

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Шарий Володимир Володимирович**

УДК 614.8

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ**

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.

\_\_\_\_\_В.В.Шарий

Науковий керівник Паснак І.В., кандидат технічних наук, доцент

Львів – 2022

## АНОТАЦІЯ

*Шарий В.В.* Підвищення ефективності систем забезпечення пожежної безпеки складських приміщень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 "Пожежна безпека". – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2022.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального наукового завдання – підвищення ефективності систем забезпечення пожежної безпеки складських приміщень.

Пожежі на об'єктах зберігання значних матеріальних цінностей при несвоєчасному виявленні мають стрімкий розвиток та затяжний характер, несуть значну небезпеку для обслуговуючого персоналу та працівників пожежно-рятувальних підрозділів, завдають значні матеріальні збитки. Економічні збитки від пожеж на складах є набагато вищими ніж від пожеж на інших типах об'єктів. Статистичні дані свідчать про невтішну регулярність пожеж на об'єктах зберігання. В разі недотримання існуючих вимог забезпечення пожежної безпеки в місцях зберігання небезпечних речовин наслідки є катастрофічними.

Пожежі на об'єктах зберігання матеріальних цінностей, незважаючи на наявність у них систем протипожежного захисту, часто розповсюджуються на усю площу складських приміщень, а подекуди і будівлі. Матеріальні збитки від таких пожеж, як показує їх статистика, можуть становити десятки і сотні мільйонів умовних одиниць. Часто наслідками пожеж на складських об'єктах, окрім матеріальних збитків, є загибель та травмування людей, пошкодження сусідніх об'єктів, а також нанесення значної екологічної шкоди навколишньому середовищу.

На сьогоднішній день підвищенню ефективності систем забезпечення пожежної безпеки складських приміщень, а саме щодо швидкого виявлення пожеж на таких об'єктах, приділено недостатньо уваги. При проектуванні слід

застосовувати об'єктно-орієнтований гнучкий підхід до визначення кількості усіх елементів систем протипожежного захисту з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента, а також їх необхідної (нормованої) кількості на захищуваному об'єкті.

Тому, метою роботи є розкриття особливостей впливу чинників на процеси виникнення, виявлення та розвитку пожеж складських приміщень на основі теоретичних та експериментальних досліджень у контексті вдосконалення систем забезпечення пожежної безпеки таких об'єктів.

Під час виконання дисертаційних досліджень використовувалися: комплексний метод досліджень, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень сучасного стану забезпечення пожежної безпеки складських приміщень; методи статистичного аналізу; метод математичного моделювання та теоретичної оцінки пожежного ризику для складських приміщень; методика повнофакторного експерименту при плануванні і обробці його результатів; метод Монте-Карло при пошуку розв'язку оптимізаційної задачі щодо визначення необхідної кількості засобів протипожежного захисту.

Найбільш ефективним методом забезпечення пожежної безпеки на об'єктах складування є впровадження систем протипожежного захисту, здатних на ранніх стадіях виявляти пожежу, локалізувати її, невідкладно повідомляти персонал та відвідувачів про її виникнення та сприяти безпечній евакуації людей.

Необхідним є розроблення методики визначення для будь-якого об'єкта (складів, які розміщені в закритих приміщеннях) оптимальної кількості приладів системи протипожежного захисту, яка давала б можливість стабільно отримати ймовірність відмови протипожежної системи в межах не більше  $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ .

На сьогоднішній день немає комплексного підходу до вибору типу та кількості пожежних сповіщувачів на різних об'єктах, існуючі результати досліджень не можуть бути застосовані для вибору оптимального розміщення у складських приміщеннях. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого оцінці впливу чинників на ефективність

виявлення пожеж досліджуваних об'єктів.

Подальшого розвитку набула математична модель, що дозволяє визначити оптимальну кількість протипожежних засобів на складських об'єктах, які розміщені в закритих приміщеннях з урахуванням безвідмовної роботи систем протипожежного захисту.

Для підвищення рівня пожежної безпеки на об'єктах складування змодельовано процес розвитку пожежі у відкритому об'ємі приміщення та із застосуванням перегородок та протипожежних завіс.

У закритих складських приміщеннях розглянуто два режими розвитку горіння матеріалів: з наявністю достатньої кількості повітря (кисню), тобто пожежа, яка виникла, регулюється пожежним навантаженням; з недостатньою кількістю повітря (кисню), тобто пожежа, яка виникла, регулюється вентиляцією.

У закритому приміщенні в реальних умовах перший режим пожежі поступово переходить в другий, а після досягнення температури в приміщенні, при якій руйнуються шибки вікон, процес газообміну стає двостороннім і пожежа переходить до першого режиму.

Результати моделювання пожежі у складських приміщеннях отримані по відношенню до реального об'єкта, а саме до складського приміщення логістичного комплексу ТзОВ "Нова пошта" Пустомитівського району Львівської області.

За результатами статистичного моделювання розподілу Вейбулла встановлено ймовірність зменшення швидкості розповсюдження пожежі по приміщенні складу, яке для розглянутого об'єкта становить 0,006 при використанні перегородок та 0,002 без їх використання. Це вказує на те, що використання протипожежних перегородок між ділянками приміщень виробничо-складських об'єктів зменшує імовірність розповсюдження пожежі по цьому приміщенню приблизно в 3 рази.

Виконано теоретичні дослідження впливу протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі та встановлено, що наявність в складі об'ємів

приміщень захищених протипожежними завісами зменшує швидкість розповсюдження пожежі в 1,8 раза.

Важливим результатом є розроблення комплексного підходу до вибору типу та кількості пожежних сповіщувачів на різних об'єктах із різними пожежним навантаженням.

Розроблено методику та обладнано приміщення для проведення експериментальних досліджень часу спрацювання пожежних сповіщувачів. Дослідження проводились на території науково-випробувального центру, що знаходиться в с. Черляни Городоцького району Львівської області, у приміщенні, що відповідає параметрам, характерним складським об'єктам. Для отримання емпіричних залежностей застосовано методи повнофакторного експерименту типу  $2^3$ . Факторами, що впливають на результуючу, є тип пожежного навантаження (при цьому основним фактором є питома швидкість вигорання матеріалу), висота розміщення пожежного сповіщувача та відстань сповіщувача від осередку пожежі. Шляхом розміщення сповіщувачів одночасно на різних висотах дозволило скоротити кількість дослідів вдвічі. Таким чином, проведено 4 дослідів із повторюваністю двічі. Досліджували три типи димових пожежних сповіщувачів: безадресні пожежні сповіщувачі, адресні та аспіраційні.

За результатами опрацювання результатів дослідів вперше отримано на основі експериментальних досліджень емпіричні залежності для встановлення часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі у складських приміщеннях з урахуванням виду горючого матеріалу, відстані та висоти розміщення пожежних сповіщувачів від потенційного осередку пожежі.

Результати дослідів показали, що час спрацювання будь-якого пожежного сповіщувача є меншим при зменшенні відстані від вертикальної осі сповіщувача та при монтуванні сповіщувачі ближче до перекриття. При віддаленості 1 м аспіраційний сповіщувач дещо швидше виявляє загорання від безадресного сповіщувача, однак при збільшенні відстані від 6 до 10 м час виявлення ідентичний. Адресний сповіщувач при віддаленості 1 м показує на кілька с більший час спрацювання, однак при збільшенні відстані до 10 м це відставання

зростає в рази. При висоті встановлення сповіщувачів 3 м найшвидший час реакції демонструє аспіраційний сповіщувач, безадресний сповіщувач реагує на 10 с пізніше при збільшенні висоти швидкість виявлення зменшується і на відмітці 12 м суттєво не відрізняється. Адресний сповіщувач показує найбільший час реакції, який зменшується зі збільшенням висоти однак на висоті 12 м різниця з аспіраційним і безадресним сповіщувачами зберігається. При меншій швидкості вигорання, відзначаємо найшвидшу реакцію безадресного сповіщувача з незначним відставанням аспіраційного сповіщувача. Зі збільшенням швидкості вигорання аспіраційна система реагує швидше. Адресний сповіщувач по даному параметру показує найнижчу швидкість реакції.

Найбільш ефективними у складських приміщеннях незалежно від типу горючого матеріалу є неадресні пожежні димові сповіщувачі та аспіраційні димові пожежні сповіщувачі. При цьому забірні повітропроводи аспіраційного димового пожежного сповіщувача при встановленні їх ближче до підлоги є ефективнішими від точкових димових пожежних сповіщувачів. Оптична густина диму при горінні матеріалу суттєво не впливає на час спрацювання димових сповіщувачів або має обернено-пропорційну залежність.

Отримані емпіричні залежності дозволяють обрати пожежні сповіщувачі та розмістити у приміщенні їх таким чином, щоб відбулось їх якнайшвидше спрацювання. Середня похибка даних залежностей при порівнянні з даними експерименту становить 6,9 %. Використання даних залежностей дозволяє зменшити час спрацювання пожежного сповіщувача у порівнянні із розміщенням їх згідно з будівельними нормами на 14 с.

Удосконалено математичну модель вибору оптимальної кількості протипожежних засобів для закритих складських приміщень, яка дозволяє визначати потрібну кількість протипожежних засобів з урахуванням можливої відмови окремих компонентів систем протипожежного захисту.

Для визначення ймовірності відмови протипожежної системи складу застосовано методику визначення загальної імовірності, яка буде дорівнювати добутку імовірностей відмови кожної складової СПЗ. Розрахунки за даною

методикою показали, що для реального об'єкту (логістичного складу логістичного комплексу ТзОВ "Нова пошта" Пустомитівського району Львівської області) ймовірність відмови не відповідає допустимому значенню.

Отримана математична модель для визначення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів з метою своєчасного виявлення, швидкої евакуації людей, локалізації пожежі системами автоматичного пожежогасіння, успішного гасіння пожеж пожежно-рятувальними підрозділами. Ця мета досягається шляхом підвищення надійності роботи кожного з цих елементів в комплексі. Натомість існуючі методи базуються на виконанні норм та стандартів, а методи забезпечення надійності систем протипожежного захисту направлені лише на покращення безвідмовної роботи конкретної системи. Зокрема, відновлення роботи окремих елементів систем протипожежного захисту на об'єктах здійснюється шляхом їх заміни у разі несправності. Проте, якщо несправність виникає у процесі пожежі, здійснити такий підхід є неможливим. Отриманий метод дозволяє системам протипожежного захисту виконувати свої функції навіть у разі виходу одного чи декількох елементів з роботи шляхом створення запасу цих елементів на об'єкті.

Дана методика застосована на прикладі складського об'єкту, а саме логістичного складу ТзОВ "Нова пошта" у с. Сороки Львівські Пустомитівського району Львівської області. Результати розрахунку показали, що склад необхідно дообладнати оповісниками у кількості 70 шт., протидимними пристроями у кількості 3 шт., протипожежними завісами у кількості 14 шт., та збільшити кількість евакуаційних виходів до 10. Це дозволить зменшити ймовірність відмови системи протипожежного захисту з  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $1,8 \cdot 10^{-8}$ , що забезпечить протипожежний захист даного складу.

Основні обмеження даного методу є те, що він стосується складських об'єктів, розміщених у закритих приміщеннях. У перспективі розвиток даної математичної моделі дозволить застосовувати її для інших типів об'єктів.

При пошуку розв'язку оптимізаційної задачі побудованої на основі математичної моделі для визначення оптимальної кількості протипожежних

засобів в складських приміщеннях застосовано метод Монте-Карло. Для реалізації алгоритму пошуку оптимальної кількості протипожежних засобів в середовищі Windows була написана програма на мові Java.

**Ключові слова:** пожежна безпека, складське приміщення, системи протипожежного захисту, пожежний ризик, оптимізаційна математична модель, повнофакторний експеримент, імовірність відмови систем.

## **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. 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.

2. 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.

3. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2019). Вплив протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*, 35, 23-29.

4. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Гарантування пожежної безпеки на відкритих складах виробничих об'єктів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 4, 39-46.

5. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*, 37, 44-51.



**Статті у наукових журналах, що входять до бази даних Scopus:**

6. Hulida, E., Pasnak, I., Renkas, A., & Sharyu, V. (2020). Engineering method for determining rational fire protection parameters of warehouses. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10(104)), 38-45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201819>
7. Sharyu, 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>

**Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

8. Гуліда, Е.М., Коваль, О. М., Шарий, В. В. (2019). Ліквідація пожеж на складах об'єктів господарювання. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (11-12 квітня 2019 р., м. Черкаси)*, 14-15.
9. Шарий, В. В., Гуліда, Е.М. (2020). Вплив застосування протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих виробничо-складських об'єктах. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (26-27 березня 2020 р., м. Львів)*, 89-90.
10. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Забезпечення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів виробничих об'єктів з використанням інформаційних технологій. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали X Всеукраїнської наук.-практ. конф. з міжнародною участю, (29-30 жовтня 2020 р., м. Черкаси)*, 22-23.
11. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Забезпечення пожежної безпеки на відкритих складах виробничих об'єктів. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті: зб. тез доп. VIII Міжнар. наук.-практ. конф (19-20 листопада 2020 р., м. Дніпро)*, 27-29.

12. Шарий, В. В., Гуліда, Е.М. (2021). Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (25-26 березня 2021 р., м. Львів), 140-142.*

### ABSTRACT

*Sharyi V.V.* Increasing the fire safety systems effectiveness in warehouses. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 261 "Fire Safety". - Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2022.

