного екрануючими захисними панелями, та двох сусідніх ділянок, представлено на рисунку 3.15.

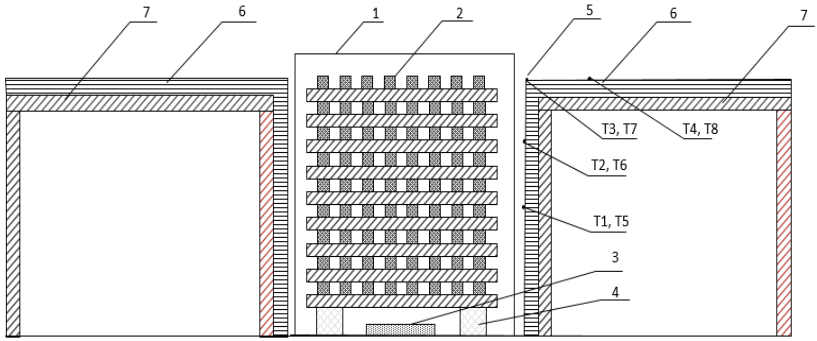



Рисунок 3.15 – План-схема експериментальної ділянки, де:

1) екранувальні панелі; 2) макетне вогнище; 3) ємність з паливом; 4) бетонні блоки; 5) термопари Т1 – Т8; 6) шар тканини; 7) дерев'яна конструкція сусідньої ділянки

Результати досліджень. На основі запропонованої методики з використанням зведеного полігону та розміщеної в ньому експериментальної ділянки було проведено вогневі випробування. За 5 хв перед початком випробувань виміряли значення температури навколишнього середовища, яка становила 25°С. Випробування проводили для двох значень

пожежної навантаги – 600 МДж та 1200 МДж. Площа розміщення ділянки макетного вогнища становила до 1 м$^2$. Відстань розміщення сусідніх ділянок з тканинами від екрануючих панелей становила 0,1 м для пожежної навантаги 600 МДж та 0,05 м для пожежної навантаги 1200 МДж. Після підготовки експериментальних ділянок з допомогою факела здійснювали підпал макетних вогнищ та спостерігали за горінням експериментальних ділянок. Фото макетних вогнищ, сусідніх ділянок з тканинами бавовни та поліестеру до моменту підпалу та в процесі горіння зображені на рисунку 3.16.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.16 − Процес горіння експериментальних ділянок: а) ділянка з пожежним навантаженням 1200 МДж до моменту підпалу ; б) ділянка з пожежним навантаженням 600 МДж до моменту підпалу; в) горіння ділянки з 1200 МДж- пожежної навантаги на 65-ій с від моменту підпалу; г) горіння ділянки з 600 МДж-пожежної навантаги на 68 -ій с від моменту підпалу; д) горіння ділянки з 1200 МДж-пожежної навантаги на 490-ій с від моменту підпалу; е) горіння ділянки з 600 МДж-пожежної навантаги на 480-ій с від моменту підпалу

Залежності зміни температур від часу горіння бавовни та поліестеру на експериментальних ділянках при пожежній навантазі 600 та 1200 МДж відображено на рисунках 3.17-3.18.

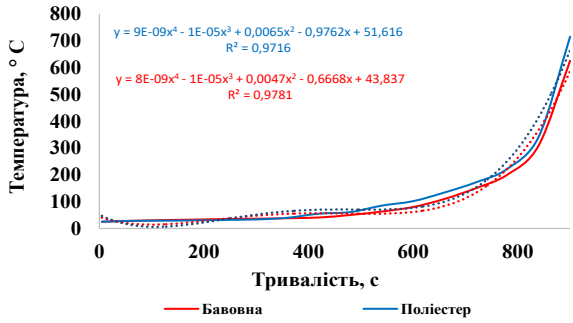



Рисунок 3.17 – Залежності температур від часу нагрівання ділянок з досліджуваними зразками тканин з пожежною навантагою модельного вогнища 600 МДж

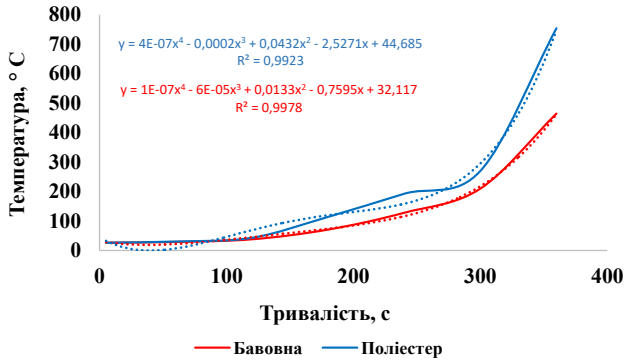



Рисунок 3.18 – Залежності температур від часу нагрівання ділянок з досліджуваними зразками тканин з пожежною навантагою модельного вогнища 1200 МДж

Результати свідчать, що при пожежній навантазі макетного вогнища величиною 1200 МДж температура самозаймання бавовни (400°С) [73] була зафіксована на 345-ій с від початку горіння в точці розміщення термопари №3, після чого відбулось подальше нагрівання термопари до значень температури полум'я в межах 550−625°С. Що стосується ділянки розміщення тканин з поліестеру, то температура самозаймання, а саме 500°С [73] виникла на 348-ій с від початку горіння, після чого відбувалось займання та зростання температури в точці розміщення термопари №7 до значень в межах 650−724°С. При горінні макетного вогнища з пожежною навантагою 600 МДж встановлено, що час виникнення температури самозаймання величиною 400°С для ділянки з тканинами з бавовни становив 870 с в точці розміщення термопари №3, а температура самозаймання ділянки з поліестером набула значення 500°С на 890-ій с в точці розміщення термопари №7, після чого в обох випадках виникало відкрите горіння та продовжувалось зростання температур в місцях розміщення термопар. Для незахищених ділянок з бавовною та поліестером час виникнення горіння

становив 240 с при пожежній навантазі макетного вогнища 1200 МДж, а для величини 600 МДж — 280 с. В обох випадках швидше займання зразків спостерігалося для тканин з бавовни.

За пожежної навантаги макетного вогнища 600 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t=0{,}000000008\tau^4-0{,}00001\tau^3+0{,}0047\tau^2-0{,}6668\tau+43{,}837$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9781$, а для ділянки тканин з поліестеру – $t=0{,}000000009\tau^4-0{,}00001\tau^3+0{,}0065\tau^2-0{,}9762\tau+51{,}616$ *(*$R^2 = 0{,}9716$*)*. Тоді як за пожежної навантаги макетного вогнища 1200 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t=0{,}0000001\tau^4-0{,}00006\tau^3+0{,}0133\tau^2-0{,}7595\tau+32{,}117$ ($R^2 = 0{,}9978$), а для ділянки тканин з поліестеру – $t=0{,}0000004\tau^4-0{,}0002\tau^3+0{,}0432\tau^2-2{,}5271\tau+44{,}685$ *(*$R^2 = 0{,}9923$*)*.

Проведено порівняння результатів комп'ютерного моделювання, а саме дослідів №4 та №8 із результатами, які отримали під час експериментальних вогневих випробувань у дослідах №1 та №2. Розраховано середні значення похибок, які відображено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Значення часу до займання тканин з бавовни і поліестеру

| Дослід №4 (комп'ютерне моделювання) | | Дослід №2 (вогневі випробування) | | Значення похибки, % | Дослід №7 (комп'ютерне моделювання) | | Дослід №1 (вогневі випробування) | | Середнє значення похибки % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\tau_{\text{сзбав.}}$ | 848 с | $\tau_{\text{сзбав.}}$ | 870 с | 2,59 | $\tau_{\text{сзбав.}}$ | 331 с | $\tau_{\text{сзбав.}}$ | 345 с | 4,23 |
| $\tau_{\text{сзпол.}}$ | 920 с | $\tau_{\text{сзпол.}}$ | 890 с | 3,37 | $\tau_{\text{сзпол.}}$ | 356 с | $\tau_{\text{сзпол.}}$ | 348 с | 2,29 |

Значення похибок знаходяться в допустимих межах, що підтверджує адекватність отриманих результатів комп'ютерного моделювання та експериментальних вогневих випробувань.

**Висновки до розділу**

1. За результатами досліджень виявлено, що найбільша пожежна небезпека властива тканинам, в складі яких міститься бавовна. Проведеними експериментальними дослідженнями в лабораторних умовах встановлено, що найменша температура займання спостерігається для бавовни (100%, подрібнена тканина) і становить 215°С, що в 1,63 раза менше за температуру займання поліестеру (0% бавовни, подрібнена тканина). Найменша температура самозаймання спостерігається також для бавовни (100%, подрібнена тканина) і становить 400°С, що в 1,18 раза менше за температуру самозаймання поліестеру (0% бавовни, подрібнена тканина).

2. Отримано поліноміальні регресійні моделі для температури займання $t_з=0,0002\varphi^3-0,0428\varphi^2+0,6078\varphi+349,44$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2=0,9987$ та температури самозаймання $t_{сз}=-0,000005\varphi^3-0,0014\varphi^2-0,4438\varphi+469,92$ ($R^2=0,9995$), де $\varphi$ – відсотковий склад бавовни у зразку.

3. Найменші похибки між температурами займання/самозаймання, отриманими за результатами експериментальних досліджень, а також встановленими з використанням поліноміальних регресійних моделей, властиві для: бавовни (0%, подрібнена тканина) −1/1°С; бавовни (20%, подрібнена тканина) − 1/0°С та бавовни (40%, подрібнена тканина) − 2/1°С, що підтверджує адекватність застосування моделей отриманим значенням. У випадку температур займання та самозаймання зразків бавовни

(100%, 80%, 60% − подрібнена тканина), виникає необхідність врахування отриманих похибок.

4. За результатами проведення експериментальних досліджень виявлено, що зі збільшенням часу горіння експериментальної та модельованої ділянок зростання температури в осередку пожежі припинилося на 12-ій хв від початку займання та становило 720°С/731°С, що перевищує цей показник на 120-тій секунді на 76,39%/70,73% відповідно.

5. Проведено порівняння результатів комп'ютерного моделювання, а саме дослідів №4 та №8 із результатами, які отримали під час експериментальних вогневих випробувань у дослідах №1 та №2. Середні значення похибок становили від 2,59 % до 4,23%.

5. Встановлено, що за пожежної навантаги макетного вогнища величиною 600 МДж горіння на захищеній екрануючою панеллю сусідній ділянці з тканинами відбувалось на 870-ій с від початку випробувань, що в 3,1 раза перевищує час до займання на незахищеній ділянці. Під час горіння макетного вогнища з навантагою величиною 1200 МДж займання захищеної ділянки з тканинами відбулось на 345-ій с від початку випробувань, що в 1,44 раза перевищує час до займання на незахищеній ділянці. При однаковій висоті екрануючих панелей зниження пожежної навантаги макетного вогнища від 1200 МДж до 600 МДж призводить до збільшення часу до займання експериментальної ділянки в 2,52 раза.

# РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКРАНУВАЛЬНИХ ПАНЕЛЕЙ

## 4.1. Застосування екранувальних панелей у виробничому просторі швейних підприємств

Групою винахідників Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, розроблено та запропоновано спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств [68], на який отримано патент України на корисну модель.

Корисна модель належить до галузі забезпечення пожежної безпеки та може застосовуватися для захисту робочих місць швейних підприємств від впливу факторів пожежі. Протипожежне екранування робочих місць швейних підприємств може стати важливим додатковим заходом з підвищення рівня пожежної безпеки, який можна застосовувати в комплексі з уже існуючими засобами протипожежного захисту.

Відомий спосіб застосування протипожежних перешкод у вигляді протипожежних стін та протипожежних перегородок, які розміщуються між приміщеннями та поділяють будівлі на протипожежні відсіки та секції [31]. Поруч з цим відомий спосіб використання протипожежних перешкод у вигляді протипожежних дверей, воріт, вікон, люків, клапанів, завіс (екранів), застосування яких полягає у заповненні прорізів протипожежних перешкод (стін і перегородок) [31]. Відомий спосіб використання протипожежних екранів у вигляді завіс, виготовлених з різних матеріалів, який також полягає у розташуванні їх між приміщеннями будівлі з метою поділу на окремі секції [81]. Відомий також спосіб використання протипожежних екранів у вигляді водонаповнених протипожежних перешкод, який полягає у застосуванні їх для поділу приміщень на секції та відсіки, інформацію про який наведено у [68]. Відомий також

спосіб застосування екранів у вигляді протипожежних полотен (пожежних кошм), який полягає у екрануванні поверхонь під час проведення зварювальних чи інших вогневих робіт, а також використанні таких екранів як вогнегасних засобів для гасіння невеликих осередків горіння на ранній стадії пожежі [68].

Недоліком є те, що способи застосування вищезгаданих протипожежних перешкод, не передбачають можливості екранування окремих робочих місць швейних підприємств з метою запобігання поширенню пожежі між ними.

Сформульована задача вирішується застосуванням теплозахисних панелей з металевим листом для постійного екранування окремих робочих місць швейних підприємств, що забезпечуватиме захист сусідніх робочих місць від поширення пожежі та впливу її факторів. Таке технічне рішення дає змогу значно зменшити площу ймовірної пожежі, запобігаючи її поширенню, що в свою чергу знизить кількість та швидкість накопичення токсичних продуктів горіння, сприятиме запобіганню росту середньооб'ємної температури, теплового потоку та інших факторів, створить умови для успішної ліквідації пожежі на ранній її стадії.

Спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств полягає у захисті кожного робочого місця виробничого приміщення з двох сторін теплозахисними панелями з металевим листом. Конструкція екранувальної панелі з металевим листом включає в себе металеві листи, металеві рамки для кріплення металевих листів та з'єднувальні елементи, що сполучають між собою частини панелей.

Суть корисної моделі виражається рисунком 4.1, на якому зображено принципову схему розміщення теплозахисних панелей з металевим листом відносно робочих місць швейних підприємств.

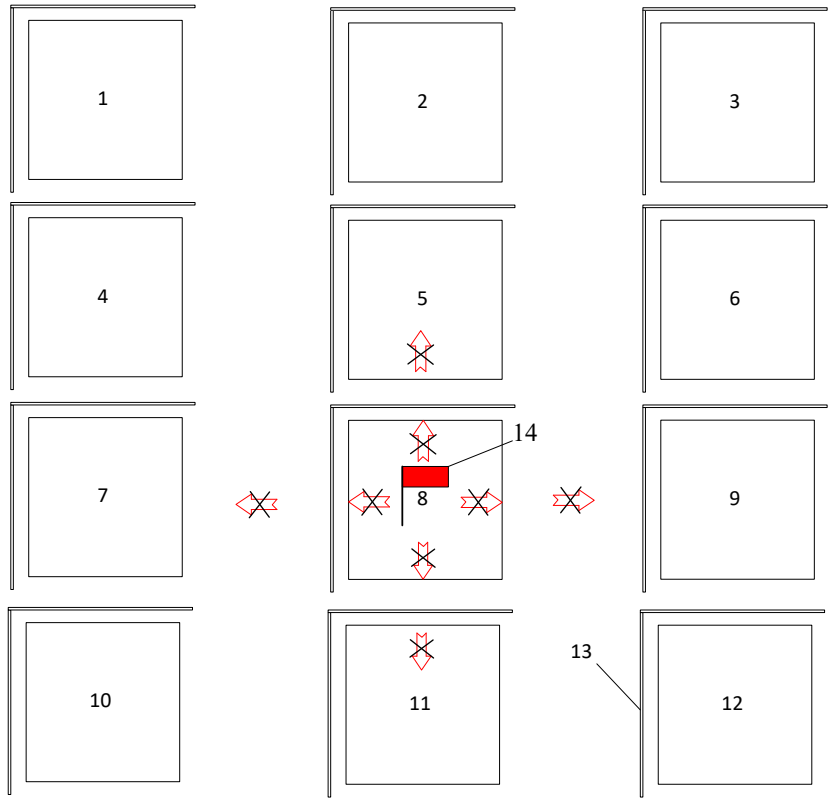



Рисунок 4.1 – Вигляд схеми розміщення протипожежних перешкод і робочих місць, де 1–12 – робочі місця; 13 – екранувальні панелі з металевим листом, 14 – місце виникнення пожежі

У випадку застосування цього способу значна частина теплового випромінювання буде спрямована на прогрівання теплозахисних панелей. Контакт відкритого полум'я ділянки, яка горить, із сусідньою ділянкою, не відбуватиметься, внаслідок чого прогнозовано зниження швидкості поширення горіння по виробничих ділянках, а також сповільнення формування небезпечних чинників пожежі.

