

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

АДОЛЬФ Іван Іванович

УДК 614.841.2

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
ПІДПРИЄМСТВ ШВЕЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЕКРАНУВАЛЬНИМИ
ПАНЕЛЯМИ**

Спеціальність – 261 «Пожежна безпека»

Галузь знань – 26 «Цивільна безпека»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Іван АДОЛЬФ

Науковий керівник

ТОВАРЯНСЬКИЙ Володимир Ігорович

кандидат технічних наук, доцент

Львів – 2024

АНОТАЦІЯ

АДОЛЬФ І. І. Підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості екранувальними панелями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 "Пожежна безпека". – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального наукового завдання – підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості.

Підприємства швейної промисловості характеризуються високим рівнем автоматизації технологічних процесів, а також значним навантаженням як виробничого обладнання так і сировини. Сукупність виробничого обладнання та сировини, що обертаються на підприємствах становить пожежну навантагу і в момент виникнення джерел займання можуть сприяти виникненню пожеж. Статистика свідчить, що пожежі швейних підприємств виникали і виникають не тільки на території України, але і за її межами, а частота їх виникнення є доволі високою та має тенденцію до зростання. Відомо про щонайменше 12 пожеж швейних підприємств. Бували випадки пожеж, внаслідок яких гинули люди, а їх площі займали цілі виробничі цехи та будівлі.

Процеси виникнення та поширення пожеж на підприємствах швейної промисловості безпосередньо пов'язані з особливостями організації виробництва 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.

Кожна пожежа, що відбувалася на швейних підприємствах до цього часу мала свою причину виникнення і характеризувалася різною важкістю наслідків. А причина пожежі – це сукупність подій, вчинків окремих людей, станів виробничого обладнання, взаємодія яких приводить до виникнення неконтрольованого горіння. Проведеними дослідженнями встановлено, що за походженням факторів пожежі швейних підприємств доцільно розподілити на наступні типи: пожежі, пов'язані з людським фактором; пожежі, пов'язані з виробничим устаткуванням; пожежі, пов'язані з речовинами і матеріалами; пожежі, пов'язані з природними явищами.

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. Для визначення обсягів та видів заходів, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки швейних підприємств, які проектуються або вже здійснюють виробничу діяльність необхідно встановити їх категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Встановлено, що виробничі та складські приміщення швейних підприємств відносяться до категорії В.

Одним з найважливіших та найефективніших напрямків забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості є обладнання виробничих приміщень системами протипожежного захисту, до яких

відносяться автоматичні системи пожежного сповіщення, пожежогасіння та димовидалення. Дані види протипожежного захисту відносяться до активних видів, які спрацьовують на ранній стадії виникнення пожежі та можуть повністю її ліквідувати.

Провівши теоретичне дослідження наявних заходів з забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості, встановлено, що для виробничих приміщень швейних підприємств категорії В площею до 500 м² відповідно до нормативних документів не вимагається застосування автоматичних систем пожежогасіння, як найбільш ефективних вогнегасних засобів. Це створило передумови для наукових досліджень в напрямку пошуку додаткових заходів з протипожежного захисту, що сприятимуть ефективнішому застосуванню первинних засобів пожежогасіння та підвищать рівень забезпечення пожежної безпеки.

Під час аналізу заходів з протипожежного захисту виробництв швейних підприємств не було виявлено жодного випадку застосування протипожежних перешкод — екранувальних панелей, спрямованих на захист окремих робочих місць, що може бути пов'язано з відсутністю подібних вимог у нормативних документах, які регламентують забезпечення пожежної безпеки. З цією метою було розроблено та запропоновано спосіб, представлений у [68], який передбачає створення умов для запобігання поширення горіння між ділянками з пожежним навантаженням для виробничих приміщень швейних підприємств.

Проведено наукові дослідження, спрямовані на виявлення факторів, що виникають під час пожеж швейних підприємств, а також перевірку ефективності застосування екранувальних панелей під час виникнення та поширення пожежі. Досліджено вплив використання екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі та розрахункового часу евакуації з виробничого приміщення швейного підприємства.

Виходячи з того, що температури займання і самозаймання для тканин з бавовни і поліестеру є одним з найважливіших параметрів, що відображає їх рівень пожежної небезпеки, було проведено лабораторні дослідження з

визначення даних величин. Отримано поліноміальні регресійні моделі для температури займання $t_3 = 0,0002\varphi^3 - 0,0428\varphi^2 + 0,6078\varphi + 349,44$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9987$ та температури самозаймання $t_{cz} = -0,000005\varphi^3 - 0,0014\varphi^2 - 0,4438\varphi + 469,92$ ($R^2 = 0,9995$), де φ – відсотковий склад бавовни у зразку (від 0% до 100%), які вказують на те, що із зменшенням відсоткового вмісту бавовни зростають значення температур займання та самозаймання досліджуваних зразків. Отримані результати температур займання та самозаймання використано в подальших дослідженнях часу до займання та швидкості поширення горіння по швейно-виробничих ділянках.

На основі застосування методу проведення повного факторного експерименту проведено планування експерименту та комп'ютерне моделювання горіння швейно-виробничої ділянки для 8-ми варіантів дослідів, при яких змінювали величину пожежної навантаги ділянки від 600 МДж до 1200 МДж, відстань від екранувальної панелі до сусідньої ділянки становила від 0,05 м до 0,1 м, а висота ЕП становила від 0,8 м до 0,95 м. На основі отриманих результатів для кожного з восьми дослідів отримано значення зміни температур горіння від часу проведення моделювання та залежності для визначення часу до займання для тканин з бавовни і поліестеру. Досліджено вплив використання екрануючих захисних панелей на швидкість поширення горіння по модельних ділянках.

За результатами опрацювання результатів дослідів отримано залежності часу до займання для тканин з температурами самозаймання 400 °С та 500 °С, які мають вигляд:

$$\tau_{400} = 1,579 \cdot 10^3 L + 5,781 \cdot 10^3 h_n + 3,672 Q - 1,072 \cdot 10^3 h_n L - 2,164 Q L - 4,3 Q h_n + 2,453 \cdot Q h_n L - 4,221 \cdot 10^3;$$

$$\tau_{500} = -4,4 \cdot 10^{-2} L + 6,07 \cdot 10^3 h_n + 3,85 Q + 1,2 \cdot 10^3 h_n L - 0,74 Q L - 4,98 Q h_n + 0,89 Q h_n L - 4,39 \cdot 10^3;$$

Отримано залежності швидкості поширення горіння із врахуванням зміни запропонованих факторів для швейно-виробничих ділянок із переважанням

тканин з бавовни у першому випадку та із переважанням тканин з поліестеру в другому:

$$v_{400} = -1,43L - 1,23h_n - 7,33 \cdot 10^{-4}Q + 1,69h_nL + 9,83 \cdot 10^{-4}Qh_n + 1,62 \cdot 10^{-3}QL - 2,04 \cdot 10^3Qh_nL + 1,16;$$

$$v_{500} = -1,29L - 1,09h_n - 6,5 \cdot 10^{-4}Q + 1,53h_nL + 1,47 \cdot 10^{-3}QL + 8,7 \cdot 10^{-4}Qh_n - 1,85 \cdot 10^{-3}Qh_nL + 1,03$$

Отримані залежності дозволяють задавати параметри пожежної навантаги швейного робочого місця, а також висоти та розташування екранувальних панелей з метою підвищення рівня пожежної безпеки виробничих приміщень швейних підприємств.

З метою дослідження адекватності моделей, отриманих із застосуванням програмного продукту PyroSIM було проведено дослідження стосовно їх валідації. Паралельно із комп'ютерним моделюванням горіння «транспортної стрічки» було проведено натурні експериментальні дослідження. Порівнявши між собою результати експериментального дослідження та комп'ютерного моделювання встановлено, що максимальна відносна похибка отриманих результатів становить 7,2%, що є допустимим значенням. В подальшому проведено порівняння результатів комп'ютерного моделювання, а саме дослідів №4 та №8 із результатами, які отримали під час експериментальних вогневих випробувань у дослідях №1 та №2. Середні значення похибок становили від 2,59 % до 4,23%.

Проведено дослідження впливу застосування екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі, що в свою чергу створюють загрози під час проведення евакуації з приміщення. Для виробничого приміщення швейного підприємства об'ємом 1500 м³, 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. Застосування екрануючих захисних панелей збільшує розрахунковий час евакуації у 1,81 рази

для ділянки з пожежною навантагою 600 МДж та 1,25 рази для ділянки з 1200 МДж пожежної навантаги відповідно. Отримані результати вказують на те, що застосування екранувальних панелей у значній мірі сповільнює виникнення НЧП у порівнянні з результатами, отриманими без використання вище вказаних панелей, що в свою чергу призводить зростання протипожежної захищеності та зниження індивідуального пожежного ризику.

Подальшого розвитку набуло проведення експериментальних вогневих випробувань щодо встановлення ефективності застосування екранувальних панелей та використання способу додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств, який полягає в облаштуванні робочих місць швейних підприємств екранувальними панелями, дію яких спрямовано на сповільнення швидкості поширення пожежі та збільшення часу виникнення небезпечних чинників пожежі.

Рекомендації, щодо облаштування робочих місць швейних підприємств екрануючими захисними панелями та отримані результати експериментальних досліджень щодо ефективності застосування екрануючих захисних панелей використовуються в діяльності ТзОВ "Науково-випробувальний центр "Євростандарт" під час виконання розрахунків стосовно визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою виробничих приміщень швейних підприємств.

Результати роботи впроваджені в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у курсах навчальних дисциплін «Пожежна профілактика технологічних процесів» та «Розслідування подій, пов'язаних з пожежами». Використовуються наведені у дисертаційній роботі методики застосування екрануючих захисних панелей, якими облаштовуються робочі місця швейних підприємств.

Ключові слова: пожежна безпека, пожежа, протипожежна захищеність, промислові підприємства, група горючості, вогнестійкість, перекриття, швейне підприємство, експеримент, екранувальна панель, перешкода, час евакуації, небезпечні фактори пожежі, ризик, моделювання, PyroSim FDS.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список наукових праць, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

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.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. 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.

7. Адольф І. І., Товарянський В. І. Пожежна безпека підприємств швейної промисловості: проблема та шляхи її вирішення. Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗУ. – 2021.

8. 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: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. – 2021.

9. 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.

10. I Adolf, V Tovarianskyi. 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.

11. 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.

Патенти на винаходи та корисні моделі:

12. Адольф І. І., Товарянський В. І., Спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств. Патент України на корисну модель №151205. ДП "Укрпатент", 2022.

ABSTRACT

ADOLF I. I. Improving the efficiency of fire Safety in garment industry enterprises using screening panels. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 261 "Fire Safety". – Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2024.

The dissertation is dedicated to solving a current scientific problem – improving the efficiency of fire safety in garment industry enterprises.

Garment industry enterprises are characterized by a high level of automation in technological processes, as well as significant loads on both production equipment and raw materials. The combination of production equipment and raw materials present in enterprises constitutes a fire load, and in the event of ignition sources, can contribute to the occurrence of fires. Statistics show that fires in garment enterprises have occurred and continue to occur not only in Ukraine but also abroad, with their frequency being quite high and tending to increase. At least 12 fires in garment enterprises are known. There have been instances of fires resulting in human casualties, and the affected areas included entire production workshops and buildings.

The processes of fire occurrence and spread in garment industry enterprises are directly related to the specifics of production organization and the level of implementation of measures aimed at preventing ignition. The ignition and self-ignition temperatures, which are perhaps the most important parameters characterizing the fire hazard of any substances and materials, including those used in the technological processes of garment enterprises for the production of finished goods, have a significant impact on the possibility of fire occurrence and rapid spread. Therefore, it is important to adhere to safe temperature regimes during the operation of production equipment in garment workshops.

Every fire that has occurred at garment industry enterprises so far has had its own cause and has been characterized by varying degrees of severity. The cause of a fire is a combination of events, actions of individuals, and conditions of production equipment, whose interaction leads to the occurrence of uncontrolled combustion.

Research has established that, based on the origin of the factors, fires at garment enterprises can be categorized into the following types: fires related to human factors; fires related to production equipment; fires related to substances and materials; and fires related to natural phenomena.

Considering the various causes of fires at garment industry enterprises, various measures are implemented to ensure an adequate level of fire safety. Fire prevention at garment enterprises is based on established regulatory requirements aimed at ensuring explosion and fire safety in their production and storage facilities. Measures to ensure fire safety at garment enterprises involve creating safe working conditions that eliminate or minimize the likelihood of uncontrolled combustion processes outside of regulatory limits. This is achieved through the comprehensive application of structural, technical, and organizational measures both on the premises and within the internal spaces of garment industry buildings. To determine the scope and types of measures aimed at ensuring fire safety for garment enterprises that are either being designed or already in operation, it is necessary to establish their categories according to explosion and fire hazard levels. It has been determined that the production and storage facilities of garment enterprises fall into category B.

One of the most important and effective directions for ensuring fire safety at garment industry enterprises is equipping production facilities with fire protection systems, which include automatic fire alarm, firefighting, and smoke removal systems. These types of fire protection are considered active types, which activate at an early stage of a fire and can completely extinguish it.

Conducting a theoretical study of existing fire safety measures at garment industry enterprises, it was found that for production facilities of garment enterprises in category B with an area of up to 500 m², the use of automatic fire suppression systems, which are the most effective fire extinguishing means, is not required according to regulatory documents. This created prerequisites for scientific research in the direction of finding additional fire protection measures that will contribute to more effective use of primary fire extinguishing means and increase the level of fire safety.

During the analysis of fire protection measures at garment industry enterprises, no instances of using fire barriers, such as screening panels, aimed at protecting individual workstations, were found. This may be due to the absence of such requirements in regulatory documents governing fire safety. To address this, a method was developed and proposed, as presented in [68], which involves creating conditions to prevent the spread of fire between areas with fire loads in the production facilities of garment enterprises.

Based on the fact that ignition and self-ignition temperatures for cotton and polyester fabrics are among the most important parameters reflecting their level of fire hazard, laboratory studies were conducted to determine these values. Polynomial regression models were obtained for ignition temperature ($t_i = 0.0002\varphi^3 - 0.0428\varphi^2 + 0.6078\varphi + 349.44$ with an approximation coefficient $R^2 = 0.9987$) and self-ignition temperature ($t_{si} = -0.000005\varphi^3 - 0.0014\varphi^2 - 0.4438\varphi + 469.92$, $R^2 = 0.9995$), where φ represents the percentage composition of cotton in the sample (ranging from 0% to 100%). These models indicate that as the percentage content of cotton decreases, the values of ignition and self-ignition temperatures of the tested samples increase. The obtained results of ignition and self-ignition temperatures were used in further studies of time to ignition and flame spread rate in sewing-production areas.

Based on the application of the full factorial experimental method, experimental design and computer modeling of fire in the sewing-production area were conducted for 8 study variants, in which the fire load of the area ranged from 600 MJ to 1200 MJ, the distance from the screening panel to the adjacent area ranged from 0.05 m to 0.1 m, and the height of the screening panel ranged from 0.8 m to 0.95 m. Based on the obtained results for each of the eight experiments, values of changes in burning temperatures over time were obtained, along with dependencies for determining the time to ignition for cotton and polyester fabrics. The impact of using screening protective panels on the rate of fire spread in model areas was investigated.

The analysis of research results yielded dependencies for the time to ignition for fabrics with self-ignition temperatures of 400°C and 500°C, which are as follows:

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

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

Dependencies for the rate of fire spread, considering the change in the proposed factors for sewing-production areas, predominantly with cotton fabrics in the first case and with polyester fabrics in the second, were obtained:

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

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

These dependencies allow for setting the parameters of the fire load of the sewing workstation and the height and placement of screening panels to enhance the level of fire safety in the production facilities of garment enterprises.

To investigate the adequacy of the models obtained using the PyroSIM software, validation studies were conducted. Concurrently with computer simulation of the "conveyor belt" fire, physical experimental studies were conducted. By comparing the results of the experimental research with computer modeling, it was found that the maximum relative error of the obtained results is 7.2%, which is an acceptable value.

Furthermore, a comparison was made between the results of computer modeling, namely experiments No. 4 and No. 8, and the results obtained during the experimental fire tests in experiments No. 1 and No. 2. The average error values ranged from 2.59% to 4.23%.

A study was conducted to assess the impact of using shielding panels on the formation of fire hazardous factors, which in turn pose threats during evacuation from the premises. For a production area of a textile manufacturing facility with a volume of 1500 m³, and for areas with a fire load of 600 MJ where cotton and polyester fabrics are processed, with panel heights ranging from 0.8 m to 0.95 m, dependencies of the calculated evacuation time on the panel height were obtained. These dependencies are represented as follows: $t_e = 16150h^3 - 40674h^2 + 34589h - 9729,8$

for cotton fabrics and $t_e = -1769,9h^3 + 5646,6h^2 - 5537,8h + 1805,58$ for polyester fabrics. The use of shielding protective panels increases the calculated evacuation time by 1.81 times for areas with a fire load of 600 MJ and by 1.25 times for areas with a fire load of 1200 MJ, respectively. The obtained results indicate that the application of shielding panels significantly slows down the occurrence of hazardous fire conditions compared to the results obtained without using these panels, which in turn leads to an increase in fire protection and a decrease in individual fire risk.

Further development included conducting experimental fire tests to establish the effectiveness of using shielding panels and employing an additional method of fire protection for workplaces in textile manufacturing enterprises. This method involves equipping workplaces in textile manufacturing enterprises with shielding panels, the function of which is aimed at slowing down the rate of fire spread and increasing the time of occurrence of fire hazardous factors.

Recommendations regarding the arrangement of workplaces in textile manufacturing enterprises with shielding protective panels and the obtained results of experimental studies on the effectiveness of using shielding panels are utilized by the Eurostandard Research and Testing Center LLC during calculations to determine the categories of explosion and fire hazards in production premises of textile manufacturing enterprises.

Furthermore, the results of this work have been incorporated into the educational process of Lviv State University of Life Safety in the courses of "Fire Prevention in Technological Processes" and "Investigation of fires related to fires." The methodologies outlined in the dissertation work are used for conducting experimental research to determine the impact of factors on the effectiveness of using shielding protective panels installed at workstations in sewing enterprises.

Keywords: fire hazard, fire, fire protection, industrial enterprises, flammability group, fire resistance, overlap, sewing plant, experiment, shielding panel, obstacle, evacuation time, fire hazard factors, risk, simulation, PyroSim FDS.

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE DISSERTATION TOPIC

Articles in scientific specialized publications of Ukraine included in international scientometric bases:

1. Adolf, I. I., Havryliuk, A. F., Tovaryanskyi, V. I. (2020). Fire protection condition analysis in garment industry enterprises. *Fire Safety*. 2020. No. 37. P. 5-10. DOI: 10.32447/20786662.37.2020.01.
2. Tovaryanskyi, V. I., Adolf, I. I., Petrovskyi, V. L. Research temperatures of ignition and self-ignition of cotton and polyester fabrics. *Fire Safety: Collection of Scientific Works*. LDUBGD. Lviv, 2021, No. 38, 32-37. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.05.
3. Tovaryanskyi, V. I., Adolf, I. I. Research of temperatures in the combustion environment of the experimental sewing and production section. *Fire Safety*. 2022. No. 40. P. 92-98. DOI: 10.32447/20786662.40.2022.1.
4. Adolf, I. I., Tovaryanskyi, V. I. Research of the efficiency of the application of the heat-shielding panels at the enterprises of the sewing industry on the basis of FDS simulation. *Fire Safety: Collection of Scientific Works*. LDUBGD. Lviv, 2022. No. 41. P. 5-11. DOI: 10.32447/20786662.41.2022.01.
5. Adolf, I. I., Tovaryanskyi, V. I., Petrovskyi, V. L. Study of the effect of fire on experimental sewing and production areas screened with protective panels. *Fire Safety: Collection of Scientific Works*. LDUBGD. Lviv, 2023, No. 43, 6-12. DOI: 10.32447/20786662.43.2023.01.

Abstracts of reports confirming the testing of the dissertation materials:

6. Adolf I. I., Tovaryanskyi V. I. On the fire hazard of garment industry enterprises. XVI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Cadets, and Students "Problems and Prospects of Life Safety System Development". Lviv: LDUBJD. – 2021.
7. Adolf I. I., Tovaryanskyi V. I. Fire hazard of garment industry enterprises: problem and ways of its solution. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Problems and Prospects of Civil Protection Ensuring". Kharkiv: NUZU. – 2021.

8. Adolf I. I., Tovaryanskyi V. I. Ignition and self-ignition temperatures of cotton and polyester fabrics as indicators of their fire hazard. XI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation "Emergencies: Safety and Protection". Cherkasy: CHIPB named after Heroes of Chernobyl, NUZU Ukraine. – 2021.

9. Adolf I. I., Burning temperatures of sewing production areas as a factor of fire hazard. Actual Problems of Fire Safety and Prevention of Emergencies in Modern Conditions: Collection of Scientific Papers of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation. – Lviv: LDUBGD, 2022.

10. Adolf I. I., Tovaryanskyi V. I. Computer simulation of a fire at a sewing workplace equipped with heat-shielding panels. Problems and Prospects of Civil Protection: Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Kharkiv: NUZU, 2023.

11. Adolf I. I., Tovaryanskyi V. I. Investigation of fire in experimental sewing production areas shielded by protective panels. XIX International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Cadets, and Students "Problems and Prospects of Life Safety System Development". – Lviv: LDUBJD, 2024.

Patents for inventions and utility models:

12. Adolf I. I., Tovaryanskyi V. I., Method of additional fire protection of workplaces at sewing enterprises. Utility Model Patent No. 151205. State Enterprise "Ukrpatent", 2022.

	17
ЗМІСТ	17
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ШВЕЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	27
1.1 Аналіз пожеж підприємств швейної промисловості.....	27
1.2. Аналіз причин виникнення пожеж швейних підприємств.....	31
1.3. Дослідження процесів горіння тканин, що обертаються у виробничих процесах підприємств швейної промисловості.....	36
1.4. Основні заходи з протипожежного захисту підприємств швейної промисловості..	40
1.5. Аналіз наукових досліджень у сфері моделювання пожеж підприємств швейної промисловості.....	50
1.6. Висновки, ідея, мета та завдання досліджень.....	57
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ШВЕЙНО-ВИРОБНИЧИХ ДІЛЯНОК.....	60
2.1. Планування експерименту щодо дослідження ефективності застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів.....	60
2.2. Вплив чинників під час застосування екранувальних панелей на основі FDS моделювання.....	65
2.3. Застосування екранувальних панелей в залежності від впливу факторів на основі визначення часу до займання тканин з бавовни і поліестеру.....	108
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.....	113
2.5. Висновки до розділу.....	117
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	119
3.1. Методика визначення температур займання та самозаймання в залежності від зміни відсоткового складу бавовни у тканині.....	119
3.2. Дослідження температур займання та самозаймання в залежності від	

	18
зміни відсоткового складу бавовни у тканині.....	122
3.3. Валідація моделі, отриманої шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim FDS.....	126
3.4. Методика дослідження ефективності застосування теплозахисних панелей шляхом проведення польових експериментальних досліджень.....	133
3.5. Дослідження впливу пожежі на експериментальні швейно-виробничі ділянки, захищені екрануючими панелями.....	140
3.6. Висновки до розділу.....	149
РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКРАНУВАЛЬНИХ ПАНЕЛЕЙ	151
4.1. Застосування екранувальних панелей у виробничому просторі швейних підприємств.....	151
4.2. Дослідження впливу застосування екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі.....	154
4.3. Висновки до розділу.....	164
ВИСНОВКИ.....	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	169
ДОДАТКИ.....	182
Додаток А. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	183
Додаток Б. Протоколи проведення досліджень.....	186
Додаток В. Ксерокопія патенту на корисну модель.....	208
Додаток Д. Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	210

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

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

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Ліквідація пожеж на підприємствах швейної промисловості є складним трудомістким процесом, який характеризується необхідністю залучення значної кількості сил і засобів. Пожежі, що виникають на даних об'єктах створюють небезпеку для працюючого персоналу, дороговартісного виробничого обладнання, сировини, готової продукції, а також для рятувальників, що виконують пожежно-рятувальні роботи. В багатьох випадках пожежі швейних підприємств мають тенденцію до поширення на всю площу виробничих приміщень та супроводжуються великими збитками. Не рідко траплялись пожежі, внаслідок яких гинули працівники швейних підприємств. Також спостерігається негативний екологічний вплив таких пожеж на навколишнє природне середовище.

Кожна пожежа на швейних підприємствах до цього часу мала свої причини та відрізнялася різними ступенями наслідків. Причиною пожежі є комплекс подій, вчинків окремих осіб та станів обладнання, які спільно спричиняють неконтрольоване горіння. Встановлено, що фактори пожеж на швейних підприємствах можна класифікувати наступним чином: пожежі, пов'язані з людським фактором; пожежі, пов'язані з виробничим устаткуванням; пожежі, пов'язані з матеріалами та речовинами; пожежі, пов'язані з природними явищами.

Пожежна безпека підприємств швейної промисловості забезпечується різноманітними організаційними та технічними заходами, які враховують площу виробництв, величину пожеженої навантаги, кількість працюючого персоналу та особливості виробничого обладнання. Профілактика пожеж швейних підприємств здійснюється на основі встановлених нормативних вимог, спрямованих на забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки їх виробничих та складських приміщень. Для визначення обсягів та видів заходів, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки швейних підприємств, які проектуються або вже здійснюють виробничу діяльність необхідно

встановлюються їх категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Встановлено, що виробничі та складські приміщення швейних підприємств відносяться до категорії В. Серед технічних заходів та засобів, що запобігають виникненню та поширенню пожеж можна виділити системи пожежного сповіщення та пожежогасіння, первинні засоби пожежогасіння. Об'ємно-планувальні та конструктивні рішення, що застосовуються у внутрішньому просторі виробничих будівель повинні запобігати поширенню горіння поміж виробничими приміщеннями, а також поміж поверхами. Для забезпечення належної евакуації з приміщень забезпечується наявність евакуаційного освітлення, систем аварійної вентиляції та димовидалення. До організаційних заходів відносяться заходи, спрямовані на вивчення працюючим персоналом правил пожежної безпеки, особливостей застосування первинних засобів пожежогасіння та безпечної евакуації з приміщень, охоплених пожежою. Також впроваджуються заходи щодо зниження горючості будівельних та облицювальних матеріалів, що застосовуються на шляхах евакуації.

Серед запропонованих заходів найбільш ефективними є системи автоматичного пожежогасіння, так як вони здатні повністю ліквідувати займання, проте відомо, що для виробничих приміщень швейних підприємств категорії В площею до 500 м² відповідно до нормативних документів їх застосування не вимагається. Це створює передумови для наукових досліджень в напрямку пошуку додаткових заходів з протипожежного захисту, що сприятимуть ефективнішому застосуванню первинних засобів пожежогасіння та підвищать рівень забезпечення пожежної безпеки.

Під час аналізу заходів з протипожежного захисту виробництв швейних підприємств не було виявлено жодного випадку застосування протипожежних перешкод — екранувальних панелей, спрямованих на захист окремих робочих місць. Виникає необхідність проведення наукових, теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку ефективності застосування екранувальних панелей для виробничих приміщень швейних

підприємств, як додаткового способу підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася у відповідності до основних завдань Концепції наукової діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Підвищення рівня безпеки об'єктів, населених пунктів, створення безпечних умов життєдіяльності), а також у рамках науково-дослідної роботи "Забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості" (державний реєстраційний номер 0120U104658), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета роботи – забезпечення пожежної безпеки швейних виробництв за рахунок зменшення розповсюдження пожежі та збільшення проміжку часу настання НЧП за допомогою екранувальних панелей.

Для досягнення поставленої мети визначено до розв'язання такі *завдання досліджень*:

- провести аналіз національної та світової статистики пожеж, що виникали на підприємствах швейної промисловості, дослідити сучасний стан забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості України, запропонувати шляхи його покращення;
- провести лабораторні дослідження температур займання та самозаймання тканин з бавовни та поліестеру в залежності від відсоткового вмісту бавовни як найбільш поширених складових пожежної навантаги швейних підприємств;
- з допомогою використанням комп'ютерного моделювання та експериментальних вогневих випробувань провести дослідження ефективності застосування екрануючих панелей для робочих місць швейних підприємств;
- провести валідацію комп'ютерних моделей, які описують процес виникнення та розвитку горіння швейно-виробничих ділянок;
- провести дослідження впливу застосування екрануючих панелей на процес формування небезпечних чинників пожежі та розробити рекомендації щодо використання екрануючих панелей для робочих місць швейних підприємств.

Об’єкт дослідження – протипожежна захищеність швейних підприємств та запобігання поширенню пожеж у виробничому просторі.

Предмет дослідження – вплив екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі та зменшення її розповсюдження.