The dissertation work is devoted to the solution of an actual scientific task - improving the fire safety systems efficiency of in warehouses.

Fires at objects of significant material values storage, if not detected in time, have a rapid development and protracted nature, carry a significant danger for service personnel and employees of fire and rescue units and cause significant material losses. Economic losses from warehouse fires are much higher than fires at other types of facilities. Statistics show the disappointing regularity of fires at storage facilities. In case of non-compliance with existing fire safety requirements in places where dangerous substances are stored, the consequences are catastrophic.

Fires at storage objects of material values, despite the presence of fire protection systems, often spread to the entire area of warehouses, and in some places the building. Material losses from such fires, as their statistics show, can amount to tens and hundreds of millions of conditional units. Often, the consequences of fires at warehouse facilities, in addition to material damage, are the death and injury of people, damage to neighboring facilities, as well as significant damage to the environment.

To date, insufficient attention has been paid to increasing the efficiency of fire safety systems in warehouses, namely, to the rapid fires detection in such facilities. When designing, an object-oriented flexible approach should be used to determine the number of all elements of fire protection systems, taking into account the probability of each

element's failure-free operation, as well as their required (standardized) number at the protected object.

Therefore, the purpose of the work is to reveal the specifics of the factors impact on the occurrence processes, detection and development of warehouse fires based on theoretical and experimental research in the context of improving fire safety systems of such facilities.

During the dissertation research, the following were used: a comprehensive research method, which included the analysis and generalization of scientific and technical achievements of the warehouse premises ensuring fire safety modern state; methods of statistical analysis; method of mathematical modeling and theoretical assessment of fire risk for warehouses; full-factor experiment method when planning and processing its results; the Monte Carlo method for finding a solution to the optimization problem of determining the required number of fire protection devices.

The most effective ensuring fire safety method at storage facilities is the implementation of fire protection systems which are capable of detecting fire at an early stage, localizing it, immediately notifying staff and visitors of its occurrence, and facilitating the safe people evacuation.

It is necessary to develop a methodology for determining the optimal number of fire protection system devices for any object (warehouses located in closed rooms), which would make it possible to stably obtain the probability of the fire protection system failure within the limits of no more than  $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ .

Nowadays there is no comprehensive approach to choosing the type and number of fire detectors at different facilities, the existing research results cannot be applied to choose the optimal placement in warehouses. All this allows us to state that it is expedient to conduct a study devoted to the assessment of the factors influence on the fire detection effectiveness of the investigated objects.

A mathematical model was further developed, which allows to determine the optimal number of fire-fighting means in warehouse facilities, which are located in closed rooms, taking into account the fire protection systems trouble-free operation.

To increase the fire safety level at storage facilities, the process of fire development in the open room volume and with the use of partitions and fire protection curtains was simulated.

In closed warehouses, two modes of materials combustion development in the room were considered: with the presence of a sufficient air (oxygen) amount, that is, the fire that occurred is regulated by the fire load; with an insufficient air (oxygen) amount, that is, the fire that has arisen is regulated by ventilation.

In a closed room in real conditions the first mode of fire gradually turns into the second, and after reaching the temperature in the room, at which the window panes are destroyed, the gas exchange process becomes two-way and the fire moves to the first mode.

The results of the fire simulation in warehouses were obtained in relation to a real object, namely the warehouse of the logistics complex LLP "Nova poshta", Pustomyty district, Lviv region.

According to the statistical modeling results of the Weibull distribution, the probability of a decrease in the fire spread speed in the warehouse was established, which for the object in question is 0.006 with the use of partitions and 0.002 without their use. This indicates that the use of fire partitions between production premises areas and storage facilities reduces the probability of fire spreading in this room by approximately 3 times.

Theoretical studies of the fire protection curtains effect on the fire spread speed and it was established that the presence in the volume of premises protected by fire protection curtains reduces the speed of fire spread by 1.8 times.

An important result is the comprehensive approach development to the selection of the type and number of fire detectors at different facilities with different fire loads.

A methodology has been developed and a room has been equipped for conducting experimental studies of the fire detectors activation time. The research was conducted on the research and testing center territory located in the village of Cherliany, Horodotsky district, Lviv region, in a room that corresponds to the parameters typical of warehouse facilities. To obtain empirical dependences, the methods of a full-scale

experiment of type 2<sup>3</sup> were applied. The factors affecting the result are: the fire load (the main factor is the specific burning rate of the material), the height of the fire detector location and the distance of the detector from the fire center. By placing the detectors at different heights at the same time, it was possible to reduce the number of experiments by half. Thus, 4 experiments were conducted with repetition twice. Three types of smoke fire detectors were studied: non-addressable fire detectors, addressable and aspirating.

According to the processed results of the experiments, for the first time empirical dependences were obtained on the experimental studies basis for establishing the various types of fire detectors operation time in the event of a fire in warehouses, taking into account the combustible material type, the distance and height of the fire detectors location from a potential fire source.

The results of the experiments showed that the activation time of any fire detector is shorter when the distance from the detector vertical axis is reduced and when the detector is mounted closer to the ceiling.

At a distance of 1 m, the aspiration detector reveals ignition a little faster than the non-addressable detector, but when the distance increases from 6 to 10 m, the detection time is identical. The address detector at a distance of 1 m shows a few seconds longer activation time, but when the distance increases to 10 m, this delay increases several times. At a detector installation height of 3 m, the fastest reaction time is demonstrated by the aspiration detector, the non-addressable detector reacts 10 seconds later, as the height increases, the detection speed decreases and does not differ significantly at the 12 m mark. The addressable detector shows the greatest reaction time, which decreases with increasing height, however, at a height of 12 m, the difference with aspiration and non-addressable detectors remains. At a lower burn-in rate, we note the fastest response of the addressless detector with a slight lag of the aspiration detector. As the burning speed increases, the aspiration system reacts faster. The address detector shows the lowest reaction speed for this parameter.

The most effective in warehouses, regardless of the type of combustible material, are non-addressable smoke detectors and aspirating smoke detectors. At the same time, the air intake ducts of the aspirating smoke fire detector, when installed closer to the

floor, are more effective than point smoke fire detectors. The optical density of smoke when the material burns does not significantly affect the time of smoke detectors operation or has an inversely proportional dependence.

The obtained empirical dependencies allow you to choose fire detectors and place them in the room in such a way that they are activated as soon as possible. The average error of these dependencies when compared with experimental data is 6.9%. The use of these dependencies makes it possible to reduce the fire alarm activation time by 14 seconds compared to placing them in accordance with building regulations.

The mathematical model for choosing the optimal number of fire-fighting agents for closed warehouses has been improved, which allows determining the required number of fire-fighting agents, taking into account the possible individual components failure of fire protection systems.

To determine the probability of the warehouse fire protection system failure, the method of determining the total probability is used, which will be equal to the product of the fire protection system's each component failure probabilities. Calculations using this method showed that for a real object (the LLC Nova Poshta logistics complex warehouse, Pustomyty district, Lviv region), the probability of failure does not correspond to the permissible value.

A mathematical model was obtained for determining the optimal number of fire-fighting agents in closed warehouses for the purpose of timely detection, rapid evacuation of people, localization of fire by automatic fire extinguishing systems, successful fires extinguishing by fire-rescue units. This goal is achieved by increasing the reliability of each of these elements in the complex. Instead, the existing methods are based on the implementation of norms and standards, and the methods of ensuring the reliability of fire protection systems are aimed only at improving the particular system fail-safe operation. In particular, the operation restoration of fire protection systems individual elements at facilities is carried out by replacing them in the event of a malfunction. However, if the malfunction occurs during a fire, such an approach is impossible. The resulting method allows fire protection systems to perform their

functions even if one or more elements fail by creating a stock of these elements at the facility.

This technique is applied on the example of a warehouse facility, namely the logistics warehouse of LLC Nova Poshta in the village of Soroky in Pustomyty district, Lviv region. The calculation results showed that the warehouse must be equipped with 70 detectors, 3 smoke devices, 4 fire protection curtains, and increase the number of evacuation exits to 10. This will reduce the probability of fire protection system failure from  $5 \cdot 10^{-4}$  to  $1,8 \cdot 10^{-8}$ , which will provide fire protection for this warehouse.

The main limitation of this method is that it applies to warehouse facilities located in closed rooms. In the future, the development of this mathematical model will allow its application to other types of objects.

When searching for a solution to an optimization problem built on the basis of a mathematical model, the Monte Carlo method was used to determine the optimal number of fire extinguishers in warehouses. A Java program was written to implement the algorithm for finding the optimal number of fire-fighting agents in the Windows environment.

**Key words:** fire safety, warehouse, fire protection systems, fire risk, optimization mathematical model, full-factor experiment, probability of system failure.

## **LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE DISSERTATION TOPIC**

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

1. Gulida, E.M., Koval, O.M., Pasnak, I.V., Sharyi, V.V. (2019). Analysis of the current fire safety state of industrial buildings and warehouses. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 29.2., 109-111.
2. Gulida, E.M., Koval, O.M., Sharyi, V.V. (2019). Provision of industrial enterprises production and storage facilities fire protection, taking into account fire risk. *Fire safety*, 34, 28-34.
3. Gulida, E.M., Sharyi, V.V. (2019). The influence of fire curtains on the fire spread speed in closed rooms of production and storage facilities. *Fire safety*, 35, 23-29.

4. Gulida, E.M., Sharyi, V.V. (2020). Guaranteeing fire safety in open production facilities warehouses. *Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture*, 4, 39-46.

5. Gulida, E.M., Sharyi, V.V. (2020). The influence of fire barriers on the fire spread speed in closed premises of production and storage facilities. *Fire safety*, 37, 44-51.

**Articles in scientific journals included in the Scopus database:**

6. Hulida, E., Pasnak, I., Renkas, A., & Sharyy, V. (2020). Engineering method for determining rational fire protection parameters of warehouses. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10(104)), 38-45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201819>

7. 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>

**Abstracts of reports certifying approval of the dissertation materials:**

8. Gulida, E.M., Koval, O.M., Sharyi, V.V. (2019). Fires elimination in warehouses of economic facilities. *Theory and practice of fire extinguishing and emergency situations liquidation: materials from the Xth International. science and practice conf. (April 11-12, 2019, Cherkasy)*, 14-15.

9. Sharyi, V.V., Gulida, E.M. (2020). The influence of the fire curtains use on the fire spread speed in closed production and storage facilities. *Problems and prospects of the life safety system development: coll. of science Ave. Of the XVth International science and practice conference of young scientists, cadets and students (March 26-27, 2020, Lviv)*, 89-90.

10. Gulida, E.M., Sharyi, V.V. (2020). The optimal number of fire-fighting means provision in closed warehouses premises of production facilities with the use of information technologies. *Emergency situations: safety and protection: materials of the*



*Xth All-Ukrainian science and practice. conference with international participation, (October 29-30, 2020, Cherkasy), 22-23.*

11. Gulida, E.M., Sharyi, V.V. (2020). Ensuring fire safety in open warehouses of production facilities. *Life safety in the 21st century: coll. theses add. VIII International science and practice conference (November 19-20, 2020, Dnipro), 27-29.*

12. Sharyi, V.V., Gulida, E.M. (2021). The influence of fire barriers on the fire spread speed in closed premises of production and storage facilities. *Problems and prospects of the life safety system development: coll. of science Ave. Of the XVIth International science and practice conference of young scientists, cadets and students (March 25-26, 2021, Lviv), 140-142.*

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>21</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>22</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ.....</b>	<b>29</b>
1.1. Сучасні особливості складських об'єктів та їх класифікація.....	29
1.2. Аналіз статистики та причин виникнення пожеж складських приміщень.....	37
1.3. Сучасні методи та засоби протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів.....	49
1.4. Аналіз досліджень у царині пожежної безпеки виробничо-складських приміщень.....	67
1.5. Висновки, мета та задачі дослідження	80
<b>РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ СКЛАДСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ.....</b>	<b>82</b>
2.1. Особливості моделювання процесу розвитку пожеж у складських приміщеннях.....	82
2.2. Теоретичні дослідження раціональних параметрів та кількості засобів протипожежного захисту складських об'єктів.....	88
2.3. Дослідження впливу протипожежних завіс та перегородок на розвиток пожежі складського приміщення.....	94
2.4. Висновки.....	102
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ В СКЛАДСЬКОМУ ПРИМІЩЕНІ.....</b>	<b>104</b>
3.1. Вибір об'єкту для проведення експериментальних досліджень.....	104
3.2. Методика проведення експериментальних досліджень виявлення пожежі в складському приміщенні.....	107
3.2.1. Умови для проведення експериментальних досліджень виявлення пожежі в складському приміщенні та вибір обладнання.....	107
3.2.2. Інженерні рішення розміщення обладнання, проведення	

експериментальних досліджень виявлення пожежі в складському приміщенні.....	112
3.3. Результати експериментальних досліджень процесу виявлення пожежі в складських приміщеннях.....	116
3.4. Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень процесу виявлення пожежі в складських приміщеннях.....	126
3.5. Встановлені результати та виявлені відмінності дослідження часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі складських об'єктів.....	130
3.6. Висновки.....	131
<b>РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ.....</b>	<b>133</b>
4.1. Визначення та обґрунтування критерія оптимізації.....	133
4.1.1. Методика визначення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів.....	133
4.1.2. Методи визначення необхідної кількості протипожежних засобів на об'єкті.....	134
4.1.3. Методи визначення імовірності відмови систем протипожежного захисту.....	136
4.2. Математичні моделі оптимізації методів і засобів протипожежного захисту на виробничо-складських об'єктах.....	138
4.2.1 Математична модель для визначення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів.....	138
4.2.2. Застосування методу оптимізації протипожежних засобів на прикладі логістичного складу.....	142
4.3. Висновки.....	149
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>150</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>152</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>164</b>
Додаток А. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	164

Додаток Б. Акт про виконання експериментальних досліджень.....	<b>170</b>
Додаток В. Лістинг програми оптимізаційної моделі.....	<b>177</b>
Додаток Г. Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	<b>194</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ**

АПС	–	адресний пожежний сповіщувач
ППКП	–	прилад приймально контрольний пожежної сигналізації
ПРП	–	пожежно-рятувальний підрозділ
ПС	–	пожежний сповіщувач
СПЗ	–	система протипожежного захисту
ШС	–	шлейф пожежної сигналізації
ПЦС	–	пульт центрального спостереження
ПЗ	–	програмного забезпечення

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Гасіння пожеж на логістично-складських об'єктах являється складним процесом, для успішної і безпечної реалізації якого необхідно залучити значну кількість сил і засобів. Пожежі на об'єктах зберігання значних матеріальних цінностей при несвоєчасному виявленні мають стрімкий розвиток та зтяжний характер, несуть значну небезпеку для обслуговуючого персоналу та працівників пожежно-рятувальних підрозділів.