За результатами проведених досліджень рекомендовано застосовувати екранувальні панелі для пожежної навантаги швейно-виробничої ділянки не більше 600 МДж. Екранувальна панель повинна розташовуватись на відстані від сусідньої ділянки не менше 0,1 м, а її висота повинна бути на 0,15 м вище від верхньої точки пожежної навантаги робочого місця.

### 4.2. Дослідження впливу застосування екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі

В історії пожеж на швейних підприємствах, розгляд процесу евакуації є дуже важливим напрямком. На тлі трагічних інцидентів [59], пов’язаних з пожежами на швейних фабриках, внаслідок яких гинули люди, усвідомлення важливості успішної евакуації набуло критичного значення. Це питання стало не лише об'єктом досліджень [95, 97, 100] та технічних інновацій, але й вимагає строгого виконання нормативних вимог у сфері пожежної безпеки. У цьому контексті вивчення та розуміння факторів, що впливають на успішну евакуацію з палаючих швейних підприємств, стає не лише науковою проблемою, але й практичною необхідністю для забезпечення захисту життя та здоров'я робітників. Дослідження процесу евакуації із швейного підприємства, охопленого пожежою, включає в себе аналіз технічних, організаційних, соціальних та економічних чинників, що впливають на безпеку працівників та загальну стійкість виробничих приміщень швейних підприємств до виникнення та поширення пожеж. У зв’язку з вищевказаним, проведено теоретичне дослідження впливу теплозахисних або екранувальних захисних панелей на формування небезпечних чинників пожежі та час проведення евакуації.

Застосування екранувальних захисних панелей у виробничому просторі швейних підприємств спрямоване на зниження швидкості поширення пожежі, а також запобігання швидкому розвитку критичних факторів, які становлять загрозу для життя і здоров'я працюючого персоналу. У зв'язку з цим на основі методики [40] проведено розрахунок часу від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів в результаті поширення на них небезпечних чинників (факторів) пожежі.

Час від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів в результаті поширення на них небезпечних чинників пожежі визначається шляхом вибору мінімального часу з отриманих в результаті розрахунків значень критичної тривалості пожежі:

$$\tau_{бл} = \min\left\{t_{кр}^{T}, t_{кр}^{BB}, t_{кр}^{O2}, t_{кр}^{TT}\right\} \tag{4.1}$$

Для одиночного приміщення висотою не більш 6 м, що задовольняє умовам застосування інтегральної моделі, за відсутності систем протипожежного захисту, які впливають на розвиток пожежі, допустимо визначати критичні часи за кожним із небезпечних чинників початкової стадії пожежі, до моменту притоку окисника у приміщення за допомогою аналітичних співвідношень:
за підвищеною температурою:

$$t_{кр}^{T} = \left\{\frac{B}{A}\cdot\ln\left[1+\frac{70-t_0}{(273+t_0)\cdot z}\right]\right\}^{1/n} \tag{4.2}$$

за втратою видимості:

$$t_{кр}^{B.B.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{гр} \cdot B \cdot D_m \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} \quad (4.3)$$

за зниженням вмісту кисню:

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{0,044}{(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0.27) \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} \quad (4.4)$$

за кожним з газоподібних токсичних продуктів згоряння:

$$t_{кр}^{T.Г.} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} \quad (4.5)$$

$$B = \frac{353 \cdot c_p \cdot V}{(1-\varphi) \cdot \eta \cdot Q_i} \quad (4.6)$$

*B* — розмірний комплекс, який залежить від теплоти згоряння матеріалу та вільного об'єму приміщення, кг; $t_0$ — початкова температура повітря в приміщенні, °С; n — показник ступеню, що враховує зміну маси матеріалу, що вигоряє, в часі; А — розмірний параметр, що враховує питому масову швидкість вигоряння горючого матеріалу та площу пожежі, кг/с$^n$ ; z — безрозмірний параметр, що

враховує нерівномірність розподілу НЧП по висоті приміщення; $Q_н$ — нижча теплота згоряння матеріалу, МДж/кг; $c_р$ — питома ізобарна теплоємність газу, МДж/кг; φ — коефіцієнт тепловтрат (приймається за даними довідкової літератури, за відсутності даних може бути прийнятий рівним 0,55); η — коефіцієнт повноти горіння (визначається за формулою А.40); V — вільний об'єм приміщення, $м^3$ ; α — коефіцієнт відображення предметів на шляхах евакуації; Е — початкова освітленість, лк; $l_{гр}$ — гранична дальність видимості в диму, м; $D_m$ — димоутворювальна здатність горючого матеріалу, $Нп·м^2/кг$; L — питомий вихід токсичних газів під час згоряння 1 кг матеріалу, кг/кг; Х — гранично допустимий вміст токсичного газу в приміщенні, $кг/м^3$ ( $X_{CO2}$ = 0,11 $кг/м^3$ ; $X_{CO} = 1{,}16·10^{-3}$ $кг/м^3$ ; $X_{HCL}= 23·10^{-6}$ $кг/м^3$ ); $L_{O2}$— питома витрата кисню, кг/кг.

Якщо під знаком логарифма виходить від'ємне число, то даний НЧП не є небезпечним. Параметр Z за умови Н ≤ 6 м обчислюють за формулою:

$$z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1{,}4 \cdot \frac{h}{H}\right) \qquad (4.7)$$

за умови, що Н ≤ 6 м
де h – висота робочої зони, м; Н – висота приміщення, м.

Визначають висоту робочої зони:

$$h = h_{пл} + 1{,}7 - 0{,}5 \cdot \delta, \qquad (4.8)$$

де $h_{пл}$ – висота майданчика, де перебувають люди, над підлогою приміщення, м; δ – різниця висот підлоги, що дорівнює 0 за її горизонтального розташування, м.

Потрібно зауважити, що найбільшій небезпеці під час пожежі піддаються люди, що знаходяться на найвищій

відмітці. Тому, наприклад, під час визначення необхідного часу евакуації людей з різних приміщень з похилою підлогою значення h слід знаходити, орієнтуючись на місця перебування людей, які розташовані найвище.

Параметри А та n обчислюють так:

У разі горіння рідини зі сталою швидкістю:

$$A = \psi_{пит} \cdot F, n = 1, \tag{4.9}$$

де $\psi_{пит}$ – питома масова швидкість вигоряння рідини, кг/(м$^2$·с);

У разі горіння рідини з несталою швидкістю:

$$A = \frac{0,67 \cdot \psi_{пит} \cdot F}{\sqrt{t_{ст}}}, n = 1,5 \quad . \tag{4.10}$$

Для кругового поширення пожежі:

$$A = 1,05 \cdot \psi_{пит} \cdot v^2, n = 3, \tag{4.11}$$

де $v$ – лінійна швидкість поширення полум'я, м/с;

Для вертикальної чи горизонтальної поверхні горіння у вигляді прямокутника, одна зі сторін якого збільшується в двох напрямках через поширення полум'я (наприклад, поширення вогню в горизонтальному напрямку по завісі після охоплення її полум'ям по всій висоті):

$$A = \psi_{пит} \cdot v \cdot b, n = 2, \tag{4.12}$$

де $b$ – розмір зони горіння, перпендикулярний до напрямку руху полум'я, м. За відсутності спеціальних вимог значення α та Е приймають рівним 0,3 лк і 50 лк відповідно, а значення $l_{гр} = 20$ м.

Для визначення розрахункової тривалості евакуації людей застосовується формула:

$$t_p = 0,8 \cdot t_{бл}, \qquad (4.13)$$

де $t_{бл}$ — тривалість блокування шляхів евакуації (інтервал тривалості від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів у результаті поширення на них НЧП, що мають гранично допустимі для людей значення), хв.

З метою порівняння між собою проведено розрахунки виникнення небезпечних чинників пожежі для змінних об'ємів виробничих цехів без застосування екрануючих захисних панелей, в яких в більшій мірі обертаються тканини з бавовни в одному випадку та тканини з поліестеру в другому випадку. Лінійні швидкості поширення горіння з незахищеної ЕЗП сторони для тканин з бавовни становили 0,0044 м/с, для тканин з поліестеру – 0,0039 м/с при величині пожежної навантаги $Q$ = 600 МДж. Для значення пожежної навантаги $Q$ = 1200 МДж, швидкості поширення горіння для тканин з бавовни становили 0,0049 м/с, для тканин з поліестеру – 0,0043 м/с.

Під час проведення експериментальних досліджень, пов'язаних із застосуванням екрануючих захисних панелей було отримано ряд значень швидкостей поширення горіння швейно-виробничими ділянками. Для розрахунку значень небезпечних чинників пожежі для виробництв з переважним використанням тканин з бавовни із врахуванням екрануючих захисних панелей використано результати, які отримано під

час проведення дослідів №4 та №8, що становлять 0,107м/хв (0,0018м/с) та 0,208м/хв (0,0035м/с). Для виробничих приміщень, в яких обертаються тканини з поліестеру, швидкості поширення горіння для дослідів №4 та №8 дорівнюють 0,097м/хв (0,0016м/с) та 0,185м/хв (0,0031м/с). Розрахунок значень небезпечних чинників пожежі здійснювали для виробничого приміщення площею 499 м$^2$ та об'ємом 1500 м$^3$.

Проведення розрахунків небезпечних чинників пожежі проведено в програмному комплексі MathCad, для цього сформовано таблиці 4.1 та 4.2, в яких представлено вихідні дані для проведення розрахунків.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для визначення НЧП у виробничих цехах з переважанням тканин з бавовни

| $t_0$ | $n$ | $E$ | $C_p$ | $\varphi$ | $\eta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 3 | 50 | 0,001 | 0,55 | 0,97 |
| $V_в$ | $\alpha$ | $h_{пр}$ | $lгр$ | $D_м$ | $L_{CO2}$ |
| 1500 | 0,3 | 3,2 | 20 | 61 | 0,88 |
| $L_{CO}$ | $L_{HCl}$ | $\Psi_{пит}$ | $Q$ | $L_{O2}$ | $v_л$ |
| 0,063 | 0,006 | 0,024 | 16,7 | 1,276 | 0,0044; 0,0018; 0,0049; 0,0035. |

Сформовано таблицю значень вихідних даних, необхідних для розрахунку небезпечних чинників пожежі для швейного цеху, в якому переважає використання тканин з поліестеру (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Вихідні дані для визначення НЧП у виробничих цехах з переважанням тканин з поліестеру

| $t_0$ | $n$ | $E$ | $C_p$ | $\varphi$ | $\eta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 3 | 50 | 0,001 | 0,55 | 0,97 |
| $V_в$ | $\alpha$ | $h_{пр}$ | $lгр$ | $D_м$ | $L_{CO2}$ |
| 1500 | 0,3 | 3,2 | 20 | 790 | 1,65 |
| $L_{CO}$ | $L_{HCl}$ | $\Psi_{пит}$ | $Q$ | $L_{O2}$ | $v_л$ |
| 0,070 | 0,029 | 0,024 | 30,8 | 2,99 | 0,0039; 0,0016; 0,0043; 0,0031. |

Після проведення розрахунків з використанням формул, представлених в [40], отримано результати небезпечних чинників пожежі для різних значень швидкостей поширення горіння для тканин з бавовни та поліестеру при пожежній навантазі від 600 МДж до 1200 МДж за умови облаштування виробничих ділянок екранувальними захисними панелями або без такого. Значення НЧП представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Значення НЧП для виробничого приміщення об'ємом 1500 м$^3$

| Ном. З/п | Номер досліду, захищена чи незахищена сторона | Зн-ня швидкості поширення горіння $v_л$ | Значення небезпечних чинників, що виникають під час пожежі, с | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $t_{кр}^{T}$ | $t_{кр}^{B.B.}$ | $t_{кр}^{O_2}$ | $t_{кр}^{CO_2}$ | $t_{кр}^{CO}$ | $t_{кр}^{HCl}$ | $t_p$ |
| 1 | №1, бав. нз.с. 600 МДж | 0,0044 | 290,62 | 184,99 | 276,53 | - | 391,38 | 221,59 | 147,99 |
| 2 | №2, бав. з.с. 600 МДж ($h_п$=0,8м) | 0,0033 | 352,06 | 224,1 | 334,99 | - | 474,12 | 268,44 | 179,29 |

Продовження табл. 4.3.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | №4, бав. з.с. 600 МДж ($h_п$=0,95м) | 0,0018 | 527,36 | 335,69 | 501,79 | - | 710,21 | 402,11 | 268,55 |
| 4 | №1, поліест. нз.с 600 МДж | 0,0039 | 256,82 | 84,93 | 239,64 | - | 430,01 | 141,11 | 67,94 |
| 5 | №2, поліест. з.с 600 МДж ($h_п$=0,8м) | 0,0029 | 383,73 | 244,26 | 365,12 | - | 516,77 | 292,59 | 195,41 |
| 6 | №4, поліест. з.с 600 МДж ($h_п$=0,95м) | 0,0016 | 465,15 | 153,82 | 434,04 | - | 778,82 | 255,58 | 123,06 |
| 7 | №5, бав. нз.с. 1200 МДж | 0,0049 | 270,49 | 172,18 | 257,38 | - | 364,18 | 206,25 | 137,6 |
| 8 | №6, бав. з.с. 1200 МДж ($h_п$=0,8м) | 0,0038 | 261,31 | 86,41 | 243,83 | - | 437,52 | 143,58 | 209,05 |
| 9 | №8, бав. з.с. 1200 МДж ($h_п$=0,95м) | 0,0035 | 338,51 | 215,48 | 322,11 | - | 455,88 | 258,11 | 172,38 |
| 10 | №5, поліест. нз.с 1200 МДж | 0,0043 | 240,64 | 79,57 | 224,54 | - | 402,91 | 132,22 | 63,66 |
| 11 | №6, поліест. з.с 1200 МДж ($h_п$=0,8м) | 0,0034 | 281,42 | 93,06 | 262,59 | - | 471,19 | 154,63 | 74,45 |
| 12 | №8, поліест. з.с 1200 МДж ($h_п$=0,95м) | 0,0031 | 299,29 | 98,97 | 279,28 | - | 501,12 | 164,45 | 79,18 |

Для ділянок з пожежною навантагою 600 МДж, на яких переважають тканини з бавовни, висотою ЕП від 0,8 м до 0,95 м отримано результати НЧП, які найбільш якісно відображають вплив застосування екранувальних панелей та підтверджують ефективність їх застосування при заданих параметрах (рис. 4.2 та 4.3).

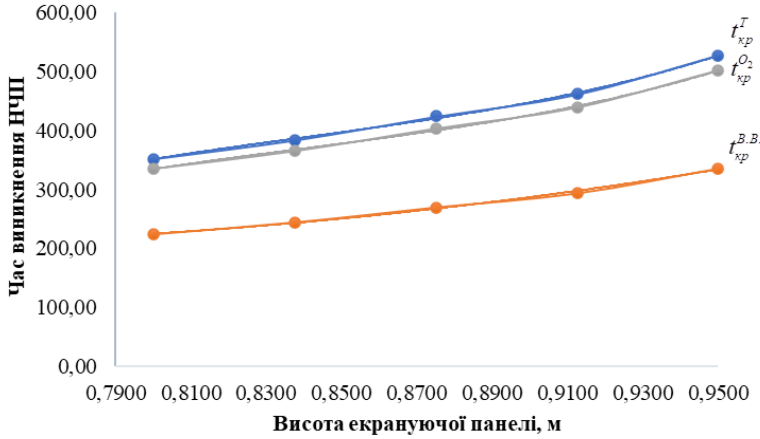



Рисунок 4.2 – Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі (для тканин з бавовни)

Отримано залежності формування небезпечних чинників пожежі за зростанням температури $t_{кр}^{T} = 31795h^3 - 80082h^2 + 68106h - 19159$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$; за зниженням концентрації кисню в повітрі $t_{кр}^{O2} = 30214h^3 - 76098h^2 + 64716h - 18205$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$; за втратою видимості $t_{кр}^{ВВ} = 20211h^3 - 50905h^2 + 43291h - 12178$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$. Залежності НЧП за продуктами згорання, а саме CO, HCl та розрахункового часу евакуації представлено нижче на рисунку 4.3.