Методи досліджень. Під час виконання дисертаційних досліджень застосовувалися: комплексний метод досліджень, який включав аналіз, узагальнення, порівняння науково-технічних досягнень сучасного стану забезпечення пожежної безпеки виробничих приміщень швейних підприємств з метою виділення проблем, які залишились без вирішення; статистичного методу досліджень, а саме регресійного аналізу; метод комп’ютерного моделювання в середовищі програмного забезпечення PyroSim для отримання часу до займання та швидкості поширення для 8-ми дослідів; методика повнофакторного експерименту при плануванні і обробці результатів дослідів з метою отримання емпіричної залежності впливу чинників на час до займання та швидкості поширення горіння для визначення оптимальних параметрів застосування екранувальних панелей; метод спостереження та порівняння під час проведення полігонних випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у виявленні чинників та умов сповільнення формування небезпечних факторів пожеж виробничих приміщень швейних підприємств. При цьому:

Вперше:

– запропоновано використання екранувальних панелей як локальних протипожежних перешкод, які впливають на час виникнення та швидкість розповсюдження горіння та виведено залежності часу виникнення та швидкості поширення горіння із врахуванням пожежної навантаги, параметрів ЕП для швейно-виробничих ділянок із переважанням тканин з бавовни:

$$\tau_{400}=1,579 \cdot 10^3 L+5,781 \cdot 10^3 h_n+3,672 Q-1,072 \cdot 10^3 h_n L-2,164 Q L-4,3 Q h_n+2,453 \cdot Q h_n L-4,221 \cdot 10^3;$$

$$v_{400}=-1,43 L-1,23 h_n-7,33 \cdot 10^{-4} Q+1,69 h_n L+9,83 \cdot 10^{-4} Q h_n+1,62 \cdot 10^{-3} Q L-2,04 \cdot 10^3 Q h_n L+1,16$$

та тканин з поліестеру:

$$\tau_{500}=-4,4 \cdot 10^{-2} L+6,07 \cdot 10^3 h_n+3,85 Q+1,2 \cdot 10^3 h_n L-0,74 Q L-4,98 Q h_n+0,89 Q h_n L-4,397 \cdot 10^3;$$

$$v_{500}=-1,29 L-1,09 h_n-6,5 \cdot 10^{-4} Q+1,53 h_n L+1,47 \cdot 10^{-3} Q L+8,7 \cdot 10^{-4} Q h_n-1,85 \cdot 10^{-3} Q h_n L+1,03;$$

– встановлено залежності часу настання небезпечних чинників пожежі та розрахункового часу евакуації з виробничого приміщення швейного підприємства від висоти екранувальних панелей, 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.

Вдосконалено:

– методику проведення вогневих випробувань, яка полягає у підборі параметрів макетного вогнища, висоти екранувальних панелелей та відстані від ЕП до сусідніх ділянок.

Подальшого розвитку набуло:

– проведення натурних вогневих випробувань для дослідження ефективності застосування екранувальних панелей, які сповільнюють швидкість поширення горіння та збільшують час виникнення небезпечних чинників пожежі.

Практичне значення і реалізація отриманих результатів

Методика облаштування робочих місць швейних підприємств екрануючими панелями та отримані результати експериментальних досліджень щодо ефективності застосування екрануючих панелей використовуються в діяльності ТзОВ "Науково-випробувальний центр "Євростандарт" під час виконання розрахунків стосовно визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою виробничих приміщень швейних підприємств.

Результати роботи впроваджені в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у курсах навчальних дисциплін «Пожежна профілактика технологічних процесів» та «Розслідування пожеж, пов'язаних з пожежами». Використовуються наведені у дисертаційній роботі методики виконання експериментальних досліджень щодо застосування екрануючих панелей, якими облаштовуються робочі місця швейних підприємств.

Особистий внесок здобувача полягає у самостійному проведенні аналізу вітчизняних та закордонних інформаційних джерел, що стосувались теми досліджень, формулюванні науково-прикладної проблеми у галузі пожежної безпеки, мети, завдань, об'єкту та предмету досліджень. Автор брав участь у розробці методик проведення досліджень, організації і проведенні всіх запланованих експериментальних робіт, опрацюванні отриманих результатів та формулюванні висновків.

Участь здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві, полягає у наступному: у роботі [8] проведено аналіз пожеж та стану протипожежного захисту підприємств швейної промисловості; у роботі [73] проведено дослідження температур займання і самозаймання тканин з бавовни та поліестеру, отримано залежності температур займання та самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру від відсоткового вмісту бавовни; у роботі [72] розроблено методику проведення валідації комп'ютерної моделі горіння швейно-виробничої ділянки, отримано регресійні залежності для температурних режимів, що виникають під час горіння; у роботі [4] розроблено методику проведення дослідження ефективності застосування екрануючих захисних панелей із застосуванням програмного продукту PyroSIM, отримано регресійні моделі зміни температур для заданих умов; у роботі [5] розроблено методику проведення полігонних експериментальних досліджень, проведено дослідження горіння макетних вогнищ навантагою 600 МДж та 1200 МДж, обладнаних екранувальними панелями, отримано значення часу до займання сусідніх ділянок, встановлено ефективність застосування вказаних панелей для робочих місць швейних підприємств.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на доповідях, наукових семінарах та науково-технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на науково-практичних конференціях: XVI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки

життєдіяльності» (Львів, 25-26 березня 2021); Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, : 15-16 квітня 2021); XI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси, 28-29 жовтня 2021); Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення» (Львів, 12-13 жовтня 2022); Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 20-21 квітня 2023); XIX Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 28-29 березня 2024). Отримано патент України на корисну модель «Спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств» [1, 2, 3, 6, 7, 68, 84].

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 11 наукових праць, з яких 5 статей у виданнях, включених МОН України до переліку фахових та 6 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Загальний об'єм дисертації складає 213 сторінок та включає 56 рисунків, 48 таблиць та 122 джерела використаної літератури.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ПІДПРИЄМСТВ ШВЕЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1. Аналіз пожеж підприємств швейної промисловості

Підприємства швейної промисловості характеризуються високим рівнем автоматизації технологічних процесів, а також значним навантаженням як виробничого обладнання так і сировини [10, 19, 56]. Сукупність виробничого обладнання та сировини на таких підприємствах становить пожежну навантагу, які в момент виникнення джерел займання можуть сприяти виникненню пожеж.

Статистика свідчить, що пожежі швейних підприємств виникали і виникають не тільки на території України, але і за її межами, а частота їх виникнення є доволі високою та має тенденцію до зростання [77, 78, 79, 80].

03 січня 2017 року виникла пожежа у м. Львів по вул. Олени Степанівни, 45 в будівлі заводу «Електрон». До ліквідації даної пожежі залучалось 12 одиниць пожежно-рятувальної техніки та 62 рятувальники. Пожежа характеризувалась значною площею, орієнтовно 2500 м². Внаслідок впливу отримав опіки один пожежний рятувальник. Під впливом факторів пожежі знищено виробниче обладнання підприємства, готову продукцію та сировину [74].



а)

б)

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

26 травня 2017 року у м. Володимир-Волинський Волинської області в одному з виробничих приміщень швейної фабрики виникла пожежа, внаслідок якої одна людина отримала травми. Ймовірно першочергово горіння почалось у горищному приміщенні. Пожежею пошкоджено стіни, перекриття будівлі, знищено виробниче обладнання та сировину джля виготовлення готової продукції. Також внаслідок впливу відкритого вогню зазнали пошкоджень конструкції даху [59].



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

26 січня 2020 року в одноповерховій будівлі швейного цеху розташованого в с. Блощинці Білоцерківського р-ну Київської області виникла пожежа, яка набула площі 1400 м², знищено готову продукцію та сировину для виготовлення одягу, значних пошкоджень зазнало виробниче обладнання та конструкції будівлі виробничого цеху швейного підприємства [51].

6 серпня 2020 року виникла пожежа в м. Харків, пров. Карпатський, 2 у приміщенні швейного цеху розміщеного в нежитловій одноповерховій будівлі. На момент прибуття перших пожежно-рятувальних підрозділів площа пожежі орієнтовно становила 325 м². Жертв і потерпілих внаслідок пожежі немає. Внаслідок впливу факторів пожежі пошкоджень зазнали конструкції даху,

приміщення мансардного поверху. У внутрішніх приміщеннях будівлі знищено виробниче швейне обладнання, а також сировина та готова продукція [13].

7 лютого 2022 року спалахнула пожежа у цеху з виготовлення швейної продукції, який належить заводу Українського товариства сліпих, розташованого у м. Одеса по вулиці Варненська, 21. Під час проведення гасіння пожежі співробітникам ДСНС вдалося розшукати та врятувати потерпілого чоловіка, який знаходився у приміщенні виробничого цеху розміщеного на першому поверсі будівлі. Крім того під час проведення розвідки пожежі було встановлено, що на третьому поверсі також знаходиться один чоловік, який потребує допомоги та через щільне задимлення не може самостійно покинути палаючу будівлю. Рятувальниками успішно евакуйовано та передано медикам даного чоловіка. За попередньо отриманою інформацією, першочергове займання виникло в місці розташування електрощитової розміщеної на першому поверсі виробничої чотирьохповерхової будівлі. Враховуючи те, що пожежа в даній виробничій будівлі супроводжувалась щільним задимленням всі пожежно-рятувальні роботи представниками ДСНС проводились в ізолюючих апаратах на стисненому повітрі. Для ліквідації пожежі, а також її наслідків було залучено 45 осіб з числа рятувальників а також 12 одиниць пожежно-рятувальної техніки [14].

Найбільш кричущим випадком виникнення пожеж за межами України є пожежа, яка виникла 24 листопада 2012 р. в Бангладеш, м. Дакка. Пожежа виникла у вечірню пору в багатоповерховій виробничій будівлі швейної фабрики. Першочергове виникнення пожежі відбулося на першому поверсі, який використовувався як склад сировини та готової продукції. По горючому навантаженню відбувалось швидке поширення пожежі по всьому периметру будівлі та поміж поверхами. Внаслідок пожежі загинуло понад 100 людей. Ймовірною причиною виникнення даної пожежі стало коротке замикання. Знищено будівлю виробниче обладнання, готову продукцію та сировину. Пожежі з великою кількістю жертв є поширеним явищем для сектору швейної промисловості Бангладеш [59].

11 вересня 2012 року виникла пожежа на швейній фабриці м. Карачі, Пакистан. Внаслідок даної пожежі загинуло більше 200 осіб. Горіння виникло у вечірню пору доби. Багато вцілілих людей зазнавали травм бо були змушені вистрибувати через вікна. Недостатня кількість евакуаційних виходів та заграбовані вікна негативним чином вплинули на тривалість часу евакуації та кількість загиблих. До ліквідації пожежі залучено понад 40 одиниць пожежної техніки [16].

04 грудня 2012 року в КНР м. Шаньтоу провінції Гуандун виникла пожежа на швейній фабриці, яка забрала життя 14-ти людей. За інформацією працівників поліції, дана пожежа виникла внаслідок підпалу. Слід відмітити, що Китай є найбільшим виробником та експортером швейних виробів у світі [75].

30 листопада 2020 року в м. Хмельницькому по вул. Тернопільській виникла пожежа швейного цеху, до ліквідації якої залучено 5 пожежних автомобілів та 23 чоловіки особового складу. Велике пожежне навантаження та сильне задимлення створювало труднощі при ліквідації даної пожежі. Пожежу ліквідовано на площі 40 м² [52].

24 січня 2018 року орієнтовно о 11:29 го на пункт зв'язку частини надійшло повідомлення про виникнення пожежі, в Індустріальному р-ні міста Харкова. Горить швейний цех розташований у двоповерховій будівлі на Московському проспекті, 299А/4. Орієнтована площа пожежі на момент прибуття першого підрозділу становить близько 500 м². З палаючого цеху евакуйовано 70 працівників швейного цеху. До ліквідації пожежі залучалось 10 пожежних автоцистерн, 2 автодрабини, 2 аварійно-рятувальних автомобілі, а також 70 чоловік особового складу ДСНС України [76].

Отже провівши аналіз пожеж, що виникали на підприємствах швейної промисловості в Україні та за її межами встановлено, що пожежі швейних підприємств створюють загрозу для життя та здоров'я працюючого персоналу, мають схильність до поширення на значні площі з одночасним знищенням сировини, готової продукції, будівельних конструкцій а також виробничого

обладнання та завдають значних матеріальних збитків, та створюють екологічні проблеми навколишньому середовищу.

1.2 Аналіз причин виникнення пожеж швейних підприємств

У швейній галузі задіяна майже половина працівників легкої промисловості. Швейні підприємства зосереджені як в містах обласного значення, так і в невеликих населених пунктах. Провідну роль у розташуванні підприємств швейних виробництв відіграє наявність трудових ресурсів. Щодо географії підприємств швейної промисловості в Україні, то потрібно відзначити такі міста, як Львів, Київ, Одеса, Дніпропетровськ, Донецьк, Харків, Дрогобич, Запоріжжя, Чернівці, Артемівськ, Умань та ін. [70]. Кількість швейних підприємств та кількість зайнятих працівників у 2010-2019 роках наведено в таблиці 1.1 [37].

Таблиця 1.1

Кількість швейних підприємств 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

Основним завданням підприємств швейної промисловості є забезпечення населення широким асортиментом одягу та інших текстильних виробів. Разом з тим, у зв'язку з великою кількістю працюючого персоналу на цих підприємствах, процеси виготовлення одягу повинні бути пожежобезпечними.

Діяльність підприємств швейної промисловості нерозривно пов'язана із застосуванням технологічних процесів різних рівнів складності та автоматизації. А будь-який виробничий процес, що здійснюється підприємством швейної промисловості характеризується застосуванням легкозаймистих, горючих рідин та горючих матеріалів, а самі процеси виникнення та поширення пожеж на підприємствах швейної промисловості безпосередньо пов'язані з особливостями організації виробництва та рівнем впровадження заходів, спрямованих на запобігання виникненню горіння. В [115] досліджено проблеми забезпечення пожежної безпеки швейних фабрик Бангладешу. Виявлено найбільш поширені порушення правил пожежної безпеки, що можуть зустрічатись під час експлуатації виробничого обладнання в процесі виробництва. Встановлено проблему захаращування шляхів евакуації, недостатнього використання перешкод, в тому числі протипожежних дверей. Враховуючи економічну ситуацію, окреслено проблему з облаштуванням підприємств системами оповіщення та пожежогасіння. Виявлено проблеми із кількістю та розташуванням евакуаційних виходів. Розроблено рекомендації щодо приведення у нормальний з точки зору пожежної безпеки швейних виробництв Бангладешу.

Розглядаючи особливості поширення пожеж підприємств швейної промисловості, слід зазначити, що дані пожежі характеризуються доволі високою швидкістю поширення, яка набуває значень в межах від 0,35м/хв до 2м/хв. [12, 66, 89]. На швидкість поширення пожежі приміщенням швейного підприємства впливають відстані між ділянками з пожежним навантаженням. Встановлено, що швидкість поширення пожежі зростає зі зменшенням відстаней між ділянками. Також дані пожежі характерні наявністю задимлення та токсичних продуктів горіння, дією високої температури в межах від 300 °С до 930 °С. Перераховані фактори створюють значну загрозу для життя та здоров'я працюючого персоналу, а також призводять до знищення виробничого обладнання, сировини, готової продукції, пошкодження або руйнування будівельних конструкцій.

Дослідивши види обладнання, що застосовуються на різних етапах виробничих процесів швейних підприємств встановлено, що таке устаткування доцільно розподілити на наступні види: промислові швейні машини; прасувальне обладнання; розкрійне обладнання; додаткове оснащення; комп'ютерна техніка; вентиляційне обладнання; освітлювальне обладнання; освітлювальна електромережа; силова електромережа [10, 19]. Крім того, неможливо уявити швейне виробництво без працюючого персоналу, який здійснює взаємодію з технологічним обладнанням та сировиною з метою отримання готової продукції. Різностороння взаємодія персоналу, обладнання та горючої сировини не можлива без створення загроз виникнення пожеж швейних підприємств.

Виходячи з технологічної доцільності, основне виробництво швейного підприємства поділене на складові частини. Відсотковий розподіл етапів виробництва по цехах зображено на рис. 1.3 [10].

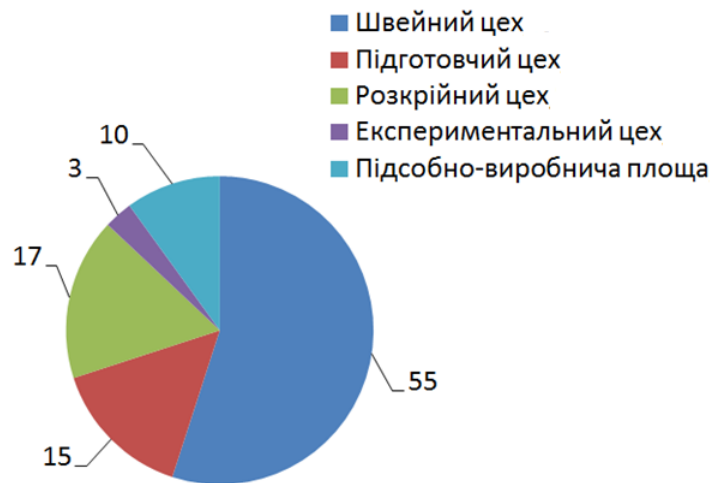


Рисунок 1.3 – Схема співвідношення у відсотках виробничих площ швейного підприємства

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



Рисунок 1.4 – Схема технологічного процесу виготовлення швейної продукції

Вагомий вплив на можливість виникнення та швидкого поширення пожежі 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.

Кожна пожежа, що відбувалася на швейних підприємствах до цього часу мала свою причину виникнення і характеризувалася різною важкістю наслідків. А причина пожежі – це сукупність подій, вчинків окремих людей, станів виробничого обладнання, взаємодія яких приводить до виникнення неконтрольованого горіння. Проведеним дослідженням статистичних джерел

[77, 78, 79, 80], а також науково-методичних [53, 69] встановлено, що за походженням факторів пожежі швейних підприємств доцільно розподілити на наступні типи:

- пожежі, пов'язані з людським фактором;
- пожежі, пов'язані з виробничим устаткуванням;
- пожежі, пов'язані з речовинами і матеріалами;
- пожежі, пов'язані з природними явищами.

Розглянемо причини пожеж, що пов'язані з людським фактором. До таких причин слід віднести: підпал (занесення стороннього джерела запалювання з ознаками спеціальної підготовки або без них); необережне поводження з вогнем; необережність під час проведення вогневих робіт (відігрівання труб, двигунів та іншого обладнання відкритим вогнем), порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок. Пожежі з вище перелічених причин виникають в основному через халатне відношення персоналу підприємств до своїх обов'язків а також відсутності проведення належної підготовки з питань пожежної безпеки [69].

До причин пожеж, що пов'язані з виробничим устаткуванням слід віднести: Несправність виробничого обладнання, порушення технологічного процесу виробництва, використання в роботі обладнання з недоліками конструкції, недотримання регламенту виробничого процесу; електростатичний розряд; руйнування рухомих вузлів та деталей, потрапляння в рухомі механізми чужорідних деталей; несправність системи охолодження апаратів, тертя поверхонь; несправність, відсутність іскрогасного обладнання, аварійна робота електромережі та виробничих електроспоживачів [69].

До причин пожеж, що пов'язані з речовинами та матеріалами відносяться теплове самозаймання, хімічне самозаймання, мікробіологічне самозаймання. В даному випадку причина пожежі залежить від пожежонебезпечних властивостей речовин та матеріалів, їх кількості та умов поводження з ними під час застосування в технологічних процесах [69].

Що стосується причин пожеж, пов'язаних з природними явищами, то слід відмітити, що такі пожежі можуть виникати через дію зфокусованих сонячних променів та теплових проявів розряду атмосферної електрики характерних під час грози. Також важливо враховувати, що виникнення пожеж можливе під час вторинних проявів грозового розряду (електростатичної чи електромагнітної індукції, занесення високого потенціалу). В цих випадках можливість виникнення пожежі виникає при використанні в конструкціях будівель елементів, здатних до фокусування сонячного проміння при одночасному потраплянню даної зфокусованої теплової енергії на місце з пожежною навантагою. У випадку теплових проявів розряду атмосферної електрики пожежі можуть виникати при відсутності системи блискавкозахисту або при її неправильному виборі чи неналежному обслуговуванні [45, 69].

Ймовірні причини виникнення пожеж підприємств швейної промисловості можливо встановлювати на основі інформації про види та стадії технологічних процесів, перелік технологічного обладнання, вид та кількість пожежного навантаження, розпорядок роботи, підготовленість працюючого персоналу у сфері пожежної безпеки, наявність чи відсутність заходів для запобігання пожеж внаслідок впливу природних явищ.

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

У процесі діяльності швейних підприємств, де виготовляють широкий асортимент продукції, у технологічних процесах виробництва обертаються тканини різних видів. В сукупності з виробничим обладнанням тканини входять до складу пожежного навантаження та створюють загрози виникненню та поширенню пожеж. Такі загрози можуть виникати внаслідок порушення правил пожежної безпеки, недотримання умов технологічних процесів, а також в моменти виникнення джерел займання [53]. Джерела займання можуть виникати як за нормальних умов роботи виробничого обладнання, так і за умов виникнення аварійних ситуацій чи інших позарегламентних процесів [69].

Дослідженням [29] встановлено, що залежно від походження волокон тканини бувають природні, штучні та синтетичні. Природні тканини поділяються на мінеральні (азбест), рослинні (абака, бавовна, бамбук, деревне волокно, джут, капок, кенаф, койр, коноплі, льон, пінья, рафія, рамі, сизаль), тваринні (альпака, ангора, бісус, вовна верблюда, вікунья, вовна гуанако, кашемір, кетгут, ківіют, кріль, лама, мохер, павутина, пашміна, собача вовна, сухожилля, шовк та ін.). Штучні тканини поділяють на мінеральні (базальтове волокно, мінеральна вата, скловолокно) та целюлозні (ацетат, бамбук, віскоза, ліоцелюлоза, модал, штучний шовк). До синтетичних тканин належать полімерні, зокрема: акрилік, анід, арселон, арамід, twaron, kevlar, technora, nomex, віналон, вуглеволокно, tenax, дерклон, еластан, зейлон, лайкра, мікрофібра, модакрил, нейлон, олефінове волокно, поліестер, поліетилен, dyneema, spectra, поліпропілен, пролен, полігліколід, спандекс, фторволокно).

Враховуючи широке різноманіття та пожежну небезпеку тканин, дослідженням їх фізико-хімічних параметрів займалися багато науковців. А. С. Пушкаренко та А. А. Чернуха в [64] проводили дослідження займистості та горючості текстильних матеріалів, які оброблялися вогнезахисною гелеутворюючою системою силікат натрію – хлорид кальцію, розробленою в НУЦЗУ, де авторами підтверджена ефективність застосування цієї суміші. Н. І. Коровникова та ін. [48] проводили дослідження за напрямком зниження горючості волокнистих матеріалів, в яких автори підтвердили актуальність проблеми горючості тканин та провели роботу з пошуку найбільш ефективних та екологічно безпечних антипіренів. Сірко З. С. та ін. [67], враховуючи пожежонебезпечні властивості тканин, виконували дослідження з аналізу антипіренів для просочування целюлозовмісних матеріалів та розроблення більш ефективних композицій. В [57] Н. І. Осипенко, Д. В. Колчева удосконалили методику оцінки якості декоративних тканин, призначених для порт'єр, за показниками займистості. У даній роботі також порівнювалась займистість як оброблених, так і не оброблених вогнезахисною речовиною тканин.

В роботах [91, 101, 104, 119] іноземні автори також досліджували процеси займання бавовняних тканин, вивчали способи підвищення стійкості до займання цих тканин з допомогою антипіренів та інгібіторів горіння. Отримані у цих роботах результати дають змогу краще зрозуміти процеси займання та горіння бавовняних тканин. Дослідженням займання та самозаймання тканин займався вчений Дурбетакі [90], який дійшов до висновку, що властивості тканин, необхідні для прогнозування займання включають масу на одиницю площі, питому теплоємність, теплопровідність, температуру запалювання та ентальпію піролізу. При умовах впливу теплового випромінювання також необхідно знати відбиваючу здатність тканин. Встановлено, що термопластичні волокна займаються горіти після процесу плавлення. Фактичні часи виникнення займання у даному дослідженні виміряні для тканин, що містили волокна, які схильні до обвуглювання. Під час проведення досліджень використано потоки щільністю теплового випромінювання від 0,25 до 15 Вт/см². Дослідженням горючості тканин, що застосовуються при виготовленні одягу присвячено роботу [94], в якій автором проаналізовано фактори, що виникають та впливають на процес горіння, зокрема такі як легкість займання від полум'я чи від контакту з розігрітим предметом, від занурення в нагрітий газ або під дією а поле радіаційної енергії), швидкість горіння (зазвичай виражається як швидкість поширення полум'я або масова швидкість вигорання), температура полум'я, тепловіддача, димоутворювальна здатність, виділення токсичних продуктів горіння. В праці [99] авторами досліджувались поведінка в умовах пожежі тканин, які складаються із волокон, оброблених вогнезахисними речовинами. В [105] авторами досліджувались процеси горіння тканин, до складу яких входять поліестер та вовна. Зазначено про пожежну небезпеку даних тканин, яка включає в себе такі фактори як токсичність продуктів горіння, температури займання та самозаймання, швидкість поширення горіння та масова швидкість вигорання. В [106] представлено методологію відображення термічного розкладу та поведінки в умовах пожежі багатокомпонентних волокнистих полімерних тканин. В [107,

112] відображено результати досліджень процесу самозаймання та займання багатокомпонентних тканин, з метою виявлення впливу складових компонентів на процес горіння. В [108] автором представлено результати дослідження горючості тканин з бавовни та поліестеру. В [114] проведено дослідження займання та горіння в текстильних полімерних системах. Проведено аналіз зв'язку між хімічними властивостями матеріалу та його горючістю. Підтверджено важливу роль реакцій піролізу та газифікації, що проходять в складному процесі горіння. Опрацьовано термодинамічні дані хімічних реакцій горіння високомолекулярних сполук. Досліджено механізми дії трьох основних антипіренів для полімерних, галоген-, фосфор- і металовмісних сполук, а також їхні інгібуючі ефекти.

Однак дослідження [91, 101, 104, 119] та інші проводилось за методиками 1979-1996 років, які на сьогодні є дещо застарілими. Тому, зважаючи на відмінність методик досліджень та вимоги часу, виникає необхідність проведення подальших досліджень бавовняних тканин з метою актуалізації результатів та отримання нових залежностей.

На підставі аналізу представлених досліджень встановлено, що автори розглядають тканини в основному як матеріали для облицювання внутрішнього простору приміщень різного призначення. Поруч з цим, у всіх вище зазначених роботах як спосіб підвищення пожежної безпеки розглядається зменшення величин займистості та горючості тканин, однак не проводилось досліджень щодо виявлення найбільш пожежонебезпечних тканин та не досліджували взаємозалежності температур займання і самозаймання від відсоткового вмісту компонентів. Це дає підстави стверджувати, що виконання наукових досліджень властивостей пожежної небезпеки бавовняних тканин є актуальними, і дасть змогу більш якісно обирати, застосовувати та вдосконалювати заходи із запобігання виникненню та поширенню пожеж підприємств швейної промисловості.

За результатами проведених теоретичних досліджень, опублікованих в [73], визначено температури займання деяких тканин та матеріалів, в тому

числі тканин, які найчастіше використовуються у технологічних процесах швейних підприємств (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Температури займання деяких тканин та матеріалів [73]

№з/п	Назва тканини, матеріалу	Температура займання $t, ^\circ\text{C}$
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

Як видно з табл. 1.2, найнижча температура займання властива бавовні. Також зауважено, що найчастіше продукція з бавовняних тканин містить волокна бавовни та поліестеру із широким діапазоном їх відсоткового вмісту [29]. Це дає підстави для проведення експериментальних досліджень температури займання та самозаймання для бавовняних тканин з різноманітним відсотковим складом.

1.4. Основні заходи з протипожежного захисту підприємств швейної промисловості

Швейні підприємства відносяться до виробництв із залученням людських, матеріальних, а також сировинних ресурсів. Їх діяльність пов'язана з виготовленням широковживаної продукції, а процес виготовлення цієї

продукції зазвичай є високотехнологічним і пожежонебезпечним. Пожежну небезпеку в даних виробничих приміщеннях створюють робочі місця, на яких розміщується сировина, готова продукція, швейне та інше виробниче обладнання залежно від стадій технологічного процесу. Пожежі, що виникають на даних підприємствах під час свого розвитку як правило набувають значних площ та потребують значної кількості сил та засобів для їх ліквідації.

Проблематикою забезпечення пожежної безпеки різних за призначенням промислових підприємств займалися багато науковців. Зокрема у дослідженні [20] авторами запропонований комплексний підхід до запровадження різноманітних наявних протипожежних організаційних та технічних заходів із врахуванням пожежного ризику. У [21] із врахуванням видів будівельних конструкцій, які найчастіше зустрічаються на промислових підприємствах проведено дослідження температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій при пожежі, результати яких дозволять встановлювати умови виникнення граничних станів під час впровадження заходів з пожежної безпеки. За результатами теоретичного дослідження поширення пожеж виробничими площами промислових підприємств авторами [22, 27] підтверджено ефективність застосування різних видів протипожежних перешкод у напрямку зниження швидкості поширення горіння. У [26] проведено дослідження сучасного стану забезпечення пожежної безпеки промислових будівель та складів, відображено проблематичні та перспективні напрямки застосування різноманітних організаційних та технічних заходів з пожежної безпеки, на основі чого у [28] запропоновано методiku застосування заходів з протипожежного захисту із врахуванням ризику виникнення пожежі. Відомі дані про використання протипожежних завіс для запобігання поширенню пожеж в культурно-видовищних та адміністративних установах, впровадження яких є актуальним також для промислових підприємств, в тому числі швейних виробництв [46]. В наукових дослідженнях, представлених в [49, 50] авторами акцентовано увагу на таких параметрах як надійність устаткування та пожежної техніки, а також на критеріях прийняття рішень для

успішної ліквідації пожеж промислових підприємств. В роботі [85] проведено дослідження пожежі складського приміщення із висотним стеляжним зберіганням товарів при різних висотах зберігання пожежної навантаги. Авторами досліджено температурні режими, процес поширення пожежі та встановлено, що спринклерна система пожежогасіння є ефективною для умов заданих в цьому дослідженні. Авторами [88] досліджено пожежну небезпеку складів із стеляжним зберіганням продукції. Дані стелажі характеризуються розміщенням значної кількості пожежної навантаги. Для зниження швидкості поширення горіння запропоновано облаштовувати стелажі горизонтальними перешкодами та спринклерами із розміщенням їх у внутрішньо-стеляжному просторі. За результатами цього дослідження встановлено, що запропоновані горизонтальні перешкоди сприяють зниженню швидкості вертикального поширення вогню майже на 30%, а також пришвидшують час спрацювання системи пожежогасіння. В роботі [96] авторами представлено огляд спринклерних систем пожежогасіння для стеляжних складів, встановлено їх ефективність під час гасіння пожеж. В роботі [98] проведено дослідження пожеж, що виникають та поширюються на стелажах складських приміщень промислових підприємств. Проведено порівняння отриманих результатів для випадків пожеж із застосуванням спринклерних систем пожежогасіння та без такого застосування.