Пожежі на об'єктах зберігання матеріальних цінностей, незважаючи на наявність у них систем протипожеженого захисту, часто розповсюджуються на усю площу складських приміщень, а подекуди і будівлі. Матеріальні збитки від таких пожеж, як показує їх статистика, можуть становити десятки і сотні мільйонів умовних одиниць. Часто наслідками пожеж на складських об'єктах, окрім матеріальних збитків, є загибель та травмування людей, пошкодження сусідніх об'єктів, а також нанесення значної екологічної шкоди навколишньому середовищу.

Системи протипожеженого захисту – найефективніший засіб виявлення, локалізації пожежі та оповіщення персоналу про її виникнення. При проектуванні та монтажі систем протипожежного захисту керуються жорсткими нормативами, які не завжди є виправданими. Запас елементів систем протипожежного захисту згідно правил та норм повинен зберігатися на об'єкті, а не бути змонтований для забезпечення безперебійної роботи усієї системи у разі виходу одного із них. Тому, при проектуванні слід застосовувати об'єктно-орієнтований гнучкий підхід до визначення кількості усіх елементів систем протипожежного захисту з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента, а також їх необхідної (нормованої) кількості на захищуваному об'єкті.

Першим елементом, який виявляє пожежу і передає сигнал для увімкнення усіх решта елементів системи протипожежного захисту є пожежний сповіщувач. Зазвичай в складських приміщеннях, з урахуванням їх висоти та ймовірного

класу пожежі, використовують димові пожежні сповіщувачі. Вони повинні працювати із високою надійністю задля виконання свого призначення, зокрема, шляхом встановлення додаткової (понаднормової) кількості цих сповіщувачів. Окрім цього, на сьогоднішніх день відсутні чіткі рекомендації щодо розміщення пожежних сповіщувачів з урахуванням характеристик пожежного навантаження, геометричних параметрів складських приміщень тощо. Також ніде не вказано інформацію про час спрацювання пожежних сповіщувачів різного типу залежно від вищезгаданих характеристик та параметрів.

Враховуючи вищевикладене, виникає необхідність детальнішого вивчення процесу забезпечення протипожежного захисту логістичних об'єктів, а також експериментального дослідження з визначення ефективності використання широко використовуваних димових точкових пожежних сповіщувачів та аспіраційних димових пожежних сповіщувачів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно 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 виробничо-складських об'єктів промислових підприємств" (державний реєстраційний номер 0119U003550), в якій здобувач був виконавцем.

#### **Мета і завдання дослідження.**

Метою роботи є розкриття особливостей впливу чинників на процеси виникнення, виявлення та розвитку пожеж складських приміщень на основі теоретичних та експериментальних досліджень у контексті вдосконалення систем забезпечення пожежної безпеки таких об'єктів.

Для досягнення задекларованої мети поставлено до розв'язку такі завдання:

- виконати аналіз сучасного стану забезпечення пожежної безпеки складських приміщень та окреслити напрями щодо підвищення рівня пожежної безпеки цих об'єктів;
- вдосконалити математичну модель пожежного ризику для складських

приміщень із урахуванням необхідної та дійсної кількості компонентів системи протипожежного захисту, а також ризику їх відмови;

- виконати теоретичні дослідження впливу чинників на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях складських об'єктів;

- розробити методику виконання експериментальних досліджень щодо виявлення залежностей впливу чинників на ефективність виявлення пожеж досліджуваних об'єктів;

- виконати експериментальні дослідження з метою отримання емпіричних залежностей для встановлення впливу чинників на ефективність виявлення пожеж складських приміщень;

- розробити пропозиції щодо удосконалення систем пожежної безпеки складських приміщень та метод визначення раціональних параметрів забезпечення пожежної безпеки цих об'єктів із урахуванням імовірності відмов протипожежної системи.

**Об'єкт дослідження** – процес виникнення, виявлення та розвитку пожеж складських приміщень.

**Предмет дослідження** – вплив чинників систем забезпечення пожежної безпеки на виявлення та розвиток пожеж у складських приміщеннях висотою до 12 м.

**Методи досліджень.** Під час виконання дисертаційних досліджень використовувалися: комплексний метод досліджень, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень сучасного стану забезпечення пожежної безпеки складських приміщень для виокремлення раніше невирішених проблем; методи статистичного аналізу, а саме статистичне моделювання розподілу Вейбулла для визначення ймовірності розвитку пожежі в об'ємі складського приміщення; метод математичного моделювання для розроблення математичної моделі пожежного ризику для складських приміщень з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи кожного компонента систем протипожежного захисту; методика повнофакторного експерименту при плануванні і обробці результатів дослідів з метою отримання емпіричної залежності впливу чинників



на ефективність виявлення пожеж досліджуваних об'єктів; метод Монте-Карло застосовано при пошуку розв'язку оптимізаційної задачі побудованої на основі математичної моделі для визначення оптимальної кількості протипожежних засобів в складських приміщеннях.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у виявленні чинників та умов підвищення ефективності виявлення пожеж на ранніх етапах їх виникнення у складських приміщеннях. При цьому:

*Вперше:*

- отримано емпіричні залежності виявлення пожежі, та встановлення часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі в складських приміщеннях з урахуванням виду горючого матеріалу, відстані та висоти розміщення пожежних сповіщувачів від потенційного осередку пожежі.

*Удосконалено:*

- математичну модель пожежного ризику для складських приміщень із урахуванням необхідної та дійсної кількості компонентів системи протипожежного захисту, а також ризику їх відмови.

- метод визначення оптимальної кількості протипожежних засобів для складських приміщень із урахуванням імовірності відмови протипожежної системи.

*Подальшого розвитку набули:*

- математична модель, що дає змогу визначити оптимальну кількість протипожежних засобів в приміщеннях складів, які розміщені в закритих приміщеннях із урахуванням пожежного ризику;

- уявлення щодо можливості та доцільності застосування окремих елементів систем протипожежного захисту складських приміщень.

**Практичне значення і реалізація одержаних результатів.**

Методика проведення та отримані результати експериментальних досліджень щодо ефективності виявлення пожежі різними типами пожежних досліджень використовуються в діяльності ТзОВ "Науково-випробувальний центр "Євростандарт" під час виконання робіт щодо оцінки ефективності систем

протипожежного захисту.

Методика оцінювання часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі в складських приміщеннях залежно від виду горючого матеріалу, відстані та висоти їх розміщення від потенційного осередку пожежі, а також метод вибору оптимальної кількості протипожежних засобів для закритих приміщеннях складів з урахуванням імовірності відмови протипожежної системи об'єкта використовується працівниками управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області при організації наглядово-профілактичної роботи по запобіганню та попередженню виникнення пожеж на території Львівської області.

Результати роботи впроваджені в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у курсах навчальних дисциплін «Методологія та організація наукових досліджень і теорія інженерного експерименту» та «Методологія та організація наукових досліджень». Використовуються наведені у дисертаційній роботі теоретичні положення та методичні підходи в царині розроблення методики виконання експериментальних досліджень щодо визначення впливу чинників на ефективність функціонування засобів протипожежного захисту, виконання таких досліджень та обробки отриманих результатів для отримання емпіричних залежностей. Також використання отриманих у дисертаційних дослідженнях результатів дає змогу здобувачам вищої освіти якісніше опанувати можливості використання методу Монте-Карло під час виконання досліджень у царині пожежної безпеки.

**Особистий внесок здобувача** полягає у самостійному аналізі вітчизняних та закордонних джерел з теми роботи, формулюванні науково-прикладної проблеми у галузі пожежної безпеки, мети, завдань, об'єкту та предмету досліджень. Автор брав участь у розробці теоретичних методів досліджень, організації та проведенні всіх експериментальних робіт, обробці їх результатів та формулюванні висновків.

Участь автора у роботах, опублікованих у співавторстві, полягає у наступному: у роботі [19] проведено аналіз сучасного стану забезпечення пожежної безпеки логістичних об'єктів та складів; у роботі [20] отримано

математичні моделі пожежних ризиків для закритих, напівзакритих і відкритих виробничо-складських об'єктів; у роботі [24] розроблено метод визначення оптимальних розмірів захищених об'ємів закритих приміщень виробничо-складських об'єктів шляхом застосування протипожежних завіс для обмеження швидкості розповсюдження пожежі; у роботі [25] розроблено методологію забезпечення пожежної безпеки для складів з урахуванням пожежного ризику; у роботі [26] досліджено процес розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів шляхом застосування протипожежних перегородок; у роботі [82] розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити оптимальну кількість протипожежних засобів в приміщеннях складів, а також метод визначення оптимальної кількості протипожежних засобів для складів, які розміщені в закритих приміщеннях; у роботі [97] розроблено методику та проведено експериментальні дослідження, на основі яких встановлено емпіричні залежності часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів з врахуванням виду горючого матеріалу, відстані та висоти розміщення пожежних сповіщувачів від потенційного осередку пожежі.

**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: X Міжнародна науково-практична конференція "Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій" (Черкаси, 11-12 квітня 2019); XV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів "Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності" (Львів, 26-27 березня 2020); X Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю "Надзвичайні ситуації: безпека та захист" (Черкаси, 29-30 квітня 2020); VIII Міжнародна науково-практична конференція "Безпека життєдіяльності в XXI столітті" (Дніпро, 19-20 листопада 2020); XVI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів "Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності" (Львів, 25-

26 березня 2021).

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 12 наукових праць, з яких 7 статей у виданнях, включених МОН України до переліку фахових, в тому числі 2 статті у науковому журналі, що входить до бази Scopus та 5 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 197 сторінок та включає 55 рисунків, 13 таблиць та 113 джерел використаної літератури.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

### 1.1. Сучасні особливості складських об'єктів та їх класифікація

На сьогоднішній день в Україні сформувався дефіцит складських приміщень, які відповідають сучасним вимогам. Складські приміщення з місць зберігання матеріальних цінностей перетворились на логістичні комплекси з потужними технологічними і інформаційними базами та адміністративними функціями, які призначені для приймання, складування, переробки, розподілу та відправлення товарів [52]. Ринок складської нерухомості один з найперспективніших напрямків, який активно розвивається.

За умов пандемії коронавірусу спостерігається сплеск споживчого попиту, спричинений збільшенням кількості покупок через мережу Інтернет, який призвів до розширення мереж логістичних комплексів для зростання можливості поставок. Так, для прикладу, у передмістях США компанія Amazon планує відкрити 1500 невеликих складів, для роботи на яких буде залучено 175 000 робітників. Керівництво цієї компанії інвестує мільярди в нові склади [91].

Це загальносвітова тенденція, яка не оминула і нашу країну. Високотехнологічні комплекси функціонують по всій території нашої держави. Так, наприклад до них відносяться комплекс компанії "Nemiroff холдинг", логістичний центр компанії "Конті", логістичний центр "Roshen", виробничо-складська будівля ТОВ "Спецбудмаш" Київська область (місто Бровари)(рис.1.1), виробничо-складський комплекс, по розливу артезіанської води ТМ "SKANDINAVIA" Київська область (місто Бровари)[11].



Рисунок – 1.1 Виробничо-складська будівля ТОВ "Спецбудмаш" Київська область, місто Бровари (зображення взято з сайту: <http://itbud.com.ua/>)

Такі логістичні центри функціонують у Львові та на його околицях, зокрема, це агропромисловий логістичний центр "Регіональний Аграрний Центр "Шувар" (рис.1.2). Це багатофункціональний центр, який провадить складську, виробничу, торгіву і офісну діяльність.



Рисунок – 1.2 Регіональний Аграрний Центр Шувар (зображення взято з сайту: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/rinok-novogo-suchasnogo-formatu/>)

Регіональний адміністративно-логістичний комплекс "Нова Пошта" (рис.1.3) складається з двох корпусів, один з яких посилковий з адміністративними функціями, другий – складський з можливістю зберігання негабаритних товарів.