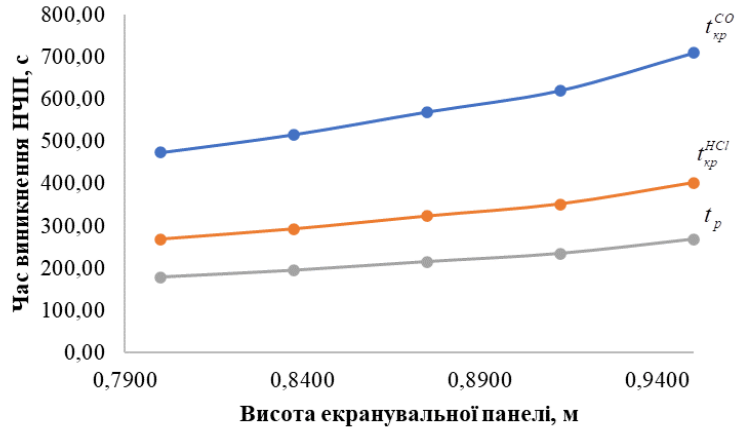



Рисунок 4.3 – Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі (для тканин з бавовни)

Отримано залежності для небезпечного чинника зростання концентрації чадного газу CO $t_{кр}^{CO} = 42809h^3 - 107823h^2 + 91697h - 25796$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$, для зростання концентрації в повітрі HCl $t_{кр}^{HCl} = 24225h^3 - 61015h^2 + 51890h - 14597$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$, для розрахункового часу евакуації з приміщення $t_p = 16150h^3 - 40674h^2 + 34589h - 9729,8$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$.

Для приміщення, у якому переважають тканини з поліестеру з пожежною навантагою ділянок 600 МДж, висотою екранувальних панелей від 0,8 м до 0,95 м також проведено дослідження впливу висоти екранувальних панелей на виникнення небезпечних чинників пожежі у виробничому просторі приміщення об'ємом 1500 м$^3$ (рис. 4.4 та 4.5).

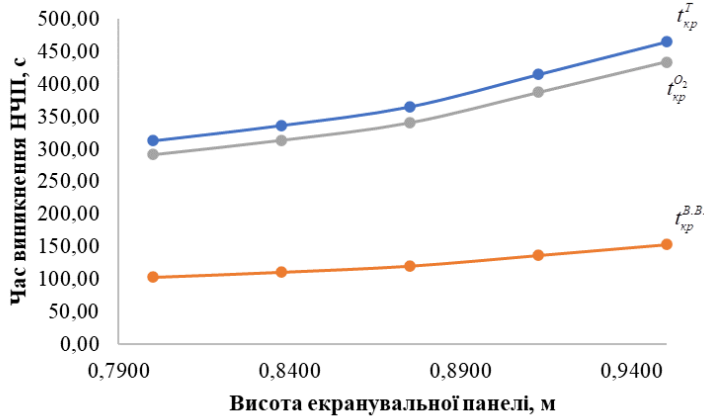



Рисунок 4.4 – Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі (для тканин з поліестеру)

Для формування небезпечних чинників пожежі за зростанням температури отримано залежность $t_{кр}^{T} = = -6779,3h^3 + 21573h^2 - 21129h + 6880,5$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$; зниження концентрації кисню в повітрі описується залежністю $t_{кр}^{O2} = -6305,2h^3 + 20077h^2 - 19669h + 6407,1$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$; за втратою видимості $t_{кр}^{BB} = -2228,1h^3 + 7098,4h^2 - 6956,2h + 2266,5$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$. Залежності для виникнення НЧП за продуктами згорання, а саме CO, HCl та розрахункового часу евакуації представлено нижче на рисунку 4.5.

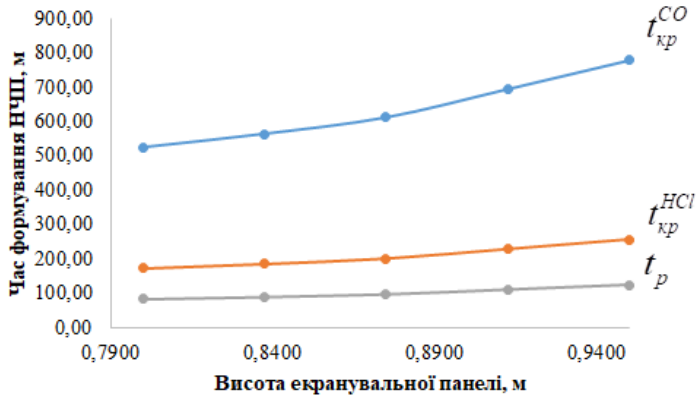



Рисунок 4.5 – Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі (для тканин з поліестеру)

Отримано залежності для небезпечного чинника зростання концентрації чадного газу CO $t_{кр}^{CO} = -11362h^3 + 36152h^2 - 35405h + 11529$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$, для зростання концентрації в повітрі HCl $t_{кр}^{HCl} = -3745,2h^3 + 11907h^2 - 11656h + 3794,3$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$, для розрахункового часу евакуації з приміщення $t_p = -1769,9h^3 + 5646,6h^2 - 5537,8h + 1805,5$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$.

Опрацювавши результати розрахунків, представлені в таблиці 4.3 отримали наступне: для досліду №4 при пожежній навантазі робочого місця 600 МДж за наявності тканин з бавовни і поліестеру застосування екрануючих захисних панелей у 1,81 рази сповільнює формування НЧП за підвищеною температурою, втратою видимості, зниженням вмісту кисню, за газоподібними токсичними продуктами згорання (CO, HCl) до критичних значень.

Для пожежної навантаги робочого місця 1200 МДж виникнення критичних значень НЧП сповільнюється у 1,25 раза. Зростання значення пожежної навантаги виробничої

ділянки (швейного робочого місця) від 600 МДж до 1200 МДж із врахуванням застосування екранувальних захисних панелей пришвидшує формування критичних значень НЧП у 1,55 раза. Для тканин з поліестеру небезпечні чинники пожежі виникають значно швидже ніж для тканин з бавовни, а саме у 1,13 раза за НЧП за підвищеною температурою, 2,18 раза за втратою видимості, 1,16 раза за зниженням концентрації кисню, 0,91 раза за концентрацією CO, 1,57 раза за концентрацією HCl та у 2,18 раза за розрахунковим часом евакуації. Отримані результати розрахунків, вказують на те, що у всіх розглянутих випадках підвищення рівня вуглекислого газу у приміщенні швейного цеху не є небезпечним за визначених умов дослідів №4 та №8.

Аналізуючи отримані в процесі розрахунків набезпечних чинників пожежі дані слід зазначити, що важливими факторами впливу є значення пожежної навантаги, вид пожежної навантаги, а саме тканини з бавовни та поліестеру, а також відсутність чи застосування екранувальних панелей.

Отримані результати вказують на те, що застосування екранувальних захисних панелей у значній мірі сповільнює виникнення НЧП у порівнянні з результатами, отриманими без використання вищевказаних панелей, що, в свою чергу призводить до збільшення розрахункового часу проведення евакуації та зниження індивідуального пожежного ризику.

**Висновки до розділу**

1. Встановлено, що для тканин з поліестеру небезпечні чинники пожежі виникають значно швидже ніж для тканин з бавовни, а саме у 1,13 раза за підвищеною температурою, 2,18 раза за втратою видимості, 1,16 раза за зниженням концентрації кисню, 1,57 раза за концентрацією HCl та у 2,18 раза за розрахунковим часом евакуації.

2. Для виробничого приміщення швейного підприємства об'ємом 1500 м$^3$, для ділянок з пожежною навантагою 600 МДж, на яких обертаються тканини з бавовни та поліестеру, висотою ЕП від 0,8 м до 0,95 м отримано залежності розрахункового часу евакуації від висоти екранувальної панелі, які мають вигляд $t_p = 16150h^3 – 40674h^2 + 34589h - 9729,8$ – для навантаги у вигляді тканин з бавовни та $t_p = -1769,9h^3 + 5646,6h^2 - 5537,8h + 1805,58$ – для навантаги у вигляді тканин з поліестеру.

3. Зміна пожежної навантаги в напрямку збільшення її значень від 600 МДж до 1200 МДж призводить до збільшення лінійної швидкості поширення горіння як для тканин з бавовни, так і для тканин з поліестеру, що в свою чергу сприяє швидшому виникненню небезпечних чинників пожежі у 1,55 раза.

4. Застосування екранувальних захисних панелей при пожежній навантазі робочого місця 600 МДж сприяє зниженню швидкості поширення горіння, що в свою чергу призводить до сповільнення виникнення небезпечних чинників пожежі таких як зростання температури, втрата видимості, надходження газоподібних продуктів горіння у 1,81 раза, а при навантазі 1200 МДж це значення становить 1,25 раза.

# ВИСНОВКИ

Монографія є науково-технічною працею, в якій вирішено актуальне завдання – підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості шляхом розкриття особливостей впливу чинників на процеси виникнення та поширення горіння.

Провівши аналіз національної та світової статистики пожеж, що виникали на підприємствах швейної промисловості, та дослідивши сучасний стан забезпечення пожежної безпеки, встановлено, що на сьогодні не відомо про застосування екранувальних панелей для робочих місць швейних підприємств, які призначені для запобігання поширенню горіння у виробничому просторі та зниження впливу небезпечних чинників пожежі. Наявна недостатня кількість наукових досліджень щодо підтвердження ефективності застосування подібних локальних протипожежних перешкод.

За результатами лабораторних досліджень виявлено, що найбільша пожежна небезпека властива тканинам, в складі яких міститься бавовна. Проведеними експериментальними дослідженнями в лабораторних умовах встановлено, що найменша температура займання спостерігається для бавовни (100%, подрібнена тканина) і становить 215°С, що в 1,63 раза менше за температуру займання поліестеру (0% бавовни, подрібнена тканина). Найменша температура самозаймання спостерігається також для бавовни (100%, подрібнена тканина) і становить 400°С, що в 1,18 раза менше за температуру самозаймання поліестеру (0% бавовни, подрібнена тканина).

Отримано поліномінальні регресійні моделі для температури займання $t_з=0,0002\varphi^3-0,0428\varphi^2+0,6078\varphi+349,44$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2=0,9987$ та температури самозаймання $t_{сз}=-0,000005\varphi^3-0,0014\varphi^2-0,4438\varphi$

$+469{,}92$ ($R^2=0{,}9995$), де $\varphi$ – відсотковий склад бавовни у зразку.

За результатами проведення комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim та застосування методів проведення повного факторного експерименту отримано залежності часу до виникнення займання $\tau_i$ на робочих місцях та залежності швидкості поширення горіння $v_i$ по швейно-виробничих ділянках для пожежного навантаження з температурами самозаймання 400 ºС та 500 ºС від зміни величини пожежної навантаги ділянки, висоти екранувальної панелі та відстаней розміщення екранувальних панелей до сусідніх ділянок:

$\tau_{400}=1{,}579\cdot10^3L+5{,}781\cdot10^3h_n+3{,}672Q-1{,}072\cdot10^3h_nL-2{,}164QL-4{,}3Qh_n+2{,}453\cdot Qh_nL-4{,}221\cdot10^3$;

$\tau_{500}=-4{,}4\cdot10^{-2}L+6{,}07\cdot10^3h_n+3{,}85Q+1{,}2\cdot10^3h_nL-0{,}74QL-4{,}98Qh_n+0{,}89Qh_nL-4{,}397\cdot10^3$;

$v_{400}=-1{,}43L-1{,}23h_n-7{,}33\cdot10^{-4}Q+1{,}69h_nL+9{,}83\cdot10^{-4}Qh_n+1{,}62\cdot10^{-3}QL-2{,}04\cdot10^3Qh_nL+1{,}16$;

$v_{500}=-1{,}29L-1{,}09h_n-6{,}5\cdot10^{-4}Q+1{,}53h_nL+1{,}47\cdot10^{-3}QL+8{,}7\cdot10^{-4}Qh_n-1{,}85\cdot10^{-3}Qh_nL+1{,}03$

Встановлено, що для умов досліду з пожежною навантагою $Q$=600 МДж, висотою екранувальної панелі $h$=0,95 м та відстанню до сусідньої ділянки $L$=0,1 м, значення часу до виникнення горіння становило 845,16 с для тканин з бавовни та 923 с для тканин з поліестеру, що в 3,56 рази більше від значень, отриманих для незахищеної ділянки;

Встановлено, що для тканин з поліестеру небезпечні чинники пожежі виникають значно швидже ніж для тканин з бавовни, а саме у 1,13 раза за підвищеною температурою, у 2,18 раза за втратою видимості, 1,16 раза за зниженням концентрації кисню, 1,57 раза за концентрацією HCl та у 2,18 раза за розрахунковим часом евакуації.

Для виробничого приміщення швейного підприємства об'ємом 1500 м$^3$, для ділянок з пожежною навантагою 600

МДж, на яких обертаються тканини з бавовни та поліестеру, висотою ЕП від 0,8 м до 0,95 м отримано залежності розрахункового часу евакуації від висоти екранувальної панелі, які мають вигляд $t_p = 16150h^3 – 40674h^2 + 34589h - 9729,8$ – для навантаги у вигляді тканин з бавовни та $t_p = -1769,9h^3 + 5646,6h^2 - 5537,8h + 1805,58$ – для навантаги у вигляді тканин з поліестеру.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адольф І. І., Товарянський В. І. Пожежна небезпека підприємств швейної промисловості: проблема та шляхи її вирішення. Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗУ. – 2021.
2. Адольф І. І., Товарянський В. І. Про пожежну небезпеку підприємств швейної промисловості. XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності». Львів: ЛДУ БЖД. – 2021.
3. Адольф І. І., Товарянський В. І. Температури займання і самозаймання тканин з бавовни та поліестеру як показники їх пожежної небезпеки. XI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. – 2021.
4. Адольф І.І., Товарянський В. І. Дослідження ефективності застосування теплозахисних панелей на підприємствах швейної промисловості на основі FDS моделювання. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць.* ЛДУБЖД. Львів, 2022. №41. *С.* 5-11. DOI: 10.32447/20786662.41.2022.01.
5. Адольф І. І., Товарянський В. І., Петровський В. Л. Дослідження впливу пожежі на експериментальні швейно-виробничі ділянки, екрановані захисними панелями. Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУБЖД. Львів, 2023, №43, 6-12. DOI: 10.32447/20786662.43.2023.01.
6. Адольф І. І., Товарянський В. І., Дослідження пожежі експериментальних швейно-виробничих ділянок, екранованих захисними панелями. XIX Міжнародна

науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності». – Львів: ЛДУ БЖД, 2024.

7. Адольф І.І., Температури горіння швейно-виробничої ділянки як фактор пожежної небезпеки. Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: Зб. наук. праць Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Львів: ЛДУ БЖД, 2022.
8. Адольф, І. І., Гаврилюк, А. Ф., Товарянський, В. І. (2020). Аналіз стану протипожежного захисту підприємств швейної промисловості. *Пожежна безпека. 2020. №37. С. 5-10.* DOI: 10.32447/20786662.37.2020.01.
9. Баканов, В. В. (2013). Надійність систем пожежної сигналізації та її компонентів як чинник пожежної безпеки частина 3. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 3, 32-33.
10. Березенко С. М. Основи технологій експериментального та підготовчо-розкрійного виробництв: навч. посіб. Київ: КНУТД, 2017. 171 с.
11. Боровиков, В. О. (2021). Автоматичні пожежні сповіщувачі: критерії вибирання і правильність застосування. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 3(90), 26-30.
12. Бут, В. П., Куціщий, Б. В., Болібрух, Б. В. (2003). Практичний посібник з пожежної тактики. Львів: Сполом. – 133 с.
13. В Індустріальному районі Харкова гасять пожежу [Електронний ресурс]. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/2388787-u-harkovi-gorit-svejnij-ceh-evakuuvali-70-osib.html (дата звернення 05.04.2022).