Важливим у сфері запобігання поширенню пожеж є процес вогневих випробувань, пов'язаних із пожежною безпекою різних облицювальних систем та матеріалів, якими облаштовуються фасади різних за призначенням будівель та визначення серед них безпечних і придатних для застосування [87]. В [102] представлено результати проведення вогневих випробувань на вогнестійкість зовнішніх систем облицювання стін з метою встановлення можливості їх застосування із врахуванням вимог пожежної безпеки. В [110, 111] проведено порівняння поведінки горизонтальних виступів та штангелів як заходів для запобігання вертикальному поширенню пожежі по фасадах будівель.

Отримання числових даних та порівняння їх між собою здійснювалось з допомогою програмного продукту FDS.

Профілактика пожеж швейних підприємств здійснюється на основі встановлених нормативних вимог, спрямованих на забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки їх виробничих та складських приміщень [63]. 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 [31, 32].

Для визначення обсягів та видів заходів, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки швейних підприємств, які проектуються або вже здійснюють виробничу діяльність необхідно встановити їх категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до [43]. Встановлено, що виробничі та складські приміщення швейних підприємств відносяться до категорії В. В залежності від критеріїв небезпек, що виникають під час виробничого процесу швейних підприємств встановлюється періодичність проведення заходів стосовно дотримання законодавства у сфері пожежної безпеки [61].

Швейні підприємства повинні розміщуватися з врахуванням умов обмеження поширення пожежі між будинками в межах їх території. Це досягається шляхом розташування виробничих і складських будівель із врахуванням переважаючого напрямку вітру та особливостей рельєфу, дотриманням нормативних протипожежних відстаней, використанням будівельних матеріалів зі зниженими показниками пожежної небезпеки під час зовнішніх будівельних робіт, створенням між будівлями протипожежних перешкод [31]. Крім того територія підприємств повинна бути облаштованою огорожею з негорючих матеріалів встановленої висоти. В залежності від площі підприємства, на його території повинна бути облаштована достатня кількість в'їздів та виїздів, пожежних щитів, пожежних водоймищ, засобів освітлення,

блискавкозахисту, пожежного сповіщення, схем розміщення будівель, вододжерел та роз'їзду автомобілів. Дороги та під'їзди до будівель швейних підприємств повинні бути вільними від захащування, виконаними з твердого покриття та забезпечувати безперешкодний проїзд пожежнорятівної техніки до будь-якої будівлі підприємства на момент виникнення пожежі [63].

Щодо забезпечення пожежної безпеки у внутрішньому просторі швейних підприємств, то норми наголошують на важливості та необхідності застосування конструктивних заходів, а також об'ємно-планувальних рішень для запобігання поширенню пожежі всередині приміщень, між приміщеннями та поверхами [32]. На стадії будівництва підприємств швейної промисловості для забезпечення належного рівня пожежної безпеки основні будівельні конструкції, такі як стіни, перегородки, колони, перекриття, несучі елементи сходових клітин повинні відповідати вимогам наведеним у таблиці 1 [31]. Виконання будівельних конструкцій у відповідності до вимог ДБН сприятиме зниженню ризику руйнування будівлі, створить умови для стримування поширення пожежі між виробничими приміщеннями. Об'ємно-планувальні рішення для будівель та приміщень швейних підприємств повинні бути спрямовані на забезпечення належного ступеня вогнестійкості, поділу будівлі швейного виробництва на протипожежні відсіки, забезпечення достатньої кількості евакуаційних шляхів [31, 32, 40].

Важливим є також запобігання використанню у виробничих приміщеннях та на шляхах евакуації горючих облицювань, що під час горіння провокують значні надходження токсичних продуктів горіння та значно знижують видимість на шляхах евакуації, що в свою чергу створює загрози для успішного евакуювання працюючого персоналу [40]. Доцільно застосовувати облицювальні будівельні матеріали із нормативно - допустимими значеннями параметрів пожежної небезпеки [31].

Зниження пожежонебезпечних властивостей будівельних матеріалів, що застосовані всередині будівель швейних підприємств є також важливим напрямком підвищення рівня пожежної безпеки. Прикладами цього є

вогнезахисне обробляння для дерев'яних конструкцій горищ або інших приміщень, використання вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій (ферм перекриття), застосування вогнезахисного шару бетону для різних несучих або самонесучих будівельних конструкцій (колон). Такі заходи дозволяють збільшити вогнестійкість будівельних конструкцій, та запобігають швиткому руйнуванню або виникненню температурних деформацій.

Зниження вибухонебезпеки та пожежонебезпеки технологічних процесів швейних виробництв досягається використанням у виробничому процесі засобів штатної та аварійної примусової чи витяжної вентиляції, що сприяє зниженню концентрацій вибухонебезпечних парів легкозаймистих речовин, що можуть застосовуватися на різних стадіях технологічного процесу пошиття одягу (в основному для знежирення виробничого обладнання). Кондиціонування та вентиляція виробничих приміщень швейних підприємств повинна відповідати вимогам ДБН [35]. Для зниження надходження у виробничий простір виробничого приміщення горючого пилу та волокон на підприємствах організовуються щоденні вологі прибирання як легкодоступних так і важкодоступних ділянок із подальшим занесенням інформації про прибирання в спеціально заведений журнал. Як правило щоденні вологі прибирання приміщень швейних підприємств у комплексі з роботою вентиляції убезпечує виробничі приміщення від виникнення вибухонебезпечних концентрацій горючого пилу і волокон а також парів легкозаймистих рідин, що можуть випадково (з необережності) надійти у виробничий простір.

Враховуючи виникнення пожеж на швейних підприємствах, причини яких пов'язані з аварійною роботою електромереж та обладнання, важливим напрямком забезпечення належного рівня пожежної безпеки є правильний розрахунок електромережі приміщень. Здійснюється такий розрахунок як правило на стадії проектування швейного підприємства та його виробничих діляниць. При цьому враховуються потужності виробничого устаткування, засобів освітлювання та інших споживачів електроенергії, що можуть застосовуватися у виробничому процесі, наприклад офісна комп'ютерна

техніка, яку використовують як правило для проектування одягу чи для забезпечення адміністративних функцій підприємства. Під час експлуатації електромережі швейних підприємств необхідно у встановлені нормативними документами терміни з допомогою ліцензованих організацій проводити перевірку працездатності електромережі шляхом замірів опору ізоляції провідників та заземлювальних пристроїв [63]. Важливим фактором запобігання пожеж від аварійної роботи електромережі є запобігання використанню в електромережі несертифікованих, кустарних засобів для аварійного відключення електромережі, заборона використання з'єднання електропроводників методом «скрутки» з використанням на противагу з'єднань з допомогою клемних блоків. Електрообладнання, яке застосовується у виробничих приміщеннях категорії В за вибухопожежною та пожежною небезпекою повинне бути виконане у пожежозахищеному виконанні. Крім того важливим фактором безпечної експлуатації електроустаткування є чітке дотримання технологічного регламенту роботи, під час якого відбувається чергування роботи і відпочинку, що в свою чергу запобігає значному перегріванню струмопроводних частин виробничого обладнання та подальшого формування умов для виникнення джерела займання [63].

Одним з найважливіших напрямків забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості є обладнання виробничих приміщень системами протипожежного захисту, до яких відносяться автоматичні системи пожежного сповіщення, пожежогасіння та димовидалення [33]. Дані види протипожежного захисту відносяться до активних видів, які спрацьовують на ранній стадії виникнення пожежі та можуть повністю її ліквідувати за умов правильного вибору, застосування та надійного функціонування всіх складових елементів [9, 11]. Відомо, що застосування у виробничому приміщенні швейного підприємства є обов'язковим за умови, що його площа становить понад 500 м², а категорія за вибухопожежною небезпекою – В [33, 43]. Однак при виборі системи та вогнегасної речовини для систем пожежогасіння необхідно враховувати особливості технологічного процесу швейного

виробництва щоб не тільки ліквідувати займання, але й запобігти негативному впливу вогнегасної речовини на технологічне устаткування та сировину чи готову продукцію, розміщену на виробничих ділянках де не відбувається горіння. На стадії проектування важливим є правильний розрахунок даних систем, так як від цього залежить подальша ефективність їх спрацювання під час виникнення пожежі. При експлуатації систем протипожежного захисту необхідно у встановлені нормативними документами терміни проводити їх перевірку та обслуговування із залученням ліцензованих організацій із відображенням результатів таких перевірок у службовій документації підприємств [33]. В роботі [65] представлено аналітичне дослідження щодо ефективності Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», який був уведений у 2011 році. Автор рекомендує внести зміни у законодавчу базу для впровадження нових технологічних бездротових систем пожежної сигналізації та оповіщення, що може призвести до зниження вартості таких систем при широкому використанні.

Наступним заходом з забезпечення пожежної безпеки, що широко застосовується є забезпечення виробничих приміщень первинними засобами пожежогасіння, до яких відносяться вогнегасники [38, 42, 63]. Даний вид засобів застосовується на ранній стадії пожежі та є ефективним, коли вона займає не значну площу. На підприємствах швейної промисловості, які забезпечені первинними засобами пожежогасіння доцільно стежити за їх справністю, у нормативно встановлені терміни проводити їх технічне обслуговування та заправку вогнегасними речовинами [62]. Крім того на підприємствах швейної промисловості повинні заводитись журнали обліку та експлуатації вогнегасників, в яких вказується кількість, вид, місце розташування, дату технічного обслуговування та дату наступного обслуговування [63]. Крім того важливим залишається процес ліквідації пожежі із залученням підрозділів ДСНС, який потребує значної кількості вогнегасних речовин, основною з яких є вода, тому необхідним є облаштування як внутрішнього так і зовнішнього протипожежного водопостачання [34, 36].

До організаційних заходів спрямованих на забезпечення пожежної безпеки швейних підприємств, які в тій чи іншій мірі впроваджуються, проте у зв'язку з наявними пожежами повинні постійно вдосконалюватися відносять:

- підвищення рівня безпеки умов праці;
- зниження до мінімального значення ризиків виникнення горіння;
- контроль за забезпеченням виробництв технічними засобами запобігання та ліквідації пожеж;
- розроблення та впровадження регламентів, що стосуються порятунку і евакуації працюючого персоналу з місць виникнення пожеж, порятунку виробничого обладнання та продукції;
- забезпечення контролю за дотриманням вимог і норм нормативних документів у сфері пожежної безпеки;
- проведення навчань, інструктажів з питань пожежної безпеки для відповідальних за пожежну безпеку осіб та працюючого персоналу швейних підприємств. Крім того, враховуючи наслідки та площі пожеж, що мали місце на підприємствах швейної промисловості в Україні та за її межами, важливим є також робота над підвищенням ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації таких пожеж [17].

Провівши теоретичне дослідження наявних заходів з забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості, встановлено, що для виробничих приміщень швейних підприємств категорії В площею до 500 м² відповідно до нормативних документів не вимагається застосування автоматичних систем пожежогасіння, як найбільш ефективних вогнегасних засобів [33]. Це створює передумови для наукових досліджень в напрямку пошуку додаткових заходів з протипожежного захисту, що сприятимуть ефективнішому застосуванню первинних засобів пожежогасіння та підвищать рівень забезпечення пожежної безпеки. В момент виникнення пожежі найважливішим завданням адміністрації є проведення евакуації працюючого персоналу з палаючого приміщення. В подальшому можливим є також застосування на ранній стадії пожежі вогнегасників, що може врятувати

ситуацію та запобігти подальшому поширенню пожежі. Але, як показує практика, пожежі швейних виробництв, на яких відсутні автоматичні системи пожежогасіння та інші системи протипожежного захисту, на момент прибуття пожежно-рятувального підрозділу охоплюють всю площу приміщення. У зв'язку з цим виникла необхідність пошуку додаткових способів підвищення пожежної безпеки виробничих приміщень швейних підприємств.

Під час аналізу заходів з протипожежного захисту виробництв швейних підприємств не було виявлено жодного випадку застосування протипожежних перешкод — теплозахисних панелей (екранів), спрямованих на захист окремих робочих місць, що може бути пов'язано з відсутністю подібних вимог у нормативних документах, які регламентують забезпечення пожежної безпеки. Це вимагає проведення наукових, теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку ефективності застосування теплозахисних панелей або екрануючих захисних панелей.

Для вибору місця для проведення дослідження необхідно визначити виробниче приміщення, де для виробничого процесу задіяна найбільша кількість персоналу, і в якому знаходиться найбільша кількість потенційних джерел займання. Теоретичними дослідженнями встановлено, що таким виробничим приміщенням, де одночасно створюється загроза для життя і здоров'я значній кількості людей, є швейний цех, крім цього наявність значної кількості виробничого швейного обладнання різного функціонального призначення забезпечує створення умов для виникнення джерел займання. Як правило, розташування ймовірного джерела займання збігається з розташуванням певного робочого місця.

Тому для підвищення ефективності застосування первинних засобів пожежогасіння у швейних цехах підприємств необхідно створити умови, спрямовані на зниження швидкості поширення пожежі. З цією метою було розроблено та запропоновано спосіб, представлений у [68], який передбачає створення умов для запобігання поширення горіння між ділянками з пожежним навантаженням. Проте даний спосіб потребує проведення наукових

досліджень, спрямованих на виявлення впливу факторів, що мають місце під час пожеж швейних цехів, а також перевірки та встановлення ефективності його застосування під час виникнення пожежі. Таку перевірку на даний момент доцільно проводити з допомогою комп'ютерного моделювання та натурних вогневих випробувань.

1.5. Аналіз наукових досліджень у сфері моделювання пожеж підприємств швейної промисловості

Пожежі, що виникають на підприємствах швейної промисловості характеризуються здатністю поширюватись на значні площі, а також значною швидкістю поширення. Це досягається розміщенням у виробничих приміщеннях швейних підприємств горючої сировини та готової продукції, а також різного за призначенням виробничого обладнання, що становить значну пожежну небезпеку.

Для зниження рівня пожежної небезпеки виробничих процесів швейних підприємств необхідно проводити наукові дослідження. Найбільшу небезпеку становлять експериментальні дослідження, пов'язані з реальним відображенням процесу горіння та подальшим його моделюванням. У зв'язку з великою ймовірністю виходу з під контролю та загрози виникнення пожеж, даний вид досліджень неможливо проводити безпосередньо на швейних виробництвах.

З метою убезпечення процесів моделювання пожеж а також зниження рівня негативного впливу на навколишнє середовище для наукових досліджень застосовуються різноманітні методи, зокрема, математичне моделювання, комп'ютерне моделювання а також натурні експерименти із використанням масштабованих або повно розмірних моделей виробничих приміщень чи окремих виробничих ділянок швейних підприємств.

Підприємства швейної промисловості відносяться до промислових підприємств, тому доцільно враховувати також дослідження науковців, що займались моделюванням пожеж різних за призначенням виробництв.

В роботі [23] проведено моделювання збитків від пожежі для різних за призначенням об'єктів із врахуванням впливу пожежного ризику. В [24] авторами представлено застосування статистичного методу моделювання, для приміщення в якому виникла пожежа.

В роботі [71] авторами на основі застосування методу редукції, концепції квазіпохідних, положень сучасної теорії систем лінійних диференціальних рівнянь, а також методу Фур'є та методу власних функцій запропоновано і обґрунтовано прямий метод розрахунку нестационарного температурного поля за умов пожежі. Авторами на основі розробленого методу представлено розрахунок температурного поля для чотиришарової стінки в умовах пожежі. Отримані результати є актуальними та можуть застосовуватись для покращення протипожежних властивостей будівельних конструкцій приміщень підприємств швейної промисловості.

В роботі [25] на основі результатів експериментальних досліджень з використанням дробовофакторного експерименту авторами розроблено метод моделювання та отримано статистичну модель пожежі у закритому просторі з обмеженим доступом кисню, що дає змогу встановити температури пожежі як в її осередку, так і на різних відстанях від нього.

В роботі [30] авторами проведено експериментальне дослідження з метою виявлення розрахункових температурних кривих пожежі в приміщенні. Дане дослідження проведено з використанням експериментальної печі, яка моделює приміщення із встановленими геометричними розмірами та визначеною щільністю пожежної навантаги. Авторами встановлено, що у порівнянні з параметричною та стандартною кривими, розрахункова крива BFD порівняно добре описує експериментальну криву.

В роботі [47] з використанням математичних моделей автором досліджувались фактори впливу, які виникають під час пожеж деревообробних підприємств з метою виявлення можливості запобігання поширенню пожежі на значну площу. Встановлено, що фізична природа матеріалів, а також геометрична структура пожежної навантаги є вагомими факторами впливу на

швидкість вигорання твердих матеріалів. Автором здійснено моделювання пожежі за умов її розвитку при двох режимах. При першому режимі наявна достатня для горіння концентрація кисню і розвиток пожежі залежить від кількості пожежної навантаги. При другому режимі пожежі, її розвиток відбувається при не достатній концентрації кисню, тобто під впливом вентиляції. Отримані автором результати, а також математичні моделі можна застосовувати також для виробничих приміщень швейних підприємств. В [49] автор досліджував проблеми забезпечення ліквідації пожежі на промислових підприємствах з урахуванням надійності пожежної техніки та устаткування з використанням оптимізаційних імітаційних моделей. В дослідженні [54] запропоновано теоретичні підходи, в яких у запропонованій автором послідовності враховуються різноманітні параметри щодо виявлення впливу ефективності функціонування системи протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику. Авторським колективом [58] проаналізовано фактори, що впливають на час слідування пожежного автомобіля до місця виклику з метою розроблення моделей, що найкраще відображатимуть цей процес та дозволять його оптимізувати.

Моделюванням пожеж підприємств швейної промисловості займалися багато іноземних науковців, зокрема A. Shamsul, A. Firoz, F. M. Haque, M.A. R. Khandoker, M. Wasi, R. M. Khan, S. A. Mahmud, and M. A. Rahman, R. J. Mou, A. Muntaha. У своїх дослідженнях дані науковці використовували програмні продукти, такі як Space Syntax System, PyroSim, Pathfinder, Computational Fluid Dynamics (CFD).

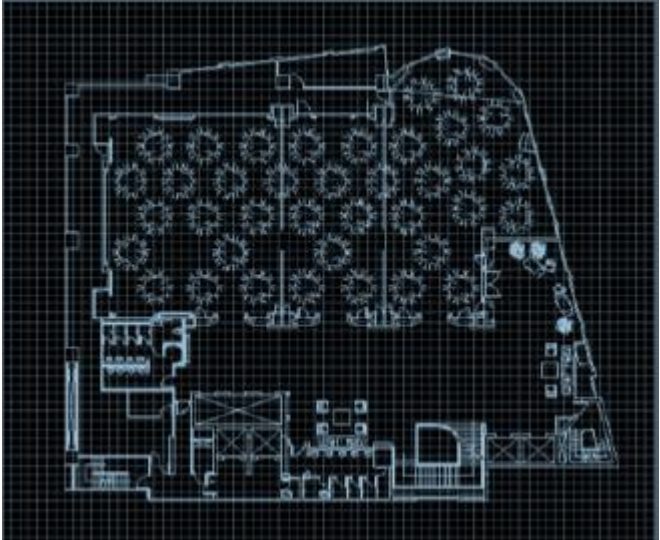
В роботі [93] за допомогою програмного комплексу Space Syntax System здійснено моделювання процесу евакуації працюючого персоналу під час пожежі. Space Syntax — це програмне забезпечення, яке розроблено Університетським коледжем Лондона в 1990-х роках для дослідження різноманітних моделей пересування людей. Програмний комплекс дозволяє досліджувати моделі пересування людей у різних масштабах — від масштабу великого міста до масштабу невеликого приміщення.

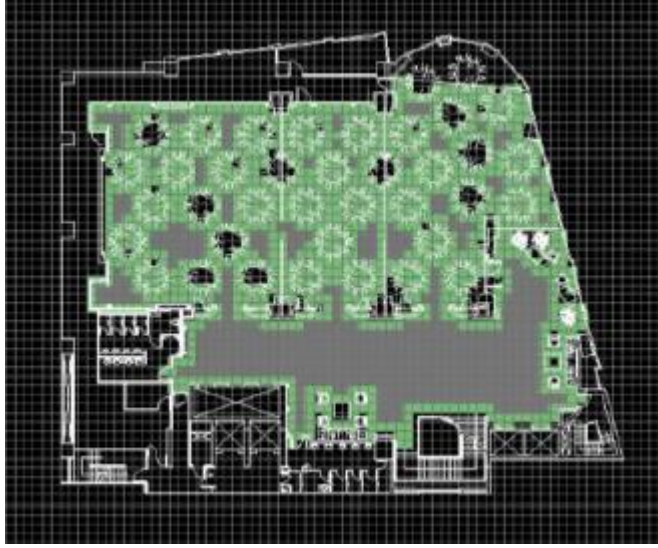
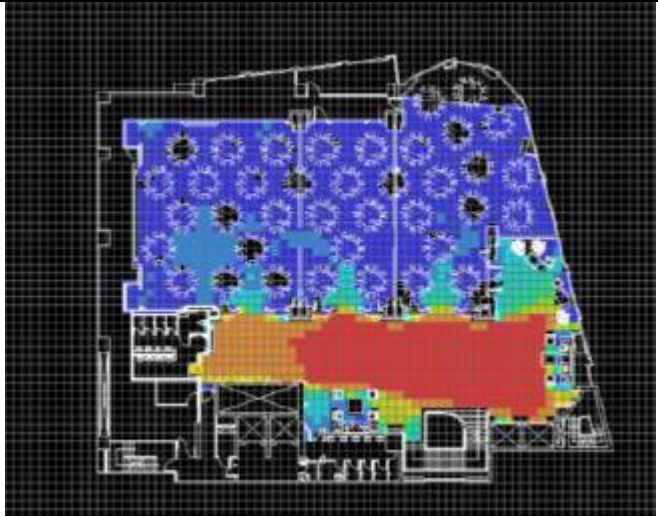
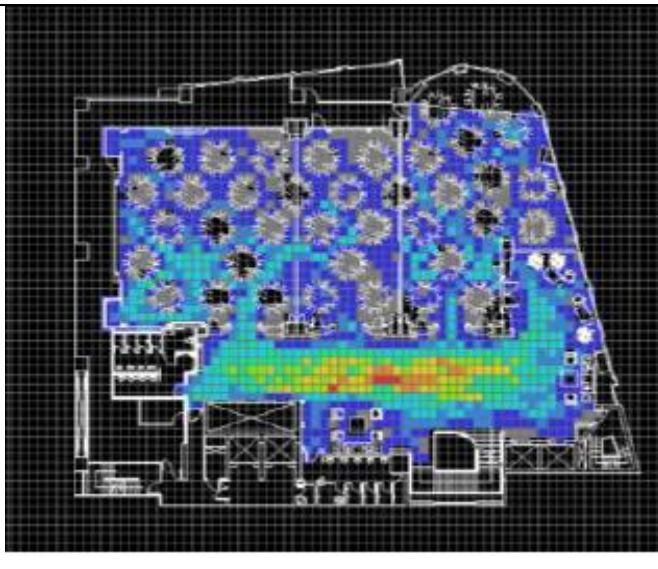
Програма працює в двох форматах: в аксіальному та в isovist. Для дослідження планування швейної фабрики використано формат isovist. Для дослідження процесу евакуації працюючого персоналу застосовано два інструменти – «кутовий аналіз» та «метричний аналіз». Під час проведення кутового аналізу враховується діагональна відстань точки від евакуаційного виходу. При кутовому аналізі не береться до уваги кількість поворотів, що зустрічаються на шляху персоналу до евакуаційного виходу із встановленої точки виробничого приміщення. При кутовому аналізі не беруться до уваги розміри евакуаційного виходу чи щільність працюючого персоналу. Під час метричного аналізу моделі пересування використовується значення відстані від певної точки в приміщенні до евакуаційного виходу, при цьому враховуються всі наявні перешкоди а також повороти.

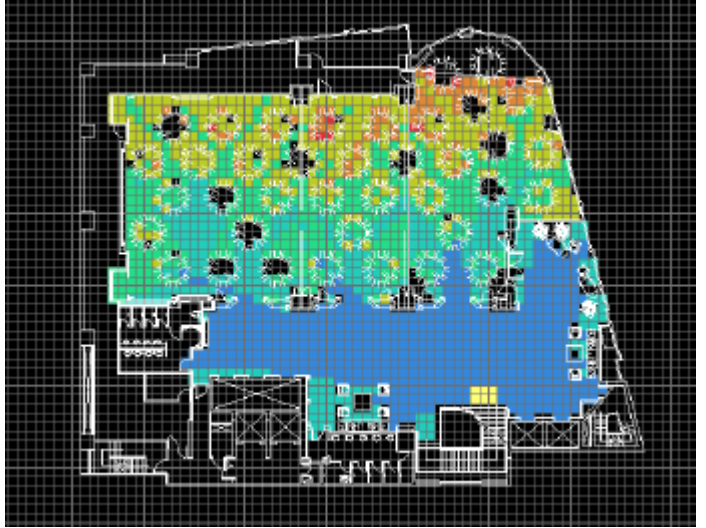
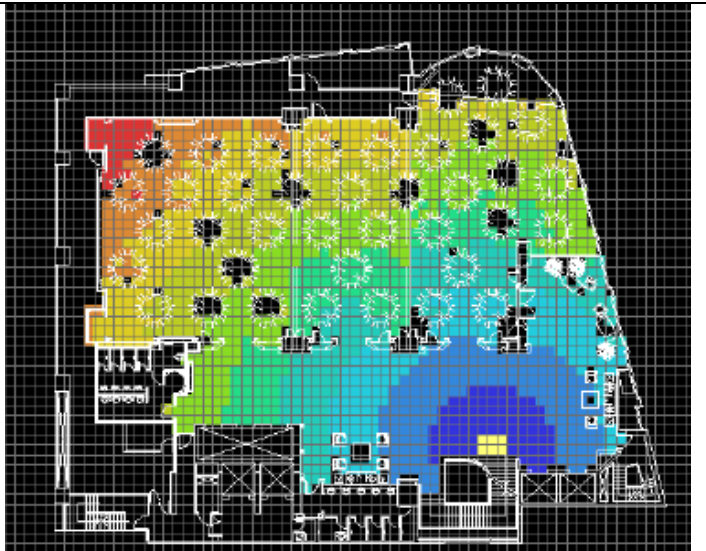
Етапи проведення кутового та метричного аналізу з використанням Space Syntax відображено в таблиці 1.3 [93].

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	

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.	

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.	

За результатами подальшого аналізу було встановлено ряд факторів, що впливають на процес евакуації. До визначених факторів впливу, що можуть створювати загрози для працівників швейних підприємств під час ймовірної пожежі автором віднесено:

- довжини та ширини шляхів, що ведуть до евакуаційних виходів;
- розміри евакуаційних виходів та їх пропускна здатність;
- значення відстаней від найвіддаленіших точок у виробничому приміщенні до евакуаційних виходів;

- щільність працюючого персоналу, що евакуйовується;
- кути розташування евакуаційних виходів по відношенню до напрямів евакуації;
- кількість евакуаційних шляхів та виходів з виробничого приміщення швейного підприємства;
- конструктивні та дизайнерські рішення стосовно розміщення виробничих ділянок.

В науковій роботі [118] проведено дослідження пожежної небезпеки підприємств швейної промисловості. В даній роботі з допомогою лінійної математичної моделі, відображеної формулою проведено чисельне визначення ризику виникнення пожежі з врахуванням змінних параметрів. До параметрів, що враховуються під час розрахунку віднесено характеристики евакуаційних шляхів, наявність первинних засобів пожежогасіння, їх вид, кількість, справність, наявність джерел протипожежного водопостачання, їх достатність, та ін.

Широкого використання набуло використання комп'ютерного моделювання пожеж підприємств швейної промисловості шляхом застосування програмного комплексу PyroSim. Авторами [100] проведено моделювання пожежі в семиповерховій будівлі швейної фабрики з метою перевірки ефективності організації процесу евакуації робітничого персоналу з будівлі. Під час моделювання враховували рівень задимленості, кількість токсичних продуктів згоряння, зокрема СО, а також швидкість зростання температури. За результати моделювання авторами встановлено доцільність вдосконалення системи димовидалення та обладнання складських приміщень справними протипожежними дверима, які б убезпечували сходові клітини від потрапляння диму та продуктів горіння на шляхи евакуації.

В наступних дослідженнях, представлених в роботі [95] для комп'ютерного моделювання процесу евакуації людей з швейної фабрики під час пожежі використано програмний комплекс Pathfinder, а процес зростання температури та димоутворення моделювалися у PyroSIM. Дане програмне

забезпечення підтримує формати Autodesk DXF і DWG, IFC-формат, а також DWG, FBX, DAE і OBJ. На основі імпортованих графічних файлів, з допомогою інструменту вилучення підлоги в дослідженнях враховано різноманітні сценарії розвитку пожежі та проведення евакуації. Проаналізовано найкращу модель проведення евакуації, визначено моменти найбільших загроз, надано рекомендації стосовно застосування безпечних конструктивних рішень. В [116] автори використовуючи метод повнофакторного експерименту провели дослідження, за результатами якого отримали залежність часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів від виду горючого матеріалу, а саме його масової швидкості вигорання, відстані та висоти розміщення сповіщувачів від потенційного місця пожежі. На основі отриманої залежності запропоновано методику більш ефективного розташування пожежних сповіщувачів, що дозволяє пришвидшити процес виявлення горіння на ранній стадії виникнення.