Рисунок – 1.3 Регіональний адміністративно-логістичний комплекс "Нова Пошта" (зображення автора)

Розподільчий центр Protec Zymna Voda (рис.1.4) розташований на об'їзній дорозі Львова с. Зимня Вода, загальна площа РЦ становить 171 000 м<sup>2</sup>. Оснащений 300 одиницями складської техніки і 100 000 місць зберігання, сучасною системою управління, різноманітними типами відбору та зберігання як продукції, так і упаковки. Важливо, що крім безпосередніх складських функцій, розподільчий центр забезпечений рядом інноваційних функцій, зокрема, на його базі відбувається обробка і підготовка онлайн-замовлень, фасування, функціонує пекарня та інші види виробництва.



Рисунок – 1.4 Розподільчий центр Protec Zymna Voda (зображення взято з сайту: <https://protec-lpk.com.ua/protec-zymna-voda>)

За кордоном яскравим прикладом розбудови та діяльності логістично-складських комплексів є найбільша у світі за обігом компанія Amazon (рис.1.5), що продає товари та послуги через мережу інтернет. У всьому світі існує близько 150 центрів реалізації Amazon, з них 75 у Північній Америці. Деякі з них мають площу близько 120 000 квадратних метрів, але в середньому вони складають від 75 000 до 90 000 квадратних метрів. Amazon поділяє будівлі за розміром продукції, яка зберігається, на будівлі для великогабаритних чи дрібних товарів, оскільки це потребує різних технологій і системи транспортування. Здебільшого в кожному центрі нараховується близько 1500 працівників [103].



Рисунок – 1.5 Складський комплекс компанії Amazon (зображення взято з сайту: [https://m.smedata.sk/api-media/media/image/sme/4/62/6201694/6201694\\_1200x.jpeg?rev=3](https://m.smedata.sk/api-media/media/image/sme/4/62/6201694/6201694_1200x.jpeg?rev=3))

Приміщення для зберігання повинні відповідати багатьом вимогам, чим пояснюється велика кількість видів складів [40]. Класифікація за основними показниками наведена нижче.

1. За характером зберігання (технічними умовами) (рис.1.6):

- відкриті – це бетоновані або асфальтовані площадки для зберігання вантажів в контейнерах, техніки, продукції, яка не пошкоджується під впливом вологості, вітру атмосферних опадів [25];



- напівзакриті – з дахом на стовпах або колонах, можливе встановлення стін з сторін переважаючого впливу вітру для зберігання продукції, яка не пошкоджується під впливом вологості, вітру ;

- закриті – з дахом і стінами для зберігання продукція, стан якої залежить від температурного режиму.

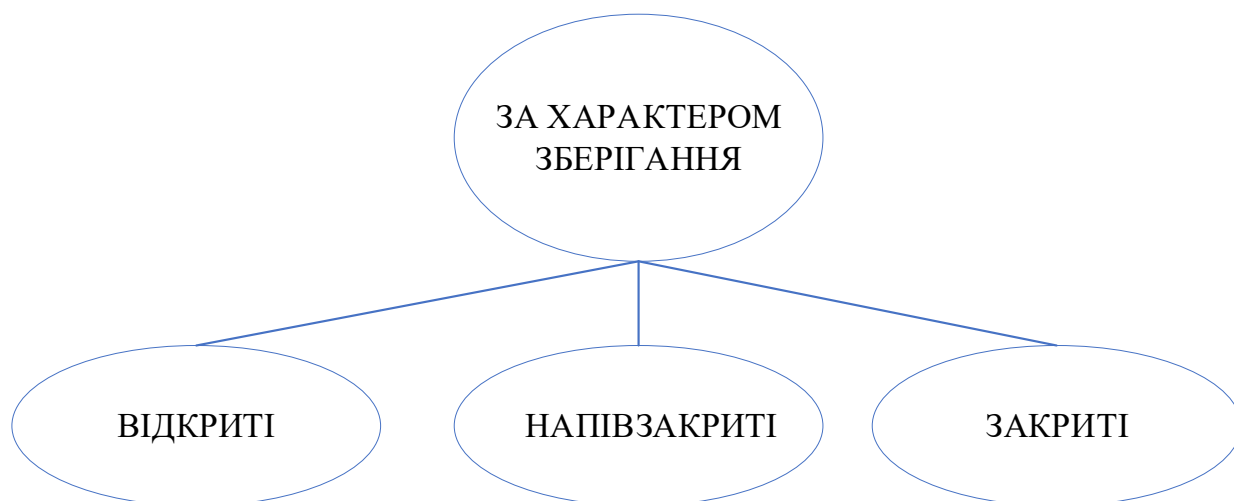


Рисунок – 1.6 Класифікації за характером зберігання

2. За температурним режимом (можливістю зміни температури) зберігання (рис.1.7):



Рисунок – 1.7 Класифікації за температурним режимом

- неопалювані – температурний режим регулюється перепадами температури навколишнього середовища (для зберігання товарів, які не потребують спеціальних умов зберігання);

- опалювані – забезпечують можливість підтримки плюсової температури за різних погодних умов;

- холодильники – дають можливість зберігання замороженої продукції при мінусових температурах. В цій під групі слід виділити морозильні приміщення, які мають змогу заморожувати продукцію ;

- мультитемпературні комплекси дають можливість зберігання товарів за різних умов температури і вологості повітря.

### 3. За ступенем автоматизації (механізації) (рис. 1.8):

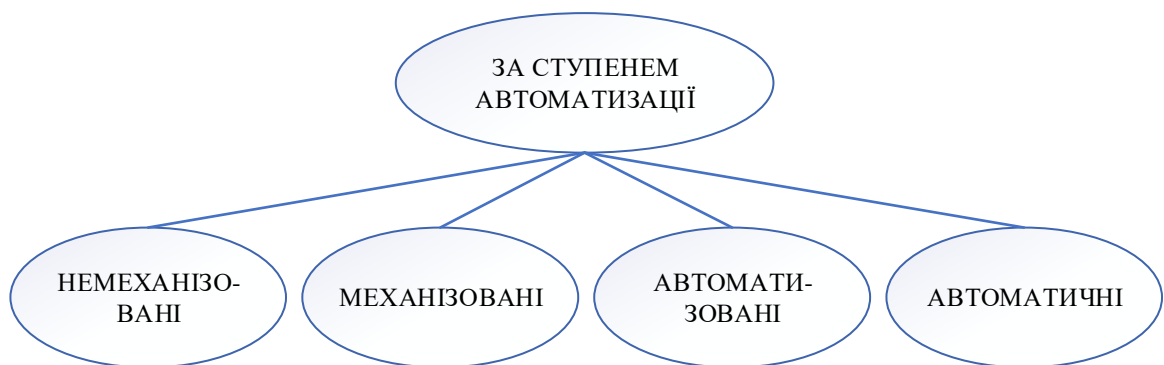


Рисунок – 1.8 Класифікації за ступенем автоматизації

- немеханізовані – всі види робіт виконуються персоналом вручну, можливе використання візків ;

- механізовані – певні види робіт такі як підйом, опускання та переміщення вантажів здійснюється з допомогою спеціального обладнання такого як автотранспортування ;

- автоматизовані – переважна більшість складських операцій виконується без залучення персоналу з використанням відповідного обладнання, співробітники залучені до виконання робіт по оформленню документів, пересортування товарів;

- автоматичні – всі види робіт виконуються за допомогою програмно керованого обладнання.

Для прикладу центри реалізації Amazon (рис.1.9) оснащені передовою технологією Amazon Robotics. Роботи ковзають під величезними полицями, де

зберігаються продукти, піднімають їх і переміщують через центр виконання робіт до робочих станцій співробітників [101].



Рисунок – 1.9 Зображення центру реалізації Amazon (зображення взято з сайту: <https://s11.therealdeal.com/trd/up/2018/11/600-Joe-Andrucyk.jpg>)

4. За висотою (як складування так і самих приміщень) (рис. 1.10):



Рисунок – 1.10 Класифікації за висотою

- низькі – до 6 м. ;
- середньої висоти – 6-12 м. ;
- високі – більше 12 м. На даний час функціонують комплекси з висотою складування до 21 м, де операції по складуванню здійснюється за допомогою високотехнологічного обладнання.

Також застосовують інші критерії для визначення класифікації: за формою власності (приватні, державні), масштабом дії (локальні, регіональні, загальнодержавні), видом операцій, які виконуються (зберігання, сортування, пакування), митні склади та інші. Цікавим варіантом класифікації логістичних комплексів є міжнародна класифікація брокерського агентства Knight Frank. Згідно цієї класифікації склади розподіляються на класи А+,А, В+,В, С, D. Основний акцент зроблено на вимогах до місця розташування, облаштування території, застосованих будівельних рішень, наявності технологічного обладнання, комунікацій. В залежності від покладених функцій і техніко-технологічних можливостей класифікацію складів за наступними параметрами представлено у формі схеми, вказаній нижче (рис. 1.11).

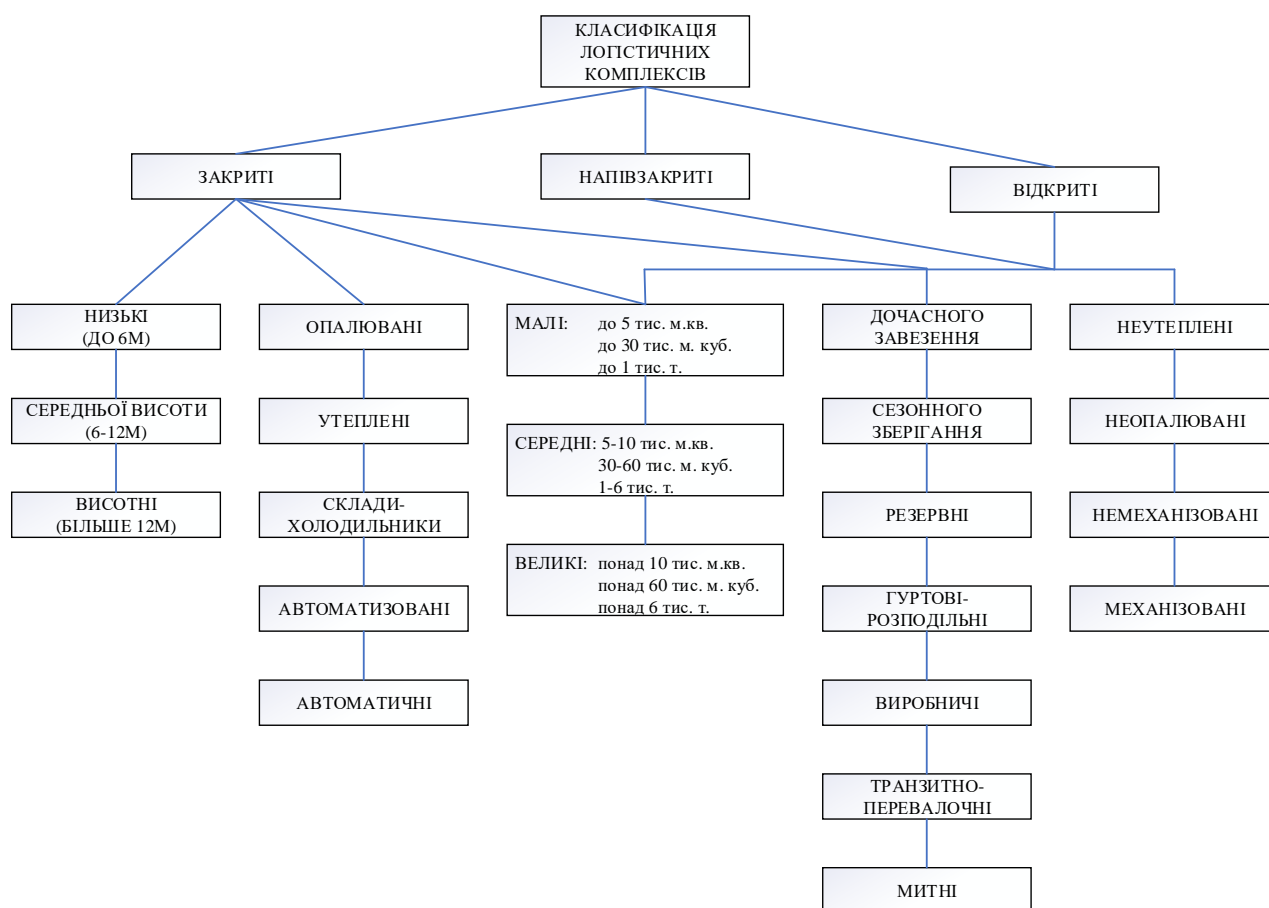


Рисунок – 1.11 Класифікації логістичних комплексів [20]

Складські приміщення, трансформуючись в логістичні комплекси, набувають непритаманних складам функцій, таких як сортування, упакування,

перенаправлення вантажів, підготовки замовлень, а також обладнуються офісними зонами. В залежності від свого призначення вони відрізняються за розмірами, умовами зберігання, ступенем автоматизації робочих процесів.

Цим зумовлюється значна пожежна небезпека складських об'єктів. Велике пожежне навантаження, значні об'єми при несвоєчасному виявленні пожежі призводять до трагічних наслідків.

## 1.2 Аналіз статистики та причин виникнення пожеж складських приміщень

З року в рік продовжує бути актуальною проблема запобігання пожежам, їх виявлення на ранніх етапах розвитку, зокрема, на об'єктах зберігання. Складські об'єкти, незважаючи на своє загальне призначення, мають значні відмінності, в конструкції, видах будівельних матеріалів, які використовуються при їх будівництві. Продукція, яка зберігається в великих об'ємах, також відрізняється за своїми характеристиками.