14. В Одесі горів швейний цех заводу Українського товариства сліпих. [Електронний ресурс]. – URL: https://informator.ua/uk/pozhezha-u-shveynomu-cehu-v-odesi-ye-postrazhdaliy (дата звернення 30.03.2022).
15. Васильковський О. М., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Петренко Д. І.. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. – Кіровоград: 2016.- 204 с.
16. Від пожежі на пакистанській фабриці загинули понад 200 людей [Електронний ресурс]. URL: https://www.bbc.com/ukrainian/politics/2012/09/120912_karachi_fire_ko (дата звернення 30.03.2022).
17. Войтович, Д. П. (2011). Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожежі. Дис. … канд. тех. наук: 21.06.02. ЛДУБЖД. Львів.
18. Горват А. А., Молнар О. О., Міньковић В. В. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла", 2019. – 160 с.
19. Горобчишина В.С. Проектування технологічних процесів швейного підприємства: навчальний посібник / В.С.Горобчишина, Л.В.Буханцова – К: 276с.
20. Гуліда Е. М., Коваль О. М., Шарий В. В. Забезпечення протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів промислових підприємств з урахуванням пожежного ризику. *Пожежна безпека: Зб. наук. праць.* ЛДУ БЖД. Львів, 2019. № 34. С. 28−34.
21. Гуліда Е. М., Ренкас А. А. Визначення температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій при пожежі в приміщенні [Електронний ресурс] / // Пожежна безпека. - 2013. - № 22. - С. 61-69. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2013_22_11

22. Гуліда Е.М, Шарий В. В. Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. ЛДУ БЖД. Львів, 2020, №37, 44-51.
23. Гуліда Е.М. Вплив пожежного ризику на величину збитків від пожежі в приміщеннях різних об'єктів. / Е.М. Гуліда // Пожежна безпека: збірник наукових праць. –Львів: ЛДУ БЖД, 2016. –No 28. –С. 36-42.
24. Гуліда Е.М., Меньшикова О.В. Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні.Проблемы пожарной безопасности. 2010. No 28. С.65–73.
25. Гуліда Е.М., Меньшикова О.В., Ренкас А. А. Моделювання пожежі в закритому приміщені. Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.6. С. 307-317.
26. Гуліда, Е.М., Коваль, О. М., Паснак, І. В., Шарий, В. В. (2019). Аналіз сучасного стану забезпечення пожежної безпеки промислових будівель та складів. Науковий вісник НЛТУ України, 29.2., 109-111.
27. Гуліда, Е.М, Шарий, В. В. Вплив протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничоскладських об'єктів. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. ЛДУ БЖД. Львів, 2019, №35, 23-29.
28. Гуліда, Е.М., Коваль, О. М., Шарий, В. В. (2019). Забезпечення протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів промислових підприємств з урахуванням пожежного ризику. Пожежна безпека, 34, 28-34.
29. Гуралюк А.Г, Куштан Г.В., Нежур В. С. та ін. Товарознавство непродовольчих товарів. URL: https://comexpert.pto.org.ua/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=1373&Itemid=102 (дата звернення 11.03.2021).

30. Данкевич І.П., Шналь Т.М., Демчина Б.Г.. Дослідження температурного режиму пожежі у модельному приміщенні. Львів: Національний університет «Львівська Політехніка» 2013. С. 46-51.
31. ДБН В.1.1-7-2016 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України. Київ, 2017. 41 с.
32. ДБН В.1.2-7:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
33. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту [Чинний від 2015-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України. Київ, 2015. 134 с.
34. ДБН В.2.5-64:2012 "Внутрішній водопровід та каналізація".
35. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".
36. ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди".
37. Державна служба статистики України. [Електронний ресурс] – URL: http://www.lv.ukrstat.gov.ua (дата звернення: 28.10.2020).
38. ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.
39. ДСТУ 3868-99 "Паливо дизельне. Технічні умови" [Чинний від 2023-01-21]. Київ: Держстандарт України, 1999. (Національні стандарти України).
40. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2020. 84 с.
41. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ, Київ, 2020. 75 с.

42. ДСТУ EN 3-8:2015 Вогнегасники переносні. Частина 8. Додаткові вимоги до EN 3-7 стосовно конструкції, опору тиску та механічних випробувань вогнегасників із максимально допустимим тиском, що нижче або дорівнює 30 бар.
43. ДСТУ Б В.1.1-36-2016. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою [Чинний від 2017-01-17]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 59 с.
44. ДСТУ Б В.1.1-4-98 "Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги" [Чинний від 1998-10-28]. Київ: Держбуд України, 1998. (Національні стандарти України).
45. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд.
46. Застосування протипожежних завіс в культурно-видовищних, адміністративних установах [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ndibv.kiev.ua/ua/archives/2508
47. Коваль О. М. Процес розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств. Пожежна безпека. 2013. №22. С. 121-127.
48. Коровникова Н. І., Олійник В. В., Рипало, Ю. Ю., Звірков С. П. Зниження горючості волокнистих матеріалів. Сборник научных трудов УГЗУ. 2011. Вип. 29. С. 92−97.
49. Мовчан, І. О. (2007). Забезпечення ліквідації пожежі на промислових підприємствах з урахуванням надійності пожежної техніки та устаткування (Doctoral dissertation, – Харків: УЦЗУ, 2007.–18 с).
50. Мовчан, І. О., Васильєв, М. І. (2013). Вибір критеріїв для прийняття рішень в системі пожежогасіння. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 8, 146-154.

51. На Білоцерківщині вигорів швейний цех. [Електронний ресурс]. – URL: https://bez-tabu.com.ua/novini/na-bilotserkivshhyni-vygoriv-shvejnyj-tseh/ (дата звернення: 23.10.2020).
52. На Тернопільській горів швейний цех (ФОТО, ВІДЕО) [Електронний ресурс]. URL: https://vsim.ua/Podii/na-ternopilskiy-goriv-shveyniy-tseh-foto-video-11172574.html (дата звернення 05.04.2022).
53. Настанова з організації роботи дослідно-випробувальної лабораторії територіального органу Держтехногенбезпеки України. Затв. Наказом Держтехногенбезпеки від 21.12.2012 року № 273. Київ, 2012. 45 с.
54. Ніжник, В., Савченко, О., & Некора, В. (2023). Теоретичні підходи для дослідження закономірності впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*, *7*(1), 67-76.
55. Нуянзін, О., Гвоздь, В., Поздєєв, С., Некора, О., & Борсук, О. (2021). Дослідження залежності часу відшарування вогнезахисного мінераловатного облицювання сталевої балки від коефіцієнту перерізу та коефіцієнту навантаження. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація,* 5(1), 96-103.
56. Обладнання підготовчо-розкрійного виробництва [Електронний ресурс] // Режим доступу http://uadoc.zavantag.com›text/24460/index.
57. Осипенко Н. І., Колчева Д. В. Оцінювання якості декоративних тканин за показниками займистості. Збірник наукових праць "Товарознавство та інновації". ДонНУЕТ. Донецьк, 2009. Вип. 5. С. 108−117.
58. Паснак, І. В., Придатко, О. В., Гаврилюк, А. Ф., Колеснікова, А. В., Гангур, Ю. В. (2016). Аналіз чинників впливу на тривалість слідування 157 пожежного

автомобіля до місця виклику. Науковий вісник НЛТУ України, 26.1, 286-291.
59. Пожежа на фабриці у Бангладеш: понад 100 загиблих [Електронний ресурс].URL: https://www.bbc.com/ukrainian/politics/2012/11/121125_bangladesh_fire_hk (дата звернення 30.03.2022).
60. Пожежа на фабриці у Володимирі-Волинському: є постраждалі. [Електронний ресурс]. – URL: https://www.volynnews.com/news/extreme/zahasyly-pozhezhu-na-shveyniy-fabrytsi-u-volodymyri-volynskomu/ (дата звернення: 23.10.2020).
61. Постанова К. М. У. (2012). Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки від 29.02.2012 № 306. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/306-2012-%D0%BF
62. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників, затверджені наказом МВС України від 15.01.2018 № 25.
63. Правила пожежної безпеки в Україні: затверджено наказом МВС України № 1417 від 30 грудня 2014 р. Офіційний вісник України. 2015. № 26. С. 91.
64. Пушкаренко А. С., Чернуха А. А. Зниження займистості текстильних і паперових матеріалів шляхом обробки вогнезахисними складами. Сборник научных трудов УГЗУ. 2008. Вип. 24. С. 140−143.
65. Рожков, А. (2021). Деякі проблеми щодо забезпечення пожежної безпеки. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 2(89), 18-19.
66. Сенчихін, Ю. М., Сировий, В. В., Лісняк, А. А., & Аветісян, В. Г. (2016). Довідник керівника гасіння пожежі.

67. Сірко З. С., Стариш Є. А., Цірень Н. Л., Цапко О. Ю., Торчилевський Д. П., Кісіль Л. Л. Антипіренна композиція для вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів. Наукові доповіді НУБіП України. Київ, 2021. Вип. 1 (89). С. 1−7.
68. Спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств: пат. Україна: A62C 2/00. № 151205; заяв. 20.01.2010 ; опубл. 15.06.2022, Бюл. № 24. 4 с.
69. Степаненко С. Г., Яник Я. М., Тимощук Ю. Т. Дослідження пожеж: довідково-методичний посіб. Київ: УкрН-ДІПБ МВС України, 1998.233 с.
70. Тарангул Л. Л., Горленко І. О., Євтушенко Г. І. Розміщення продуктивних сил: посібник Київ: ВАТ «Книжкова друкарня наукової книги», 2000. 264 с.
71. Тацій Р. М., Пазен О. Ю., прямий метод розрахунку нестаціонарного температурного поля за умов пожежі.
72. Товарянський В. І., Адольф І. І. Дослідження температур в середовищі горіння експериментальної швейно-виробничої ділянки. *Пожежна безпека. 2022. №40. С. 92-98.* DOI: 10.32447/20786662.40.2022.1.
73. Товарянський В. І., Адольф І. І., Петровський В. Л. Дослідження температур займання і самозаймання тканин з бавовни та поліестеру. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. ЛДУ БЖД. Львів, 2021, №38, 32-37. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.05.
74. У Львові горіло приміщення заводу «Електрон». [Електронний ресурс]. – URL: https://zaxid.net/u_lvovi_gorilo_primishhennya_zavodu_elektron_n1414343 (дата звернення: 23.10.2020).
75. У пожежі на китайській швейній фабриці загинули 14 людей. [Електронний ресурс]. URL: https://www.unn.com.ua/uk/news/1067873-u-pogeegei-na-

kitayskiy-shveyniy-fabritsi-zaginuli-14-lyudey (дата звернення 05.04.2022).
76. У Харкові всю ніч гасили пожежу в цеху. [Електронний ресурс]. – URL: https://ua.korrespondent.net/city/kharkov/4260863-u-kharkovi-vsui-nich-hasyly-pozhezhu-v-tsekhu (дата звернення: 23.10.2020).
77. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Аналіз стану з пожежами в Україні за 2014 рік. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 2015, 2(17), 23-25.
78. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Аналіз стану з пожежами та наслідками від них в Україні за 2016 рік. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 2017, 2, (41), 30- 31.
79. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Стан із пожежами 2018 року в Україні. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 2019, 2(65), 34-35.
80. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Тенденції виникнення пожеж в Україні у 2019 році. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 2020, 3(78), 30-31.
81. Швець О. Ю. Протипожежна завіса (екран). *SWorld: інт. зб. наук праць*. 2014. №. 1. С. 45−52.
82. Яковчук Р. С. Дослідження впливу зовнішніх вертикальних огороджувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею стін із фасадною теплоізоляцією. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. ЛДУ БЖД. Львів, 2021, №38, 38-48. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.06.
83. Яковчук Р.С., Балло Я.В., Кузик А.Д., Кагітін О.І., Ковальчук В.М. FDS моделювання ефективності

протипожежних карнизів на запобігання поширенню пожежі фасадними конструкціями висотних будівель. *Пожежна безпека. 2021. №23. С. 39-45.* DOI: 10.32447/20784643.23.2021.06.

84. Adolf I, Tovarianskyi V COMPUTER SIMULATION OF A FIRE AT A SEWING WORKPLACE EQUIPPED WITH HEAT-SHIELDING PANELS Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2023.
85. Alvares N. J., Hasegawa H. K., Hout K., Fernandez Pello A. C. and White J., “Analysis of a Run-away High Rack Storage Fire”, Fire Safety Science, Vol. 4, pp. 1267-1278 (1994).
86. Bjegović D., Pečur I., Milovanović B., Rukavina M., Alagušić M. (2016) “Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems”. *Gradevinar.*. T. 68. №. 05. 357−369. DOI: 10.14256/JCE.1347.2015.
87. BS 8414-1:2002 Fire performance of external cladding systems. Test methods for non – loadbearing external cladding systems applied to the face of building.
88. Cho G. H. and Yeo I. H., “Evaluation on Fire Spread Speed of Standard Rack in Korea for Performance based Fire Extinguishing System”, Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 6, pp. 84-91 (2016).
89. DiNenno, P. J. (2002). SFPE handbook of fire protection engineering. *(No Title)*, 1604.
90. Durbetaki, P., "Fundamental Studies on Fabric Ignition,"Proceedings, Tenth Annual Meeting, Information Councilon Fabric Flammability, 1976, p. 243-254.
91. Elissa M. Pintauro, David R. Buchanan Ignition Process in Single and Multicomponent Polyester/Cotton Textile Structures. Textile Research Journal, 1979. Vol. 49, Issue 6. P. 326−334.

92. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 3: Validation / NIST Special Publication 1018-3. Sixth Edition.- 2015.
93. Firoz A. Design of readymade garments industry for fire safety. A Dissertation for the Degree of Master in Disaster Management. Postgraduate Programs in Disaster Management (PPDM) BRAC University, 2011. 103 p.
94. Galil, F. and Lomartire, J., Flammability Assessment in Apparel Fabrics. Part I. The Product Parameter Technique,Textile Chem. Color. 8, 22-27 (1976)
95. Haque, F. M., Khandoker, M. A. R., Wasi, M., Khan, R. M., Mahmud, S. A., & Rahman, M. A. (2018). Computer modelling of fire safety performance of a ready-made garments (rmg) building in bangladesh. Proceedings, Safety in the Garment Industry, Five Years after Rana Plaza, 59-68.
96. Hirano T., Hashimoto G., Sugawa S., Hasegawa K., Ryohei T., Ijima S. and Shibayaki R., "A Review Report of Fire Sprinkler System for a Rack Warehouse", Fire Research Station-010807 (1997).
97. Hulida, E., Pasnak, I., Koval, O., & Tryhuba, A. (2019). Determination of the critical time of fire in the building and ensure successful evacuation of people. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 63(1), 308-316. https://doi.org/10.3311/PPci.12760
98. Ingason H., "An Experimental Study of Rack Storage Fires", Brandforsk Project 602-971 SP Report 2001:19, SP Swedish National Testing and Research Institute (2001).
99. Ishibashi, H., Hariuchi, C., and Suga, S., Flammability of Blends of Flame Retardant Fibers, J. Fire Flam./Cons.Prod. Flam. Suppl. 1, 265-294 (1974).
100. Khandokera A. R., Moub R. J., Muntaha A., and Rahman A. Numerical simulation of fire in a multistoried ready-made garments factory using PyroSim. AIP Conference Proceedings 1980, 050026 (2018); https://doi.org/10.1063/1.5044362.