Провівши аналіз наукових досліджень, пов'язаних з моделюванням пожеж підприємств швейної промисловості в Україні та за кордоном встановлено, що значного поширення набуло комп'ютерне моделювання із застосуванням різноманітних програмних засобів. Також слід зазначити, що в основному дані дослідження проводились з метою вдосконалення процесу виявлення пожежі та евакуації працюючого персоналу з виробничих приміщень швейних підприємств, охоплених пожежею. Слід зазначити, що досліджень стосовно моделювання пожеж виробничих приміщень швейних підприємств, у яких застосовувались локальні протипожежні перешкоди, а саме екранувальні панелі проведено в недостатній кількості.

1.6. Висновки, ідея, мета та завдання досліджень

Боротьба з пожежами на підприємствах швейної промисловості є складною задачею, яка потребує залучення значних матеріальних та людських ресурсів. Виявлення та запобігання поширенню пожежі на ранній стадії є найбільш ефективним заходом, оскільки це дозволяє зменшити ризики для працівників і рятувальних служб, а також уникнути значних матеріальних

збитків. Рівень пожежної небезпеки на швейних виробництвах доволі високий, а наслідки пожеж можуть набувати катастрофічних масштабів. Дотримання правил безпеки та пошук нових додаткових заходів із забезпечення пожежної безпеки має вагомий вплив на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій.

1. На сьогоднішній день не відомо про застосування екранувальних панелей для робочих місць швейних підприємств, які призначені для запобігання поширенню горіння по виробничому просторі та зниження впливу небезпечних чинників пожежі.

2. Необхідним є проведення досліджень ефективності застосування екранувальних панелей з допомогою використання засобів комп'ютерного моделювання та вогневих полігонних випробувань.

Вище викладена інформація стосовно стану пожежної безпеки створила основу для формулювання ідеї роботи, яка полягає в підвищенні ефективності забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості України шляхом застосування екранувальних панелей як локальних протипожежних перешкод, дія яких спрямована на зниження швидкості поширення пожежі та впливу небезпечних чинників пожежі.

Метою роботи було забезпечення пожежної безпеки швейних виробництв за рахунок зменшення розповсюдження пожежі та збільшення проміжку часу настання НЧП за допомогою екранувальних панелей.

Для досягнення поставленої мети визначено до розв'язання такі завдання досліджень:

- провести аналіз національної та світової статистики пожеж, що виникали на підприємствах швейної промисловості, дослідити сучасний стан забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості України, запропонувати шляхи його покращення;

- провести лабораторні дослідження температур займання та самозаймання тканин з бавовни та поліестеру в залежності від відсоткового вмісту бавовни як найбільш поширених складових пожежної навантаги швейних підприємств;

- з допомогою використанням комп'ютерного моделювання та експериментальних вогневих випробувань провести дослідження ефективності застосування екранувальних панелей для робочих місць швейних підприємств;
- провести валідацію комп'ютерних моделей, які описують процес виникнення та розвитку горіння швейно-виробничих ділянок;
- провести дослідження впливу застосування екранувальних панелей на процес формування небезпечних чинників пожежі та розробити рекомендації щодо використання ЕП для робочих місць швейних підприємств.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ШВЕЙНО-ВИБРОБНИЧИХ ДІЛЯНОК

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

Актуальність проведення наукових досліджень із застосуванням методу повнофакторного експерименту підтверджена науковцями у різних працях, що стосуються сфери пожежної безпеки промислових підприємств [55]. А послідовність визначення факторів впливу та порядок проведення і оформлення досліджень представлено у джерелах [15, 18]

Важливим методом дослідження ефективності застосування екранувальних панелей під час пожежі є теоретичне експериментальне дослідження. Таке дослідження передбачає наступні етапи:

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 пожежну навантагу робочого місця Q .

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

Використовуючи методи планування експерименту з метою подальшого проведення повнофакторного експерименту проводиться кодування факторів та визначення значень їх рівнів, інформація про які наведена у таблиці 2.1.

Кодування факторів та значення їх рівнів

Інтервали та рівні факторів	Відстань від екранувальної панелі від ділянки з навантаженням L , м	Висота екранувальної панелі (екрана) h_n , м	Значення питомої пожежної навантаги ділянки Q , МДж
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 δ_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 δ_i визначаються відповідно до формул [15, 18]:

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

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

Для повнофакторного експерименту типу 2^k з числом факторів 3 стандартна математична модель, що відображує вплив обраних факторів на температуру нагрівання відображається у вигляді лінійної залежності, яка має 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

№ Дослід	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_2x_3	$x_1x_2x_3$	τ, v_i	τ, v_i	τ, v_{c3}
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	τ, v_{11}	τ, v_{21}	τ, v_{c3}
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	τ, v_{12}	τ, v_{22}	τ, v_{c3}
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	τ, v_{13}	τ, v_{23}	τ, v_{c3}
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	τ, v_{14}	τ, v_{24}	τ, v_{c3}
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	τ, v_{15}	τ, v_{25}	τ, v_{c3}
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	τ, v_{16}	τ, v_{26}	τ, v_{c3}
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	τ, v_{17}	τ, v_{27}	τ, v_{c3}
8	1	1	1	1	1	1	1	τ, v_{18}	τ, v_{28}	τ, v_{c3}

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

$$G = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G(0,05; f_n; f_g), \quad (2.3)$$

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

S_i^2 - значення дисперсії i -го дослід

Де $S_{i\max}^2$ обираємо з S_i^2 .

$$S_i^2 = \frac{\sum (y_{li} - y_{сепi})^2}{m_0 - 1} \quad (2.4)$$

Підставимо отримані значення з таблиці 2 в формулу

$$G = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G(0,05; f_n; f_g) \quad (2.5)$$

f_n – число незалежних дослідів. У даному випадку проводиться 8 дослідів;
 f_e – число ступенів вільності кожної оцінки $f_b = m_0 - 1$. Оскільки проводиться 2 паралельні досліди, то число ступенів вільності, відповідно, буде рівним $f_b = 1$.

З таблиці додатку для заданих значень вибираємо значення критерію Кохрена:

$$G_{(0,05;8;1)} = 0,6798 \quad (2.6)$$

Визначається дисперсію відтворюваності за формулою:

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} \quad (2.7)$$

Коефіцієнти регресії визначаються відповідно до формул:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum_{i=1}^N y_{cep.i}}{N}; \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N x_1 y_{cep.i}}{N}; \quad b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_2 y_{cep.i}}{N}; \quad b_3 = \frac{\sum_{i=1}^N x_3 y_{cep.i}}{N}; \quad b_4 = \frac{\sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_{cep.i}}{N}; \\ b_5 &= \frac{\sum_{i=1}^N x_1 x_3 y_{cep.i}}{N}; \quad b_6 = \frac{\sum_{i=1}^N x_2 x_3 y_{cep.i}}{N}; \quad b_7 = \frac{\sum_{i=1}^N x_1 x_2 x_3 y_{cep.i}}{N}; \end{aligned} \quad (2.8)$$

Перевірка адекватності моделі проводиться за допомогою критерія Фішера.

Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_e^2} \leq F_{(0,05; f_n; f_e)} \quad (2.9)$$

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{cep} - y_{mod.i})^2}{N - m - 1} \quad (2.10)$$

де N - кількість дослідів, m - повторюваність дослідів.

y_{cep} - середнє значення відгуку в i -досліді.

$y_{mod.i}$ - розраховане за моделлю значення відгуку в i -досліді.

Перевірка адекватності моделі:

$$S_{ad}^2 = 0 \quad (2.11)$$

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\epsilon}^2} \leq F_{(0,05; f_n; f_{\epsilon})} = 3,687 \quad (2.12)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії.

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

Умова значущості має вигляд:

$$|b_i| \geq b = t_{(0,05; f_{\epsilon})} \cdot \frac{S_{\epsilon}}{\sqrt{N}} \quad (2.13)$$

$t_{(0,05;8)} = 2,3$ критерій Стюдента 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.

Отримане рівняння представляється з кодовими факторами у вигляді з натуральними змінними. Отримане рівняння представляється у спрощеному вигляді.

Підготовка полігону та обладнання: для проведення експерименту в середовищі PyroSim проектується полігон, в якому імітуються умови пожежі із врахуванням факторів впливу. Досліджуване робоче місце швейного підприємства обладнується екранувальними панелями. Для замірів температури застосовуються віртуальні термопари.

Під час експерименту вимірювання температур здійснюється на різних відстанях від екранувальної панелі, а також із врахуванням зміни висоти панелі та зміни величини пожежної навантаги ділянки. З метою перевірки відтворюваності досліду проводяться повторні вимірювання для різних комбінацій впливу визначених факторів.

Проводиться аналіз результатів: отримані дані можуть бути оброблені з використанням статистичних методик, що дозволяє оцінити вплив кожного фактора та їх взаємодію на ефективність застосування екранувальних панелей.

Висновки: на основі результатів проведених досліджень можна зробити висновки про ефективність застосування екранувальних панелей в різних умовах пожежі.

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

Забезпечення належного рівня пожежної безпеки швейних підприємств досягається застосуванням різноманітних засобів протипожежного захисту, які включають в себе системи блискавкозахисту, системи пожежного сповіщення та пожежогасіння, системи аварійної вентиляції, первинні засоби пожежогасіння, протипожежні перегородки, які розділяють виробничі приміщення на протипожежні відсіки. Проте існує ряд виробничих приміщень швейних підприємств площею до 500 м², на яких застосування систем пожежогасіння не відбувається [33]. Пожежна безпека таких виробництв забезпечується лише застосуванням протипожежних дверей на вході в приміщення та забезпеченням їх відповідними типами вогнегасників. В момент виникнення пожежі найважливішим завданням адміністрації є проведення евакуації працюючого персоналу з палаючого приміщення. В подальшому можливим є також застосування на ранній стадії пожежі вогнегасників, що може врятувати ситуацію та запобігти подальшому поширенню пожежі. Але, як показує практика, пожежі швейних виробництв, на яких відсутні автоматичні системи пожежогасіння та інші системи протипожежного захисту, на момент прибуття пожежно-рятувального підрозділу охоплюють всю площу приміщення.

Для вибору місця для проведення дослідження необхідно визначити виробниче приміщення, де для виробничого процесу задіяна найбільша кількість персоналу, і в якому знаходиться найбільша кількість потенційних

джерел займання. Теоретичними дослідженнями встановлено, що таким виробничим приміщенням, де одночасно створюється загроза для життя і здоров'я значній кількості людей, є швейний цех, крім цього наявність значної кількості виробничого швейного обладнання різного функціонального призначення забезпечує створення умов для виникнення джерел займання. Як правило, розташування ймовірного джерела займання збігається з розташуванням певного робочого місця [4].

Робоче місце швейного підприємства – це виробнича ділянка, на якій зконцентрована значна кількість пожежної навантаги у вигляді готової продукції та сировини. Робоче місце характеризується площею, висотою та розміщується на встановлених відстанях від інших робочих місць. Також на даній ділянці розміщено виробниче обладнання, яке у випадку виникнення аварійних ситуацій може сформувати умови для утворення джерел займання, виникнення та поширення горіння швейним виробничим приміщенням.

Дослідження з виявлення впливу чинників на ефективність застосування теплозахисних панелей для швейних робочих місць під час пожежі включають визначення максимальної температури нагрівання захищеної та незахищеної ділянок швейного робочого місця, дослідження часу набуття максимального значення температури нагрівання захищених ділянок, дослідження швидкості поширення горіння по ділянках з пожежною навантагою.

Відповідно до [113] проведено комп'ютерне моделювання в середовищі PyroSim FDS горіння пожежної навантаги швейного робочого місця, обладнаного екранувальними панелями з метою дослідження поведінки даних панелей під час пожежі. Під час комп'ютерного моделювання у середовищі PyroSim відбувається розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса та використання інформаційних даних, відображених у технічній літературі [92, 113].

Побудову 3D-моделі виробничої ділянки виконали в середовищі *PyroSim*, а моделювання пожежі – в *FDS* з використанням персонального комп'ютера з процесором *Intel(R) Core i5-2500K 3.7 GHz* та оперативною пам'яттю *16,00 ГБ*.

Опрацювання результатів досліджень здійснювали за числовими даними сформованих по завершенні моделювання програмних файлів, використовуючи методи регресійного аналізу та електронні таблиці *MS Excel*.

Для перевірки ефективності застосування екранувальних панелей для робочих місць швейних підприємств, враховуючи види пожежної навантаги, що обертаються у виробничому процесі, визначили температури самозаймання тканин з бавовни та поліестеру, при яких виникає горіння даних матеріалів пожежного навантаження робочого місця.

Моделювання проводили для фрагменту швейного цеху, в якому розташовано окрему виробничу ділянку, обладнану екранувальною панеллю. Панель виконана з металевого листа. Дане рішення обґрунтовуємо тим, що метал характеризується високим ступенем вогнестійкості, значенням межі поширення полум'я M_0 та відносною дешевизною реалізації. Функціонал програмного комплексу *PyroSim* дає змогу відтворити різноманітні значення комірок сітки. У нашому випадку розмір комірок становить $0,25 \times 0,25 \times 0,25$ м, при цьому розміри домену становлять $6 \times 2,5 \times 3,2$ м. Горючий матеріал пожежної навантаги мав такий хімічний склад – $C_{2,1}H_{33,8}O_{1,7}$, який властивий тканинам з бавовни та поліестеру [113].

Проведено моделювання для 8 дослідів із врахуванням зміни наступних 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 $1,5 \text{ м}^2$, 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 I_{en} 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 відстанях 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, що є достатньою для доїзду підрозділів ДСНС, оперативного розгортання та подавання стволів на гасіння пожежі [83]. На основі отриманих під час моделювання результатів, використовуючи додаток *Smokeview*, здійснили візуалізацію процесу перебігу горіння.

Проведено дослідження швидкості поширення пожежі для заданих умов. Швидкість поширення пожежі є параметром, який дозволяє прогнозувати ймовірну площу пожежі у виробничому просторі. Що в свою чергу дозволяє визначати кількість сил та засобів достатніх для успішної ліквідації пожежі, а також прогнозовані збитки, в залежності від розміщених у виробничому просторі матеріально – технічних ресурсів. Значення швидкості поширення пожежі для текстильних матеріалів відповідно до довідникових даних знаходиться в межах 0,3 м/хв – 0,4 м/хв [66].

За відстань для вимірювання швидкості поширення горіння для захищеної сторони приймається відстань від геометричного центру макетного вогнища до першої термопари, розташованої за екрануючою захисною панеллю. За відстань для вимірювання швидкості розповсюдження пожежі з незахищеної сторони приймається відстань від геометричного центру макетного вогнища до першої термопари.

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

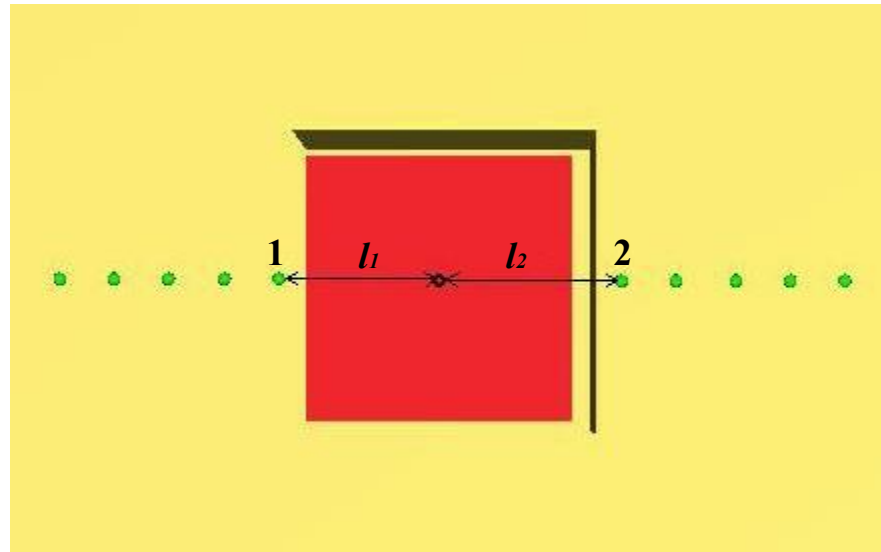


Рисунок 2.1. – Схема розміщення макетного вогнища, обладнаного екранувальними панелями, де 1, 2 – термопари, l_1 , l_2 – відстані від геометричного центру до термопар;

Швидкість поширення горіння для незахищеної сторони запропоновано визначати за формулою:

$$v_1 = \frac{l_1}{\tau_{c31}} \quad (м / с) \quad (2.14)$$

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

при цьому $l_{мв}$ – довжина сторони макетного вогнища, а 0,05 - сталі значення, яке дорівнює відстані розміщення першої термопари від макетного вогнища, $м$, τ_{c31} – час до виникнення температури самозаймання у місці розташування термопари.

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

$$v_1 = \frac{l_2}{\tau_{c32}} \quad (м / с) \quad (2.16)$$

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

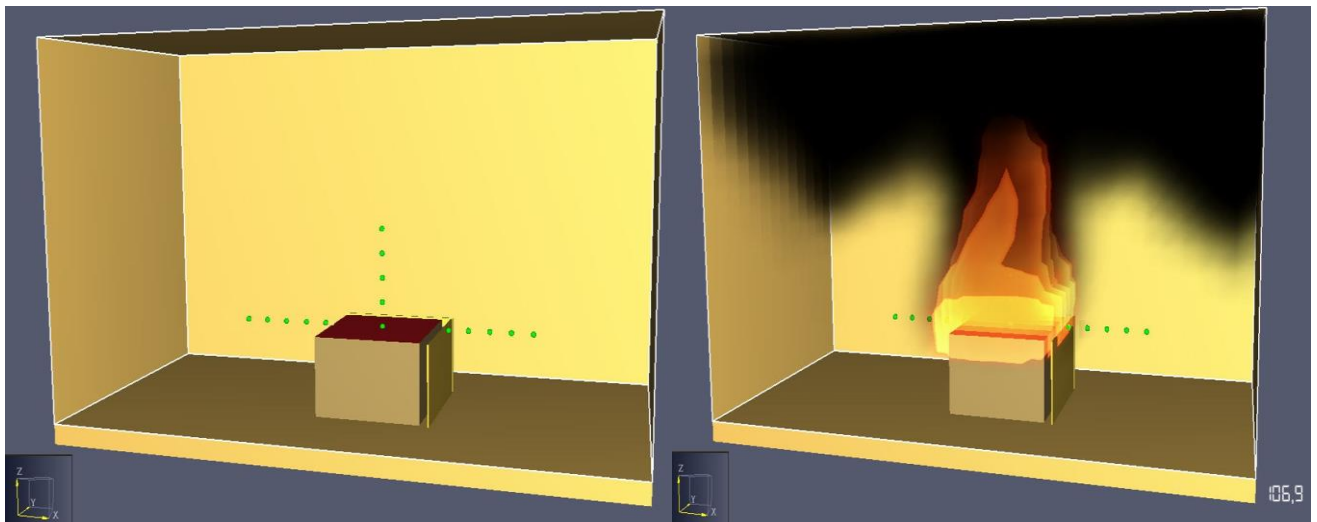
При цьому 0,05 стало значення, яке дорівнює відстані розміщення від макетного вогнища до екранувальної панелі, м, а ΔL – змінна величина відстані від екранувальної панелі до першої термопари із захищеної сторони, яка відображена числом 2 на вище представленому рисунку, $\tau_{сз2}$ – час до виникнення 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 $l_1=0,66$ м, із захищеної $l_2=0,71$ м та 0,76 м.

Використовуючи властивості програми, які дають змогу сформувати температурні шари, отримано температурні розподіли в середині фрагменту 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 наступних 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 107-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 досліді №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 знаходяться після першої становить 0,25 м.

Таблиця 2.4

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	2	3	4	5	6
0	20,11	20,27	20,36	20,06	20,10

Продовження таблиц 2.4

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
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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 200 – 300 с для термопарі №1, а для термопарі №2 було досягнуто лише температурні межі самозаймання тканин з бавовни.

Для термопарі №1, яка знаходилась на відстані 0,05 м від макетного вогнища зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рис. 2.3 та залежність часу нагрівання до заданої температури на рис. 2.4.

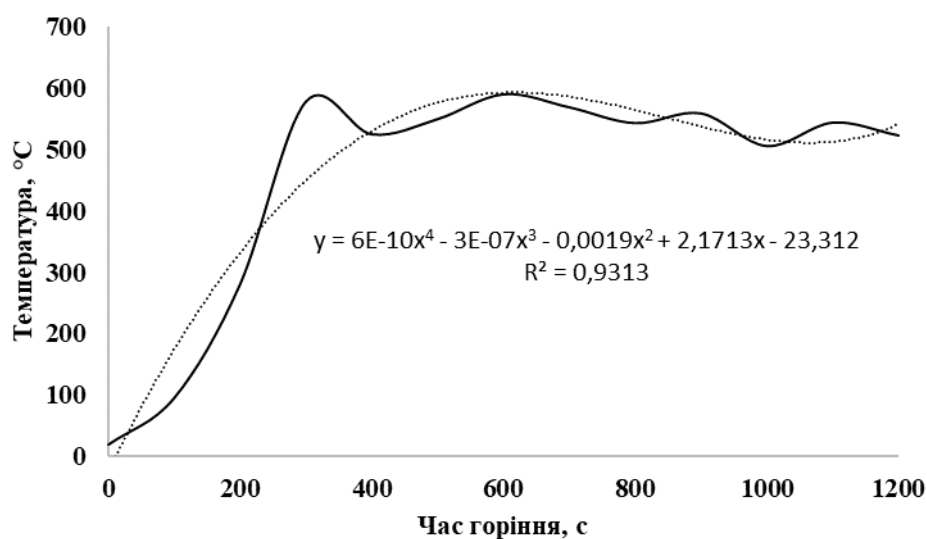


Рисунок 2.3 – Залежність температури від часу горіння для термопарі №1

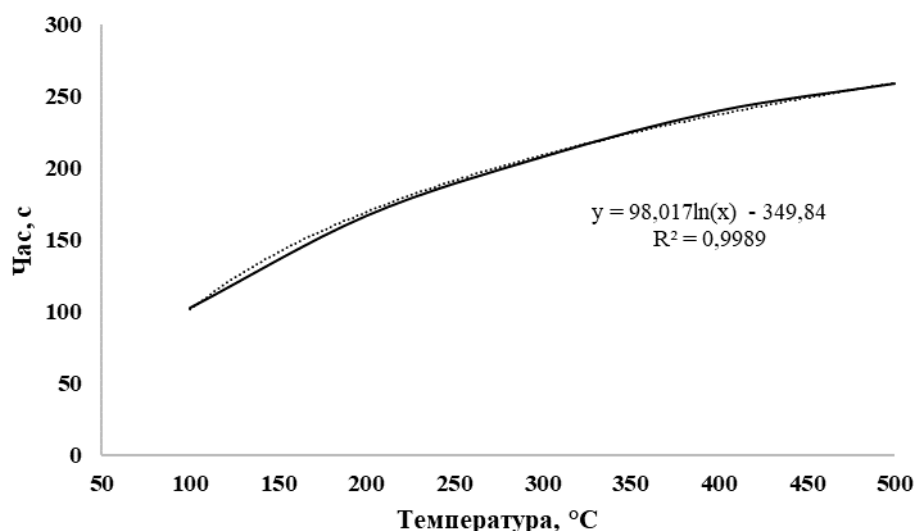


Рисунок 2.4 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №1

Для заданої термопарі, 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 °C до 500 °C, 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 °C була досягнута на 240 с, а для тканин з поліестеру 500 °C 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 досліді №1

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, %	Значення температур самозаймання, °C	Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с	Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_1=0,66\text{м}$
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 (таблиця 2.6), отриманих на проміжку 1200 с.

Таблиця 2.6

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№2.4	№2.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.6

400	477,14	221,59	137,35	97,96	66,69
500	558,24	370,32	243,12	145,34	94,25
600	577,44	362,33	266,47	148,40	99,79
700	584,82	397,58	270,85	140,15	101,75
800	550,13	378,81	216,46	139,87	101,78
900	582,41	359,40	241,72	138,82	105,62
1000	594,32	406,26	244,21	127,53	98,57
1100	587,07	390,34	229,45	139,10	94,13
1200	558,27	366,60	212,58	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 поліестером. 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 рис. 2.6.

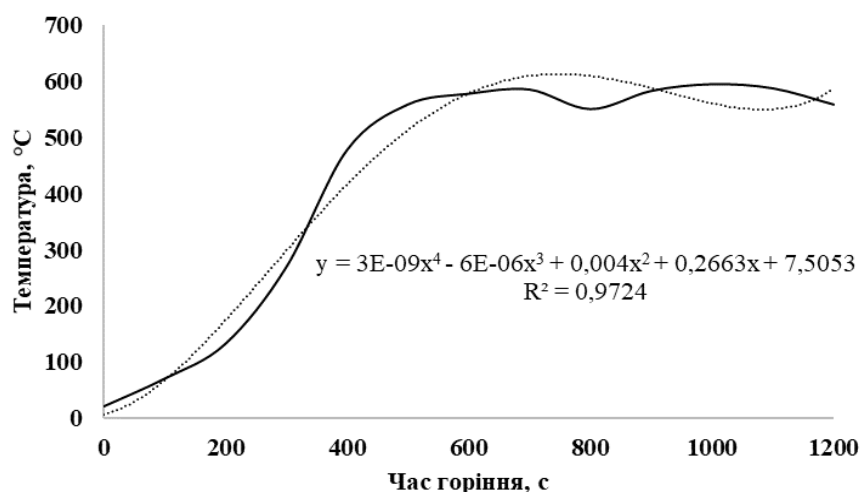


Рисунок 2.5 – Залежність температури від часу горіння для термопари №2.1

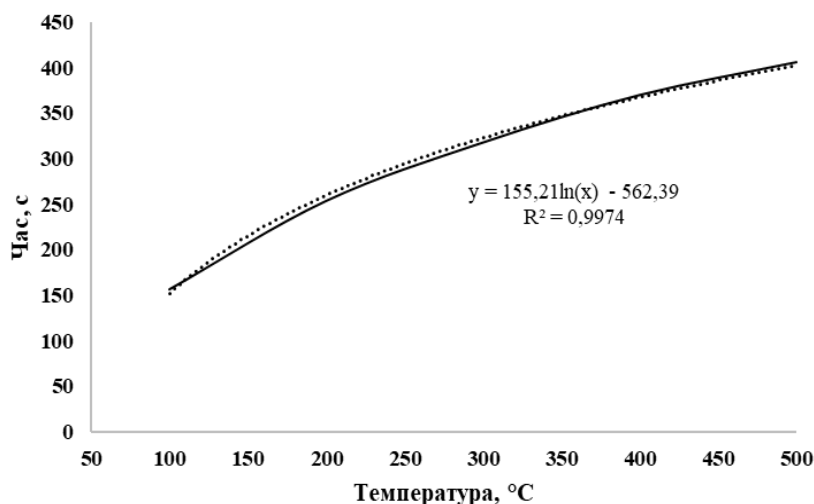


Рисунок 2.6 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №2.1

Для термопарі № 2.1, при величині пожежної навантаги 600 МДж та заданих умов дослідів №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 °C до 500 °C, яка описується виразом $\tau = 155,21\ln(t) - 562,39$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9974$.

За результатами комп'ютерного моделювання із захищеної сторони температура самозаймання тканин з бавовни, а саме 400°C була досягнута на 370 с, а для тканин з поліестеру 500°C 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 температур самозаймання, °C	Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, (с) та значення відмінності від незахищеної сторони	Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв ($l_2=0,71\text{м}$) та значення відмінності від незахищеної сторони
1	2	3	4	5
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 наступних 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 відображено на рисунку 2.7.

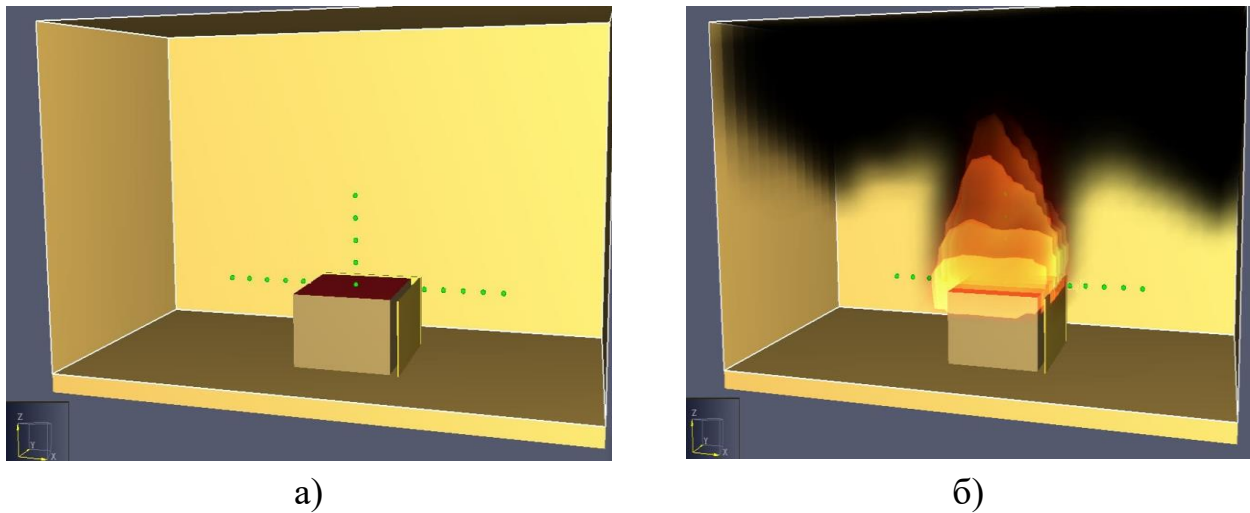


Рисунок 2.7 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки:
а) перед початком моделювання; б)) вигляд на 145-ій с від початку
моделювання

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 досліді №2.