Рисунок – 1.12 Кількість пожеж в торгівельно-складських приміщеннях протягом 2011-2020 років

Згідно статистичних даних протягом 2011-2018 років в Україні щорічно виникало від шістдесяти до вісімдесяти трьох тисяч пожеж щорічно, протягом 2019-2020 років кількість пожеж зросла до дев'яносто п'яти і ста однієї тисячі пожеж протягом року відповідно. Кількість пожеж в торгівельно-складських спорудах протягом останнього десятиріччя коливається в діапазоні від шестиста до тисячі пожеж в рік (рис.1.12) [1, 37, 58, 59].

Статистика пожеж вказує на те, що кількість пожеж у складських будівлях в Україні в 2019 році перевищує 130 [38]. У більшості випадків приміщення складів згорають уцент через велику кількість горючого навантаження та неспроможність систем протипожежного захисту забезпечити їх пожежну безпеку. Для порівняння, у США протягом 5 років також виникла значна кількість пожеж, а саме 1210 у складських приміщеннях, які призвели до збитків у 155 мільйони доларів США [74]. У 38 % пожеж на складах вони були обладнаними системами протипожежного захисту, проте виконати своє завдання в повному обсязі не змогли через несправності та відмови [71].

Стала тенденція зростання кількості пожеж і збитків, завданих ними, підтверджується показниками кількості пожеж на 1 тисячу людей в Україні складає 1,57. За цим показником Україна випереджає країни-сусіди. Так в Туреччині він становить 0,84, Молдові – 0,61, Румунії – 0,56.

За ймовірністю ризику загибелі від пожежі Україна випереджає такі країни як США, Франція, Велика Британія, Японія [12].

Порівняльний аналіз на основі статистичних даних свідчить про незадовільний стан пожежної безпеки в нашій державі. [64,65,66,67,36,60,61,62,63].



Рисунок – 1.13 Основні причини виникнення пожеж

В результаті огляду звітів про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій (рис.1.13), статистики пожеж та їх наслідків в Україні Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту за період 2010-2020 років детальна інформація про кількість пожеж на складських об'єктах, причини їх виникнення, розвитку, обставини, які ускладнювали гасіння в щорічних звітах, відсутня.

За результатами аналізу звітів відділу пожежогасіння і пожежно-рятувальних робіт ДСНС України [15], зроблено висновок, що на більшій кількості об'єктів не використовують в повній мірі вимоги будівельних норм [27] і це призводить до значних збитків від наслідків пожеж. Це відноситься і до систем протидимного захисту. Наприклад, на більшості підприємств вважають, що замість системи протидимного захисту можна використовувати притоково-витяжну вентиляційну систему, але такий підхід до розв'язання цієї задачі є помилковим. Це пояснюється тим, що вже на 10 хв пожежі в зоні осередка пожежі оптична густина диму буде більше 1,2 Нп/м, а видимість менша 1,5 м [107]. На рис.1.14 наведені компоненти, з якими здійснюється передача сигналами управління системою пожежної сигналізації.



Рисунок – 1.14 Система пожежної сигналізації (СПС) для протипожежного захисту об'єкта [15]

Детальні дані Національної системи звітності про пожежні події (NFIRS), Американської адміністрації пожеж (USFA) і Національної асоціації пожежної охорони (NFPA) дають змогу відстежити певні закономірності. Щорічно пожежі на об'єктах зберігання спричиняють шкоду майну в розмірі 155 мільйонів доларів США, на пожежах гинуть 3 особи, та 19 осіб травмуються. Майже 20 % цих пожеж були спричинені підпалами. У 18% загорань причиною стало електророзподільне або освітлювальне обладнання. Провідним фактором виникнення пожеж являється несправність електрообладнання. Взагалом на пожежах в складських приміщеннях показники травматизму нижчі, однак збитки завдані майну вищі у порівнянні з пожежами в інших сферах [74].

Розглянемо резонансні пожежі на об'єктах зберігання, що мали місце в Україні та за кордоном.

24 серпня 2018 року у м. Мукачево Закарпатської області внаслідок пожежі в офісно-складській будівлі ТОВ "Нова Пошта" на площі 2400 м<sup>2</sup> сталося обрушення покрівлі площею 900 м<sup>2</sup> (рис.1.15). Завдяки злагодженим і рішучим діям підрозділів ДСНС не допущено розповсюдження вогню на всю будівлю. До гасіння залучалося 60 осіб та 12 одиниць техніки [32].



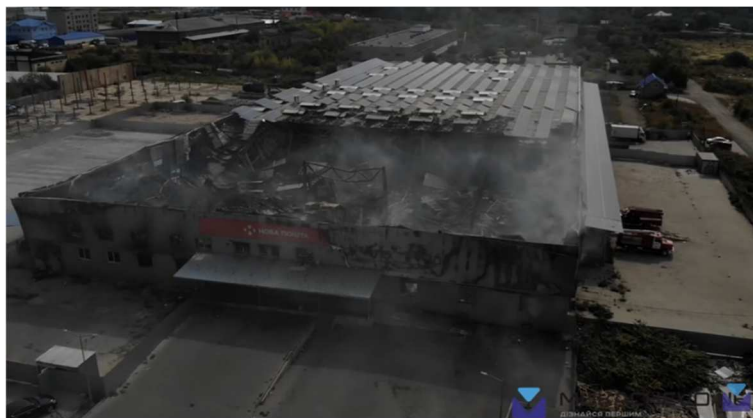


Рисунок – 1.15 Наслідки пожежі ТОВ "Нова Пошта" м.Мукачево  
(зображення взято оперативної картки пожежогасіння)

2 лютого 2019 року на вул. Червоноткацька, 69, у м. Києві виникла пожежа у складській будівлі зі зберігання готової продукції ПП "Будпостач" на площі близько 600 м<sup>2</sup> (рис.1.16). Вогонь швидко поширювався на суміжні офісно-складські будівлі. Пожежу ліквідовано 3 лютого 2019 року на площі 10500 м<sup>2</sup> [33].



Рисунок – 1.16 Гасіння пожежі ПП "Будпостач" м.Київ (зображення взято з сайту: <https://freshnews.zt.ua/news/masshtabnyy-pozhar-na-lesnoy-v-kieve-goryat-sklady-darynka-foto-video-s-vysoty/>)

02 березня 2020 року у с. Садове Барішівського району Київської області сталося загоряння складського та сортувального приміщення філії приватної науково-виробничої компанії "Інтербізнес" на площі 500 м<sup>2</sup> з подальшим розповсюдженням по утеплювачу на площі 5000 м<sup>2</sup> (рис.1.17). Підрозділами ДСНС врятовано холодильні установки, сортувальну машину та готову продукцію на суму 15 мільйонів гривень [34].



Рисунок – 1.17 Гасіння пожежі НВК "Інтербізнес" Київська область  
(зображення взято оперативної картки пожежогоасіння)

03 серпня 2020 року у м. Чернігів ліквідовано пожежу у триповерховій складській будівлі на площі 2400 м<sup>2</sup>. Під час гасіння пожежі в районі третього поверху стався вибух, внаслідок чого відбулося часткове руйнування міжповерхових перекриттів та покрівлі. Для недопущення повторних вибухів силами ДСНС було евакуйовано 21 кисневий та 1 газовий балони [34].

22 грудня 2020 року по вул. Святошинська, 32, (м. Київ) внаслідок пожежі у складському приміщенні ТОВ "Делівері" на площі 1500 м<sup>2</sup> сталося обрушення покрівлі площею 300 м<sup>2</sup>. З одного з приміщень вогнеборцями було винесено 3 кисневі балони. Завдяки злагодженим і рішучим діям підрозділів ДСНС не допущено розповсюдження вогню на сусідні приміщення. До гасіння залучалося 60 осіб та 17 одиниць техніки [34].

3 квітня 2015 року в м. Луїсвілл (штат Кентуккі, США) виникла пожежа в складському приміщенні № 6 індустріального парку заводу General Electric (рис.1.18). Площа пожежі склала 21000 м<sup>2</sup>. До гасіння було залучено 200 пожежників з 18 округів. В результаті пожежі будівлі та її вміст повністю знищені, збитки склали 110 мільйонів доларів [102].



Рисунок – 1.18 Гасіння пожежі в складському приміщенні заводу General Electric (зображення взято з сайту: <https://www.courier-journal.com/story/news/local/south/2015/04/03/fire-general-electric-appliance-park-louisville/25231963/>)

6 червня 2020 року у Редленді, поблизу Лос-Анджелеса, виникла пожежа в центрі зберігання компанії Amazon (рис.1.19). Будівля центру була абсолютно новою і обладнана усіма найновішими системами протипожежного захисту.

Згідно даних компанії Susquehanna Nose Company, пожежа, що нанесла збитків на суму близько 500 000 доларів США, вважається наслідком проблеми з системою сонячних панелей на даху будівлі. Слід звернути увагу на той факт, що ця пожежа являється другою такою пожежею за кілька років пов'язаною з роботою сонячної системи на даху будівлі на об'єктах господарювання компанії Amazon. У квітні 2020 року у Фресно, штат Каліфорнія, дах центру обслуговування Amazon згорів після того, як зайнялася частина з 20 панелей сонячної системи на даху будівлі [99].

Згідно даних Управління пожежної безпеки США (USFA) кількість пожеж, які спричинені загоранням панелей сонячних із кожним роком неухильно зростає

з 25 у 2015 році до 56 у 2018 році, місця виникнення пожеж не є географічно обмеженим явищем і виникають в різних регіонах.



Рисунок – 1.19 Гасіння пожежі в розповсюджувальному центрі компанії Amazon (зображення взято з сайту: <https://www.cbsnews.com/losangeles/news/5k-reward-information-massive-fire-destroyed-amazon-distributor-warehouse-redlands/>)

4 серпня 2020 року на складі № 12 міжнародного порту м. Бейрут, столиці Лівану (рис. 1.20), де зберігали 2750 тон аміачної селітри пролунало декілька вибухів. Причина вибухів пожежа - зварювальні роботи біля складу, де зберігались петарди і феєрверки. Потужна пожежа розповсюдилась на склад з аміачною селітрою, який був розташований поруч, внаслідок чого пролунало кілька вибухів. За офіційно інформацією загинуло 220 осіб, вважаються зниклими безвісті 110 осіб, поранено 7000 осіб, зруйновано помешкання 300 000 осіб, завдано збитків за різними оцінками від 10 до 15 мільярдів доларів, пошкоджено корабель морської оперативної групи Тимчасових сил ООН у Лівані, затонув круїзний лайнер Orient Queen, один з кораблів було викинуто з води на док станцію, зона доків порту повністю знищена, зруйновано другий по площі елеватор Лівану, повністю сплюндровано 4 міських лікарні, поранених довелось приймали просто неба [16].



Рисунок – 1.20 Ліквідація наслідків вибуху в порту м. Бейрут [16]

За оцінками, наданими спеціалістами NFPA Національної асоціації пожежної охорони США причиною цієї безпрецедентної катастрофи стало необережне поводження з вогнем. Від явного небажання органів державної влади втрутитись у вирішення проблеми, недосконалі норми, які регулюють зберігання небезпечних вантажів, недотримання існуючих вимог, нехтування правилами пожежної безпеки виникла пожежа, яка в кінцевому підсумку спровокувала вибух. Спричинена працівником, який виконував недозволені вогневі роботи [104].

Таблиця 1.1

Розвинуті пожежі в складських приміщеннях обладнаних автоматичними системами пожежної сигналізації

Назва об'єкта	Площа, приміщення, м <sup>2</sup>	Висота, приміщення, м	Тип / кількість, пожежних сповіщувачі в системі АПС, шт	Дані про пожежу
1	2	3	4	5
Адміністративно-логістичний комплекс «Нова-Пошта»	2800	12	СПД-3/24	Пожежа виникла о 20 год. 50 хв. Основу пожежного навантаження складали побутові товари, в картонному упакованні.
м. Мукачево				Пожежа розповсюдилась на площу 2400 м <sup>2</sup> . Внаслідок дії високої температури

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
				відбулось обрушення покриття на площі 800 м <sup>2</sup> . Причина пожежі - коротке замикання електромережі.
Складське приміщення ТзОВ «Рентком» м. Львів	930	7	СПД-3/12	Пожежа виникла о 18 год. 30 хв. Основу пожежного навантаження склали промислові товари з пластику, в картонному упакованні і без упаковання. Пожежа розповсюдилась на площу 300 м <sup>2</sup> . Внаслідок дії високої температури, несучі конструкції деформувались. Причина пожежі - коротке замикання електролампи системи освітлення.
Виробничо-складська будівля на території «Львів Інвест Парк» м. Львів	250	9	Відсутні	Пожежа виникла о 14 год. 00 хв. Основу пожежного навантаження склали корпусні меблі, виробниче обладнання. Пожежа розповсюдилась на всю площу будівлі. Внаслідок дії високої температури, відбулось обрушення перекриття на площі 250 м <sup>2</sup> . Причина пожежі - порушення правил пожежної безпеки під час експлуатації саморобного опалювального приладу.
Складська будівля заводу General Electric,	21000	9	Тип і кількість пожежних сповіщувачів достеменно не відомі, складська	Пожежа виникла о 5 год. 30 хв. Основу пожежного навантаження склали комплектуючі до кондиціонерів, які зберігались в картонних і пластикових коробках при

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5
Штат Кентуккі, США			будівля функціонує більше п'ятдесяти років, за принципом самозабезпечення пожежної безпеки	складуванні одна на одну висотою 3,6 м, або на одно – дворядних стелажах на дерев'яних піддонах висотою 7,2 м. Пожежа розповсюдилась на площу 21000 м <sup>2</sup> . Внаслідок дії високої температури, несучі конструкції деформувались. Причина розповсюдження - пожежі не враховано зміну призначення приміщення і матеріалів, що зберігаються, спринклера не призначені для гасіння ЛЗР, несправність частини насосів системи АПГ.