101. Khattab M. A., Price D., Horrocks A. R. The inhibition of spontaneous ignition by flame-retarding cotton fabrics. Journal of Applied Polymer Science, 1990. Vol. 41, Issue 1112. P. 3069−3078.
102. Kotthoff, I.: Large Scale Fire Performance Testing of External Wall Cladding Systems, Draft EOTA TR 073, Presentation at AG Fire Meeting, Brussels, 12.03.2015.
103. Kusiorowski R., Witek J., Majchrowicz I., Kleta A., Jirsa-Ociepa A. (2019) "Fire barrier based on expanded perlite composites". *13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques.* 16−17. DOI: 10.3846/mbmst.2019.047.
104. M. A. Khattab Spontaneous Ignition Behavior of Cotton Fabric Having Different Amounts of Polyester. Journal of Applied Polymer Science, 1996. Vol. 62. P. 1503−1507.
105. Martin, J. R. and Miller, B., The Thermal and Flammability Behavior of Polyester-Wool Blends, Textile Res. J. 48,97-103 (1978).
106. Miller, B. and Martin, J. R., A Methodology for the Interpretation of the Thermal and Flammability Behavior of Multicomponent Fibrous Polymer Systems, J. Fire Flam.6, 105-118 (1975).
107. Miller, B., Martin, J. R., and Meiser, Jr., C. H., The Auto-ignition of Multicomponent Fiber Systems, Polym. Sci. andTech. 3, 93-107 (1973)/
108. Miller, B., Martin, J. R., Meiser, Jr., C. H., and Gargiullo, M.,The Flammability of Polyester/Cotton Mixtures, Textile Res. J. 46, 30-38 (1976).
109. Nazaré S. & Davis R. D. (2012) "A review of fire blocking technologies for soft furnishings". *Fire science reviews*. T. 1. №. 1. 1−23.
110. Nilsson, M. (2016). The impact of horizontal projections on external fire spread - a numerical comparative study, Report

nr. 5510, Lund University, Division of Fire Safety Engineering, Lund, 2016.
111. Nilsson, M., Mossberg, A., Husted, B., & Anderson, J. (2016). Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels?, 14th International Fire Science & Engineering Conference, Royal Holloway College, University of London, UK, Vol. 2, pp. 1163-1174.
112. Pintauro, E. M., "Ignition Processes in Single and Multi-component Textile Structures," M.S. Thesis, CornellUniversity, 1978.
113. PyroSim User Manual. URL: https://comexpert.pto.org.ua/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=1373&Itemid=102 (дата звернення 08.09.2022).
114. Rebenfeld, L. and Miller, B., The Special Case of Textilesin the Flammability of Polymeric Materials, J. Fire Flam.1, 225-239 (1974).
115. Shamsul A. Fire and safety engineering in the garment factory of Bangladesh. Department of Mechanical and Chemical Engineering, 2016. 41 p.
116. Sharyy, V., Pasnak, I., & Renkas, A. (2022). Optimizing the process of fire detection in warehouses considering the type and location of fire detectors. EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 2(10 (116), 66–73. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254620.
117. Shonali Nazaré, William M Pitts, Szabolcs Matko and Rick D Davis. (2014) “Evaluating smoldering behavior of fire-blocking barrier fabrics”. *Journal of Fire Sciences published online.* DOI: 10.1177/0734904114543450
118. Wadud Z., Huda F. Y. and Ahmed N. U. Assessment of Fire Risk in the Readymade Garment Industry in Dhaka, Bangladesh DOI: 10.1007/s10694-013-0349-2.
119. Wilson A. Reeves and Yvonne B. Marquette Lightweight, Durable-Press Cotton and Polyester/Cotton with Ignition

Resistance. Textile Research Journal, 1979. Vol. 49, Issue 3. P. 163−169.

120. Wu Q. & Lis M. J. (2022) “Barrier Effects of Cellulosic Fibers with Hybrid Coating Based on Zirconium Metal-Organic Framework”. *Polymers*. T. 14. №. 15. 3071. DOI: 10.3390/polym14153071.
121. Xin H., Zhaopeng N., Lei P., Ping Z. (2013) “Experimental study of fire barriers preventing vertical fire spread in ETISs”. *MATEC Web of Conferences (EDP Sciences).* T. 9. 04003. 1−6. DOI: 10.1051/matecconf/20130904003.
122. Yeo In-Hwan & Cho Gyu-Hwan (2017) “Application of Horizontal Barrier on a Rack to Reduce Fire Spread. Journal of Korea Fire Protection Society”. 31(4), 71-79. DOI: 10.7731/kifse.2017.31.4.071.

# Додаток. Протоколи проведення досліджень

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**
**НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 031/21 чинне до 27 травня 2025 р.
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 08/40/210324**

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ТА ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ ЗА ДСТУ 8829:2019

**Львів - 2021**

**ПРОТОКОЛ № 08/40/210324**
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ТА ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ ЗА ДСТУ 8829:2019

**Дата проведення випробування:** 22.03.2021 р.

**Умови в приміщенні:**
температура, °С 19
атм.тиск, кПа 97.5

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:**
Зразки тканин бавовни із цілою та зруйнованою структурою з відсотковим складом бавовни 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 0%

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:** по ДСТУ 8829:2019 "Пожежовибухонебез-печність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення. Класифікація".

7.8. Метод експериментального визначення температури займання твердих речовин і матеріалів.

Для випробування готують 10-15 зразків досліджуваної речовини (матеріалу) масою (3,0±0,1) гр. Зразки матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром (45±1) мм. Плівкові і листові матеріали набирають у стопку діаметром (45±1) мм, накладаючи шари один на одного до досягнення зазначеної маси.

Якщо при температурі випробування зразок займається, то випробовування припиняють. Якщо протягом 20 хв зразок не займається, або раніше цього часу цілком припиниться димовидалення, то випробування припиняють і в протоколі відзначають відмовлення.

За температуру займання приймають покази термоелектричного перетворювача, що вимірює температуру зразка. Методом послідовних наближень визначають мінімальну температуру зразка, при якій за час витримки в печі не більше 20 хв зразок займається і буде горіти більше 5 с після віддалення пальника, а при температурі на 10 °С менше займання відсутнє.

За температуру займання досліджуваної речовини (матеріалу) приймають середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10

°С, при одній з яких спостерігається займання 3 зразків, а при іншій – три відмовлення. Отримане значення температури округляють з точністю до 5 °С.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ:**

Таблиця 1

| № п/п | Найменування приладу чи пристрою | Заводський номер | Границя вимірювання | Клас точності або похибка вимірювання |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Установка ОТП | 0614 | Від 20 до 600 °С | - |
| 2 | Регулятор вимірювач РТ 0102 | 10.354 | Від 0 до 1200 °С | ± 2 °С |
| 3 | Термопара ТХА | 6 | Від 0 до 1200 °С | |
| 4 | Секундомір СОП | 8625 | Від 0 до 3600 с | Клас точн. 2 |
| 5 | Ваги BTU 210/ С3 | 1826 | Від 0 до 210 г | Клас точн. 3 |

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ:**

Таблиця 2

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 230 | відмова |
| 2 | 230 | відмова |
| 3 | 230 | відмова |
| 4 | 240 | займання |
| 5 | 240 | займання |
| 6 | 240 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (100%, з цілою структурою) складає 235°С.

Таблиця 3

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 355 | відмова |
| 2 | 355 | відмова |
| 3 | 355 | відмова |
| 4 | 365 | займання |
| 5 | 365 | займання |
| 6 | 365 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка поліестеру (100%, з цілою структурою) складає 360°С.

Таблиця 4

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 210 | відмова |
| 2 | 210 | відмова |
| 3 | 210 | відмова |
| 4 | 220 | займання |
| 5 | 220 | займання |
| 6 | 220 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (100%, подрібнена тканина) складає 215°С.

Таблиця 5

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 235 | відмова |
| 2 | 235 | відмова |
| 3 | 235 | відмова |
| 4 | 245 | займання |
| 5 | 245 | займання |
| 6 | 245 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (80%, подрібнена тканина) складає 240°С.

Таблиця 6

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 280 | відмова |
| 2 | 280 | відмова |
| 3 | 280 | відмова |
| 4 | 290 | займання |
| 5 | 290 | займання |
| 6 | 290 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (60%, подрібнена тканина) складає 285°С.

Таблиця 7

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 315 | відмова |
| 2 | 315 | відмова |
| 3 | 315 | відмова |
| 4 | 325 | займання |
| 5 | 325 | займання |
| 6 | 325 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (40%, подрібнена тканина) складає 320°С.

Таблиця 8

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 340 | відмова |
| 2 | 340 | відмова |
| 3 | 340 | відмова |
| 4 | 350 | займання |
| 5 | 350 | займання |
| 6 | 350 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (20%, подрібнена тканина) складає 345°С.

Таблиця 9

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 345 | відмова |
| 2 | 345 | відмова |
| 3 | 345 | відмова |
| 4 | 355 | займання |
| 5 | 355 | займання |
| 6 | 355 | займання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання зразка бавовни (0%, подрібнена тканина поліестеру) складає 350°С.

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З 7.10 ДСТУ 8829:2019

**Дата проведення випробування:** 23.03.2021 р.

**Умови в приміщенні:**
температура, °С 19
атм.тиск, кПа 97.5

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:** по ДСТУ 8829:2019 “Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення. Класифікація”.

7.10. Метод експериментального визначення температури самозаймання твердих речовин і матеріалів.

Метод реалізується в діапазоні температур від 25°С до 600 °С .

Для випробування готують 10-15 зразків досліджуваної речовини (матеріалу) масою (3,0±0,1) гр. Зразки матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром (45±1) мм. Плівкові і листові матеріали набирають у стопку діаметром (45±1) мм, накладаючи шари один на одного до досягнення зазначеної маси.

Методом послідовних наближень визначають мінімальну температуру робочої камери, при якій взірець самозаймається і горить більше 5 с, а при температурі на 10 °С менше – спостерігається відмова.

За температуру самозаймання досліджуваної речовини (матеріалу) приймають середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10 °С, при одній з яких спостерігається самозаймання 3 зразків, а при іншій – три відмови. Отримане значення температури самозаймання округлюють з точністю до 5 °С.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ:

Таблиця 10

| № п/п | Найменування приладу чи пристрою | Заводський номер | Границя вимірювання | Клас точності або похибка вимірювання |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Установка ОТП | б/н | Від 25 до 600 °С | - |
| 2 | Секундомір СОП | 8625 | Від 0 до 3600 с | Клас точн. 2 |
| 3 | Термопара ТХА | 6 | Від 0 до 1200 °С | ±2 °С |
| 4 | Регулятор-вимірювач РТ 0102 | 10.354 | Від 0 до 1200 °С | |
| 5 | Ваги ВТU 210/ С3 | 1826 | Від 0 до 210 г | Клас точн. 3 |

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ:**

Таблиця 11

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 495 | відмова |
| 2 | 495 | відмова |
| 3 | 495 | відмова |
| 4 | 505 | самозаймання |
| 5 | 505 | самозаймання |
| 6 | 505 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка поліестеру (100%, з цілою структурою) складає 500°С.

Таблиця 12

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 415 | відмова |
| 2 | 415 | відмова |
| 3 | 415 | відмова |
| 4 | 425 | самозаймання |
| 5 | 425 | самозаймання |
| 6 | 425 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (100%, з цілою структурою) складає 420°С.

Таблиця 13

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 395 | відмова |
| 2 | 395 | відмова |
| 3 | 395 | відмова |
| 4 | 405 | самозаймання |
| 5 | 405 | самозаймання |
| 6 | 405 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (100%, подрібнена тканина) складає 400°С.

Таблиця 14

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 415 | відмова |
| 2 | 415 | відмова |
| 3 | 415 | відмова |
| 4 | 425 | самозаймання |
| 5 | 425 | самозаймання |
| 6 | 425 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (80%, подрібнена тканина) складає 420°С.

Таблиця 15

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 430 | відмова |
| 2 | 430 | відмова |
| 3 | 430 | відмова |
| 4 | 440 | самозаймання |
| 5 | 440 | самозаймання |
| 6 | 440 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (60%, подрібнена тканина) складає 435°

Таблиця 16

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 445 | відмова |
| 2 | 445 | відмова |
| 3 | 445 | відмова |
| 4 | 455 | самозаймання |
| 5 | 455 | самозаймання |
| 6 | 455 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (40%, подрібнена тканина) складає 450°С.

Таблиця 17

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 455 | відмова |
| 2 | 455 | відмова |
| 3 | 455 | відмова |
| 4 | 465 | самозаймання |
| 5 | 465 | самозаймання |
| 6 | 465 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (20%, подрібнена тканина) складає 460°С.

Таблиця 18

| № зразка | Температура випробування, °С | Результат випробування |
|---|---|---|
| 1 | 465 | відмова |
| 2 | 465 | відмова |
| 3 | 465 | відмова |
| 4 | 475 | самозаймання |
| 5 | 475 | самозаймання |
| 6 | 475 | самозаймання |

**ВИСНОВОК:** Згідно з 7.10 ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання зразка бавовни (0%, подрібнена тканина поліестеру) складає 470°С.

Завідувач НДЛ ПБ ЛДУБЖД — Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Науковий співробітник, к.т.н. НДЛ ПБ ЛДУБЖД — Павло ПАСТУХОВ

Науковий керівник, ст. викл. кафедри ЕТЗтаПРТ ЛДУБЖД, к.т.н. — Володимир ТОВАРЯНСЬКИЙ

Ад'юнкт ЛДУБЖД — Іван АДОЛЬФ

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**
**НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 031/21 чинне до 27 травня 2025 р.
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ №09/40/230725**
ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ДО ЗАЙМАННЯ ШВЕЙНО-ВИРОБНИЧИХ ДІЛЯНОК, ЕКРАНОВАНИХ ЗАХИСНИМИ ПАНЕЛЯМИ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

**Львів - 2023**

**ПРОТОКОЛ №09/40/230725**
ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ДО ЗАЙМАННЯ ШВЕЙНО-ВИРОБНИЧИХ ДІЛЯНОК, ЕКРАНОВАНИХ ЗАХИСНИМИ ПАНЕЛЯМИ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

**Дата проведення випробування:** 25.07.2023 р.

**Умови в приміщенні:**
температура, °С 25
атм. тиск, кПа 97.5

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Експериментальний полігон, обладнання науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:**
Макетне вогнище, обладнане металевими екрануючими панелями, сусідні ділянки із тканинами з бавовни та поліестеру. Дослідження температур нагрівання проводиться за допомогою РТ 0102 з ТХА та безконтактного інфрачервоного пірометра марки HoldPeak HP - 1300.

**ПОСЛІДОВНІСТЬ ПІДГОТОВКИ ДО ВИПРОБУВАНЬ.** З дерев'яних брусків розмірами 39×89×1000 мм формується макетне вогнище. Макетне вогнище облаштовується металевими екрануючими панелями. На визначених відстаннях від екранувальної панелі розміщується сусідня ділянка, яка складається з пожежної навантаги у вигляді деревини, тканин з бавовни та поліестеру. Дослід призначений для встановлення часу до займання матеріалів, розміщених на сусідній ділянці. Результатом проведення досліджень є отримання часу самозаймання сусідньої ділянки з пожежною навантагою та встановлення зміни температур нагрівання сусідньої ділянки в залежності від відстані до екранувальної панелі.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

| № п/п | Найменування приладу чи обладнання | Границя вимірювання | Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки |
|---|---|---|---|
| 1. | ТВЕ - 24 | Від 0,5 до 24000 г | Клас точн. 3 |
| 2. | Метеостанція Kestrel 4000 | від 0 до 40 м/с | 1 |
| 3. | РТ 0102 з ТХА | 0 – 1200 °С | ±2°С |
| 4. | Секундомір СОП пр. | 0 – 3600 с | Клас точн. 2 |
| 5. | Ваги – вологоміри AXIS - 120 | 20 – 160 °С | Клас точн. 2 |

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

1. *Вимірювання* температури, вологості, швидкості повітряного потоку в приміщенні експериментального полігону, ваги та вологості дерев'яних брусків розмірами 39×89×1000 мм;
2. *Підготовка* макетного вогнища з дерев'яних брусків, які формують методом решітчастої кладки у кількості, що створює пожежну навантагу, наближену до значень виробничих ділянок швейних підприємств;
3. *Формування* сусідньої ділянки, яка складається з дерев'яної конструкції, по якій укладено шари тканин з бавовни та поліестеру.
4. *Вимірюються* значення температур на сусідній з макетним вогнищем ділянці на встановлених відстанях, від зовнішньої сторони екранувальної панелі.
5. *Вимірюється* час від початку вогневого випробування до виникнення горіння на сусідній ділянці із захищеної та незахищеної екрануючими панелями сторін.
6. *Результати* вимірювань фіксуються у табличній формі.

На основі отриманих результатів з використанням методів регресійного аналізу встановлюються математичні залежності, робляться висновки про ефективність та доцільність застосування екрануючих панелей для запобігання поширенню пожежі виробничими ділянками швейних підприємств. Для досліджень використовують експериментальний полігон, макетне вогнище, екрануючі металеві панелі, засоби вимірювальної техніки для вимірювання температури, вологості, ваги, довжини.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУР ТЕРМОПАР

### Дослід 1

За результатами проведених експериментальних досліджень горіння макетного вогнища з навантаженням 80кг деревини, що еквівалентно 1200 МДж, отримано значення температур з розміщених на експериментальних ділянках термопар. Де Т1, Т2, Т3, Т4 – термопари, розміщені на ділянці горіння тканин з бавовни, а Т5, Т6, Т7, Т8 – термопари, розміщені на ділянці горіння тканин з поліестеру. Термопари Т1 і Т5 розміщувались на висоті 0,5м, а Т2 і Т6 на 0,75 м, термопари Т3, Т7 розташовувались на висоті 0,8 м від рівня підлоги на відстані 0,05 м від екранувальної панелі, термопари Т4, Т8 на відстані 0,25 м від термопар Т3 та Т7 відповідно. Період вимірювання температур становить 5 с, кількість періодів вимірювання – 149. Результати вимірювань температур представлено в табл. 2.