Отримано результати з 5-ти термопар, на основі яких зформовано 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 знаходяться після першої становить 0,25 м.

Таблиця 2.8

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№3.4	№4.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.8

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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 400 – 500 с для термопарі № 2,1, а для термопарі № 2,3 було досягнуто лише температурних меж самозаймання тканин з бавовни на проміжку між 500 – 600 с. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопарі № 2.1, яка знаходилась 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.

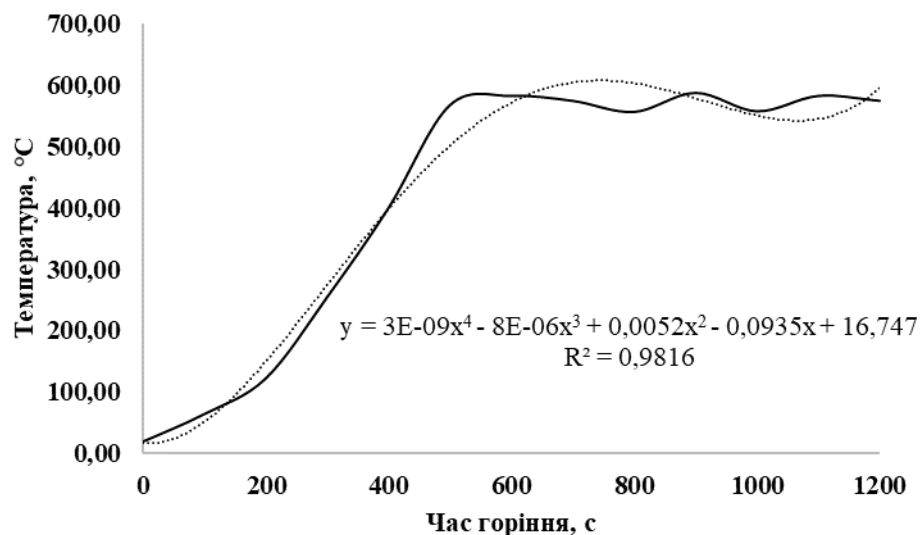


Рисунок 2.8 – Залежність температури від часу горіння для термопарі № 2.1

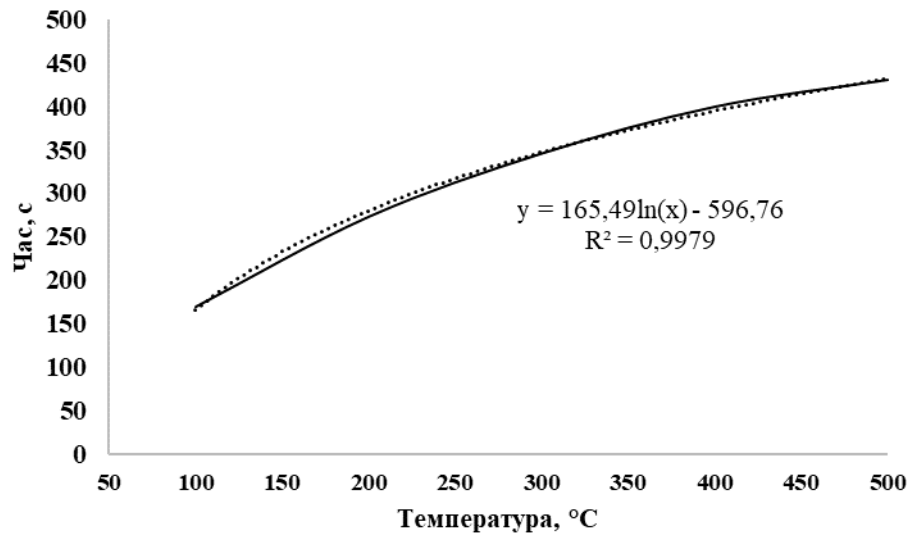


Рисунок 2.9 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі № 2.1

Для заданої термопарі, 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°C до 500 °C, 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°C та 500°C 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 дослідів №2

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (ф) у зразках, %	Значення температур займання та самозаймання, °C	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	394,76/1,663	0,1966/1,334
2	80	420	402,84/1,663	0,1936/1,337
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 наступних 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 відображено на рисунку 2.10.

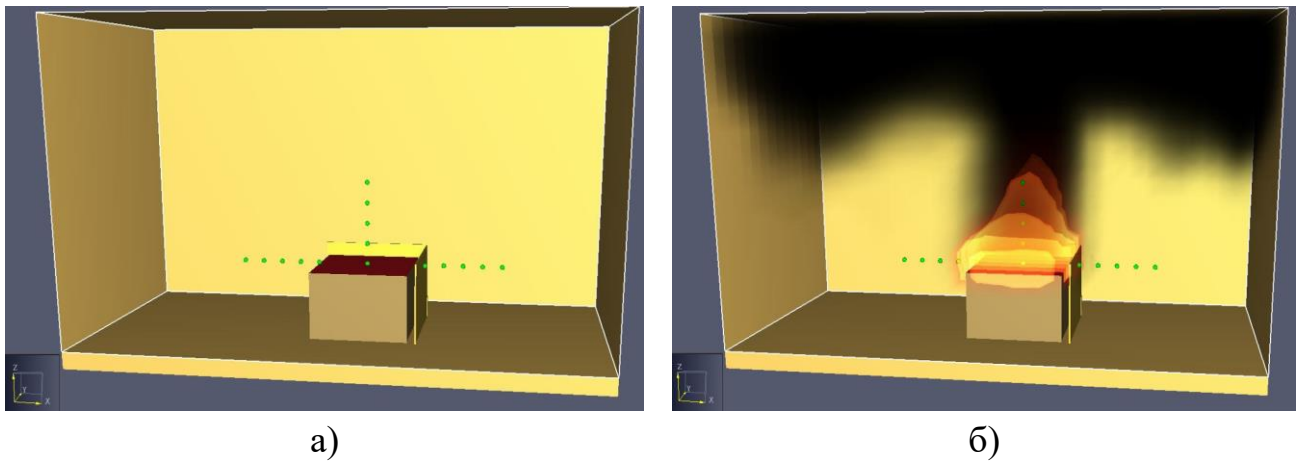


Рисунок 2.10 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки:

а) перед початком моделювання; б)) вигляд на 185-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 досліді №3.

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

Таблиця 2.10

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№3.4	№4.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.10

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
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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 800 – 900 с для термопарі № 2.1, а для термопарі № 2,3 було досягнуто лише температурних меж самозаймання тканин з бавовни на проміжку між 900 – 1000 с. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопарі № 2.1, яка знаходилась на відстані 0,05 м від макетного вогнища зміни температур в залежності від часу моделювання відображені на рисунок 2.11 та залежність часу нагрівання до заданої температури на рис. 2.12.

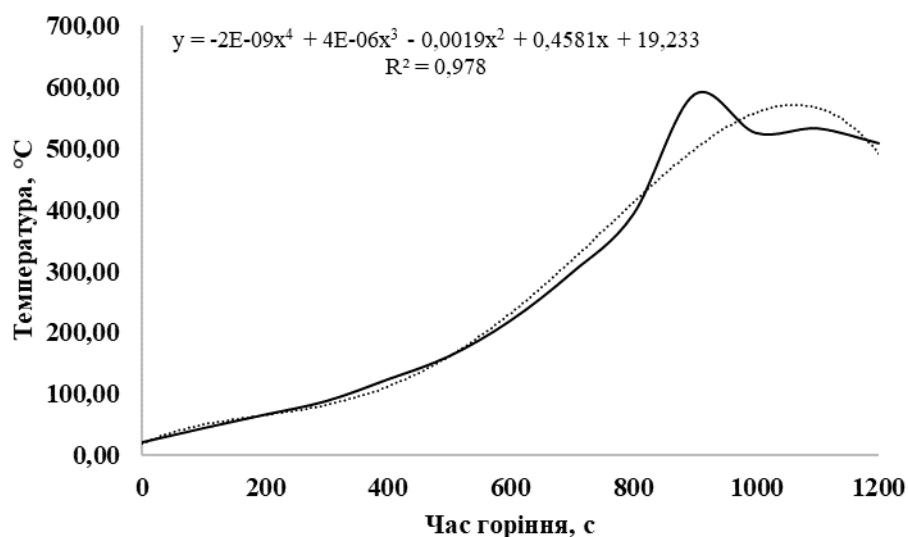


Рисунок 2.11– Залежність температури від часу горіння для термопарі № 2.1

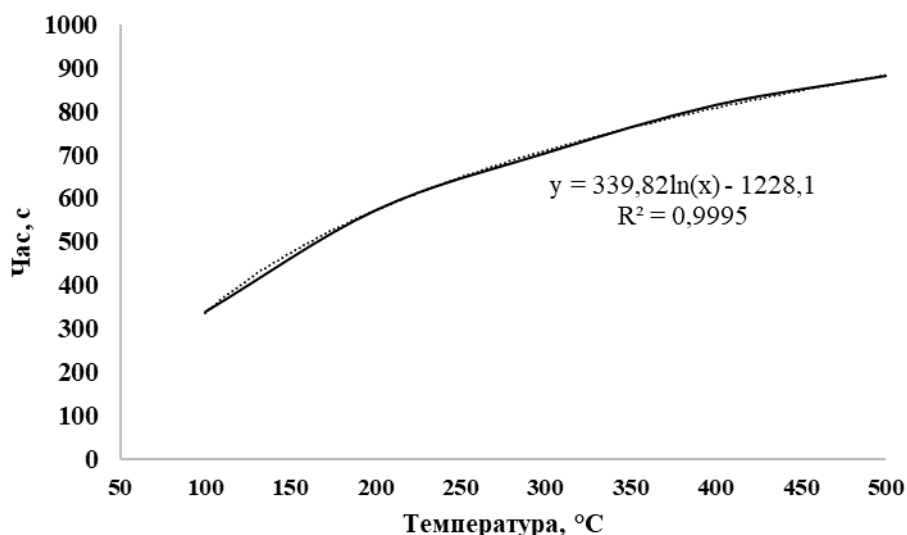


Рисунок 2.12 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі № 2.1

Для заданої термопарі, при величині пожежної навантаги 600 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = -0,000000002 \tau^4 + 0,000004 \tau^3 - 0,0019 \tau^2 + 0,4581 \tau + 19,233$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,978$. Отримано залежність, що дозволяє визначати час нагрівання до заданої температури на проміжку часу від 300 с до 900 с, та температурному проміжку від 100 °C до 500°C, яка описується виразом $\tau = 339,82\ln(t) - 1228,1$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9995$.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°C та 500°C виникали на 815 с та 882 с відповідно. Користуючись отриманою залежністю для визначення часу нагрівання отримали наступні значення часу виникнення температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру, які становили 807,91 с та 883,75 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 2.11

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

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (ϕ) у зразках, %	Значення температур самозаймання, $^{\circ}\text{C}$	Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони	Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2=0,71\text{м}$ 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	цїлісний поліестер	500	883,75/3,410	0,0972/2,380

Дослід №4 проведено на основі наступних 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 відображено на рисунку 2.13.

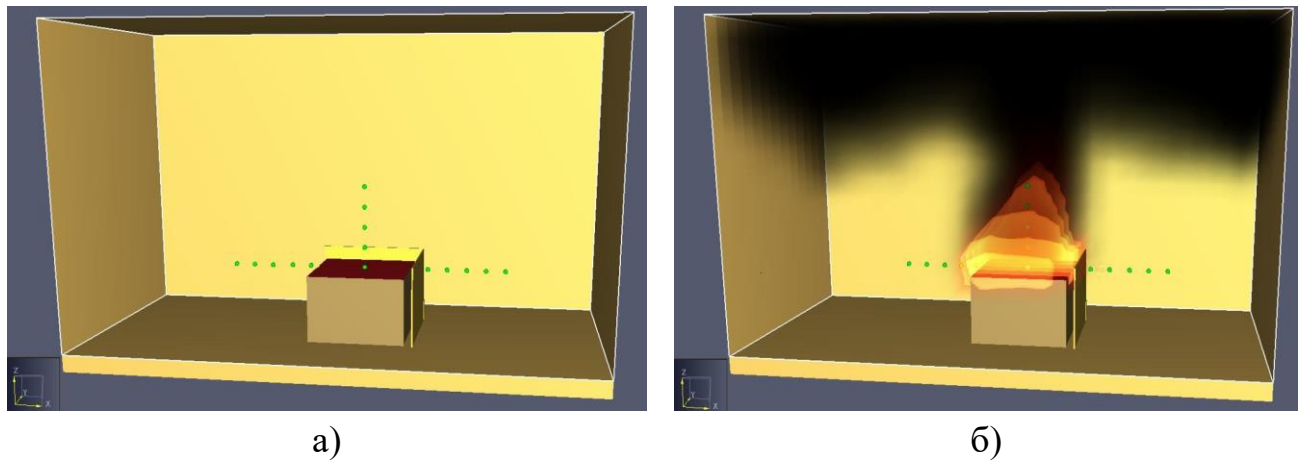


Рисунок 2.13 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки:

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 досліді №4.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких зформовано зведену таблицю 2.12. При цьому перша термопара з захищеної сторони, розміщена на відстані 0,1 м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, що знаходяться після першої становить 0,25 м.

Таблиця 2.12

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№3.4	№4.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.12

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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 800 – 1000 с для термопарі № 2.1. Для термопарі № 2.3 було досягнуто лише температурних значень в межах від 267°C до 383°C. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопарі № 2.1, яка знаходилась 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.

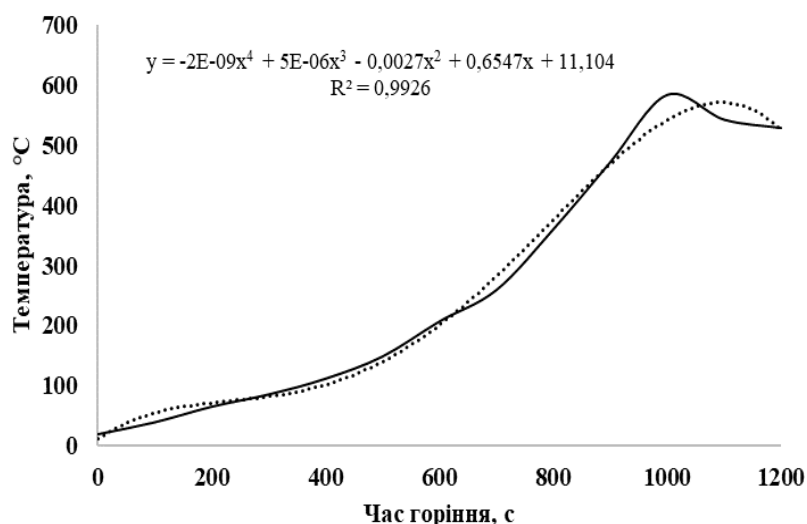


Рисунок 2.14 – Залежність температури від часу горіння для термопарі № 2.1

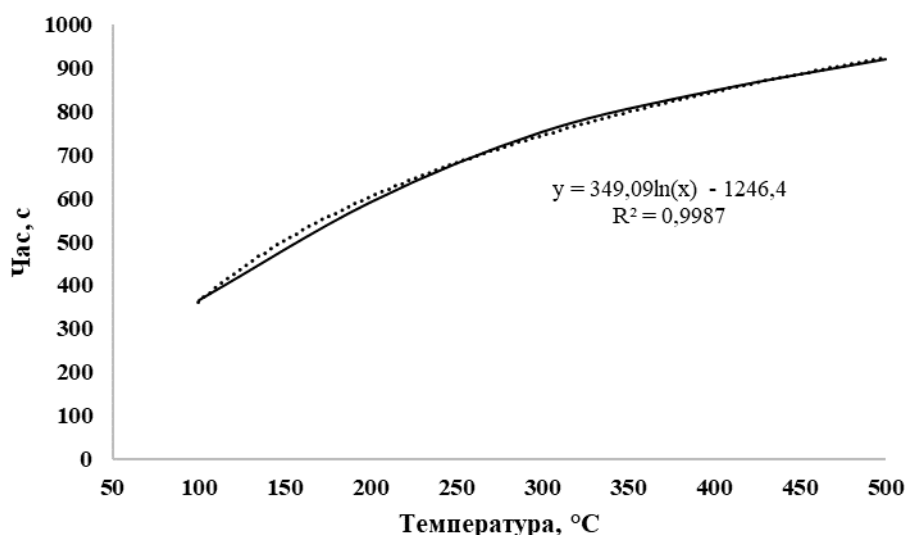


Рисунок 2.15 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі № 2.1

Для заданої термопарі, 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°C до 500°C, 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°C та 500°C 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.

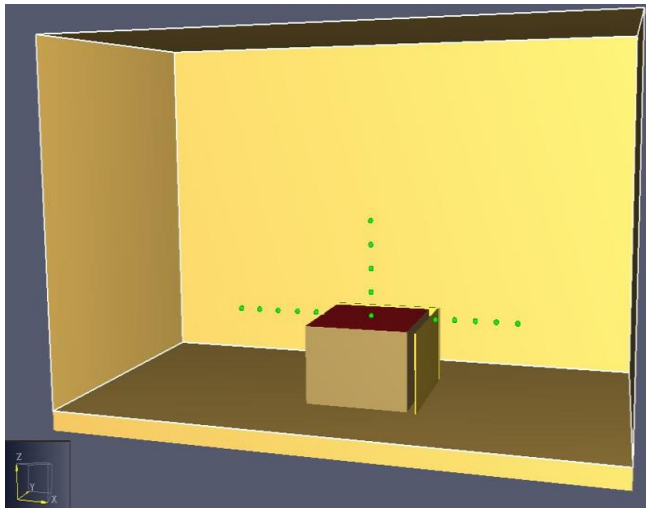
Таблиця 2.13

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

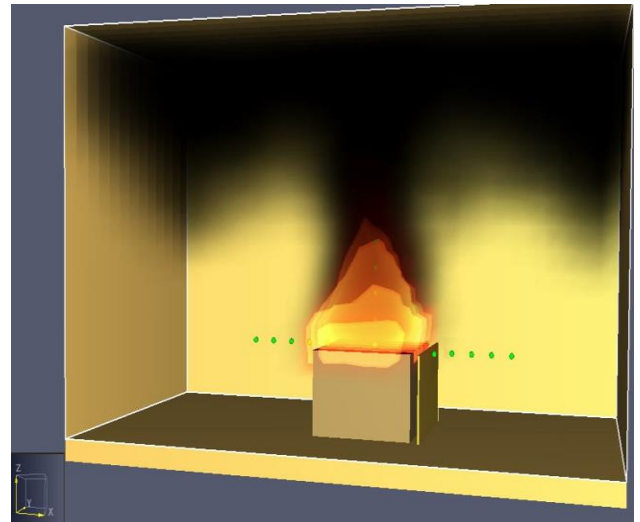
Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, %	Значення температур самозаймання, °C	Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони	Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2=0,76$ м та значення відмінності від незахищеної сторони
1	2	3	4	5
1	100	400	845,16/3,560	0,1069/2,453
2	80	420	862,19/3,560	0,1051/2,463
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 наступних 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 відображено 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 досліді №5.

Отримано результати з 5-ти термопар, з яких зформовано 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 0,05м від екранувальної панелі. Інтервал розміщення інших термопар, що знаходяться після першої становить 0,25 м.

Таблиця 2.14

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	2	3	4	5	6
0	20,15	20,28	20,12	20,15	20,10
100	128,24	52,92	51,22	44,49	29,69

Продовження таблиці 2.14

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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 200 – 300 с для термопарі №1, а для термопарі №2 було досягнуто лише температурних меж самозаймання тканин з бавовни, проте. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопарі №1, яка знаходилась 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.

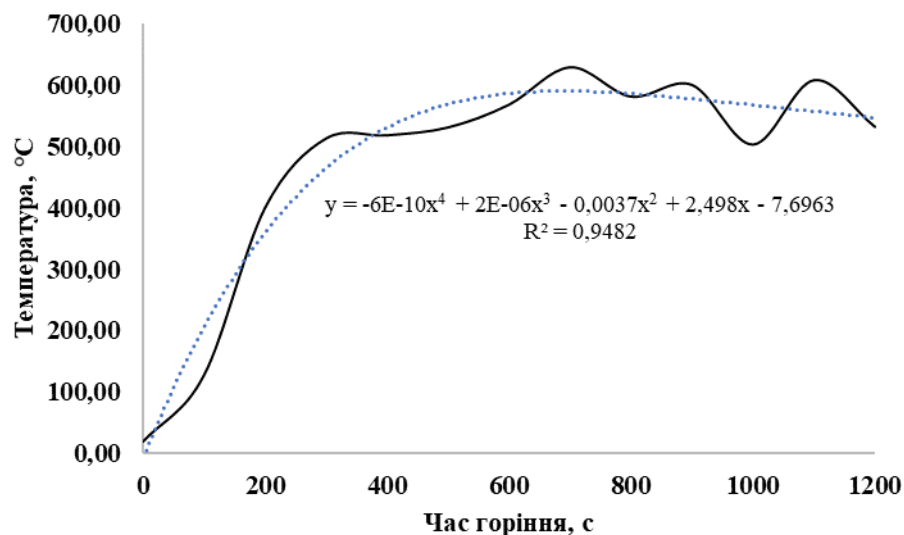


Рисунок 2.17 – Залежність температури від часу горіння для термопарі №1

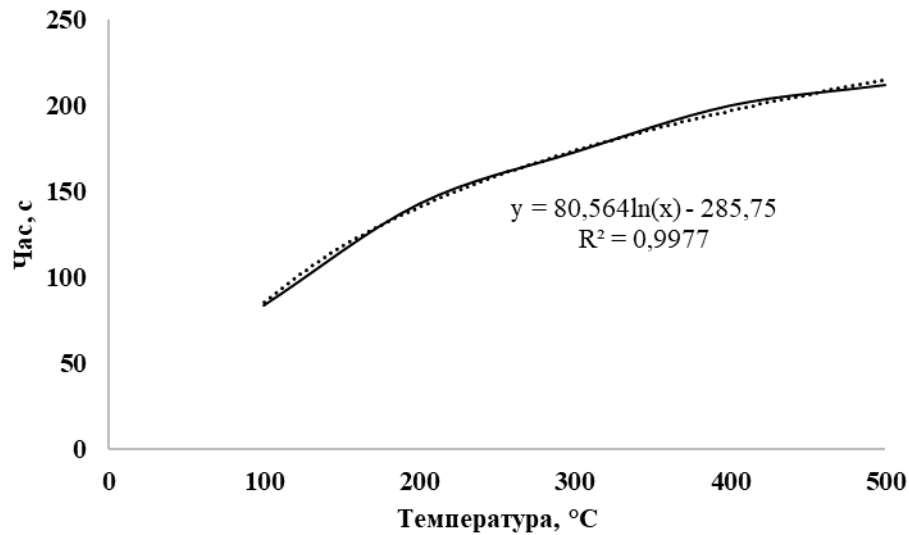


Рисунок 2.18 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №1

Для заданої термопарі, 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 °C до 500 °C, 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 °C була досягнута на 200 с, а для тканин з поліестеру 500 °C 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.

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

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, %	Значення температур самозаймання, °C	Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с	Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_1=0,66\text{м}$
1	2	3	4	5
1	100	400	196,94	0,2934
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 досліді №5

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№2.4	№2.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.16

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
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 термопарі № 2.1. Зі зростанням відстаней від захисних екрануючих панелей до термопар, температури їх нагрівання мали тенденцію до зниження. Для термопарі № 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 2.19. та залежність часу нагрівання до заданої температури на рис. 2.20.

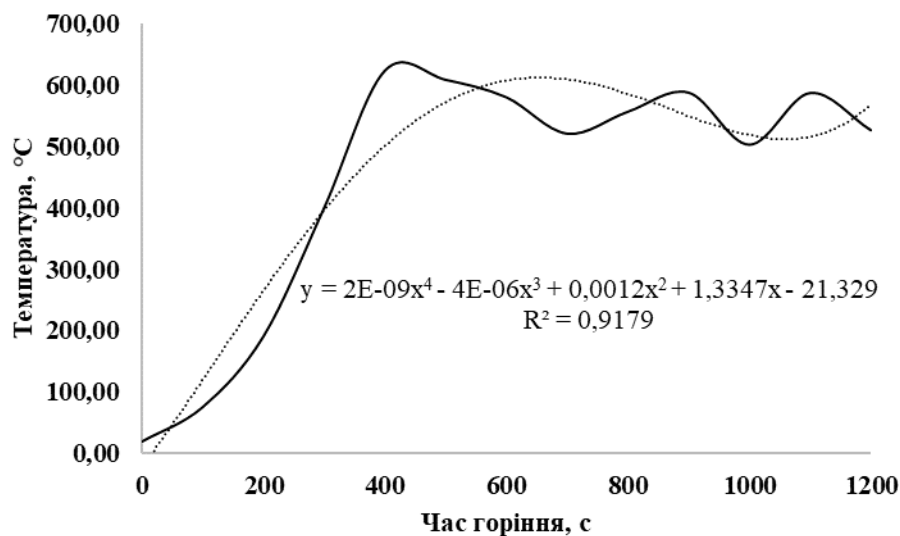


Рисунок 2.19 – Залежність температури від часу горіння для термопарі №2.1

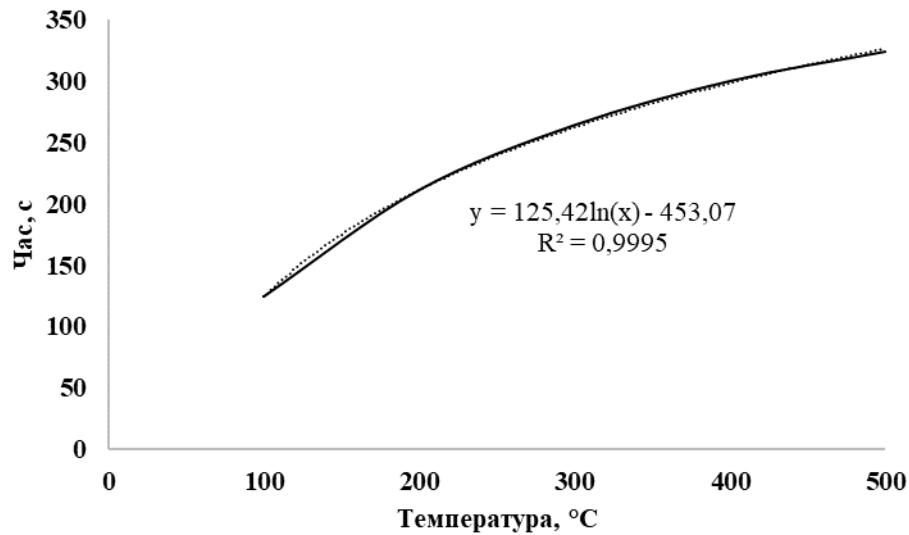


Рисунок 2.20 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №2.1

Для термопарі №2.1, при величині пожежної навантаги 1200 МДж та заданих умов дослідів №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 °C до 500 °C, 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 °C була досягнута на 300 с, а для тканин з поліестеру 500 °C 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.

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 $l_2=0,71$ м та значення відмінності від незахищеної сторони
1	2	3	4	5
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 наступних 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 відображено на рисунку 2.21.

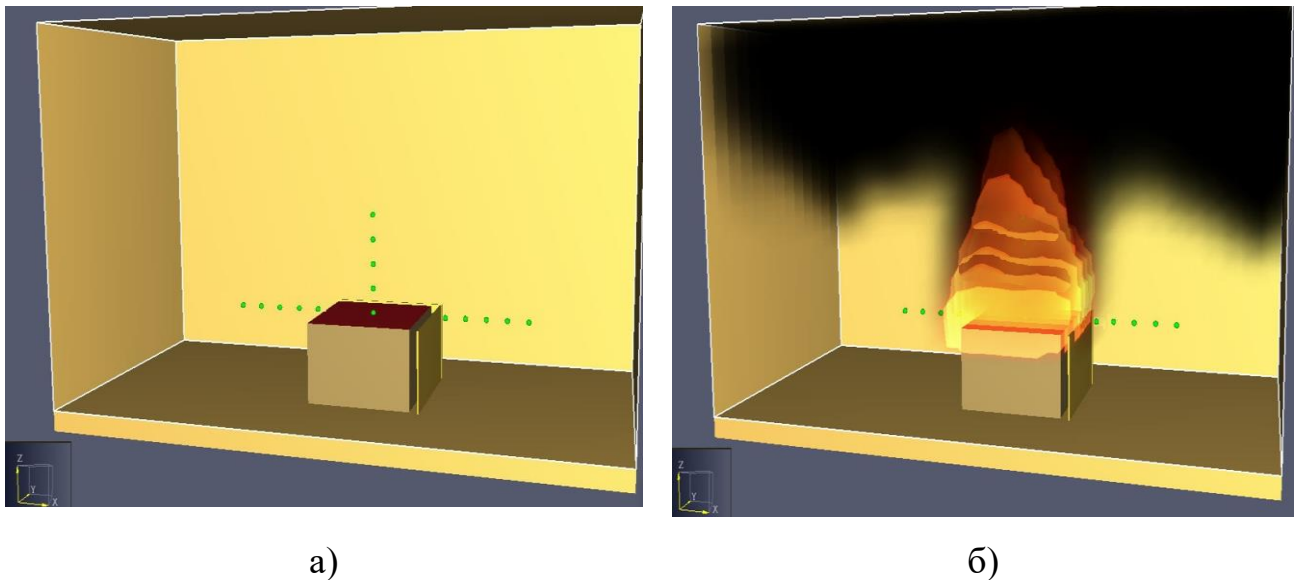


Рисунок 2.21 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки:

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 досліді №6.

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

Таблиця 2.18

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

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№3.4	№4.5
1	2	3	4	5	6
0	20,45	20,40	20,23	21,31	20,18
100	77,98	63,37	37,26	37,80	28,66
200	155,66	122,24	71,66	56,92	41,26

Продовження таблиці 2.18

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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 300 – 400 с для термопарі №2,1, а для термопарі №2,3 значення температур сягали значень від 237°C до 411°C. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопарі №2.1, яка знаходилась 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.