Як бачимо з таблиці 1.1 переважна більшість пожеж виникла в неробочий час, за відсутності працівників. За цих умов виявлення пожежі покладалось виключно на систему пожежної сигналізації. Пожежі було виявлено, однак не вдалось зопобігти розповсюдженню на великі площі та завданню значних матеріальних збитків.

Здійснюючи аналіз причин виникнення пожеж, необхідно вказати, що переважна більшість складських об'єктів в Україні здійснюють господарську діяльність на технологічно і морально застарілому обладнанні, інженерні мережі і системи протипожежного захисту на них не відповідають вимогам сьогодення і нормативним документам. Кризовий стан економіки, який ускладнений епідеміологічною ситуацією коронавірусною хворобою COVID-19, відсутність доступу до дешевих кредитів на модернізацію виробничих потужностей і систем протипожежного захисту створюють передумови виникнення пожеж (рис. 1.21). Якщо накласти на це ті умови, що із загальної чисельності об'єктів обладнаних системами протипожежного захисту 7,9% знаходяться в неробочому стані, 12,7%

підлягають заміні оскільки відпрацювали свій ресурс, а також нехтування власниками, управлінцями, працівниками і робітниками елементарними правилами пожежної безпеки, виникнення пожежі стає питанням часу.

Слід зазначити, що будівельна сфера розвивається активно, при будівництві нових логістичних комплексів використовують новітні синтетичні та полімерні будівельні і оздоблювальні матеріали. Також на об'єктах зберігання значна кількість товарів зберігається в картонних, паперових, полімерних пакувальних матеріалах. У разі виникнення пожежі такі умови сприяють швидкому розповсюдженню за короткий проміжок часу на значні площі. Як наслідок, зменшується час для евакуації для працівників і персоналу, що створює передумови загибелі людей, ускладнюють дії пожежно-рятувальних підрозділів, призводять до значних матеріальних збитків.



Рисунок – 1.21 Розподіл кількості пожеж на об'єктах різного призначення

Статистичні дані свідчать про невтішну регулярність пожеж на об'єктах зберігання, що призводять значних матеріальних втрат, загибелі людей. У разі недотримання існуючих вимог забезпечення пожежної безпеки в місцях зберігання небезпечних речовин наслідки є катастрофічними.



### 1.3. Сучасні методи та засоби протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів

На сучасному етапі при встановленні на об'єкті систем протипожежного захисту (СПЗ) виникає проблема, яка полягає в тому, що не враховують для об'єкта, з метою зменшення витрат на придбання приладів системи протипожежного захисту, допустиму площу обслуговування кожним приладом системи. Такий підхід призводить до зниження функціональних можливостей системи протипожежного захисту об'єкта на 40...65 %. В свою чергу, при виникненні пожежі на об'єкті, в цьому випадку збитки від пожежі збільшуються у 2...3 рази [17].

За даними [27], системи протипожежного захисту (СПЗ) об'єктів повинні включати до свого складу:

- 1) системи протипожежної сигналізації;
- 2) системи передавання тривожних сигналів про пожежу;
- 3) системи керування евакуюванням (в частині системи оповіщення про пожежу та покажчиків напрямків евакуювання);
- 4) системи автоматичного пожежогасіння;
- 5) системи димовидалення;
- 6) автономні системи пожежогасіння;
- 7) системи диспетчеризації СПЗ;
- 8) системи флегматизації. Інженерні системи та технологічно обладнання, які не входять до СПЗ, але з СПЗ функціонально пов'язані: блискавкозахист; пожежні ліфти; пожежні кран-комплекти; протипожежні двері, клапани, ворота, завіси (екрани) тощо.

Системи протипожежного захисту призначені для раннього виявлення пожежі, передачі тривожних повідомлень з метою інформування пожежно-рятувальних підрозділів та повідомлень про несправність, управління евакуацією людей, керування системою димовидалення, пожежогасіння, увімкнення

протипожежними завіс і дверима та взаємодії з іншими діючими інженерними системами.

Необхідність обладнання виробничо-складських об'єктів системами протипожежного захисту регламентується згідно з вимогами [27]. Цей керівний документ розподіляє протипожежні системи на компоненти, що наведені на рис. 1.22.

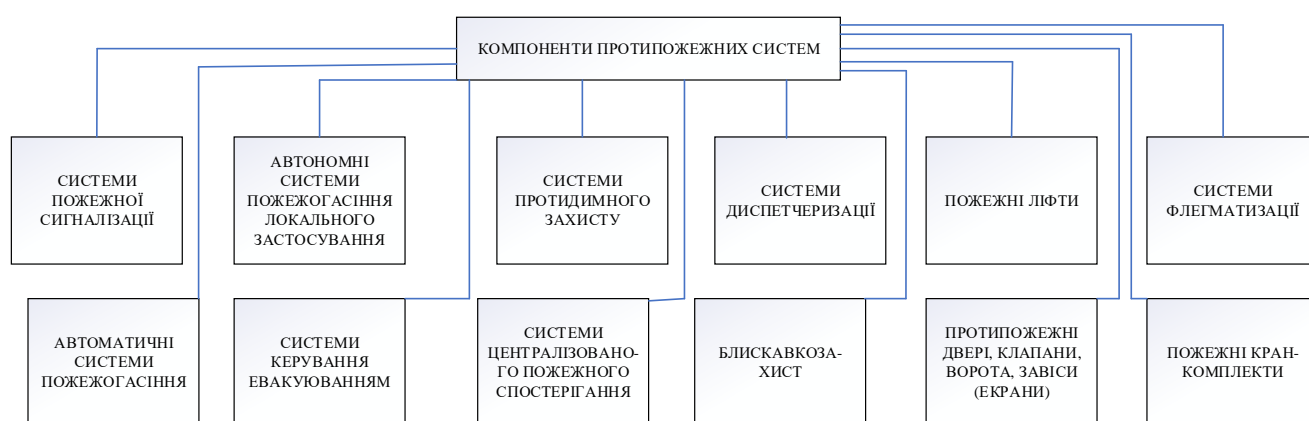


Рисунок – 1.22 Компоненти протипожежних систем

Виявлення загорання на початковій стадії, попередження загибелі людей, мінімізація негативних наслідків є основним завданням систем пожежної сигналізації.

Згідно вимог національної асоціації протипожежної безпеки США (NFPA) система пожежної сигналізації повинна відповідати наступним керівним документам: Національному електротехнічному кодексу (NFPA 70® National Electrical Code®), чинному кодексу безпеки будівель та житла, що діє в цій юрисдикції, і Національному кодексу пожежної сигналізації (NFPA 72® National Fire Alarm and Signaling Code®) [90].

Серією Державних стандартів України "Системи пожежної сигналізації" ДСТУ EN 54, впроваджено в нашій країні серію EN 54 Європейського комітету зі стандартизації (CEN). Стандарти внесено на розгляд технічним комітетом ТК25 "Пожежна безпека та протипожежна техніка". Ця серія стандартів регулює вимоги до складових компонентів пожежної сигналізації, їх об'єднання та правила монтажу експлуатації систем пожежної сигналізації. Стандарти також

встановлюють методи випробовування та межі функціонування, на основі яких оцінюється відповідність вимогам.

Розглянемо елементи побудови системи пожежної сигналізації. До них відносяться:

- прилад приймально-контрольний пожежний (ППКП) – контролює стан системи (шлейфи, сповіщувачі), приймає рішення про виникнення пожежі, передає сигнал про пожежу на об'єкті або ДСНС, вмикає протипожежні системи, вмикає інженерні комунікації;

- сповіщувачів різних типів – реагують на фактори пожежі дим, тепло, відкрите полум'я;

- шлейф пожежної сигналізації (ШС) – це дротяний зв'язок приладу приймально контролюючого пожежної сигналізації (ППКП) з сповіщувачами;

- оповіщувачі звукові і світлозвукові призначені для евакуації людей при пожежі, привертання уваги.

Розглянемо вимоги щодо розташування пожежних сповіщувачів.

Загальна кількість і місця розташування автоматичних пожежних сповіщувачів залежить від їх типу, параметрів приміщення, місця встановлення, умов середовища в приміщеннях, які підлягають захисту. Керівний документ [27] визначає і схеми розміщення пожежних сповіщувачів в приміщеннях, які підлягають захисту. При виборі типу пожежного сповіщувача потрібно відштовхуватись від необхідності надійного виявлення пожеж на початковій стадії, виключення сигналів помилкових спрацювань.

Положення [27] регламентують максимально припустимі значення площі, які контролюються різними сповіщувачами, з урахуванням принципу їх дії і місць монтажу. Вказані максимально дозволені відстані, яких не можна перевищувати при установці сповіщувачів. Розміщуються сповіщувачі на підставі умови їхнього оптимально розподілу по площі, що захищається. При цьому кожна точка площі приміщення, що захищається, повинна контролюватися пожежними сповіщувачами.

Пожежний сповіщувач – компонент системи пожежної сигналізації, який реагує на небезпечні фізичні, хімічні фактори пожежі (тепло, дим, світло полум'я), перетворює їх в електричний сигнал передає його на прилад управління. На рис. 1.23. наведено класифікацію пожежних сповіщувачів.

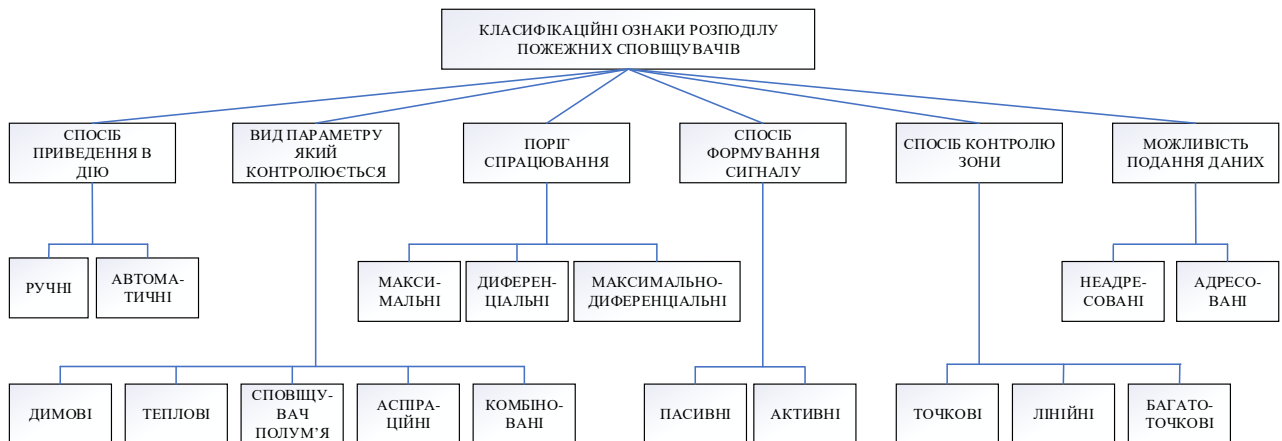


Рисунок – 1.23 Класифікаційні ознаки пожежних сповіщувачів

Системи пожежної сигналізації за своїми основними можливостями та функціями діляться на декілька видів. На практиці найчастіше в залежності від умов застосовуються такі основні види як безадресні і адресні. Відмінності між ними полягають в способі контролю шлейфів.

Безадресні системи застосовуються на невеликих об'єктах з невеликою кількістю пожежних сповіщувачів (ПС) та шлейфів.

Великим недоліком безадресних систем є відсутність можливості визначення, який саме ПС спрацював, визначається лише номер шлейфа, необхідно витратити час на пошук ПС, що спрацював.

В адресних системах пожежної сигналізації застосовується кільцева схема підключення пожежних сповіщувачів, які під'єднуються по черзі. В адресний шлейф існує можливість комутації не тільки адресних ПС, а також додаткових пристроїв таких як модулі інформаційних входів та виконавчі пристрої. Такі прилади дають можливість ППКП забезпечувати виконання завдань протипожежної диспетчеризації. Кільцева схема дає змогу підтримувати

двосторонній зв'язок ПС і в разі пошкодження шлейфа він буде продовжувати працювати.

Адресні системи деяких виробників побудовані за принципом коли сповіщувач лише вимірює показник і передає його значення на прилад керування. Це дає можливість зміни чутливості сповіщувача, здійснювати налаштування під певні особливості визначати проміжне значення зростаючого параметру, наприклад, температури, і, як наслідок, виявлення загорань на ранніх стадіях.

Адресні системи пожежної сигналізації доцільно застосовувати на об'єктах з великою кількістю корпусів чи поверхів значних по площі. В зв'язку з великою вартістю адресних систем робить доцільним їх застосування на об'єктах з масовим перебування людей зберіганням значних матеріальних цінностей.