Таблиця 2

| № з/п | Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | № з/п | Т5 | Т6 | Т7 | Т8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 25,6 | 25,7 | 26,6 | 26,9 | **1** | 24,4 | 24,7 | 26,5 | 27,8 |
| **2** | 25,6 | 25,7 | 26,7 | 27 | **2** | 24,5 | 24,7 | 26,6 | 27,9 |
| **3** | 25,7 | 25,7 | 26,8 | 27,1 | **3** | 24,6 | 24,7 | 26,7 | 28 |
| **4** | 25,8 | 25,7 | 26,9 | 27,2 | **4** | 24,7 | 24,7 | 26,9 | 28,3 |
| **5** | 25,9 | 25,7 | 27,1 | 27,4 | **5** | 24,8 | 24,7 | 27 | 28,5 |
| **6** | 25,9 | 25,7 | 27,2 | 27,6 | **6** | 24,9 | 24,7 | 27,1 | 28,7 |
| **7** | 26 | 25,7 | 27,3 | 27,8 | **7** | 25,1 | 24,7 | 27,3 | 29,3 |
| **8** | 26,2 | 25,8 | 27,5 | 28,3 | **8** | 25,2 | 24,7 | 27,9 | 29,9 |
| **9** | 26,4 | 25,8 | 28,1 | 28,6 | **9** | 25,4 | 24,8 | 28,1 | 30,5 |
| **10** | 26,6 | 25,8 | 28,3 | 29,3 | **10** | 25,7 | 24,8 | 29,2 | 31,4 |
| **11** | 26,8 | 25,9 | 28,9 | 30 | **11** | 25,9 | 24,9 | 30 | 32,4 |
| **12** | 27 | 25,9 | 29,2 | 30,6 | **12** | 26,1 | 24,9 | 30,6 | 33,8 |
| **13** | 27,1 | 25,9 | 29,8 | 31,2 | **13** | 26,3 | 24,9 | 30,7 | 34,4 |
| **14** | 27,1 | 25,9 | 29,9 | 31,3 | **14** | 26,5 | 24,9 | 31,4 | 35 |
| **15** | 27,8 | 25,9 | 30,5 | 31,5 | **15** | 26,7 | 25 | 32,2 | 35,2 |
| **16** | 27,9 | 26 | 31,3 | 33 | **16** | 27,3 | 25 | 33,3 | 36,5 |
| **17** | 28,5 | 26 | 31,8 | 33,6 | **17** | 28 | 25,1 | 33,8 | 37,5 |
| **18** | 28,7 | 26,1 | 32,5 | 34,7 | **18** | 28,6 | 25,3 | 35,5 | 38,9 |
| **19** | 29,3 | 26,1 | 34 | 35,9 | **19** | 28,9 | 25,4 | 37 | 40,6 |
| **20** | 29,6 | 26,2 | 34,9 | 36,4 | **20** | 29,5 | 25,5 | 38,9 | 42,2 |
| **21** | 29,8 | 26,3 | 35,6 | 37,4 | **21** | 30 | 25,6 | 40,2 | 44,6 |
| **22** | 30,1 | 26,3 | 36,4 | 39 | **22** | 30,3 | 25,7 | 40,9 | 46,3 |
| **23** | 30,1 | 26,4 | 36,7 | 39,8 | **23** | 30,6 | 25,8 | 41,8 | 47,1 |
| **24** | 30,1 | 26,4 | 38,1 | 41,1 | **24** | 30,9 | 25,9 | 43,2 | 49,2 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **25** | 30,1 | 26,4 | 39,6 | 43,2 | **25** | 31,1 | 26 | 45,2 | 52,2 |
| **26** | 30,2 | 26,4 | 41,7 | 47 | **26** | 31,8 | 26,1 | 47,8 | 55,4 |
| **27** | 30,4 | 26,4 | 44,4 | 50,6 | **27** | 32,3 | 26,3 | 51,8 | 60 |
| **28** | 30,6 | 26,5 | 47 | 53,6 | **28** | 33,1 | 26,6 | 56,7 | 64,6 |
| **29** | 30,7 | 26,5 | 49,9 | 55,6 | **29** | 34,7 | 26,8 | 65 | 68,8 |
| **30** | 31,6 | 26,6 | 53,1 | 57,9 | **30** | 36,1 | 27,3 | 71,9 | 72,6 |
| **31** | 32,2 | 26,8 | 57,2 | 61,9 | **31** | 37,9 | 28,1 | 81,4 | 80,7 |
| **32** | 35,3 | 27,3 | 61,3 | 64,6 | **32** | 40 | 28,8 | 91 | 85,6 |
| **33** | 36,1 | 28,8 | 63 | 65,9 | **33** | 41,8 | 29,5 | 96,9 | 87,9 |
| **34** | 36,6 | 29,5 | 66,2 | 68,5 | **34** | 43,6 | 30,2 | 102,2 | 91,1 |
| **35** | 36,9 | 30,2 | 69,6 | 76 | **35** | 45,2 | 30,7 | 108,1 | 97,1 |
| **36** | 36,4 | 30,5 | 71,1 | 78,9 | **36** | 47,2 | 31,6 | 114,1 | 101,7 |
| **37** | 37 | 31,5 | 76,6 | 83,7 | **37** | 49,8 | 33 | 119 | 106,3 |
| **38** | 37,5 | 32,8 | 81,2 | 86,7 | **38** | 51,1 | 35,5 | 125,2 | 110,4 |
| **39** | 39 | 34 | 85,5 | 90,6 | **39** | 52,8 | 38,7 | 135,1 | 114,2 |
| **40** | 40,4 | 35,1 | 92,2 | 97,2 | **40** | 55,1 | 42,1 | 148,8 | 126,5 |
| **41** | 41,7 | 36,4 | 105,2 | 103,6 | **41** | 58,3 | 46 | 166,7 | 134,6 |
| **42** | 45,1 | 38 | 112,3 | 107,2 | **42** | 63,1 | 52,7 | 185,5 | 141,6 |
| **43** | 48 | 41,5 | 123,1 | 114,4 | **43** | 69,2 | 55,7 | 205,5 | 152 |
| **44** | 51,1 | 44,2 | 138,5 | 121,4 | **44** | 75,4 | 59,7 | 223 | 160,1 |
| **45** | 53,8 | 47,1 | 139,9 | 121,3 | **45** | 81,8 | 64,6 | 224,2 | 158,4 |
| **46** | 55,4 | 49,2 | 137,1 | 120 | **46** | 90,4 | 69,9 | 214 | 157,2 |
| **47** | 58,2 | 52,4 | 132,5 | 120,8 | **47** | 94,6 | 76,8 | 204 | 155 |
| **48** | 60,7 | 56,2 | 128,1 | 118,5 | **48** | 98,4 | 87,1 | 192,6 | 150,2 |
| **49** | 64,2 | 61 | 128,7 | 121,5 | **49** | 100,9 | 92,7 | 179,2 | 147,8 |
| **50** | 69,5 | 66,5 | 131,1 | 123,3 | **50** | 103,7 | 97,1 | 170,1 | 148,9 |
| **51** | 77,5 | 73,3 | 134,1 | 125,3 | **51** | 107,9 | 101,9 | 165,3 | 150,1 |
| **52** | 85,1 | 81,1 | 136,4 | 126,2 | **52** | 112,9 | 106,5 | 161,7 | 149,4 |
| **53** | 92,7 | 94,6 | 139,4 | 129,6 | **53** | 119,3 | 112,4 | 165,5 | 154,2 |
| **54** | 99,8 | 101,8 | 165,8 | 143,2 | **54** | 127,8 | 121,2 | 183,9 | 174,4 |
| **55** | 104,3 | 109,5 | 183,3 | 159,7 | **55** | 134,2 | 137,1 | 204,9 | 192,8 |
| **56** | 111,2 | 116,4 | 194,9 | 164,7 | **56** | 140,6 | 162,2 | 227 | 200,8 |
| **57** | 118,1 | 122,7 | 205,6 | 169,5 | **57** | 144,1 | 180,9 | 240,1 | 199,8 |
| **58** | 121,8 | 128,6 | 211,4 | 172,8 | **58** | 146,5 | 179,4 | 251,7 | 191,8 |
| **59** | 126,2 | 134,1 | 216,1 | 178,8 | **59** | 146,5 | 181,6 | 265,4 | 186,5 |
| **60** | 131,7 | 139,5 | 209,9 | 179 | **60** | 145,5 | 185,9 | 269,8 | 179,8 |
| **61** | 143,2 | 145,8 | 202,5 | 179 | **61** | 143 | 186,9 | 270,8 | 176,3 |
| **62** | 160,1 | 158,5 | 197,6 | 175,5 | **62** | 142,3 | 190,5 | 270,9 | 173,2 |
| **63** | 182,6 | 166,8 | 198,8 | 176,8 | **63** | 144,8 | 190,6 | 272,4 | 173,2 |
| **64** | 212,2 | 175,5 | 205,9 | 182,5 | **64** | 148,2 | 188,2 | 275,3 | 176,9 |
| **65** | 242,9 | 188,7 | 208,3 | 183,9 | **65** | 149 | 186,8 | 274,5 | 177,9 |
| **66** | 263,4 | 200,4 | 212 | 188,3 | **66** | 154,5 | 185,8 | 277,2 | 181,1 |
| **67** | 328,3 | 222,5 | 308,2 | 199,7 | **67** | 167,1 | 183,1 | 283,1 | 188,6 |
| **68** | 363,9 | 248,8 | 371,6 | 211,9 | **68** | 188,6 | 184,3 | 302,7 | 195,4 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **69** | 377,6 | 270,5 | 398,9 | 219,6 | **69** | 209,4 | 187 | 443,9 | 201,7 |
| **70** | 401 | 291,2 | 419 | 218 | **70** | 222,2 | 194,7 | 644 | 208,2 |
| **71** | 440,9 | 314,4 | 437 | 221,5 | **71** | 216,9 | 216,7 | 728,9 | 218,2 |
| **72** | 480,8 | 342,2 | 464,7 | 224,3 | **72** | 239,5 | 244,2 | 754,6 | 221,1 |
| **73** | 522,6 | 360,1 | 492,8 | 220,4 | **73** | 249,3 | 259,5 | 779,7 | 223,4 |
| **74** | 532,6 | 373,2 | 499 | 272,8 | **74** | 287,1 | 413,2 | 758,9 | 224 |
| **75** | 560,3 | 381,4 | 535,9 | 322 | **75** | 429,6 | 690,9 | 769,9 | 224,8 |
| **76** | 583,8 | 391,2 | 548,6 | 327,7 | **76** | 669,3 | 836,2 | 826,8 | 224,9 |
| **77** | 591,3 | 400 | 549 | 337,8 | **77** | 758,9 | 789,8 | 834,3 | 224,9 |
| **78** | 597,2 | 408,4 | 557 | 348,5 | **78** | 643,7 | 730,3 | 810,1 | 226,6 |
| **79** | 612,4 | 414 | 569,3 | 364,8 | **79** | 662,7 | 741,4 | 853,8 | 229,7 |
| **80** | 616,9 | 418,5 | 581,3 | 377 | **80** | 692,4 | 728 | 874,1 | 233,7 |
| **81** | 653,2 | 427,7 | 616,8 | 384 | **81** | 580,9 | 750,8 | 843,6 | 235,7 |
| **82** | 662,6 | 440,1 | 655,2 | 419,2 | **82** | 572,9 | 780,8 | 801 | 237,5 |
| **83** | 673,6 | 451,3 | 649,9 | 430,9 | **83** | 662 | 809,2 | 833,9 | 239,1 |
| **84** | 677,7 | 459,2 | 638,1 | 440,5 | **84** | 661,4 | 791,2 | 807,1 | 240,5 |
| **85** | 698,7 | 469,3 | 630,9 | 432,1 | **85** | 743,8 | 808,1 | 840 | 241,7 |
| **86** | 707,4 | 478,1 | 645,1 | 459,4 | **86** | 702 | 805,9 | 799 | 242,4 |
| **87** | 712,1 | 488,5 | 657,7 | 477 | **87** | 637,3 | 751,6 | 854,6 | 242,5 |
| **88** | 706,8 | 498,6 | 670,1 | 466,1 | **88** | 662,8 | 755,4 | 844,1 | 242,7 |
| **89** | 692 | 506,1 | 647,3 | 481 | **89** | 769,8 | 776,6 | 845,5 | 243,1 |
| **90** | 699,9 | 513,3 | 644,4 | 471,9 | **90** | 700,5 | 753,7 | 830,8 | 243,6 |
| **91** | 685,7 | 523,5 | 643 | 468 | **91** | 697 | 789,1 | 813,1 | 244,2 |
| **92** | 672,2 | 524 | 608,4 | 465,2 | **92** | 750,2 | 818,8 | 861 | 245,3 |
| **93** | 666 | 523,2 | 630,6 | 467,9 | **93** | 748,6 | 745 | 883,5 | 246,8 |
| **94** | 650,2 | 521,4 | 626,4 | 493,6 | **94** | 756,8 | 795,2 | 859,5 | 249,6 |
| **95** | 652,3 | 521,4 | 635,4 | 496,4 | **95** | 634,4 | 722,6 | 857,3 | 255,7 |
| **96** | 645,5 | 521,3 | 630,3 | 495,4 | **96** | 606,8 | 655,4 | 859,5 | 264,4 |
| **97** | 640,6 | 519,6 | 607,5 | 483,7 | **97** | 554,5 | 668,9 | 849,3 | 279,3 |
| **98** | 629,9 | 517,4 | 601,2 | 483,6 | **98** | 593,2 | 668,9 | 821,5 | 300,2 |
| **99** | 631,6 | 517,4 | 580,9 | 468,5 | **99** | 643 | 677 | 748,2 | 347,7 |
| **100** | 635,1 | 520,6 | 579,1 | 457,8 | **100** | 583,4 | 669,6 | 729,8 | 379,1 |
| **101** | 648,5 | 523,1 | 610,6 | 464,9 | **101** | 511,5 | 610,6 | 785,1 | 407,8 |
| **102** | 629,7 | 538,1 | 614,3 | 489,7 | **102** | 519,3 | 618,9 | 770,5 | 429,5 |
| **103** | 633,4 | 534,2 | 614,3 | 483,3 | **103** | 628,8 | 646 | 752,8 | 438,2 |
| **104** | 649,8 | 536,2 | 636 | 504 | **104** | 464,4 | 575 | 650,3 | 453,9 |
| **105** | 657,4 | 541,2 | 653,7 | 516,1 | **105** | 440,6 | 542,3 | 674,1 | 467,2 |
| **106** | 664,1 | 547 | 640,5 | 522,4 | **106** | 505,5 | 546,8 | 683 | 481,4 |
| **107** | 652,1 | 552,2 | 632,7 | 526,4 | **107** | 577,2 | 615,3 | 706,2 | 523,5 |
| **108** | 655,1 | 556,8 | 625 | 516,8 | **108** | 517,3 | 580,6 | 751,8 | 557,6 |
| **109** | 657,8 | 559,3 | 599,7 | 481,5 | **109** | 525,8 | 577,2 | 771,3 | 600,7 |
| **110** | 656,8 | 562,4 | 559,8 | 457,7 | **110** | 578,3 | 636,5 | 619 | 628,3 |
| **111** | 654,7 | 563,9 | 518,2 | 455,8 | **111** | 518 | 601 | 577,8 | 635,2 |
| **112** | 664,1 | 566,6 | 544,7 | 452,3 | **112** | 563,8 | 596,4 | 497,6 | 667,8 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **113** | 659,3 | 567,2 | 531,4 | 451 | **113** | 563,1 | 616,4 | 445,8 | 718,8 |
| **114** | 655,7 | 567,4 | 521,1 | 447,7 | **114** | 523,8 | 595,5 | 412,5 | 762,3 |
| **115** | 640,2 | 566,5 | 534,6 | 440,9 | **115** | 550,9 | 662,4 | 403,5 | 761,1 |
| **116** | 654,4 | 565,3 | 515,7 | 430,6 | **116** | 481,8 | 598,6 | 407,8 | 776,5 |
| **117** | 652,5 | 564,9 | 503,8 | 443,6 | **117** | 469,6 | 579,6 | 363,6 | 732,6 |
| **118** | 656,3 | 564,9 | 489,7 | 442,5 | **118** | 414,6 | 513,8 | 332,7 | 669,5 |
| **119** | 657,8 | 565,7 | 506,5 | 442 | **119** | 481,3 | 545,3 | 308,9 | 737,5 |
| **120** | 641,9 | 568,9 | 487 | 432,3 | **120** | 583,4 | 707,5 | 314,8 | 748,7 |
| **121** | 643,4 | 571,2 | 466,6 | 430,1 | **121** | 625,6 | 694,1 | 308,2 | 771,6 |
| **122** | 662,6 | 573,1 | 457,8 | 430,2 | **122** | 539,9 | 573,9 | 286 | 757,2 |
| **123** | 682,7 | 573,1 | 446,1 | 425,1 | **123** | 430,4 | 509,5 | 248,9 | 730,1 |
| **124** | 692,3 | 572,5 | 461,8 | 428,5 | **124** | 409,2 | 461,6 | 318,9 | 741,3 |
| **125** | 694 | 574,9 | 476 | 439,7 | **125** | 464,1 | 492,9 | 301,6 | 720,6 |
| **126** | 691,5 | 576,9 | 468,4 | 439 | **126** | 483 | 493,4 | 330,1 | 713,2 |
| **127** | 689,2 | 579,3 | 457,2 | 441,1 | **127** | 460,1 | 505,1 | 290,1 | 671,5 |
| **128** | 689,3 | 580,6 | 456,6 | 427,6 | **128** | 421,9 | 458,6 | 232,8 | 695,9 |
| **129** | 688,4 | 583,4 | 511,4 | 398,8 | **129** | 461,5 | 501,6 | 242,7 | 715,3 |
| **130** | 686,6 | 585,9 | 522,4 | 373 | **130** | 506,1 | 540,4 | 255,1 | 695,6 |
| **131** | 686,8 | 588,3 | 515 | 362 | **131** | 475,5 | 540,4 | 222,3 | 629,9 |
| **132** | 679,5 | 589,9 | 479,5 | 297,1 | **132** | 520,6 | 571,7 | 193,9 | 179,3 |
| **133** | 669,2 | 587,6 | 429,8 | 56,6 | **133** | 627,5 | 635,6 | 175,1 | 74,3 |
| **134** | 673,5 | 583,1 | 414,4 | 63,2 | **134** | 479,4 | 535,6 | 149,6 | 64,5 |
| **135** | 675,2 | 580,8 | 385,8 | 63,5 | **135** | 415,7 | 465,7 | 136,7 | 57 |
| **136** | 556,1 | 354,5 | 26,7 | 60,8 | **136** | 311,2 | 341,2 | 29,6 | 38,3 |
| **137** | 536,9 | 84,4 | 35,4 | 60,6 | **137** | 282,6 | 348,1 | 29 | 35,1 |
| **138** | 553,8 | 81,4 | 41,8 | 61,5 | **138** | 258,2 | 331,4 | 19,3 | 46,8 |
| **139** | 551,2 | 80,6 | 47,6 | 59,5 | **139** | 199,6 | 277,3 | 36,8 | 38,5 |
| **140** | 510,8 | 79,5 | 49,3 | 59,6 | **140** | 180,5 | 261 | 28,3 | 34,2 |
| **141** | 431,2 | 78 | 20,5 | 39,4 | **141** | 137,8 | 230,7 | 23 | 21,4 |
| **142** | 209,5 | 76,7 | 30,1 | 48,1 | **142** | 52,5 | 219,6 | 20,7 | 22,5 |
| **143** | 209,5 | 75,5 | 34,5 | 48 | **143** | 74,6 | 202 | 19,6 | 26 |
| **144** | 120 | 75,8 | 32,9 | 47,4 | **144** | 129,5 | 211,7 | 24 | 26,9 |
| **145** | 98 | 77,3 | 33,5 | 46,5 | **145** | 131,8 | 191,3 | 24,5 | 27,6 |
| **146** | 72 | 75,1 | 34,9 | 47,9 | **146** | 138,9 | 180,4 | 26,1 | 27,6 |
| **147** | 65 | 76,4 | 35,7 | 48,7 | **147** | 121,4 | 159,8 | 28,3 | 29,9 |
| **148** | 60 | 76,1 | 35,7 | 48,6 | **148** | 107,5 | 145,8 | 26,7 | 32,4 |
| **149** | 61 | 76,1 | 35,7 | 48,6 | **149** | 92,5 | 131,4 | 25,8 | 26,5 |