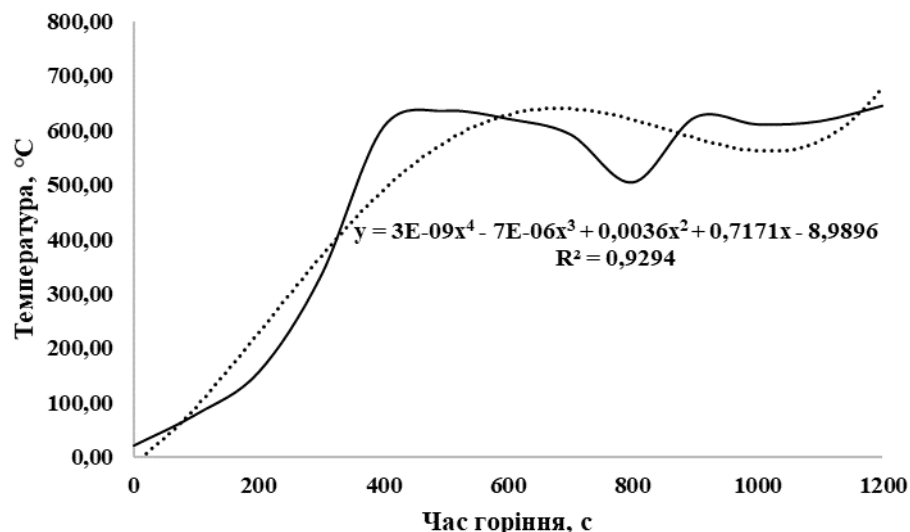


Рисунок 2.22 – Залежність температури від часу горіння для термопарі №2.1

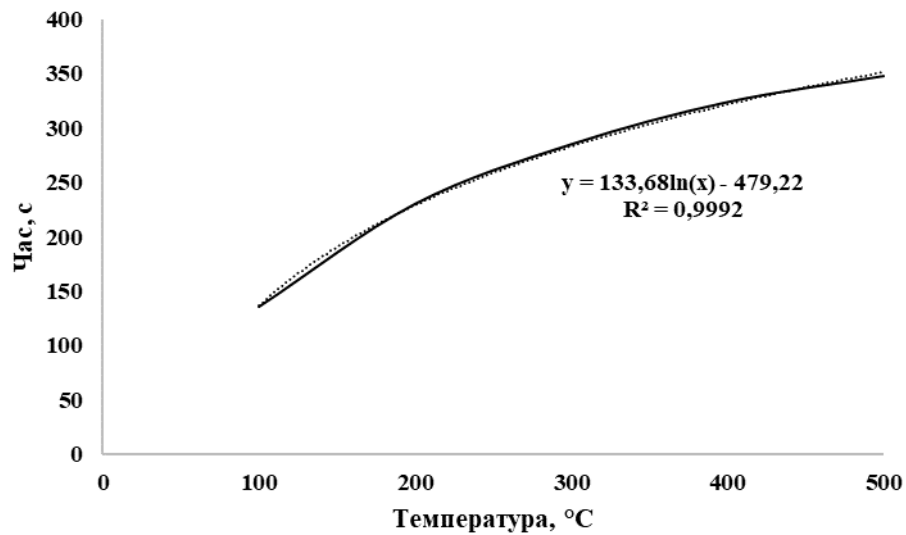


Рисунок 2.23 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №2.1

Для заданої термопарі, 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 °C до 500 °C, 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°C та 500°C виникали на 324с та 348с 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 дослід №6

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (ф) у зразках, %	Значення температур займання та самозаймання, °C	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	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	цїлісний поліестер	500	351,55/1,636	0,2019/1,277

Дослід №7 проведено на основі наступних вихідних даних: відстань від пожежної навантаги робочого місця $L_{\text{п}}$ до екранувальної панелі становить – 0,05 м; висота екранувальної панелі $h_{\text{п}}$ – 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 відображено на рисунку 2.24.

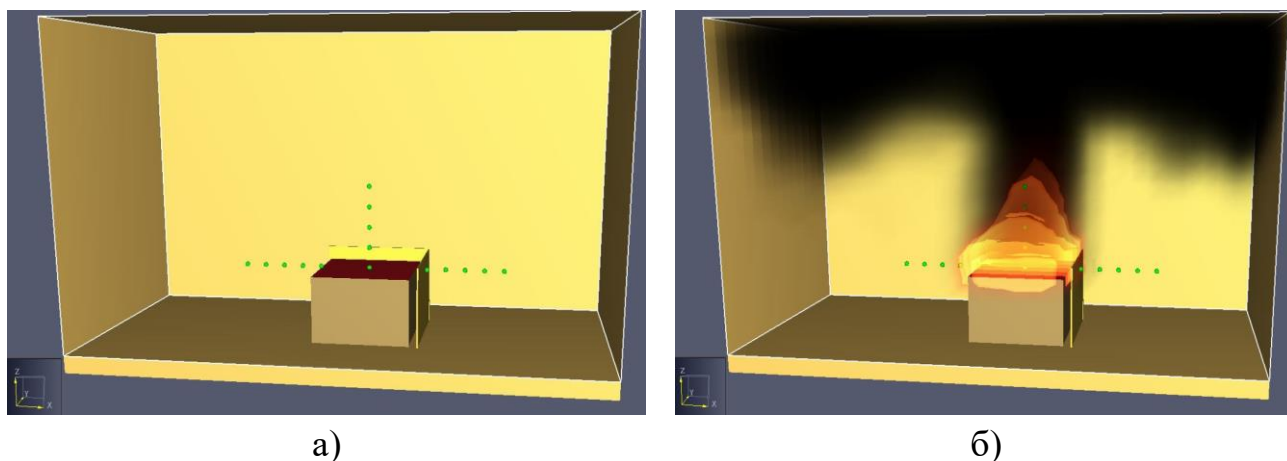


Рисунок 2.24 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки:

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 дослід №7.

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

Таблиця 2.20

Таблиця проміжних результатів показів термопар,
розташованих із захищеної сторони.

Дослід №7

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№3.4	№4.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.20

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, що наближені до температур самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру виникали на інтервалах між 300 – 400 с для термопарі №2,1, а для термопарі №2,3 на вказаному часовому проміжку було досягнуто температур 173-351°C. В подальшому зі зростанням відстаней від макетного вогнища до термопар, температури їх нагрівання знижувались.

Для термопарі №2.1, яка знаходилась 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.

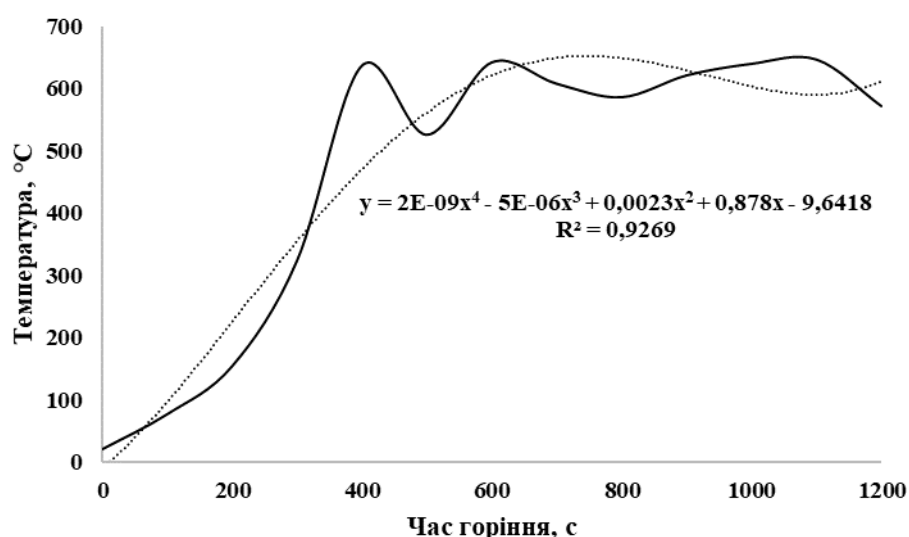


Рисунок 2.25 – Залежність температури від часу горіння для термопарі №2.1

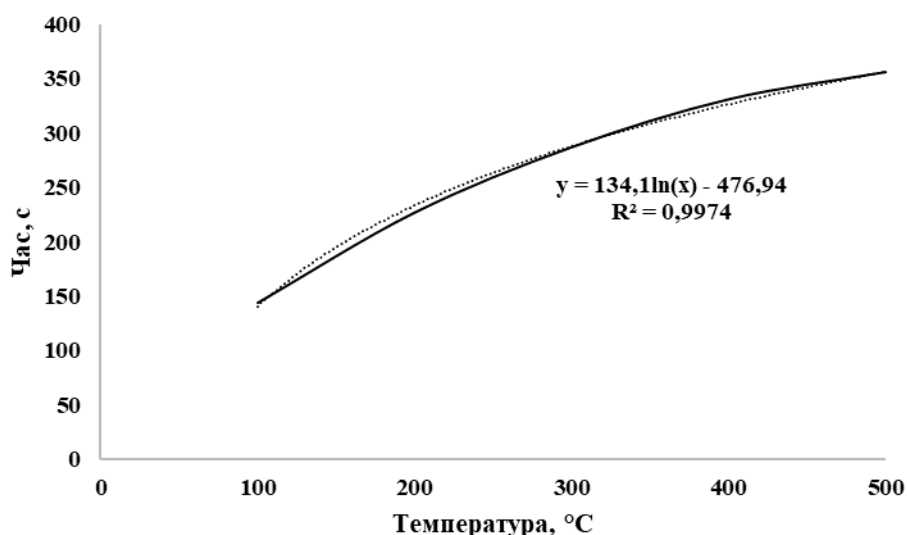


Рисунок 2.26 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №2.1

Для заданої термопарі, 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 °C до 500 °C, яка описується виразом $\tau = 134,1\ln(t) - 476,94$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9974$.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°C та 500°C 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.

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

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (φ) у зразках, %	Значення температур самозаймання, °C	Прогнозований час виникнення температури самозаймання зразків, с та значення відмінності від незахищеної сторони	Прогнозована швидкість поширення горіння, м/хв $l_2=0,71$ м 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
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 наступних 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 відображено на рисунку 2.27.

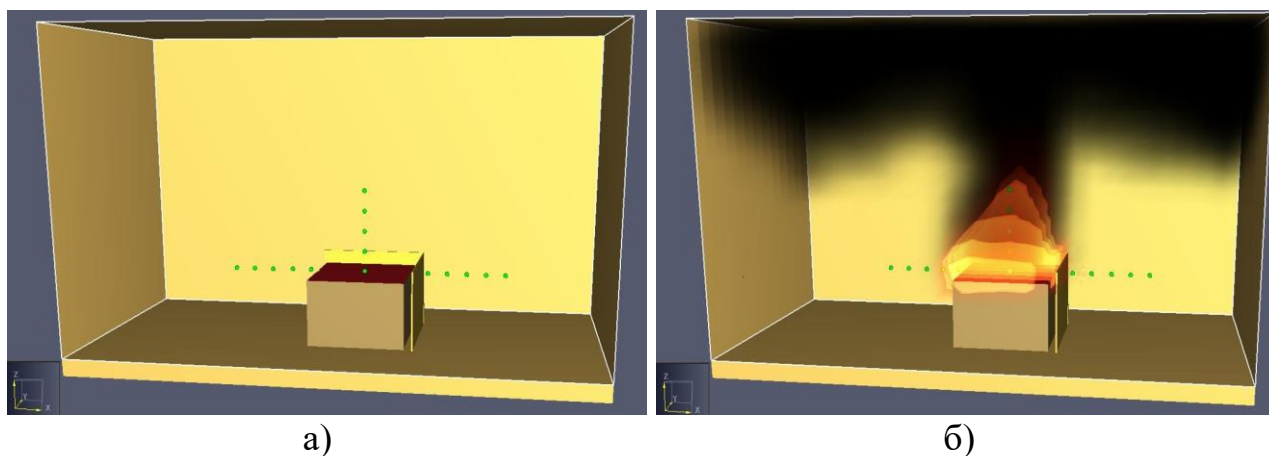


Рисунок 2.27 – Моделювання пожежі швейно-виробничої ділянки:

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 дослід №8.

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

Таблица 2.22

Таблиця проміжних результатів показів термопар,
розташованих із захищеної сторони.

Дослід №8

Тривалість модельованого горіння, с	Значення температур нагрівання для розміщених термопар, °C				
	№2.1	№2.2	№2.3	№3.4	№4.5
1	2	3	4	5	6
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

Продовження таблиці 2.22

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

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

Для термопарі №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.

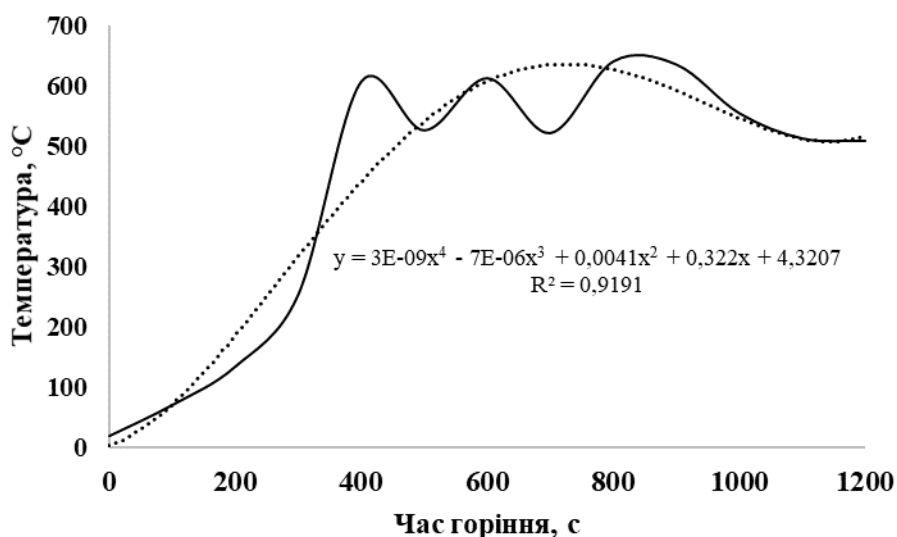


Рисунок 2.28 – Залежність температури від часу горіння для термопарі №2.1

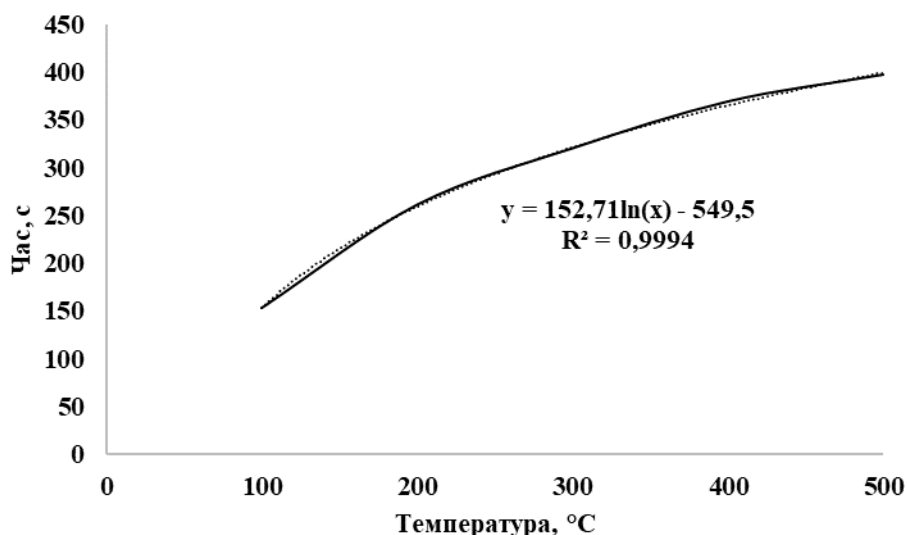


Рисунок 2.29 – Залежність часу нагрівання до заданої температури для термопарі №2.1

Для заданої термопарі, 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 °C до 500 °C, яка описується виразом $\tau = 152,71\ln(t) - 549,5$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9994$. За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що температури самозаймання для тканин з бавовни та поліестеру 400°C та 500°C 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 дослідів №8

Номер зразка	Відсотковий склад бавовни (ф) у зразках, %	Значення температур самозаймання, °C	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	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 дослідів, який передбачає проведення повно факторного експерименту, що охоплює всі можливі комбінації взаємодії досліджуваних факторів. Для кожного експерименту було проведено по два дослідів з допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim. За результатами дослідів встановлено, що значення часу до займання для першого та другого дослідів 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 даного числа повинне прямувати до 0 та не впливати на отримані результати, тому прийнято число 0,001, яке в подальшому застосовано 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 захищеної ділянки L , м	Висота екранувальної панелі (екрана) h_n , м	Пожежна навантага швейно-виробничої ділянки Q , МДж
1	2	3	4
Нульовий рівень $x_i = 0$	0,075	0,875	900
Інтервал варіювання δ_i	0,025	0,075	300
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 поліфестеру з температурами самозаймання 400°C та 500°C, 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 ($S\sigma^2=0,0000005$) при однаковому числі паралельних дослідів. Відповідно до довідкових даних $G = 0,6798$, що є більшим від отриманого розрахункового значення $G = 0,125$, 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 обґрунтовано адекватність моделі за критерієм Фішера ($F=0$). За допомогою критерію Стюдента відповідно до формули (2.13) проведена оцінка значущості коефіцієнтів регресії ($\Delta b=0,000575$). Встановлено, що всі отримані коефіцієнти регресії є значущими та враховують під час оптимізації моделі.

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

Таблиця 2.25

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

№ Дослід	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	$x_1x_2x_3$	τ_1 y_{1i}	τ_2 y_{2i}	$\tau_{сер}$ $y_{сер i}$
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}
370,0005	400,0005	815,0005	848,0005	300,0005	324,0005	331,0005	369,0005

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:

$$\begin{aligned} \tau_{03} = & 469,63 + 15,63 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) + 121,13 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) - 138,63 \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & + 2,13 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) - 0,13 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & - 102,13 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) + 1,38 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \end{aligned}$$

Після спрощення рівняння отримано його кінцевий вигляд:

$$\tau_{03,400} = 1,579 \cdot 10^3 L + 5,781 \cdot 10^3 h_n + 3,672 Q - 1,072 \cdot 10^3 h_n L - 2,164 QL - 4,723 Q h_n + 2,453 Q h_n L - 4,221 \cdot 10^3$$

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

Проведенно дослідження часу до займання для тканин з поліестеру з температурою самозаймання 500 °С. Матрицю планування та результати дослідів відображено в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28

Матриця планування та результати дослідів

№ Дослід	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	$x_1x_2x_3$	τ_1 y_{1i}	τ_2 y_{2i}	$\tau_{сер}$ $y_{сер i}$
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	406	406,001	406,0005
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	431	431,001	431,0005
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	882	882,001	882,0005
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	920	920,001	920,0005
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	324	324,001	324,0005
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	348	348,001	348,0005
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	356	356,001	356,0005
8	1	1	1	1	1	1	1	397	397,001	397,0005

Проведено розрахунок знячень коефіцієнтів регресії (табл. 2.29).

Таблиця 2.29

Коефіцієнти регресії

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
508,00	16,00	130,75	-151,75	3,75	0,25	-110,50	0,50

Відповідно до отриманої моделі розраховано значення відгуків $y_{mod.i}$ в i -досліді, які відображено в таблиці 2.30.

Таблиця 2.30

Розрахункові значення відгуків

y_{mod1}	y_{mod2}	y_{mod3}	y_{mod4}	y_{mod5}	y_{mod6}	y_{mod7}	y_{mod8}
406,0005	431,0005	882,0005	920,0005	324,0005	348,0005	356,0005	397,0005

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

$$y = 508 + 16x_1 + 130,75x_2 - 151,75x_3 + 3,75x_1x_2 + 0,25x_1x_3 - 110,5x_2x_3 + 0,5x_1x_2x_3$$

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

$$\begin{aligned} \tau_{03} = & 508 + 16 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) + 130,75 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) - 151,75 \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & + 3,75 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) + 0,25 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & - 110,5 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) + 0,5 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \end{aligned}$$

Після спрощення рівняння отримано його кінцевий вигляд:

$$\tau_{03500} = -4,4 \cdot 10^{-2}L + 6,07 \cdot 10^3 h_n + 3,85Q + 1,2 \cdot 10^3 h_n L - 0,74QL - 4,98Qh_n + 0,89Qh_n L - 4,397 \cdot 10^3$$

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 фактору 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 2.31.

Таблиця 2.31

Матриця планування та результати дослідів для тканин із бавовни

№ Дослідів	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	$x_1x_2x_3$	v_1 y_{1i}	v_2 y_{2i}	$v_{сep}$ $y_{сep i}$
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. 2.32).

Таблиця 2.32

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 2.33 представлено розраховане за моделлю значення відгуку $y_{mod.i}$ - в i -досліді.

Таблиця 2.33

Розрахункові значення відгуків

y_{mod1}	y_{mod2}	y_{mod3}	y_{mod4}	y_{mod5}	y_{mod6}	y_{mod7}	y_{mod8}
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:

$$\begin{aligned} v_{nz} = & 0,1875 - 0,00273 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) - 0,02705 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) + 0,034275 \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & - 0,00028 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) - 0,0013 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & + 0,018675 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) - 0,00115 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \end{aligned}$$

Після спрощення рівняння отримано його кінцевий вигляд:

$$v_{nz400} = -1,43L - 1,23h_n - 7,33 \cdot 10^{-4}Q + 1,69h_nL + 9,83 \cdot 10^{-4}Qh_n + 1,62 \cdot 10^{-3}QL - 2,04 \cdot 10^{-3}Qh_nL + 1,16$$

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 2.34.

Таблиця 2.34

Матриця планування та результати дослідів

№ Дослід	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	$x_1x_2x_3$	v_1 y_{1i}	v_2 y_{2i}	$v_{сep}$ $y_{сep i}$
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,179	0,179	0,179
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

Продовження таблиці 2.34

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. 2.35).

Таблиця 2.35

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_{mod1} в i -досліді, які відображено в таблиці 2.36.

Таблиця 2.36

Розрахункові значення відгуків

y_{mod1}	y_{mod2}	y_{mod3}	y_{mod4}	y_{mod5}	y_{mod6}	y_{mod7}	y_{mod8}
0,179	0,175	0,097	0,097	0,206	0,202	0,194	0,185

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:

$$\begin{aligned} v_{nz500} = & 0,16694 - 0,00226 \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) - 0,02361 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) + 0,02996 \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & - 0,00026 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) - 0,00114 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \\ & + 0,01646 \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) - 0,00104 \cdot \left(\frac{L - 0,075}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{h_n - 0,875}{0,075} \right) \cdot \left(\frac{Q - 900}{300} \right) \end{aligned}$$

Після спрощення рівняння отримано його кінцевий вигляд:

$$v_{nz500} = -1,29L - 1,09h_n - 6,5 \cdot 10^{-4}Q + 1,53h_nL + 1,47 \cdot 10^{-3}QL + 8,7 \cdot 10^{-4}Qh_n - 1,85 \cdot 10^{-3}Qh_nL + 1,03$$

Отримана залежність дозволяє визначати швидкість поширення горіння на захищеній екрануючими 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.

2.5. 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 дослід 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 рази 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 рази більше від значень, отриманих для незахищеної ділянки.

4. Дослідженнями встановлено, що для умов дослід №4 швидкість поширення горіння становила 0,1069 м/хв, що в 2,453 рази 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 дослід №8 для тканин з бавовни швидкість поширення горіння становила

0,2079 м/хв, що в 1,41 рази 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 τ_i до виникнення займання на робочих місцях:

$$\tau_{400} = 1,579 \cdot 10^3 L + 5,781 \cdot 10^3 h_n + 3,672 Q - 1,072 \cdot 10^3 h_n L - 2,164 Q L - 4,3 Q h_n + 2,453 \cdot Q h_n L - 4,22 \cdot 10^3;$$

$$\tau_{500} = -4,4 \cdot 10^{-2} L + 6,07 \cdot 10^3 h_n + 3,85 Q + 1,2 \cdot 10^3 h_n L - 0,74 Q L - 4,98 Q h_n + 0,89 Q h_n L - 4,39 \cdot 10^3;$$

та залежності швидкості поширення горіння v_i по швейно-виробничих ділянках:

$$v_{400} = -1,43 L - 1,23 h_n - 7,33 \cdot 10^{-4} Q + 1,69 h_n L + 9,83 \cdot 10^{-4} Q h_n + 1,62 \cdot 10^{-3} Q L - 2,04 \cdot 10^3 Q h_n L + 1,16;$$

$$v_{500} = -1,29 L - 1,09 h_n - 6,5 \cdot 10^{-4} Q + 1,53 h_n L + 1,47 \cdot 10^{-3} Q L + 8,7 \cdot 10^{-4} Q h_n - 1,85 \cdot 10^{-3} Q h_n L + 1,03$$

для пожежного навантаження з температурами самозаймання 400 °С та 500 °С.

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

№ п/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки
1.	Ваги ВТУ-210/СЗ	1826	Від 0.001 до 210 г	Клас точн. 3
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 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ за час не більше ніж 40 хв.

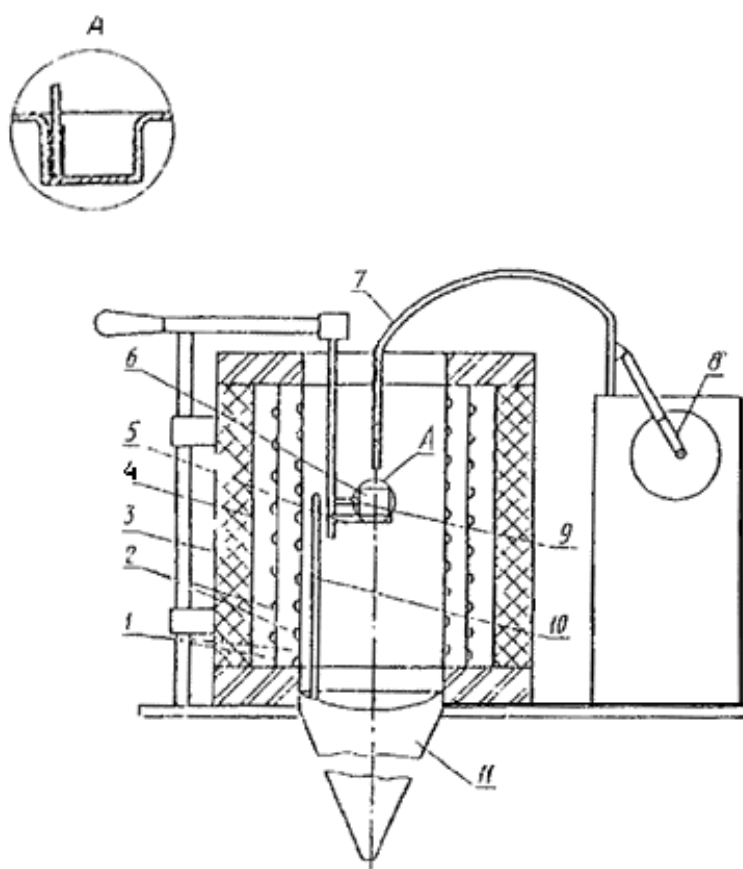


Рисунок 3.1 – Прилад ОТП:

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 $(3,0 \pm 0,1)$ 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 $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ 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 усередині камери та відстань між газовим пальником і поверхнею зразка. Придатність установки до роботи перевіряють по стандартній речовині – поліметилметакрилату (органічному склу), температура займання якого дорівнює $(260 \pm 10)^\circ\text{C}$.

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

1. Руйнування структури (подрібнення) тканин бавовни та поліестеру з метою подальшого формування зразків діаметром 45 мм та вагою 3 г кожний.
2. Формування зразків тканин з різним відсотковим складом бавовни (100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 45%, 0%);
3. Досліджуються температури займання та самозаймання зразків по $(3,0 \pm 0,1)$ г тканини бавовни (100%, цілісної) та тканини поліестеру (100%, цілісної).
4. Досліджуються зразки по $(3,0 \pm 0,1)$ 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. Дані 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 в залежності від відсоткового вмісту складових компонентів.

3.2. Дослідження температур займання та самозаймання в залежності від зміни відсоткового складу бавовни у тканині

Під час функціонування швейних підприємств, які виробляють різноманітну продукцію, в технологічних процесах 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 виникати через порушення правил пожежної безпеки, невідповідність виробничого обладнання технологічним вимогам, а також внаслідок можливого займання, яке пов'язане 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 безпеки. Важливими інформативними показниками пожежної безпеки речовин і матеріалів є температури займання та самозаймання [41]. Відповідно, пожежна безпека речовини зростає поруч із зниженням 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

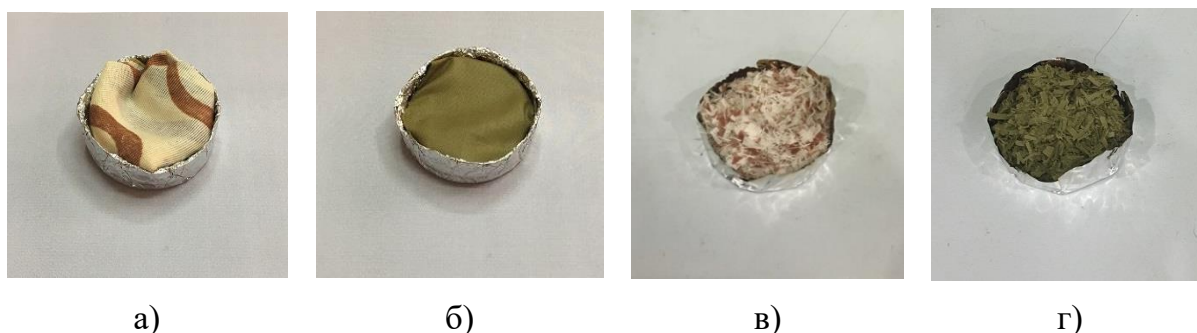


Рисунок 3.2 – Приклади дослідних зразків: а) цілісний поліестер; б) цілісна бавовна; в) подрібнений поліестер; г) подрібнена бавовна

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 спостерігалось займання, становило 215°C 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 $235^{\circ}\text{C}/420^{\circ}\text{C}$, а для цілісного зразка тканини зі складом поліестеру 100% – $360^{\circ}\text{C}/500^{\circ}\text{C}$ 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

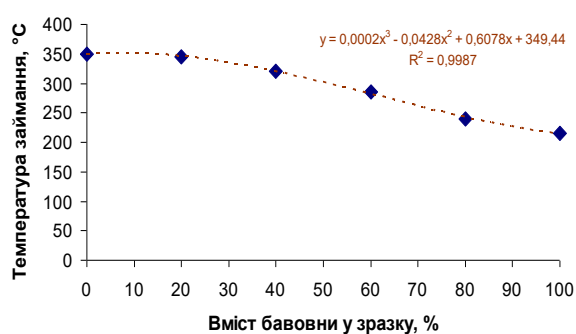
самозаймання зразків тканин, отриманих за результатами експериментальних досліджень, наведені в таблиця 3.2 [73].