Таблиця 1.2

Аналіз характерних систем пожежної сигналізації  
на однотипних складських об'єктах

Назва об'єкта	Площа, приміщення, м <sup>2</sup>	Висота, приміщення, м	Тип / кількість, пожежних сповіщувачів системи АПС, шт	S у м <sup>2</sup> , яку захищає один сповіщувач
1	2	3	4	5
Логістичний комплекс м. Львів вул. Зелена, 301	5966	12	ТПТ – 3/180	33
Розподільчий центр Protex Zymna Voda (вісь 15- 25)	13778	12	СПД – 3/247	56
Виробничо-складська будівля «Флекстронікс»	5283	15	Аспіраційна система Titanus Pro Sens/довжина на повітрязобі	57

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5
			рної лінії 3200м/93 отвори	
Регіональний адміністративно- логістичний комплекс «Нова-Пошта» с. Сороки-Львівські	5987	9	ТПТ – 3/150	40
Виробничо-складський комплекс м. Львів вул. Шевченка,327	9360	17	Адресна система Tiras Prime А, сповіщувач Detecto SMK110/76	123
Складське приміщення с. Зубра	160	5	СПД – 3/4	40
Складське приміщення металообробного підприємства Давидівська ОТГ	895	6	СПД – 3/16	56
Виробничо-складський комплекс з адміністративно- побутовим корпусом с. Пасіки-Зубрицькі	10600	9	СПД – 3/174	61
Виробничо-складські будівлі у промисловій зоні «Сигнівка»	11297	14	Сповіщувач ч полум'я «Алмаз»/13 4	84
Складські та адміністративно- побутові приміщення м. Львів вул. Шевченка,317	12237	12	СПТ – 3/278 СПД – 2/36	
Складське приміщення м. Львів вул. Бузкова	32	6	ТПТ – 3/4	
ПП «Західний Буг» м. Сокаль склад № 10 Сокальського Елеватора	1150	7	ТПТ – 3/36	32

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5
Складське приміщення м. Львів вул. Авіаційна	805	14,5	СПД – 3/10 ТПТ – 3/20	
Складське приміщення по зберіганню овочів с. Підбірці	1100	9	ТПТ – 3/25	44
Будівля для офісних, складських та торгових приміщень м. Львів вул. Городоцька, 355	170	3,8	СПД – 3/5	34

З таблиці 1.2 робимо висновок, що на однотипних складських об'єктах в переважній більшості проектують системи пожежної сигналізації, де в якості пожежних сповіщувачів застосовуються димові пожежні компоненти. Згідно вимог таблиці 7.1 ДБН В. 2.5-56:2014, якщо висота приміщення, що захищається, знаходиться в межах від 8 до 11 м, то теплові пожежні сповіщувачі за цих висот не застосовують (допускається використання в окремих обґрунтованих випадках). Згідно таблиці А.1 ДСТУ-Н СЕН/TS 54-14:2009 теплові пожежні сповіщувачі при висоті приміщення від 8 до 11 м зазвичай не застосовують (допускається використання в окремих випадках), при висоті приміщення, що захищається більше 11 м, теплові сповіщувачі не придатні до використання взагалі.

При побудові систем пожежної сигналізації використовують обладнання вітчизняних виробників їх основні можливості і характеристики наведено нижче.

Виробник Tiras м. Вінниця пропонує широкий асортимент приймально-контрольних приладів для побудови безадресних систем протипожежного захисту Tiras PRIME 4, Tiras PRIME 8, Tiras PRIME 16 з максимальною кількістю 16 зон (рис.1.24).



Рисунок – 1.24 Приймально-контрольний прилад Tiras PRIME [43]

Системна шина RS-485 дає можливість підключення додаткового обладнання M-OUT4R для розширення системи пожежної сигналізації на чотири релейних виходи. M-GSM комунікатор, що призначений для реалізації зв'язку об'єктового приладу з ПЦС в каналі GSM(GPRS), має можливість використання двох SIM-карт. M-PSTN забезпечує зв'язок з ПЦС по телефонній лінії. Є можливість роботи з Tiras CLOUD при використанні GPRS-каналу зв'язку, що дозволяє виконувати оновлення версій ПЗ ППКП. Прилад має можливість виконання затримками за допомогою спеціальної системи сценаріїв журнал на 1024 події. Все обладнання серії "Tiras PRIME" сертифіковано згідно групи стандартів EN-54. Для забезпечення роботи в вибухобезпечних приміщеннях виготовляють модуль бар'єрного іскрозахисту МБІ-2. Для зручності знаходження спрацювання датчика в шлейфі виробляють виносний пристрій оптичної сигналізації ВПОС, який призначений для зовнішньої індикації спрацювання сповісвача, що знаходиться за підвісною стелею чи в іншому недоступному для огляду місці.

Адресна протипожежна система Tiras PRIME A має 2 вбудовані адресні інтерфейси, кожен з яких підтримує до 250 адресних компонентів (ППКП 500 компонентів), довжина лінії кожного інтерфейсу може сягати до 2000м. При необхідності можна об'єднати в мережу до чотирьох ППКП "Tiras PRIME A", збільшивши при цьому кількість адресних компонентів до 2000 штук. У склад



системи входять адресний тепловий пожежний сповіщувач DETECTO HT100, адресний димовий пожежний сповіщувач DETECTO SMK110, адресний ручний пожежний сповіщувач DETECTO MNL100. Прилад ПУіЗ Тірас-1 (рис.1.25) працює автономно або у складі системи пожежної сигналізації, призначений для керування одним напрямком пожежогасіння (газове, порошкове, аерозольне). Здійснює контроль пуску та стану установки пожежогасіння, має дві власних зони пожежної сигналізації, формування затримку запуску гасіння на евакуацію людей, здійснює увімкнення оповіщення про запуск гасіння, дозволяє провести ручне запускання та аварійне зупинення пожежогасіння за допомогою виносних пристроїв ручного запуску і ручної зупинки або вбудованих на корпусі кнопок.

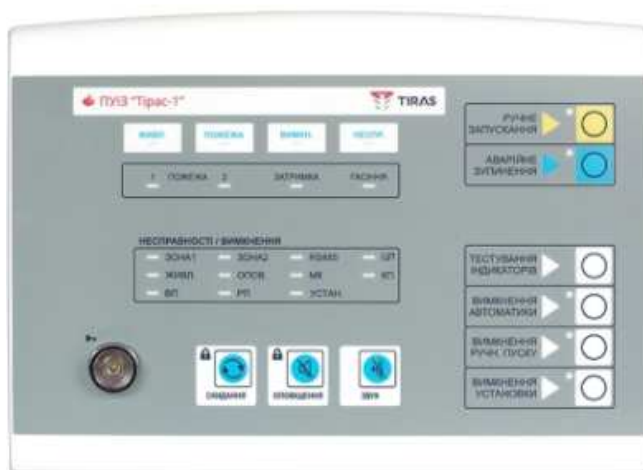


Рисунок – 1.25 Прилад ПУіЗ Тірас-1 призначений для керування пожежогасінням [43]

Системна шина RS-485 призначена для роботи з ППКП серії Тірас та інших виробників. Вона здійснює контроль для моніторингу стану дверей в приміщенні, де здійснюється гасіння. На даний час знято з виробництва димовий пожежний сповіщувач СПД2 Тірас, тепловий пожежний сповіщувач СПТ Тірас, пожежний сповіщувач, що поєднує в собі димовий та тепловий сенсори СПК-Тірас. Виробляються сповіщувач пожежний ручний СПР "Тірас", іскробезпечні компоненти з індексом Ех для використання в вибухонебезпечних приміщеннях димовий пожежний сповіщувач СПД-2 Тірас Ех, тепловий пожежний сповіщувач СПТ-Тірас Ех, сповіщувач пожежний ручний СПР Тірас Ех, пристрій ручного

запускання ПРЗ системи пожежогасіння Тірас Ех, покажчики світлові та світлозвукові ОС, ОСЗ Ех [43].



Рисунок – 1.26 Пожежні сповіщувачі СПД-3 Артон [41]

Виробник обладнання АРТОН м. Чернівці пропонує приймально-контрольні прилади для побудови безадресних систем АРТОН, Вектор, СПЕКТРА. Різні модифікації мають можливість під'єднання від 8 до 40 шлейфів. За допомогою інформаційної шини RS485 забезпечується з'єднання ППКП з додатковим обладнанням, яке розширює його можливості (деякі компоненти можуть працювати автономно). Прилад керування і затримки ПУіЗ Вектор призначений для управління однією зоною пожежогасіння використовується з модулями газового, порошкового, і аерозольного гасіння являється аналогом приладу ПУіЗ Тірас-1. ППКП з функцією управління автоматичними засобами протипожежного захисту Вектор-1 призначений для організації централізованої і автономної пожежної сигналізації та управління установками пожежогасіння, димовидалення, вентиляції та іншої автоматики. Прилад керування і затримки шафвий ПУіЗШ Вектор використовується з модулями газового, порошкового і аерозольного гасіння, блок ключів модифікований БКМ використовується для підключення різних пристроїв, коли потрібні "сухі контакти", наприклад, пристрої мовного оповіщення, автодозвону на пульт централізованого спостереження.

Блок реле включає в себе 8 оптоелектронних реле, є можливість віддаленого підключення БВР за власним інтерфейсом UART. Блок керування режимами БУР призначений для управління двома зонами пожежогасіння.

Адресна система Вектор має ємність від 8 (восьми) до 40 (сорока) адресних шлейфів по 32 адресних компонента кожен. Максимальна кількість 1280 адресних компонентів. Як і до безадресних систем існує можливість під'єднання додаткового обладнання. Адресні сповіщувачі в системі - аналог звичайного безадресного пожежного сповіщувача та адресного адаптера, який монтується в базову основу безадресних сповіщувачів серії СПД (димових і комбінованих) та СПТ (теплових), а також ручних сповіщувачів SPR. Дана особливість полегшує обслуговування сповіщувачів. Заміна виведеного з ладу або забрудненого сповіщувача займає всього кілька секунд, позбавляючи обслуговуючий персонал від необхідності заново прописувати адресу і алгоритм роботи адресного адаптера, що знаходиться в базі сповіщувача.

Даний виробник пропонує найбільш широкую лінійку пожежних сповіщувачів: двох-і чотирьохпровідні димові оптичні точкові сповіщувачі СПД різних модифікацій, двохточкові сповіщувачі для одночасного контролю просторів за підвісними стелями і всередині приміщення (наприклад, СП-2.1, -2.2) (рис. 1.27).



Рисунок – 1.27 Двох точкові сповіщувачі СП-2.1, -2.2 [41]

Також до них відносяться теплові максимальні і точкові двох- і чотирьохпровідні сповіщувачі серій СПТ, ТПТ, FT, FTL, двох- та чотирьохпровідні комбіновані тепло-димові сповіщувачі СПД, ручні сповіщувачі SPR, автономні пожежні димові сповіщувачі з живленням від батарейок серії ASD.

Окремо слід виділити сповіщувачі пожежні димові лінійні пропущеного світла Артон-ДЛ (рис. 1.28) для застосування в великих закритих приміщеннях, включаючи приміщення з оригінальною конфігурацією стель. В залежності від модифікації сповіщувач виготовляється двокомпонентним і складається з блоків передавача і відбивача дальністю дії від 10 м до 100 м, та однокомпонентним. В такому виконанні складається з блоку приймання-передачі і відбивача (рефлектора) дальністю дії від 8 м до 60 м [41].



Рисунок – 1.28 Сповіщувачі пожежні димові лінійні пропущеного світла Артон-ДЛ [41]

ПП РЕЗЕРВ-1 м. Харків. Даний виробник виготовляє лише прилади для побудови адресних систем пожежної сигналізації Омега. Прилад керування Омега ПУ-П здійснює прийом інформації від 4 або 8 шлейфів, в кожен з яких під'єднується до 60 адресних компонентів, максимальна кількість - 480 адресних сповіщувачів. У разі необхідності системи, використовується прилад розширення ППКП-П. Ці прилади підключаються до ПУ-П по основному та резервному каналам протоколом зв'язку RS-485 і дають можливість підключити від 240 до

480 сповіщувачів. Максимально до приладу керування ПУ-П може бути під'єднано 8 приладів розширення ППКП-П. В цілому одна система може нараховувати до 4320 сповіщувачів. Додатково прилад керування ПУ-П може здійснювати керування двома напрямками порошкового або газового гасіння, в залежності від комплектації може мати 4 або 8 виходів для передачі сигналів керування як протипожежними системами так і системами диспетчеризації. При необхідності збільшення сигналів управління використовується прилад БРВУ, який містить 8 реле з можливістю програмування до приладу керування ПУ-П можна під'єднати до 8 приладів розширення БРВУ. Можливості системи розширюються такими компонентами як блок іскрозахисту БІЗ, що призначений для забезпечення включення в лінію сигналізації звичайного і вибухобезпечного обладнання, блок адаптера зв'язку АДС, що призначений для забезпечення віддаленого зв'язку до 1000 м приладу керування ПУ-П з ПЭВМ, блок дистанційного керування БДУ, що дозволяє здійснювати дистанційне керування для ручного запуску пристроїв пожежогасіння. В структурі побудови такої системи застосовуються сповіщувачі димові оптичні точкові адресні СПДОТА (рис. 1.29), сповіщувачі теплові точкові адресні СПТОТА, сповіщувачі ручні адресні СПРА, кнопки керування протипожежною автоматикою.