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено, що самозаймання незахищеної екрануючими панелями ділянки відбулось на 240 с від початку випробування.

Встановлено, що самозаймання захищеної екрануючими панелями ділянки з тканинами з бавовни та поліестеру відбулося на 345 с від початку випробування. Різниця між результатами становить 105 с.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУР ТЕРМОПАР

### Дослід 2

За результатами проведених експериментальних досліджень горіння макетного вогнища з навантаженням 35 кг деревини, що еквівалентно 600 МДж, отримано значення температур з розміщених на експериментальних ділянках термопар. Де Т1, Т2, Т3, Т4 – термопари, розміщені на ділянці горіння тканин з бавовни, а Т5, Т6, Т7, Т8 – термопари, розміщені на ділянці горіння тканин з поліестеру. Термопари Т1 і Т5 розміщувались на висоті 0,5 м, а Т2 і Т6 на 0,75 м, термопари Т3, Т7 розташовувались на висоті 0,8 м від рівня підлоги на відстані 0,1 м від екранувальної панелі, термопари Т4, Т8 на відстані 0,25 м від термопар Т3 та Т7 відповідно. Період вимірювання температур становить 5 с, кількість періодів вимірювання – 185. Результати вимірювань температур представлено в табл. 3.

Таблиця 3

| № з/п | Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | № з/п | Т5 | Т6 | Т7 | Т8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 25,8 | 25,2 | 25,5 | 25,6 | **1** | 25,9 | 25,9 | 26,0 | 25,8 |
| **2** | 26,3 | 25,6 | 25,6 | 25,6 | **2** | 25,5 | 25,3 | 26,9 | 25,9 |
| **3** | 26,4 | 25,4 | 25,4 | 25,3 | **3** | 25,6 | 26,2 | 26,2 | 25,6 |
| **4** | 27,9 | 26,3 | 25,6 | 25,8 | **4** | 25,6 | 26,5 | 27,1 | 25,5 |
| **5** | 28,8 | 26,9 | 27,7 | 25,3 | **5** | 25,4 | 26,8 | 27,2 | 25,5 |
| **6** | 28,5 | 27,3 | 27,5 | 25,4 | **6** | 25,5 | 26,4 | 27,6 | 26,7 |
| **7** | 28,7 | 27,2 | 27,9 | 25,3 | **7** | 27,0 | 27,2 | 27,6 | 26,3 |
| **8** | 30,9 | 30,5 | 28,8 | 25,4 | **8** | 26,3 | 27,2 | 27,8 | 26,9 |
| **9** | 30,4 | 31,7 | 29,2 | 25,8 | **9** | 27,3 | 27,4 | 28,3 | 27,0 |
| **10** | 30,4 | 33,0 | 29,3 | 25,2 | **10** | 27,2 | 28,2 | 28,7 | 27,9 |
| **11** | 31,9 | 32,7 | 30,8 | 25,9 | **11** | 27,7 | 28,8 | 29,0 | 27,2 |
| **12** | 31,2 | 33,0 | 31,5 | 25,7 | **12** | 27,8 | 28,8 | 28,2 | 27,9 |
| **13** | 31,3 | 33,5 | 33,0 | 25,7 | **13** | 28,0 | 29,3 | 28,7 | 27,2 |
| **14** | 32,5 | 33,7 | 32,7 | 26,9 | **14** | 27,9 | 29,4 | 29,7 | 27,7 |
| **15** | 33,2 | 35,0 | 33,6 | 26,3 | **15** | 28,6 | 29,4 | 29,6 | 28,6 |
| **16** | 33,8 | 34,9 | 33,3 | 26,9 | **16** | 28,8 | 29,1 | 29,3 | 28,4 |
| **17** | 34,3 | 34,4 | 33,2 | 26,4 | **17** | 28,7 | 29,4 | 29,2 | 29,3 |
| **18** | 37,5 | 34,4 | 33,3 | 26,2 | **18** | 29,3 | 30,2 | 29,1 | 29,2 |
| **19** | 38,1 | 35,2 | 33,2 | 26,6 | **19** | 29,5 | 30,5 | 30,7 | 29,5 |
| **20** | 38,5 | 36,4 | 34,3 | 26,6 | **20** | 29,9 | 30,6 | 30,5 | 29,1 |
| **21** | 38,1 | 36,6 | 37,6 | 26,7 | **21** | 29,9 | 31,5 | 31,2 | 29,6 |
| **22** | 39,7 | 36,9 | 37,5 | 26,9 | **22** | 31,6 | 31,4 | 31,9 | 30,9 |
| **23** | 39,3 | 36,9 | 38,4 | 26,7 | **23** | 31,1 | 31,4 | 31,5 | 30,6 |
| **24** | 41,0 | 36,6 | 38,5 | 26,6 | **24** | 31,7 | 32,0 | 31,8 | 30,3 |
| **25** | 40,4 | 37,9 | 38,3 | 26,9 | **25** | 32,2 | 31,6 | 31,2 | 30,6 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **26** | 40,8 | 39,6 | 40,9 | 26,9 | **26** | 32,8 | 32,7 | 31,2 | 30,2 |
| **27** | 42,7 | 39,1 | 41,4 | 26,9 | **27** | 32,1 | 32,2 | 32,7 | 30,9 |
| **28** | 42,9 | 40,3 | 41,5 | 27,0 | **28** | 33,1 | 32,4 | 33,1 | 31,6 |
| **29** | 43,4 | 41,8 | 42,7 | 27,1 | **29** | 33,6 | 33,8 | 33,4 | 31,3 |
| **30** | 45,0 | 42,9 | 43,7 | 27,8 | **30** | 33,8 | 35,5 | 34,3 | 31,3 |
| **31** | 44,5 | 43,0 | 44,2 | 27,9 | **31** | 35,6 | 36,2 | 34,6 | 31,3 |
| **32** | 44,4 | 42,8 | 45,2 | 27,4 | **32** | 35,2 | 36,3 | 35,7 | 31,5 |
| **33** | 45,7 | 43,5 | 45,6 | 27,8 | **33** | 36,2 | 36,9 | 36,3 | 31,5 |
| **34** | 45,7 | 44,8 | 45,3 | 27,8 | **34** | 36,6 | 36,7 | 36,4 | 32,3 |
| **35** | 45,2 | 44,6 | 47,5 | 27,5 | **35** | 37,5 | 38,5 | 36,6 | 32,4 |
| **36** | 45,3 | 45,4 | 49,0 | 28,8 | **36** | 38,4 | 39,0 | 37,8 | 32,5 |
| **37** | 45,9 | 45,8 | 51,5 | 28,6 | **37** | 38,7 | 38,7 | 37,5 | 33,6 |
| **38** | 46,0 | 47,6 | 52,0 | 30,8 | **38** | 38,4 | 39,8 | 37,4 | 33,5 |
| **39** | 45,4 | 47,8 | 52,8 | 30,6 | **39** | 38,3 | 40,8 | 38,7 | 34,5 |
| **40** | 46,7 | 48,5 | 52,4 | 30,6 | **40** | 41,4 | 40,8 | 38,8 | 36,8 |
| **41** | 46,5 | 49,4 | 54,3 | 31,0 | **41** | 41,2 | 41,2 | 39,3 | 36,3 |
| **42** | 46,7 | 49,9 | 54,2 | 31,4 | **42** | 41,2 | 42,8 | 39,3 | 37,6 |
| **43** | 47,5 | 50,1 | 57,9 | 31,8 | **43** | 41,3 | 42,4 | 39,8 | 38,9 |
| **44** | 48,4 | 50,1 | 58,4 | 32,5 | **44** | 42,5 | 43,9 | 39,9 | 39,5 |
| **45** | 48,5 | 51,9 | 58,7 | 33,3 | **45** | 44,3 | 45,3 | 40,9 | 40,0 |
| **46** | 49,9 | 51,2 | 59,5 | 33,3 | **46** | 44,4 | 45,8 | 41,1 | 41,5 |
| **47** | 50,4 | 52,9 | 60,8 | 33,3 | **47** | 45,2 | 46,2 | 41,2 | 41,3 |
| **48** | 52,4 | 52,8 | 62,9 | 33,6 | **48** | 46,7 | 46,3 | 42,2 | 42,5 |
| **49** | 52,2 | 53,9 | 62,4 | 34,5 | **49** | 47,2 | 49,6 | 43,6 | 42,3 |
| **50** | 55,0 | 54,6 | 63,3 | 34,5 | **50** | 47,5 | 49,6 | 45,5 | 43,3 |
| **51** | 56,0 | 56,4 | 66,1 | 34,7 | **51** | 48,8 | 51,8 | 48,3 | 44,9 |
| **52** | 56,9 | 57,4 | 67,8 | 35,8 | **52** | 48,3 | 51,5 | 52,3 | 46,7 |
| **53** | 56,3 | 59,5 | 70,0 | 35,8 | **53** | 48,3 | 52,0 | 52,1 | 46,1 |
| **54** | 60,5 | 59,7 | 71,5 | 35,3 | **54** | 49,2 | 53,0 | 54,1 | 47,6 |
| **55** | 60,6 | 59,1 | 72,0 | 37,3 | **55** | 52,4 | 54,0 | 54,5 | 47,5 |
| **56** | 62,6 | 60,8 | 72,0 | 37,3 | **56** | 56,5 | 53,6 | 55,1 | 47,6 |
| **57** | 63,9 | 62,6 | 73,8 | 37,3 | **57** | 56,1 | 54,4 | 55,8 | 48,9 |
| **58** | 63,7 | 63,3 | 73,1 | 39,8 | **58** | 56,2 | 54,7 | 55,5 | 49,7 |
| **59** | 63,4 | 63,3 | 74,4 | 39,9 | **59** | 57,9 | 56,5 | 57,8 | 50,6 |
| **60** | 66,5 | 65,7 | 74,9 | 40,2 | **60** | 58,5 | 58,8 | 58,2 | 50,4 |
| **61** | 66,9 | 65,7 | 74,7 | 42,1 | **61** | 62,4 | 59,9 | 60,0 | 51,2 |
| **62** | 69,7 | 68,3 | 75,6 | 42,7 | **62** | 62,3 | 59,8 | 60,3 | 51,8 |
| **63** | 71,5 | 71,4 | 75,5 | 42,8 | **63** | 63,4 | 61,5 | 63,3 | 52,5 |
| **64** | 71,3 | 72,5 | 76,7 | 44,0 | **64** | 64,5 | 62,3 | 63,5 | 54,0 |
| **65** | 75,6 | 74,0 | 77,7 | 43,4 | **65** | 64,3 | 67,3 | 65,2 | 53,1 |
| **66** | 76,6 | 74,6 | 79,2 | 43,9 | **66** | 68,7 | 67,4 | 65,6 | 53,9 |
| **67** | 77,9 | 75,7 | 79,5 | 43,5 | **67** | 70,0 | 67,6 | 65,6 | 54,6 |
| **68** | 77,6 | 75,3 | 80,4 | 43,5 | **68** | 69,7 | 69,7 | 67,8 | 55,2 |
| **69** | 78,2 | 76,3 | 81,3 | 46,4 | **69** | 71,9 | 71,9 | 68,9 | 55,2 |
| **70** | 79,6 | 78,9 | 81,6 | 46,8 | **70** | 75,0 | 72,9 | 69,0 | 56,6 |
| **71** | 80,7 | 79,6 | 85,6 | 47,5 | **71** | 77,8 | 75,7 | 71,4 | 56,8 |
| **72** | 81,2 | 80,7 | 89,4 | 52,3 | **72** | 78,4 | 75,3 | 72,9 | 56,4 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **73** | 81,8 | 81,6 | 91,0 | 52,1 | **73** | 81,1 | 76,8 | 74,2 | 63,0 |
| **74** | 84,6 | 81,6 | 91,1 | 52,3 | **74** | 81,3 | 77,5 | 75,3 | 63,4 |
| **75** | 85,9 | 82,9 | 93,7 | 53,4 | **75** | 82,9 | 80,6 | 78,4 | 65,9 |
| **76** | 87,0 | 82,2 | 93,1 | 53,8 | **76** | 84,8 | 81,6 | 78,7 | 66,1 |
| **77** | 96,8 | 83,4 | 96,0 | 53,7 | **77** | 84,6 | 82,8 | 78,6 | 66,6 |
| **78** | 97,5 | 84,8 | 97,6 | 54,0 | **78** | 90,6 | 84,1 | 82,0 | 67,5 |
| **79** | 98,6 | 84,2 | 98,7 | 54,4 | **79** | 91,4 | 87,9 | 82,8 | 67,1 |
| **80** | 99,1 | 86,9 | 100,6 | 58,4 | **80** | 92,0 | 87,6 | 88,9 | 68,9 |
| **81** | 101,2 | 89,2 | 101,5 | 58,4 | **81** | 92,3 | 88,4 | 91,0 | 69,8 |
| **82** | 102,4 | 90,0 | 105,9 | 58,4 | **82** | 95,9 | 93,4 | 91,3 | 69,2 |
| **83** | 102,8 | 90,9 | 108,6 | 59,3 | **83** | 97,0 | 94,5 | 91,4 | 70,9 |
| **84** | 104,8 | 91,8 | 108,9 | 60,5 | **84** | 96,5 | 95,5 | 92,8 | 70,4 |
| **85** | 106,6 | 93,2 | 109,7 | 62,0 | **85** | 96,3 | 95,9 | 95,8 | 71,5 |
| **86** | 106,4 | 93,4 | 109,4 | 61,7 | **86** | 97,2 | 96,6 | 95,2 | 71,1 |
| **87** | 108,0 | 95,3 | 120,0 | 63,4 | **87** | 97,4 | 96,2 | 96,6 | 71,1 |
| **88** | 110,9 | 98,8 | 119,7 | 64,5 | **88** | 97,8 | 98,8 | 96,3 | 72,1 |
| **89** | 111,7 | 99,8 | 121,6 | 64,2 | **89** | 98,9 | 98,7 | 97,6 | 73,6 |
| **90** | 111,9 | 101,6 | 122,4 | 64,1 | **90** | 98,8 | 101,6 | 98,9 | 73,4 |
| **91** | 113,2 | 101,4 | 123,0 | 65,2 | **91** | 99,8 | 104,9 | 100,1 | 73,8 |
| **92** | 115,6 | 102,2 | 124,1 | 65,2 | **92** | 109,5 | 105,9 | 104,3 | 73,3 |
| **93** | 117,2 | 103,5 | 125,8 | 66,3 | **93** | 110,9 | 108,4 | 105,0 | 75,2 |
| **94** | 119,9 | 106,5 | 126,2 | 67,0 | **94** | 115,3 | 109,2 | 106,9 | 78,4 |
| **95** | 119,7 | 112,2 | 128,6 | 66,1 | **95** | 116,3 | 111,7 | 107,2 | 78,6 |
| **96** | 119,1 | 119,9 | 128,3 | 68,2 | **96** | 117,9 | 112,5 | 107,8 | 78,3 |
| **97** | 120,4 | 121,6 | 129,9 | 70,5 | **97** | 118,7 | 118,2 | 109,4 | 79,1 |