Таблиця 3.2

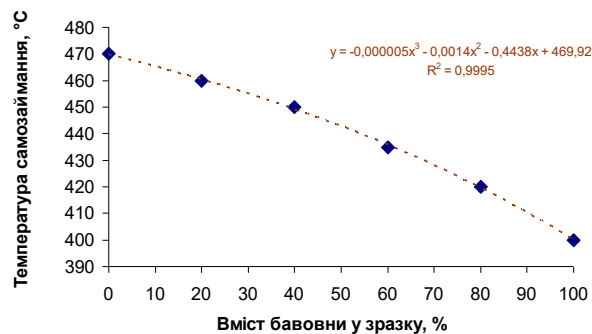
Значення діапазону температур займання та самозаймання для досліджуваних зразків тканин

№ досліджу	Температура займання/самозаймання, °C					
	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
Середні 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 $t_3=0,0002\varphi^3-0,0428\varphi^2+0,6078\varphi+349,44$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2=0,9987$ та температури самозаймання $t_{cz}=-0,000005\varphi^3-0,0014\varphi^2-0,4438\varphi+469,92$ ($R^2=0,9995$), де φ – 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, °C		Абсолютні відхилення результатів вимірювань, °C
		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

Отримані 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.

3.3. 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]. Даний 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 наступні методи та обладнання: зведений випробувальний полігон, пірометр марки *Benetech GM1150A* з діапазоном вимірювань від -50°C до $+1150^{\circ}\text{C}$, сукупність нагрівальних екранів, секундомір *Casio*, цифрова фотокамера марки *Canon Powershot a550*, вимірювальна рулетка, газовий пальник. Оброблення результатів досліджень здійснювали з використанням електронних таблиць *Excel*. Побудову 3D-моделі «транспортної 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 – $6 \times 2,5 \times 2,5$ 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 $+20^{\circ}\text{C}$, 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 "транспортної стрічки" – 0,63 м, а її ширина – 0,5 м. Площа експериментальної ділянки становила $2,5\text{ м}^2$, а пожежне навантаження — 35 кг/м^2 . Зазначену ділянку використовували з метою імітації "транспортної стрічки", що призначена для тимчасового розміщення сировини (тканини). Потрібно зазначити, що "транспортна 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 нерозривно.

Фото полігону з "транспортною стрічкою" для проведення експериментального дослідження зображено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Експериментальний полігон з «транспортною стрічкою» до початку проведення експериментальних досліджень

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 "транспортної стрічки" у вигляді конструкції з дерев'яних елементів, покритих металевим листом, зображено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Початок горіння пожежного навантаження
"транспортної стрічки"

Під час горіння ділянки спостерігалось плавлення тканин з поліестеру з подальшим падінням палаючих капель 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 спостерігалось стале горіння незмінною площею $0,75 \text{ м}^2$ з висотою полум'я в межах від 0,35 до 0,85 м. Процес поширення полум'я поверхнею імітованої "транспортної стрічки" зображено на рисунку 3.6.



а)



б)

Рисунок 3.6 - Горіння пожежного навантаження "транспортної 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 на протязі 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°C , після чого спостерігалось її поступове зниження. Також експериментально досліджено значення зміни температур середовища над осередком горіння в залежності від висоти вимірювання. Враховуючи те, що висота полум'я знаходилась в межах від 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°C в

осередку горіння до 330°C 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 "транспортною 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 "транспортної 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 $60 \times 25 \times 25$, геометричні розміри домену — $6 \times 2,5 \times 2,5$ м. Хімічний склад горючого матеріалу на основі бавовни та поліестеру з розподілом атомів карбону, гідрогену та оксисену — $\text{C}_{2,1}\text{H}_{33,8}\text{O}_{1,7}$, 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).

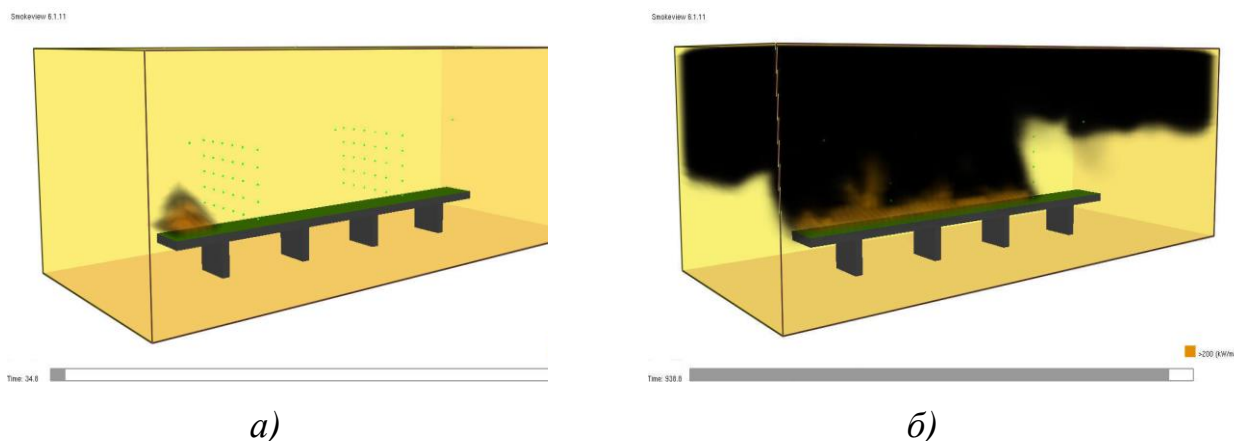


Рисунок 3.7 - Моделювання пожежі "транспортної стрічки"
а) на 1-ій хв від початку горіння; б) на 16-ій хв від початку горіння

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

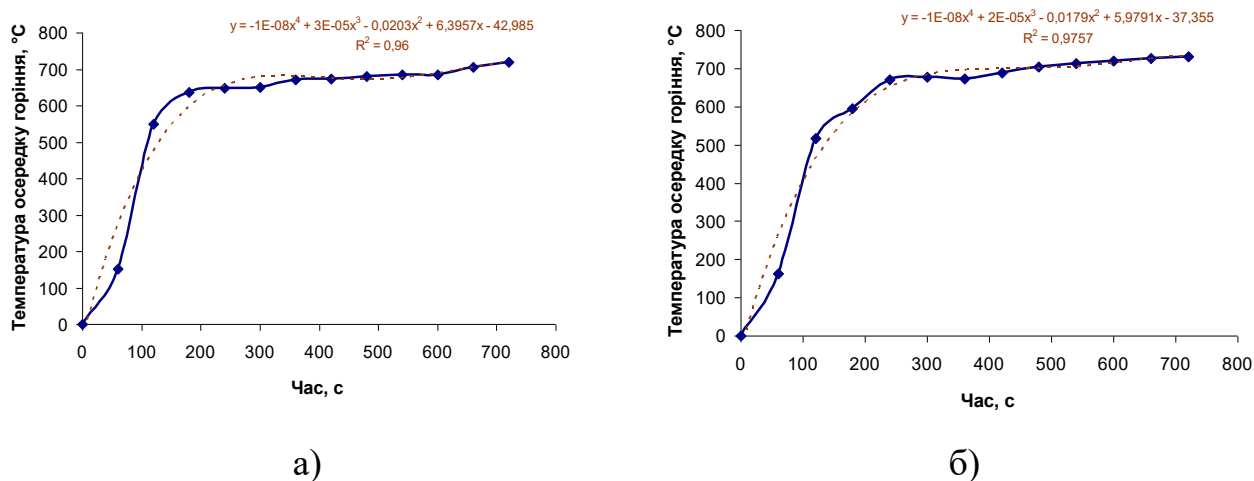


Рисунок 3.8 - Залежність температури в осередку горіння від часу горіння: а) отримані за результатом експерименту; б) отримані за результатом моделювання

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°C, 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 в залежності від зміни висоти вимірювань. Після опрацювання результатів отримано залежності як для експериментального дослідження, так і для процесу моделювання (рис. 3.9).

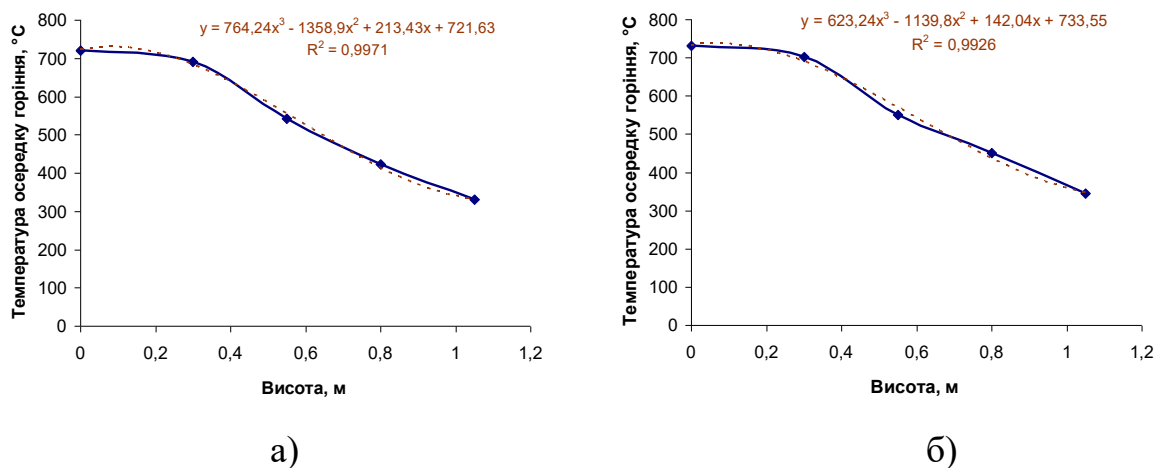


Рисунок 3.9 – Залежність температури над осередком горіння від висоти вимірювання: а) отримані за результатом експерименту; б) отримані за результатом моделювання

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

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 ε , %	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 встановлено, 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.

3.4. 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 отримання часу самозаймання сусідньої ділянки з пожежною навантагою та встановлення зміни температур нагрівання сусідньої ділянки в залежності від відстані до екранувальної панелі. Засоби вимірювальної техніки відображено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Засоби вимірювальної техніки для проведення досліджень

№ 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

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 $6 \times 2,5 \times 2,5$ 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 та 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 $3,0 \pm 0,2$ л палива.

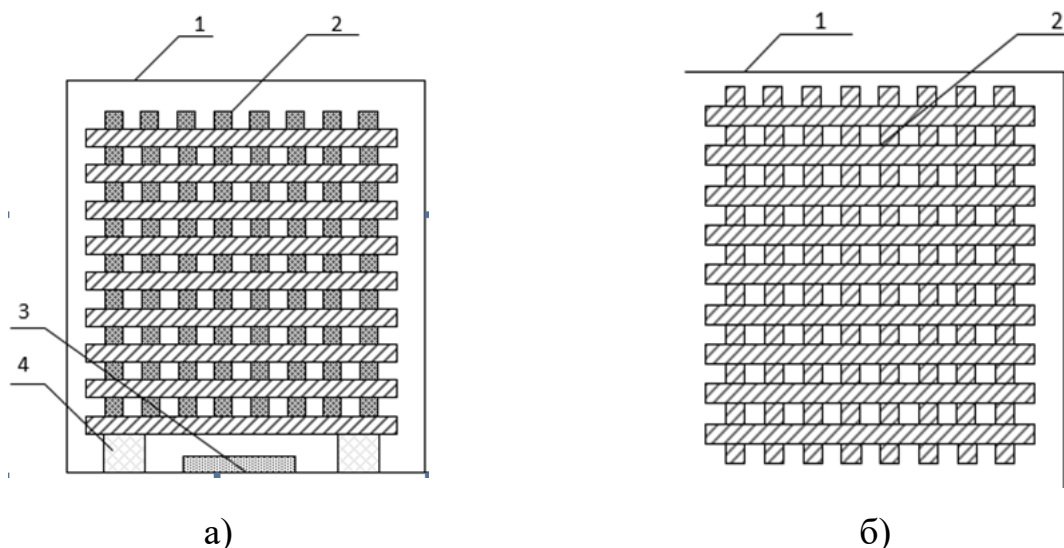


Рисунок 3.10 - Макетне вогнище, обладнане екрануючими панелями:

а) вигляд з фронту; б) вигляд зверху

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 відображено на рис. 3.11.

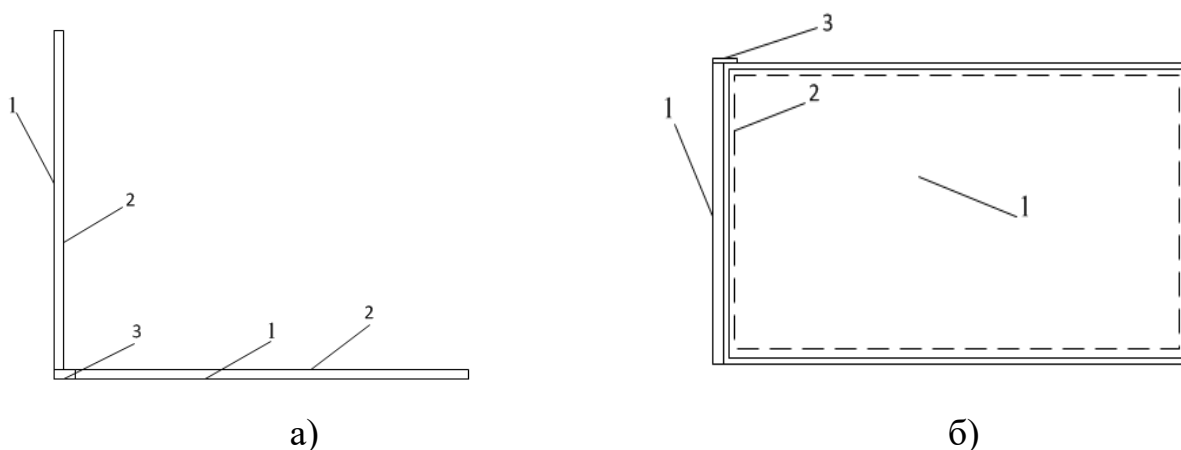


Рисунок 3.11. – Екранувальна панель: а) вигляд зверху; б) вигляд з фронту

Екрануючі металеві панелі розміщуються на відстані 0,05 м від ділянки з пожежним навантаженням (швейно-виробничої ділянки). Верхня сторона екранувальної панелі розміщується на висоті $h_n = h_d + 0,15$ м, де h_d – 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 даній конструкції розміщуються термopари для отримання значень температури нагрівання. Вигляд «сусідньої ділянки» відображено на рисунку 3.12, де 5 – термopари для вимірювання температур прогрівання, 6 – шар тканини бавовни, 7 – шар тканини з поліестеру, 8 – дерев'яна конструкція, на якій закріплено шари тканин.

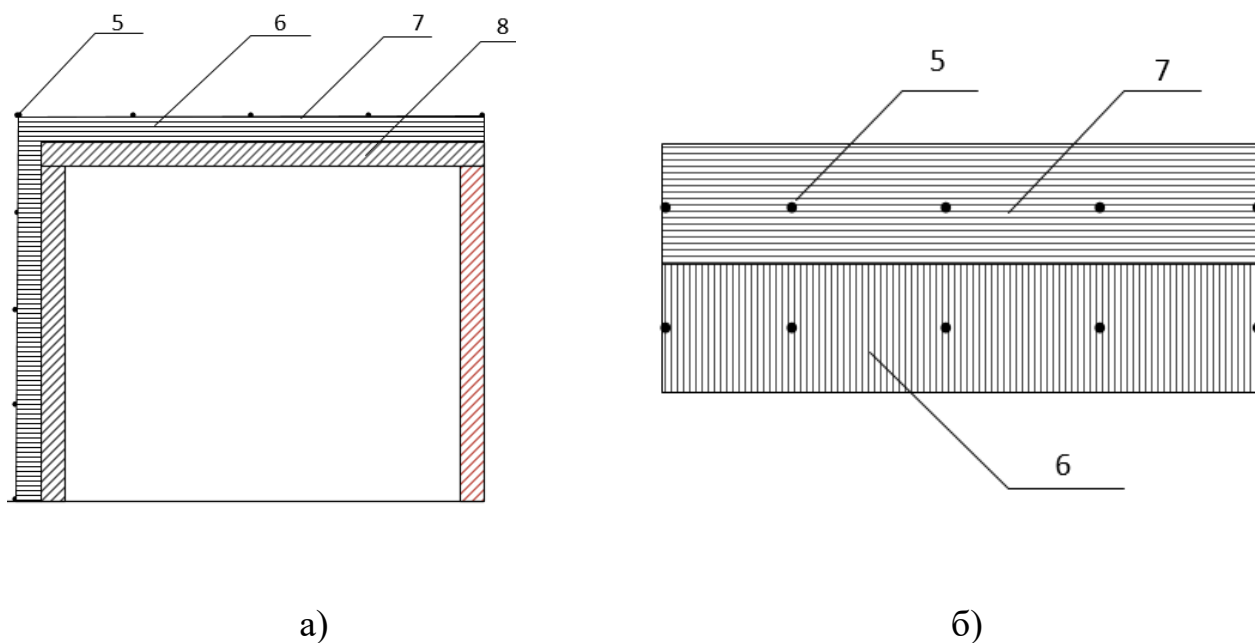


Рисунок 3.12 – Вигляд «сусідньої ділянки»

а) вигляд з фронту; б) вигляд зверху

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 екрануючими 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.

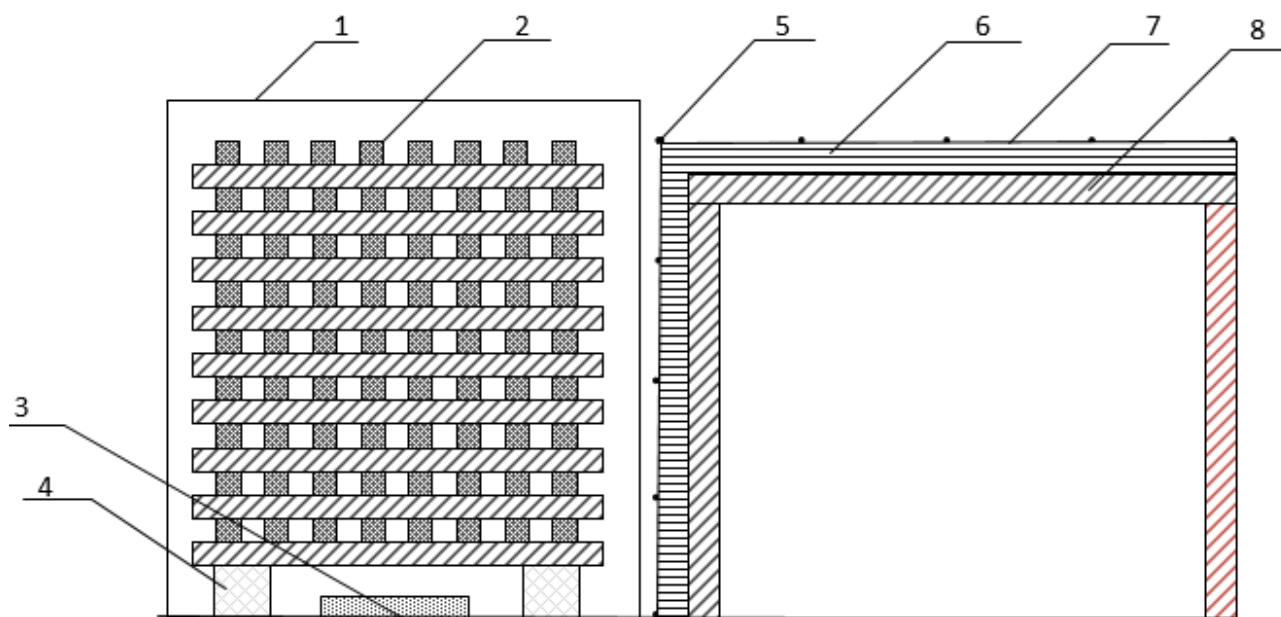


Рисунок 3.13 – Ділянка перед випробуваннями. Вигляд з фронту.

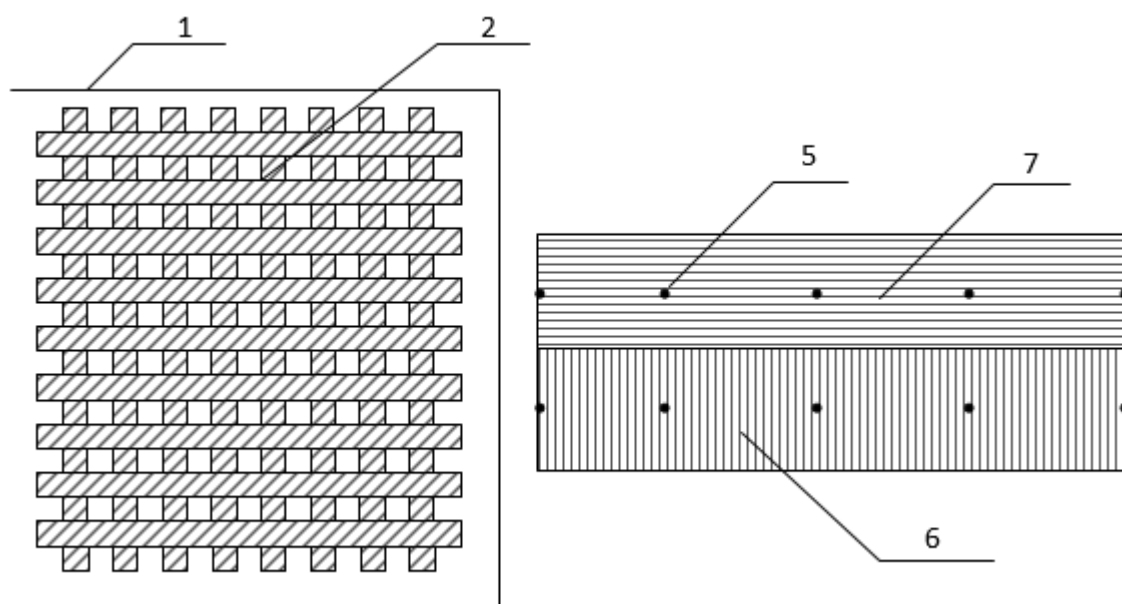


Рисунок 3.14 – Ділянка перед випробуваннями. Вигляд зверху.

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 в залежності 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 нададуть можливість встановити ступінь ефективності застосування екрануючих 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 працюючого 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 – екрануючих 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 вінілтрієтоксисилану (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 ($T_{\max}$) C-Zr-MOF/BPEI/VTES збільшилася з 479 °C до 523,3 °C, а максимальна швидкість втрати маси ($R_{\max}$) при $T_{\max}$ 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 ізоляційних 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. Враховуючи те, що 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'язучих, 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'язучим 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. Авторами встановлено, що застосування горизонтальних протипожежних перешкод дозволяє знизити вертикальне розповсюдження вогню по конструкції стелажу приблизно на 30%, зменшивши при цьому час спрацювання спринклера системи пожежогасіння. В роботі [82] автором досліджено вплив зовнішніх вертикальних огорожувальних 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 в середині різних за призначенням приміщень швейних виробництв, які враховують використання протипожежних перешкод у вигляді екрануючих захисних панелей, 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 *PT 0102* з *TXA* та безконтактного інфрачервоного пірометра марки *HoldPeak HP – 1300*. Опрацювання результатів досліджень здійснювали, використовуючи методи регресійного аналізу та електронні таблиці *MS Excel*.

Методика проведення дослідження запропонована авторами та виконана на основі [44], із врахуванням розмірів та пожежної навантаги окремих

швейно-виробничих місць, особливостей виникнення та поширення горіння промисловими підприємствами. 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. Перелік обладнання та засобів вимірювальної техніки: макетне вогнище пожежі; екрануючі металеві панелі; засоби вимірювальної техніки; сусідні ділянки.

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 $6 \times 2,5 \times 2,5$ 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 $3,0 \pm 0,2$ л палива відповідно до [39]. Екрануючі панелі виконали з негорючого матеріалу – металевих листів з оцинкованої сталі, який закріплено на металевий каркас, розмірами: висота – 0,95 м; ширина – 1,1 м; товщина металевих листів 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.

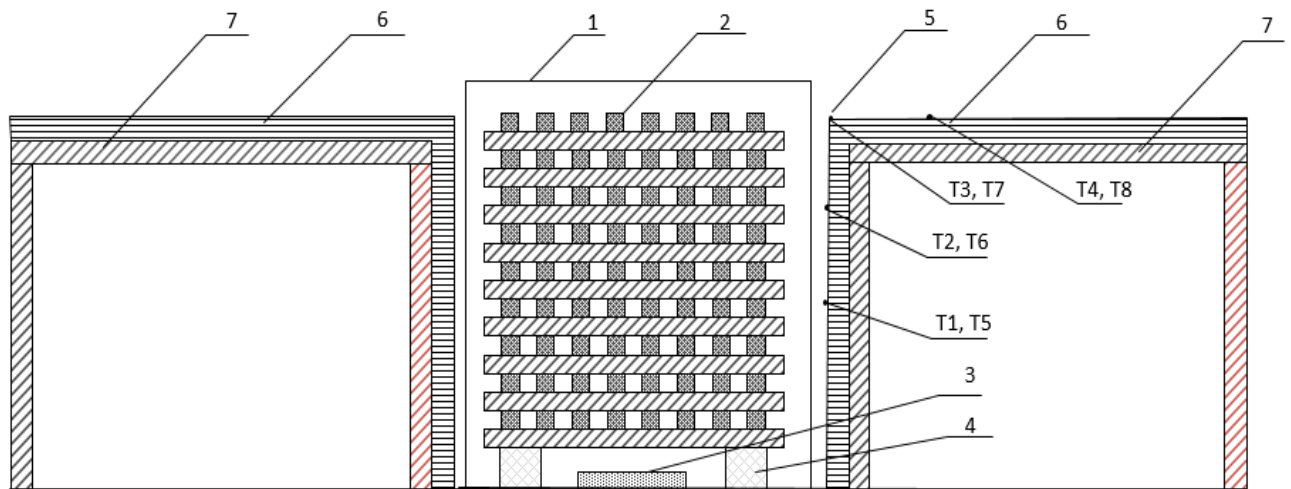


Рисунок 3.15 - План-схема експериментальної ділянки, де:

- 1) екрануючі захисні панелі; 2) макетне вогнище; 3) ємність з паливом; 4) бетонні блоки; 5) термopари T1 – T8; 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°C. Випробування проводили для двох значень пожежної навантаги – 600 МДж та 1200 МДж. Площа розміщення ділянки макетного вогнища становила до 1 м². 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. В подальшому спостерігали за горінням експериментальних ділянок. Фото макетних вогнищ, сусідніх ділянок з тканинами бавовни та поліестеру до моменту підпалу та в процесі горіння зображено 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.

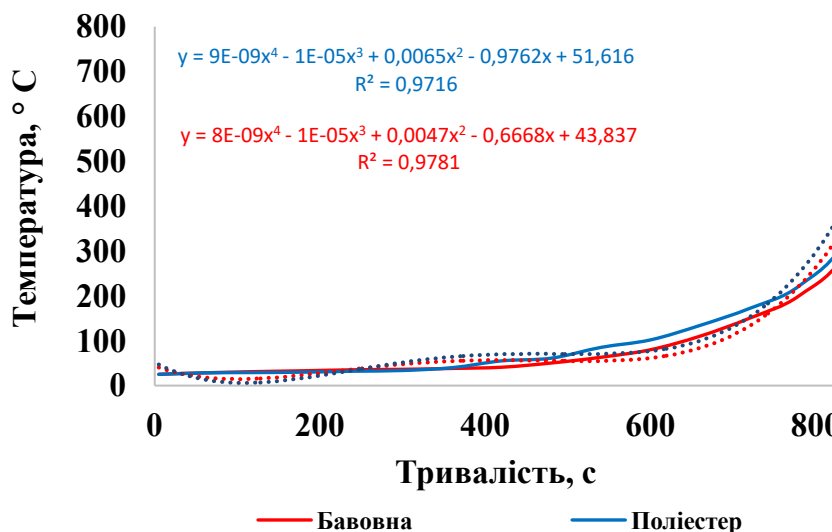


Рисунок 3.17 – Залежності температур від часу нагрівання ділянок з досліджуваними зразками тканин з пожежною навантагою модельного вогнища 600 МДж

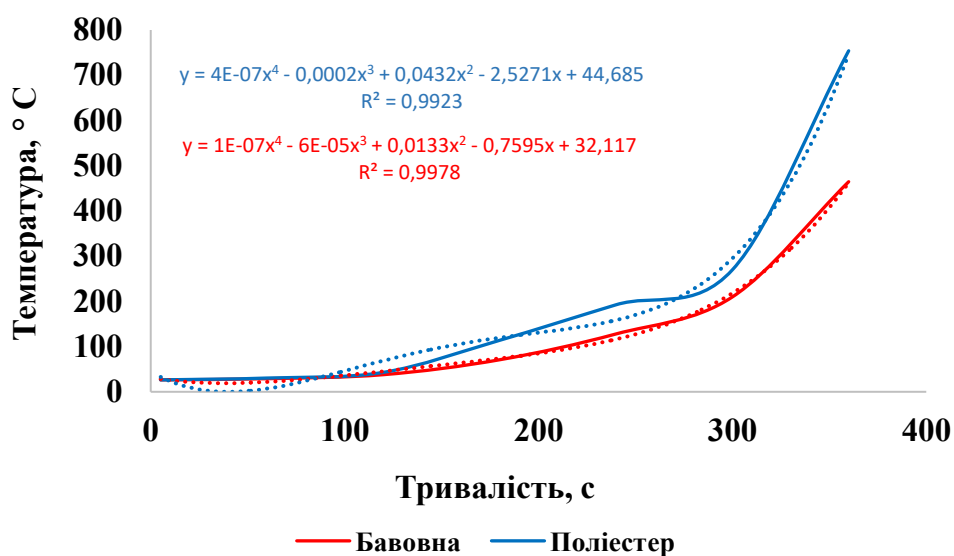


Рисунок 3.18 – Залежності температур від часу нагрівання ділянок з досліджуваними зразками тканин з пожежною навантагою модельного вогнища 1200 МДж.