| **98** | 120,2 | 121,5 | 129,6 | 70,2 | **98** | 118,7 | 118,6 | 110,6 | 79,5 |
| **99** | 122,8 | 123,2 | 130,8 | 70,1 | **99** | 119,6 | 119,1 | 119,7 | 80,5 |
| **100** | 124,5 | 124,4 | 130,2 | 71,4 | **100** | 120,3 | 121,8 | 120,6 | 84,5 |
| **101** | 124,3 | 125,9 | 132,9 | 72,2 | **101** | 122,4 | 122,4 | 121,6 | 85,2 |
| **102** | 125,3 | 130,8 | 135,8 | 74,5 | **102** | 129,2 | 128,9 | 122,9 | 88,3 |
| **103** | 130,3 | 130,5 | 135,7 | 77,3 | **103** | 132,3 | 131,5 | 131,2 | 89,6 |
| **104** | 132,2 | 130,6 | 140,2 | 80,6 | **104** | 134,7 | 132,4 | 132,5 | 92,4 |
| **105** | 132,3 | 132,2 | 143,3 | 80,7 | **105** | 138,1 | 132,9 | 133,0 | 95,7 |
| **106** | 136,0 | 135,8 | 147,1 | 86,7 | **106** | 141,9 | 135,5 | 140,2 | 96,7 |
| **107** | 140,8 | 136,4 | 153,7 | 86,5 | **107** | 141,6 | 136,4 | 141,3 | 98,4 |
| **108** | 142,3 | 140,6 | 155,7 | 87,9 | **108** | 144,9 | 137,1 | 142,9 | 99,6 |
| **109** | 143,2 | 149,4 | 159,9 | 92,6 | **109** | 145,7 | 142,3 | 144,3 | 102,5 |
| **110** | 150,6 | 149,8 | 165,2 | 92,9 | **110** | 149,5 | 143,7 | 156,6 | 103,9 |
| **111** | 152,2 | 152,7 | 167,3 | 94,1 | **111** | 151,9 | 151,3 | 161,1 | 111,9 |
| **112** | 157,6 | 154,0 | 169,5 | 95,4 | **112** | 154,2 | 154,4 | 162,4 | 111,2 |
| **113** | 159,0 | 156,5 | 171,7 | 96,8 | **113** | 155,3 | 155,3 | 163,7 | 111,9 |
| **114** | 161,6 | 157,3 | 176,9 | 96,8 | **114** | 155,5 | 155,4 | 165,7 | 115,4 |
| **115** | 161,8 | 160,3 | 177,9 | 99,4 | **115** | 155,3 | 161,2 | 165,6 | 118,5 |
| **116** | 168,4 | 161,5 | 177,1 | 102,6 | **116** | 156,8 | 163,7 | 169,4 | 119,2 |
| **117** | 176,3 | 171,7 | 178,9 | 104,3 | **117** | 158,2 | 164,6 | 169,7 | 119,7 |
| **118** | 181,9 | 186,6 | 179,3 | 105,0 | **118** | 161,1 | 165,5 | 171,5 | 120,7 |
| **119** | 186,3 | 188,6 | 185,4 | 104,4 | **119** | 162,8 | 166,7 | 175,5 | 121,6 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **120** | 187,8 | 191,4 | 186,8 | 107,5 | **120** | 166,8 | 169,5 | 179,7 | 124,9 |
| **121** | 195,8 | 196,5 | 189,5 | 113,9 | **121** | 170,5 | 170,4 | 192,6 | 125,8 |
| **122** | 196,5 | 196,9 | 189,5 | 113,2 | **122** | 173,9 | 171,4 | 194,9 | 130,3 |
| **123** | 197,0 | 199,4 | 190,4 | 113,8 | **123** | 177,6 | 171,3 | 195,4 | 130,3 |
| **124** | 199,5 | 199,7 | 199,2 | 113,7 | **124** | 178,3 | 172,9 | 197,0 | 131,3 |
| **125** | 201,2 | 201,7 | 205,3 | 116,8 | **125** | 187,9 | 177,2 | 200,7 | 132,7 |
| **126** | 202,9 | 203,5 | 207,2 | 117,0 | **126** | 190,6 | 178,5 | 202,4 | 132,9 |
| **127** | 205,3 | 209,4 | 210,6 | 116,7 | **127** | 194,6 | 180,9 | 204,2 | 134,1 |
| **128** | 206,2 | 212,8 | 211,5 | 119,3 | **128** | 194,7 | 183,6 | 206,4 | 142,2 |
| **129** | 206,5 | 213,8 | 213,4 | 121,0 | **129** | 204,2 | 186,4 | 206,8 | 145,6 |
| **130** | 206,7 | 215,5 | 215,1 | 121,3 | **130** | 205,9 | 196,6 | 207,0 | 145,9 |
| **131** | 210,0 | 217,4 | 215,6 | 122,6 | **131** | 205,5 | 200,4 | 208,4 | 147,0 |
| **132** | 211,2 | 217,3 | 215,3 | 123,3 | **132** | 207,3 | 202,8 | 218,6 | 149,8 |
| **133** | 211,5 | 220,3 | 222,2 | 123,8 | **133** | 223,6 | 209,7 | 220,1 | 149,3 |
| **134** | 216,9 | 221,9 | 224,4 | 134,7 | **134** | 224,7 | 212,9 | 221,2 | 152,2 |
| **135** | 219,4 | 223,2 | 225,5 | 135,4 | **135** | 229,7 | 214,9 | 225,8 | 153,7 |
| **136** | 221,8 | 227,8 | 228,8 | 136,4 | **136** | 232,1 | 217,9 | 226,2 | 154,9 |
| **137** | 223,9 | 230,4 | 229,4 | 137,5 | **137** | 238,5 | 221,9 | 229,6 | 161,6 |
| **138** | 228,2 | 231,3 | 230,5 | 137,2 | **138** | 242,5 | 227,8 | 232,3 | 161,8 |
| **139** | 230,4 | 232,9 | 235,5 | 142,9 | **139** | 245,2 | 231,3 | 243,7 | 161,6 |
| **140** | 232,2 | 232,8 | 238,8 | 145,7 | **140** | 248,5 | 237,8 | 245,5 | 162,4 |
| **141** | 234,9 | 234,1 | 240,7 | 147,3 | **141** | 249,8 | 237,9 | 268,5 | 162,7 |
| **142** | 235,6 | 235,6 | 250,5 | 149,5 | **142** | 250,4 | 246,4 | 270,5 | 164,8 |
| **143** | 238,1 | 236,2 | 254,5 | 156,2 | **143** | 254,9 | 250,7 | 273,8 | 168,4 |
| **144** | 240,4 | 239,4 | 260,2 | 158,3 | **144** | 257,6 | 253,3 | 275,5 | 170,5 |
| **145** | 244,6 | 241,9 | 263,2 | 158,6 | **145** | 258,8 | 264,6 | 285,7 | 170,1 |
| **146** | 247,2 | 246,6 | 267,2 | 160,7 | **146** | 260,3 | 270,0 | 286,3 | 183,5 |
| **147** | 252,2 | 263,4 | 268,2 | 164,8 | **147** | 270,1 | 270,2 | 291,3 | 184,3 |
| **148** | 253,5 | 265,2 | 279,7 | 167,6 | **148** | 270,7 | 274,8 | 311,9 | 185,8 |
| **149** | 255,6 | 271,6 | 281,4 | 171,4 | **149** | 271,5 | 280,6 | 316,3 | 185,9 |
| **150** | 260,2 | 271,1 | 288,1 | 171,2 | **150** | 286,1 | 301,4 | 322,3 | 188,1 |
| **151** | 266,9 | 275,4 | 299,2 | 182,7 | **151** | 306,0 | 306,8 | 329,5 | 189,9 |
| **152** | 267,9 | 276,2 | 311,1 | 189,7 | **152** | 306,7 | 307,2 | 336,3 | 200,3 |
| **153** | 276,4 | 281,6 | 314,9 | 191,8 | **153** | 312,1 | 309,7 | 339,5 | 203,4 |
| **154** | 280,4 | 282,2 | 318,6 | 193,8 | **154** | 312,6 | 314,8 | 344,4 | 205,2 |
| **155** | 281,8 | 284,2 | 323,6 | 196,3 | **155** | 320,6 | 315,4 | 346,7 | 207,9 |
| **156** | 283,0 | 295,5 | 323,2 | 199,3 | **156** | 329,5 | 320,3 | 354,2 | 210,5 |
| **157** | 290,6 | 303,1 | 325,0 | 199,9 | **157** | 329,2 | 324,3 | 355,8 | 211,8 |
| **158** | 292,8 | 306,1 | 327,6 | 203,0 | **158** | 338,7 | 355,6 | 359,8 | 211,8 |
| **159** | 294,3 | 315,8 | 336,8 | 202,6 | **159** | 359,9 | 355,9 | 371,9 | 220,7 |
| **160** | 306,4 | 319,7 | 336,5 | 203,8 | **160** | 360,5 | 364,6 | 379,7 | 229,4 |
| **161** | 315,7 | 321,7 | 341,9 | 204,9 | **161** | 366,1 | 379,2 | 397,8 | 230,6 |
| **162** | 316,4 | 328,6 | 344,2 | 208,5 | **162** | 375,6 | 385,2 | 405,6 | 243,4 |
| **163** | 319,3 | 329,9 | 349,2 | 212,7 | **163** | 376,6 | 398,9 | 411,2 | 243,3 |
| **164** | 321,8 | 335,3 | 358,4 | 212,8 | **164** | 381,6 | 406,5 | 420,7 | 244,5 |
| **165** | 322,1 | 342,3 | 368,9 | 214,1 | **165** | 385,7 | 413,6 | 420,4 | 246,4 |
| **166** | 334,9 | 346,6 | 368,7 | 217,6 | **166** | 389,6 | 418,9 | 434,9 | 248,9 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **167** | 338,2 | 349,7 | 369,9 | 220,5 | **167** | 391,4 | 432,3 | 436,9 | 249,7 |
| **168** | 348,1 | 358,8 | 375,7 | 220,5 | **168** | 398,8 | 445,3 | 440,5 | 251,5 |
| **169** | 348,1 | 368,4 | 383,5 | 221,7 | **169** | 402,3 | 445,3 | 443,9 | 253,0 |
| **170** | 349,6 | 381,9 | 392,2 | 222,7 | **170** | 429,9 | 446,9 | 443,5 | 256,9 |
| **171** | 354,3 | 385,6 | 393,7 | 227,5 | **171** | 430,4 | 450,5 | 453,7 | 267,5 |
| **172** | 372,3 | 386,4 | 396,4 | 233,4 | **172** | 433,9 | 460,4 | 465,6 | 268,2 |
| **173** | 373,4 | 387,8 | 397,5 | 233,7 | **173** | 445,1 | 464,8 | 471,3 | 269,0 |
| **174** | 383,7 | 389,8 | 400,1 | 235,9 | **174** | 449,3 | 470,5 | 477,0 | 269,2 |
| **175** | 386,3 | 397,7 | 484,3 | 241,6 | **175** | 449,8 | 470,4 | 477,2 | 276,8 |
| **176** | 386,7 | 400,9 | 490,6 | 250,3 | **176** | 452,0 | 488,7 | 491,2 | 277,6 |
| **177** | 387,3 | 460,9 | 561,9 | 263,6 | **177** | 457,0 | 495,2 | 497,5 | 278,6 |
| **178** | 393,7 | 488,9 | 571,2 | 281,7 | **178** | 479,6 | 496,5 | 500,9 | 283,2 |
| **179** | 400,7 | 521,8 | 595,7 | 282,9 | **179** | 496,8 | 498,4 | 588,3 | 319,3 |
| **180** | 463,9 | 526,2 | 599,8 | 283,9 | **180** | 497,3 | 500,2 | 605,9 | 322,9 |
| **181** | 465,4 | 552,6 | 600,2 | 291,4 | **181** | 501,0 | 541,1 | 642,7 | 337,9 |
| **182** | 534,2 | 557,4 | 603,9 | 294,7 | **182** | 553,2 | 555,1 | 654,3 | 351,6 |
| **183** | 544,2 | 601,2 | 610,5 | 304,7 | **183** | 616,1 | 665,0 | 673,5 | 383,5 |
| **184** | 564,2 | 617,1 | 611,3 | 305,8 | **184** | 661,4 | 714,6 | 686,3 | 389,6 |
| **185** | 630,8 | 623,6 | 620,6 | 308,7 | **185** | 690,5 | 717,1 | 725,8 | 394,9 |

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено, що самозаймання незахищеної екрануючими панелями ділянки відбулось на 280 с від початку випробування.

Встановлено, що самозаймання захищеної екрануючими панелями ділянки з тканинами з бавовни та поліестеру відбулося на 871 с від початку випробування. Різниця між результатами становить 591 с.

Завідувач НДЛ ПБ ЛДУБЖД — Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Науковий співробітник, к.т.н. НДЛ ПБ ЛДУБЖД — Павло ПАСТУХОВ

Науковий керівник, доцент кафедри ЕТЗтаПРТ ЛДУБЖД, к.т.н. — Володимир ТОВАРЯНСЬКИЙ

Ад'юнкт ЛДУБЖД — Іван АДОЛЬФ

*Наукове видання*

**АДОЛЬФ Іван Іванович**
**ТОВАРЯНСЬКИЙ Володимир Ігорович**

# ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ПІДПРИЄМСТВ ШВЕЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Монографія**

Літературне редагування **Галина ПАДИК**

Технічне редагування, верстка **Володимир ТОВАРЯНСЬКИЙ**

Друк **Назарій ПЕТРОЛЮК**

Підписано до друку 10.01.2026 р.
Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Ум. Друк. арк. 12,0

Друк ЛДУБЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
Тел. /факс: (032)233-24-79
E-mail: vnrd@ldubgd.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №7249 від 09.02.2021 р.