Результати свідчать, що при пожежній навантазі макетного вогнища величиною 1200 МДж температура самозаймання бавовни (400°C) [73] була зафіксована на 345-ій с від початку горіння в точці розміщення термопарі №3, після чого відбулось подальше нагрівання термопарі до значень температури полум'я в межах $550\text{--}625^{\circ}\text{C}$. Що стосується ділянки розміщення тканин з поліестеру, то температура самозаймання, а саме 500°C [73] виникла на 348-ій с від початку горіння, після чого відбувалось займання та зростання температури в точці розміщення термопарі №7 до значень в межах $650\text{--}724^{\circ}\text{C}$. При горінні макетного вогнища з пожежною навантагою 600 МДж встановлено, що час виникнення температури самозаймання величиною 400°C для ділянки з тканинами з бавовни становив 870 с в точці розміщення термопарі №3, а температура самозаймання ділянки з поліестером набула значення 500°C на 890-ій с в точці розміщення термопарі №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 спостерігалось 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 $t=0,00000001\tau^4-0,00006\tau^3+0,0133\tau^2-0,7595\tau+32,117$ ($R^2 = 0,9978$), а для ділянки тканин з поліестеру — $t=0,00000004\tau^4-0,0002\tau^3+0,0432\tau^2-2,5271\tau+44,685$ ($R^2 = 0,9923$).

Проведено порівняння результатів комп'ютерного моделювання, а саме дослідів №4 та №8 із результатами, які отримали під час експериментальних

вогневих випробувань у дослідях №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 %
$t_{сз}$ бав.	848 с	$t_{сз}$ бав.	870 с	2,59	$t_{сз}$ бав.	331 с	$t_{сз}$ бав.	345 с	4,23
$t_{сз}$ пол.	920 с	$t_{сз}$ пол.	890 с	3,37	$t_{сз}$ пол.	356 с	$t_{сз}$ пол.	348 с	2,29

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

3.6. 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°C, 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°C, що в 1,18 раза менше за температуру самозаймання поліестеру (0% бавовни, подрібнена тканина).

2. Отримано поліномінальні регресійні моделі для температури займання $t_z = 0,0002\varphi^3 - 0,0428\varphi^2 + 0,6078\varphi + 349,44$ 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 φ – 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) $-1/1^{\circ}\text{C}$; бавовни (20%, подрібнена тканина) $-1/0^{\circ}\text{C}$ та бавовни (40%, подрібнена тканина) $-2/1^{\circ}\text{C}$, 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.

3. 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 $720^{\circ}\text{C}/731^{\circ}\text{C}$, що перевищує цей показник на 120-тій секунді на 76,39%/70,73% відповідно.

4. Проведено порівняння результатів комп'ютерного моделювання, а саме дослідів №4 та №8 із результатами, які отримали під час експериментальних вогневих випробувань у дослідях №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 екранувальною 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 екранувальних панелей зниження пожежної навантаги макетного вогнища від 1200 МДж до 600 МДж призводить до збільшення часу до займання експериментальної ділянки в 2,52 раз

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 вже 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 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 вище перелічених протипожежних перешкод, не передбачають можливості екранування окремих робочих місць швейних підприємств з метою запобігання поширенню пожежі між ними.

Сформульована задача вирішується застосуванням екранувальних 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 екранувальних панелей з металевим листом відносно робочих місць швейних підприємств.

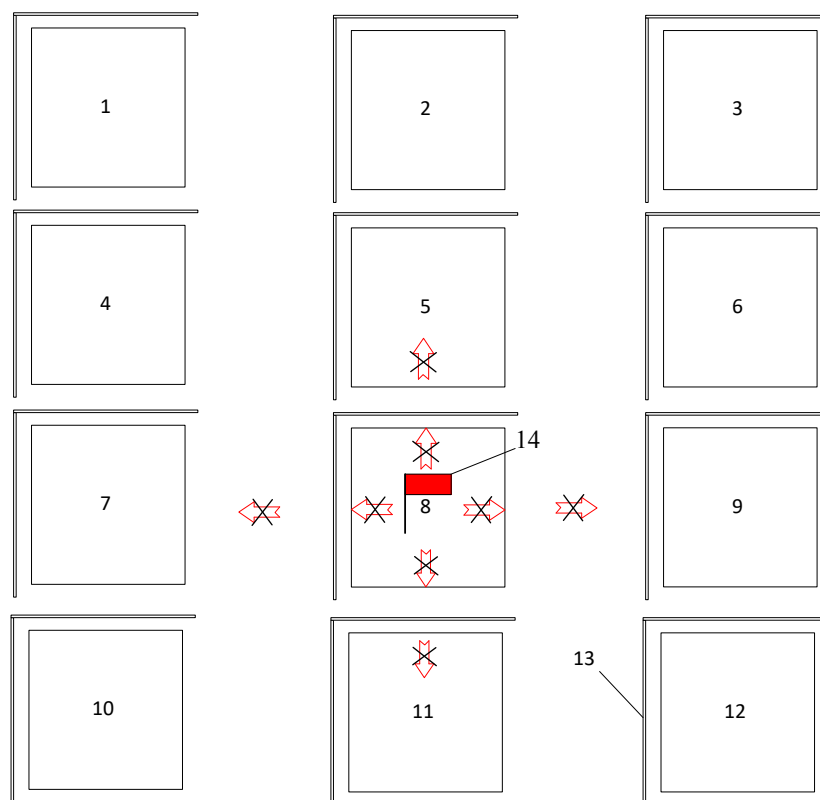


Рисунок 4.1 – Вигляд схеми розміщення протипожежних перешкод і робочих місць, де 1–12 – робочі місця; 13 – екранувальні панелі з металевим листом, 14 – місце виникнення пожежі

У випадку застосування даного способу значна частина теплового випромінювання буде спрямована на прогрівання теплозахисних панелей. Контакт відкритого полум'я ділянки, що 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 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 вище вказаним, проведено теоретичне дослідження впливу екранувальних панелей на формування небезпечних чинників пожежі та час проведення евакуації.

Застосування екранувальних панелей у виробничому просторі швейних підприємств спрямоване на зниження швидкості поширення пожежі, а також запобіганню 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 з отриманих в результаті розрахунків значень критичної тривалості пожежі мінімального часу:

$$\tau_{\text{біл}} = \min \{ t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{BB}, t_{\text{кр}}^{O_2}, t_{\text{кр}}^{TГ} \} \quad (4.1)$$

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:

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

за втратою видимості:

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

за зниженням вмісту кисню:

$$t_{\text{кр}}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} \quad (4.4)$$

за кожним з газоподібних токсичних продуктів згоряння:

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

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

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; A — розмірний

параметр, що враховує питому масову швидкість вигорання горючого матеріалу та площу пожежі, кг/с^n ; z — безрозмірний параметр, що враховує нерівномірність розподілу НЧП по висоті приміщення; Q_n — нижча теплота згоряння матеріалу, МДж/кг ; c_p — 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; E — початкова освітленість, лк ; $l_{\text{гр}}$ — гранична дальність видимості в диму, м ; D_m — димоутворювальна здатність горючого матеріалу, $\text{Нп} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$; L — питомий вихід токсичних газів під час згоряння 1 кг матеріалу, кг/кг ; X — гранично допустимий вміст токсичного газу в приміщенні, кг/м^3 ($X_{\text{CO}_2} = 0,11 \text{ кг/м}^3$; $X_{\text{CO}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $X_{\text{HCL}} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$); L_{O_2} — питома витрата кисню, кг/кг .

Якщо під знаком логарифма виходить від'ємне число, то даний НЧП не є небезпечним. Параметр Z за умови $H \leq 6 \text{ м}$ обчислюють за формулою:

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

за умови $H \leq 6 \text{ м}$

де h — висота робочої зони, м ;

H — висота приміщення, м .

Визначають висоту робочої зони:

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

$h_{\text{пл}}$ — висота майданчика, де знаходяться 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 знаходження людей, які розташовані найвище.

Параметри A та n обчислюють так:

У разі горіння рідини зі сталою швидкістю:

$$A = \psi_{\text{нит}} \cdot F, n = 1 \quad (4.9)$$

Де $\psi_{\text{нит}}$ – питома масова швидкість вигорання рідини, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

У разі горіння рідини з несталою швидкістю:

$$A = \frac{0,67 \cdot \psi_{\text{нит}} \cdot F}{\sqrt{t_{\text{ст}}}}, n = 1,5 \quad (4.10)$$

Для кругового поширення пожежі:

$$A = 1,05 \cdot \psi_{\text{нит}} \cdot v^2, n = 3 \quad (4.11)$$

Де v – лінійна швидкість поширення полум'я, $\text{м}/\text{с}$;

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

$$A = \psi_{\text{нит}} \cdot v \cdot b, n = 2 \quad (4.12)$$

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

Для визначення розрахункової тривалості евакуації людей застосовується формула:

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

Де $t_{\text{бл}}$ — 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 екранувальних 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 м² та об'ємом 1500 м³

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	φ	η
20	3	50	0,001	0,55	0,97
$V_{\text{с}}$	α	$h_{\text{нр}}$	$l_{\text{зр}}$	$D_{\text{м}}$	L_{CO2}
1500	0,3	3,2	20	61	0,88
L_{CO}	L_{HCl}	Ψ_{num}	Q	L_{O2}	$v_{\text{л}}$

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	φ	η
20	3	50	0,001	0,55	0,97
$V_{\text{с}}$	α	h_{np}	$l_{\text{ср}}$	D_m	L_{CO2}
1500	0,3	3,2	20	790	1,65
L_{CO}	L_{HCl}	Ψ_{num}	Q	L_{O2}	$\nu_{\text{л}}$
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 панелями або без такого. Значення НЧП представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Значення НЧП для виробничого приміщення
об'ємом 1500 м³

Ном. З/п	Номер дослід,у, захищена чи незахищена сторона	Зн-ня швидко сті пошире ння горіння v_d	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
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 0,95м 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).

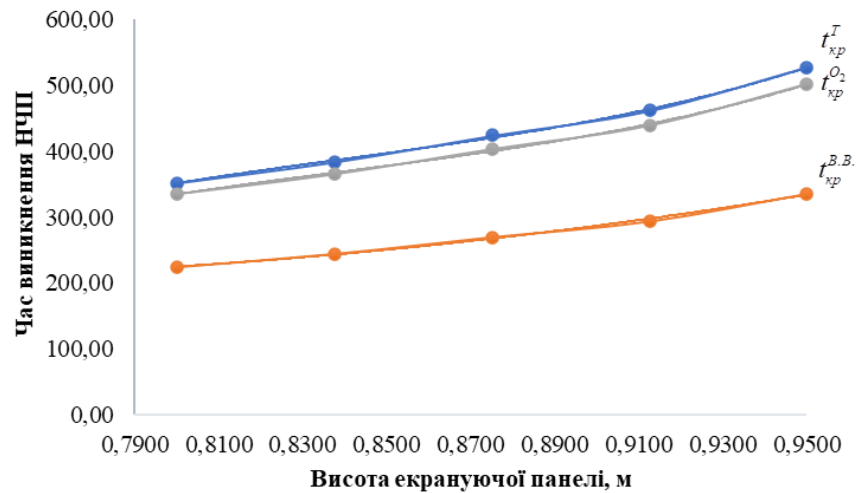


Рисунок 4.2 - Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі

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 $t_{кр}^{O_2} = 30214h^3 - 76098h^2 + 64716h - 18205$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9987$; за втратою видимості $t_{кр}^{В.В.} = 20211h^3 - 50905h^2 + 43291h - 12178$ 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.

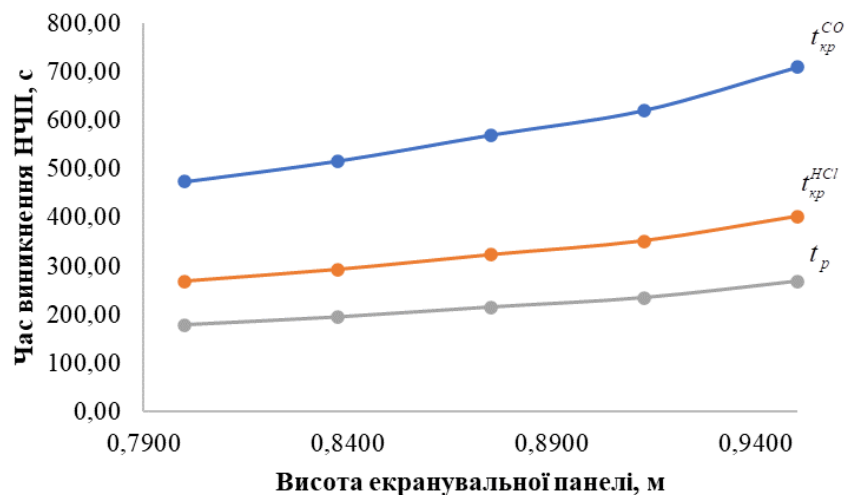


Рисунок 4.3 - Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі

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 екрануючих панелей на виникнення небезпечних чинників пожежі у виробничому просторі приміщення об'ємом 1500 м³ (рис. 4.4 та рис. 4.5).

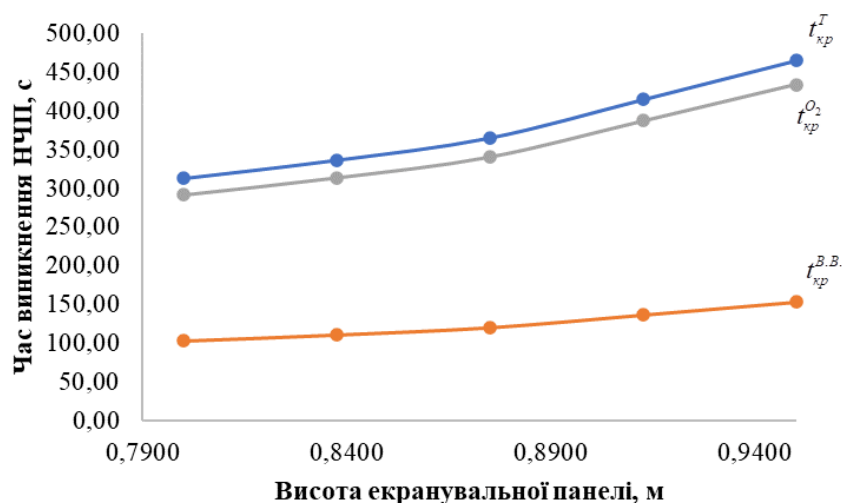


Рисунок 4.4- Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі

Для формування небезпечних чинників пожежі за зростанням температури отримано залежність $t_{кр}^T = -6779,3h^3 + 21573h^2 - 21129h + 6880,5$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,9988$; зниження концентрації кисню в повітрі описується залежністю $t_{кр}^{O_2} = -6305,2h^3 + 20077h^2 - 19669h + 6407,1$ 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.

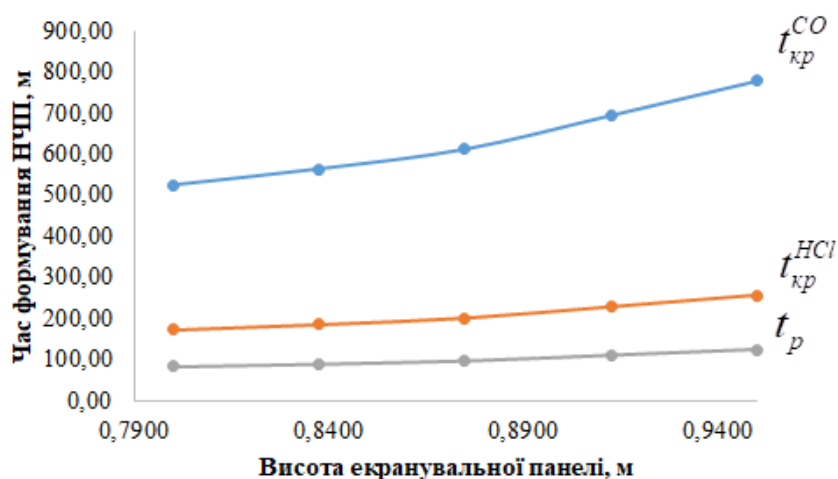


Рисунок 4.5 - Залежності НЧП від висоти екранувальної панелі

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 отримано наступне : для дослідів №4 при пожежній навантазі робочого місця 600 МДж за наявності тканин з бавовни і поліестеру застосування екранувальних 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 рази. Зростання значення пожежної навантаги виробничої ділянки (швейного робочого місця) від 600 МДж до 1200 МДж із врахуванням застосування екранувальних панелей пришвидшує формування критичних значень НЧП у 1,55 раза. Для тканин з поліестеру небезпечні чинники пожежі виникають значно швидше ніж для тканин з бавовни, а саме у 1,13 рази за НЧП за підвищеною температурою, 2,18

рази за втратою видимості, 1,16 рази за зниженням концентрації кисню, 0,91 рази за концентрацією CO, 1,57 рази за концентрацією HCl та у 2,18 рази 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 небезпечних 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 панелей у значній мірі сповільнює виникнення НЧП у порівнянні з результатами, отриманими без використання вище вказаних панелей, що в свою чергу призводить до збільшення розрахункового часу проведення евакуації та зниження індивідуального пожежного ризику.

4.3 Висновки до розділу

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

2. Для виробничого приміщення швейного підприємства об'ємом 1500 м³, 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 рази.

4. Застосування екранувальних 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 рази, а при навантазі 1200 МДж це значення становить 1,25 рази.

ВИСНОВКИ

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

Основні науково-практичні результати дисертації наведено нижче.

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

2. 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°C , 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°C , що в 1,18 раза менше за температуру самозаймання поліестеру (0% бавовни, подрібнена тканина).

3. Отримано поліноміальні регресійні моделі для температури займання $t_3 = 0,0002\varphi^3 - 0,0428\varphi^2 + 0,6078\varphi + 349,44$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9987$ та температури самозаймання $t_{c3} = -0,000005\varphi^3 - 0,0014\varphi^2 - 0,4438\varphi + 469,92$ ($R^2 = 0,9995$), де φ – відсотковий склад бавовни у зразку.

4. За результатами проведення комп'ютерного моделювання в середовищі PyroSim та застосування методів проведення повного факторного експерименту отримано залежності часу до виникнення займання τ_i на робочих місцях та

залежності швидкості поширення горіння v_i по швейно-виробничих ділянках для пожежного навантаження з температурами самозаймання 400 °С та 500 °С від зміни величини пожежної навантаги ділянки, висоти екранувальної панелі та відстаней розміщення екранувальних панелей до сусідніх ділянок:

$$\tau_{400} = 1,579 \cdot 10^3 L + 5,781 \cdot 10^3 h_n + 3,672 Q - 1,072 \cdot 10^3 h_n L - 2,164 Q L - 4,3 Q h_n + 2,453 \cdot Q h_n L - 4,221 \cdot 10^3;$$

$$\tau_{500} = -4,4 \cdot 10^{-2} L + 6,07 \cdot 10^3 h_n + 3,85 Q + 1,2 \cdot 10^3 h_n L - 0,74 Q L - 4,98 Q h_n + 0,89 Q h_n L - 4,39 \cdot 10^3;$$

$$v_{400} = -1,43 L - 1,23 h_n - 7,33 \cdot 10^{-4} Q + 1,69 h_n L + 9,83 \cdot 10^{-4} Q h_n + 1,62 \cdot 10^{-3} Q L - 2,04 \cdot 10^3 Q h_n L + 1,16;$$

$$v_{500} = -1,29 L - 1,09 h_n - 6,5 \cdot 10^{-4} Q + 1,53 h_n L + 1,47 \cdot 10^{-3} Q L + 8,7 \cdot 10^{-4} Q h_n - 1,85 \cdot 10^{-3} Q h_n L + 1,03$$

5. 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;

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

7. Для виробничого приміщення швейного підприємства об'ємом 1500 м³, 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.

8. Запропоновано захищений патентом України на користу модель способ додаткового протипожежного захисту, який відрізняється тим, що дає змогу сформувати у виробничому просторі швейного підприємства локальні протипожежі перешкоди у вигляді екранувальних панелей, і при пожежній навантазі робочих місць величиною 600 МДж сповільнює виникнення небезпечних чинників пожежі в 1,81 рази, а при навантазі 1200 МДж це значення становить 1,25 рази.

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: ЧПБ 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-розкрийного виробництва: 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., Куціщій, 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-seh-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-sehu-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., Мінкович 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. –№ 28. –С. 36-42.
24. Гуліда Е.М., Меньшикова О.В. Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні. *Проблеми пожарной безопасности*. 2010. № 28. С.65–73.
25. Гуліда Е.М., Меньшикова О.В., Ренкас А. А. Моделювання пожежі в закритому приміщенні. *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-shveyiny-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. Нуязін, О., Гвоздь, В., Поздєєв, С., Некора, О., & Борсук, О. (2021). Дослідження залежності часу відшарування вогнезахисного мінераловатного облицювання сталеві 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-shveyiny-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: А62С 2/00. № 151205; заяв. 20.01.2010 ; опубл. 15.06.2022, Бюл. № 24. 4 с.

69. Степаненко С. Г., Яник Я. М., Тимошук 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 нестационарного 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-shveydiy-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 огорожувальних 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 Council on 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 Inter-pretation 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, Cornell University, 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 Textiles in 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. *Eastern European 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/mateconf/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.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ "Науково-випробувальний
центр "ЄВРОСТАНДАРТ"

Олексій ІЛЬНИЦЬКИЙ

04 2024 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
ад'юнкта АДОЛЬФА Івана Івановича

Комісія у складі:

голови комісії – директора – ІЛЬНИЦЬКОГО Олексія

та членів комісії:

начальника науково-дослідної лабораторії – ПИКУСА Віктора;

інженера-випробувальника – КАРП'ЯКА Михайла склала цей акт про використання матеріалів дисертаційної роботи ад'юнкта Львівського державного університету безпеки життєдіяльності АДОЛЬФА Івана та стверджує, що методика облаштування робочих місць швейних підприємств екрануючими захисними панелями, а також отримані на підставі її застосування рекомендації, використовуються в діяльності ТзОВ "Науково-випробувальний центр "Єв्रोстандарт" під час виконання розрахунків з визначення категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою виробничих приміщень швейних підприємств.

Голова комісії

Олексій ІЛЬНИЦЬКИЙ

Члени комісії

Віктор ПИКУС

Михайло КАРП'ЯК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук, доцент, полковник служби цивільного захисту



Дмитро ЧАЛИЙ

«10» 04 2024 р.

АКТ

**впровадження результатів дисертаційної роботи
АДОЛЬФА Івана Івановича**

Комісія у складі заступника начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки з навчально-наукової роботи, к.т.н., доцента ПАСНАКА Івана, начальника кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, к.т.н. ПАЗЕНА Олега та доцента кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, к.т.н., доцента ФЕРЕНЦ Надії встановила, що результати дисертаційної роботи АДОЛЬФА Івана на тему "Підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки підприємств швейної промисловості" за спеціальністю 261 "Пожежна безпека" (на здобуття наукового ступеня доктора філософії) використовуються в навчальному процесі при викладанні на кафедрі наглядово-профілактичної діяльності дисциплін:

– "Пожежна профілактика технологічних процесів" – для здобувачів освітнього рівня бакалавра за спеціальністю 261 "Пожежна безпека";

– "Розслідування подій, пов'язаних з пожежами" для здобувачів освітнього рівня магістра за спеціальністю 261 "Пожежна безпека".

В курсах навчальних дисциплін використані теоретичні положення та методичні підходи дисертаційної роботи щодо розроблення додаткових протипожежних заходів, спрямованих на запобігання поширенню пожеж виробничими приміщеннями швейних підприємств.

Заступник начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки з навчально-наукової роботи,
к.т.н., доцент, підполковник сл. ц. з.

Іван ПАСНАК

Начальник кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики,
к.т.н., підполковник сл. ц. з.

Олег ПАЗЕН

Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, к.т.н., доцент

Надія ФЕРЕНЦ

ДОДАТОК Б
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, °C 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 “Пожежовибухонебезпечність 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 $(3,0 \pm 0,1)$ 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 випробування 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 °C 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 ВТУ 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°C.

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°C.

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°C.

Таблиця 7

№ зразка	Температура випробування, °C	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°C.

Таблиця 8

№ зразка	Температура випробування, °C	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°C.

Таблиця 9

№ зразка	Температура випробування, °C	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°C.

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°C до 600 °C .

Для випробування готують 10-15 зразків досліджуваної речовини (матеріалу) масою $(3,0 \pm 0,1)$ 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 °C менше – спостерігається відмова.

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

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 °C	-
2	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
3	Термопара ТХА	6	Від 0 до 1200 °C	±2 °C
4	Регулятор-вимірювач РТ 0102	10.354	Від 0 до 1200 °C	
5	Ваги ВТУ 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°C.

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°C.

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°C.

Таблиця 14

№ зразка	Температура випробування, °C	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°C.

Таблиця 15

№ зразка	Температура випробування, °C	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, °C	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°C.

Таблиця 17

№ зразка	Температура випробування, °C	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°C.

Таблиця 18

№ зразка	Температура випробування, °C	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°C.

Завідувач

НДЛ ПБ ЛДУБЖД

Науковий співробітник, к.т.н.

НДЛ ПБ ЛДУБЖД

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

Ад'юнкт ЛДУБЖД



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Павло ПАСТУХОВ

Володимир ТОВАРЯНСЬКИЙ

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, °C 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 °C	±2°C
4.	Секундомір СОП пр.	0 – 3600 с	Клас точн. 2
5.	Ваги – вологоміри AXIS - 120	20 – 160 °C	Клас точн. 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

7. *Вимірювання* температури, вологості, швидкості повітряного потоку в приміщенні експериментального полігону, ваги та вологості дерев'яних брусків розмірами 39×89×1000 мм;
8. *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;
9. *Формування* сусідньої ділянки, яка складається з дерев'яної конструкції, по якій укладено шари тканин з бавовни та поліестеру.
10. *Вимірюються* значення температур на сусідній з макетним вогнищем ділянці на встановлених відстанях, від зовнішньої сторони екранувальної панелі.
11. *Вимірюється* час від початку вогневого випробування до виникнення горіння на сусідній ділянці із захищеної та незахищеної екрануючими панелями сторін.
12. *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	T1	T2	T3	T4	№ з/п	T5	T6	T7	T8
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	T1	T2	T3	T4	№ з/п	T5	T6	T7	T8
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

Науковий співробітник, к.т.н.
НДЛ ПБ ЛДУБЖД

Науковий керівник, доцент
кафедри ЕТЗ та ПРГ ЛДУБЖД, к.т.н.

Ад'юнкт ЛДУБЖД

Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Павло ПАСТУХОВ

Володимир ТОВАРЯНСЬКИЙ

Іван АДОЛЬФ

ДОДАТОК В
КСЕРОКОПІЯ ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 151205

**СПОСІБ ДОДАТКОВОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ
РОБОЧИХ МІСЦЬ ШВЕЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей
15.06.2022.

Генеральний директор
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»

А.В. Кудін



ДОДАТОК Д
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список наукових праць, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

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.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. 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.

7. Адольф І. І., Товарянський В. І. Пожежна безпека підприємств швейної промисловості: проблема та шляхи її вирішення. Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту». Харків: НУЦЗУ. – 2021.

8. Адольф І. І., Товарянський В. І. Температури займання і самозаймання тканин з бавовни та поліестеру як показники їх пожежної безпеки. XI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. – 2021.

9. Адольф І.І., Температури горіння швейно-виробничої ділянки як фактор пожежної безпеки. 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.

10. I Adolf, V Tovarianskyi 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.

11. 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.

Патенти на винаходи та корисні моделі:

12. Адольф І. І., Товарянський В. І., Спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств. Патент України на корисну модель №151205. ДП "Укрпатент", 2022.

Апробація результатів роботи

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на доповідях, наукових семінарах та науково-технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на науково-практичних конференціях:

- XVI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 25-26 березня 2021);

- Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, : 15-16 квітня 2021);

- XI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси, 28-29 жовтня 2021);

- Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення» (Львів, 12-13 жовтня 2022);

- Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (Харків, 20-21 квітня 2023);

- XIX Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 28-29 березня 2024).

- Отримано патент України на корисну модель «Спосіб додаткового протипожежного захисту робочих місць швейних підприємств».