Рисунок – 1.29 Сповіщувач димові оптичні точкові адресні СПДОТА [42]

Цікавим компонентом, який виготовляється вітчизняним виробником, являється сповіщувач полум'я точковий адресний СППТА (рис. 1.30).



Рисунок – 1.30 Сповіщувач полум'я точковий адресний СППТА [42]

СППТА чутливий до наявності флуктації полум'я, призначений для виявлення загорань в закритих приміщеннях, а також на відкритих майданчиках під навісом. Конструкція сповіщувача дозволяє здійснювати його технічне обслуговування, виготовляються в вибухозахищеному виконанні, ступінь захисту IP 54, максимальна відстань від сповіщувача до тестового джерела полум'я 25 м [42].

По результатам огляду та порівняння можна констатувати, що вітчизняними виробниками регламентовано відповідність обладнання вимогам ДСТУ EN 54-5:2003 "Сповіщувачі пожежні теплові точкові", ДСТУ EN 54-7:2004 "Сповіщувачі пожежні димові розсіяного світла, пропущеного світла або іонізаційні", ДСТУ EN 54-10:2004 "Сповіщувачі пожежні полум'я точкові", ДСТУ EN 54-12:2004 "Сповіщувачі пожежні димові лінійні пропущеного світла". Не обов'язково зупиняти свій вибір на обладнанні одного виробника. Всі елементи сумісні і можуть ефективно працювати в комбінації. Компоненти різних виробників дають більш широкі можливості.

На сьогодні не має єдиного підходу, що одна система забезпечить надійний захист різних типів об'єктів. Це пов'язано з різним призначенням, параметрами приміщень, місцем застосування, умовами навколишнього середовища в приміщеннях, які потребують захисту.

Світовий досвід та передові технології виявлення пожежі від Securiton AG Швейцарія пропонують аспіраційний детектор диму ASD 535 рис. 1.30, який контролює великі об'єкти площею до 5600 квадратних метрів. Він доступний з одним або двома датчиками. До кожного датчика можна підключити до 400 метрів труби відбору проб із максимум 120 точками відбору. ASD 535 має потужний вентилятор, відповідає вимогам EN 54-20 класів А, В і С, має можливість налаштування чутливості від 0,002–10 %/м, високочутливе, але надійне виявлення диму завдяки димовій камері великого об'єму (LVSC) з роздільною здатністю вимірювання <math><0,001\text{ \%}/\text{м}</math>, оснащений автоматичною компенсацією забруднення та функцією автонавчання. Підходить для використання в суворих умовах, таких як зони глибокого заморожування, вибухонебезпечні зони або приміщення з високим рівнем забруднення [96].



Рисунок – 1.31 Аспіраційний детектор диму ASD 535 Securiton AG [96]

Схожий за функціональними особливостями аспіраційний детектор диму Pro Point Plus виробництва Protec Fire and Security Group Ltd (Великобританія) (рис. 1.32).



Рисунок – 1.32 Аспіраційний детектор диму Pro Point Plus (зображення взято з сайту: <https://www.protec.co.uk/our-products/fire-detection/aspirating-detection-systems/propoint-plus-aspirating-smoke-detectors/propoint-plus-aspirating-smoke-detectors/>)

Цікавим перспективним напрямком, який останнім часом активно розвивається являється Wi-Fi GSM сигналізація.

Система рис. 1.33 є комплексом, який складається з централі, ретрансляторів, та бездротових пожежних сповіщувачів із сенсором температури та чадного газу. Вона цілодобово стежить за безпекою у приміщенні повідомляє про небезпечний рівень CO, появу диму і раптові стрибки температури.





Рисунок – 1.33 Бездротовий пожежний сповісвач із сенсором температури, диму та рівня CO Ajax FireProtect Plus [78]

Завдяки впровадженню передових технологій обробки і передачі сигналів пожежна сигналізація GSM Wi-Fi може ефективно застосовуватися як для домашнього використання, так і для комерційного застосування (складські приміщення).

Для централі системи безпеки зв'язок із зовнішнім світом – критичний. Надійність і стабільність – гарантія своєчасного передавання тривоги. Наявність 4 каналів зв'язку та робота у швидкісних мережах LTE, дозволяє підключити пристрій до двох різних інтернет-провайдерів через Ethernet і Wi-Fi, а також до двох стільникових мереж. Водночас автоматичне перемикання між каналами займає кілька секунд. На відміну від стандартних GSM-комплексів Wi-Fi GSM IP сигналізація є інноваційною технологією. Пріоритетною є передача інформації із застосуванням глобальної мережі Інтернет, що є дуже зручним і рентабельним рішенням, оскільки не залежить від завантаження стільникової мережі і балансу на використовуваній SIM-карті. Передача через інтернет мережу здійснюється із застосуванням спеціальних повідомлень, відправка яких вимагає мінімум трафіку всього декілька кілобайт. Таке повідомлення легко буде відправлено навіть при мінімальній швидкості інтернету.

За відсутності доступу до інтернету, з яких-небудь причин, сигналізація автоматично переходить на роботу за технологією GSM. В цьому випадку повідомлення про небезпеку відправлятиметься у вигляді SMS/MMS

повідомлення або дозвону на запрограмований номер. Водночас радіопротокол роботи гарантує безперебійну взаємодію всіх пристроїв системи безпеки. Оскільки радіозв'язок двобічний, використовується механізм контролю доставки подій та автоматична зміна частоти в разі перешкод. Тривоги передаються менш ніж за 0,15 секунди, за відсутності перешкод зв'язок між пристроями можливий на відстані до 2000 метрів, і до 3800 метрів, якщо використовувати ретранслятор сигналу, протокол використовує часовий розподіл каналів зв'язку з фреймами від 12 секунд, короткі сеанси зв'язку, авторегулювання потужності передавачів пристроїв. Завдяки цьому сповіщувачі працюють до 7 років від батарей. Блокове шифрування даних зі змінним ключем, частотний хопінг та автентифікація пристрою під час кожного сеансу зв'язку виключають вірогідність підміни пристроїв та сигналів, у системі можуть працювати, не створюючи взаємних перешкод, до 200 пристроїв, та може бути використано до 5 ретрансляторів. Максимальна площа покриття однієї системи рис. 1.34 може досягати 35 км<sup>2</sup> [78].

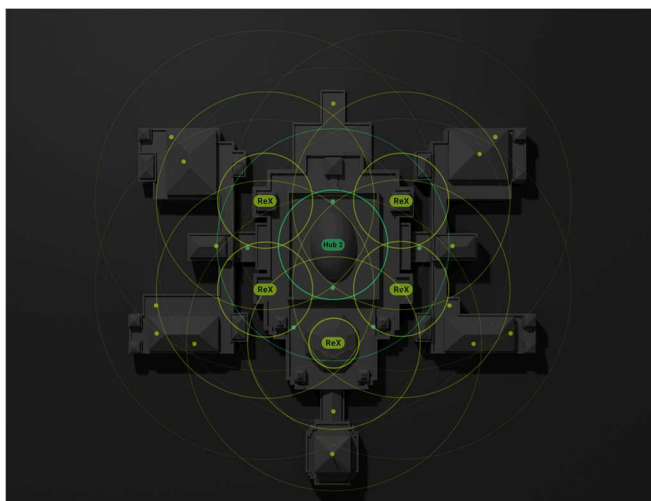


Рисунок – 1.34 Компонувальна схема розташування приладів системи Ajax з вказанням зон покриття [78]

З вище зазначеного можна зробити такі підсумкові спостереження, що об'єкти зберігання являються проблемними і складними з точки зору їх протипожежного захисту: складне нетипове планування будівель згідно індивідуальних планів, конфігурація сховищ, яка постійно змінюється в зв'язку зі

зміною товарів які зберігаються, висота та велике пожежне навантаження з різними характеристиками продукції. При чому кожен окремий логістичний комплекс ставить індивідуальні завдання забезпечення його пожежної безпеки.

Таблиця 1.3

Фактори впливу на затримку виявлення пожежі автоматичними системами пожежної сигналізації, компоненти, що забезпечують ефективність системи

Зміна первинної ознаки пожежі, внаслідок зміни виду пожежного навантаження	Системи пожежної сигналізації
1	2
Людський фактор	Системи диспетчеризації
Робота системи вентиляції та кондиціонування	Системи керування евакуюванням
Самовільно допущенні (встановлені) в процесі експлуатації перепланування (перегородки)	Автоматичні системи пожежогасіння
Недовготривала зміна процесу рециркуляції повітряних потоків в приміщенні складу (внаслідок тимчасового відкривання вікон, воріт)	Системи протидимного захисту
Не дотримування умов вільного простору навкруги і нижче кожного сповіщувача 0,5 м	Системи централізованого пожежного спостереження

Виявлення загорання на ранній стадії автоматичними системами протипожежного захисту, першочергові дії персоналу об'єкту по евакуації людей і виклику пожежно-рятувальних підрозділів, разом з роботою систем евакуації і автоматичного пожежогасіння забезпечують збереження людських життів і мінімізацію матеріальних збитків.

#### **1.4. Аналіз досліджень у царині пожежної безпеки виробничо-складських приміщень**

Вагомим підтвердженням актуальності питання забезпечення пожежної безпеки об'єктів логістики і складування являється інформаційний бюлетень [75]

щодо пожежної безпеки складів, оприлюднений Національною асоціацією протипожежної безпеки (NFPA). Цей ресурс надає користувачам доступ до статистики пожеж на складах, інформацію про інциденти, звіти та дослідження включаючи нову інформацію про спринклери швидкого реагування (ESFR), які часто встановлюються на складах, щоб уникнути встановлення зрошувальних спринклерів. Визначаються ключові орієнтири, доступні для осіб, відповідальних за безпеку складу та узагальнюються найкращі методи захисту конструкцій, вмісту та людей.

Необхідність постійного удосконалення систем протипожежного захисту складів обумовлено великою пожежною навантагою таких об'єктів, а також високою лінійною швидкістю розповсюдження пожежі [29]. Тому, зважаючи на викладене, актуальним завданням у царині пожежної безпеки є розвиток уявлення про можливі перспективні напрямки розвитку систем протипожежного захисту об'єктів зберігання та складів, що має базуватися на ґрунтовному аналізі світового досвіду у цій площині.

Яскравим свідченням окресленої проблематики є графічна залежність [51], наведена на (рис. 1.35).

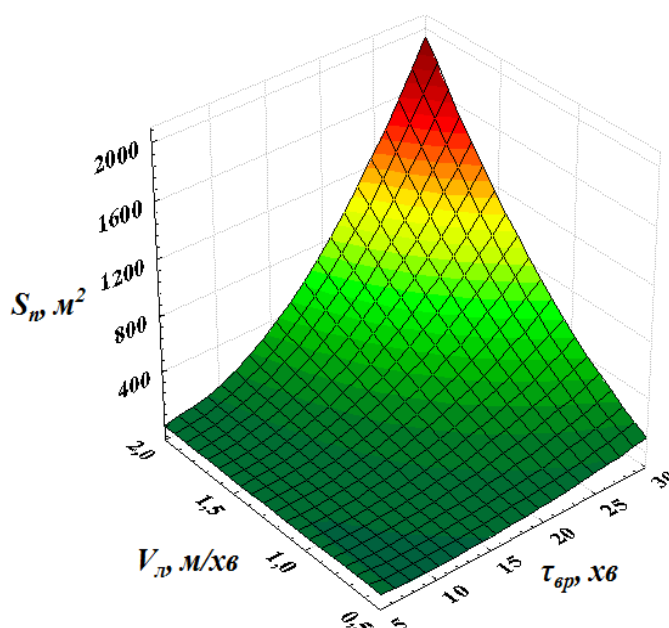


Рисунок 1.35 Поверхня відгуку теоретичної залежності площі пожежі  $S_n$  (кутова,  $90^\circ$ ) від тривалості її вільного розвитку  $\tau_{ep}$  та лінійної швидкості розповсюдження пожежі  $V_n$  [19]

З (рис. 1.35) можна зробити висновок, що наприклад, у приміщенні складування пиломатеріалів за 20 хв вільного розвитку пожежа охопить площу близько 700 м<sup>2</sup>. Це, у свою чергу, обумовлює необхідність наявності ефективної системи протипожежного захисту для мінімізації можливих збитків, яких може завдати пожежа.

З деякими особливостями пожежної небезпеки складів добрив і отрутохімікатів ознайомлюємось в дослідженні [35]. Ось деякі з них:

- місткість складу отрутохімікатів 10000т, складу мінеральних добрив 15000т;
- проведення технологічних операцій з приготування сумішей добрив, розчинів, емульсій, суспензій ;
- горюче навантаження 200-250 кг/м<sup>2</sup> ;
- підвищене димоутворення отрутохімікатів у 4-5 разів перевищує димоутворення під час горіння деревини ;
- за пожежною небезпекою поділяються на вогнебезпечні та вибухонебезпечні (аміачна селітра).

За таких умов людська помилка, порушення технологічного процесу, поламки вузлів чи агрегатів, недотримання протипожежних вимог створюють значні ризики.

Досвід забезпечення пожежної безпеки на складах тютюну та тютюнових виробів описується у праці [110]. Тут увага зосереджується на дотриманні відстаней протипожежних розривів та ефективній роботі систем пожежної сигналізації. На таких фабриках має бути достатнє забезпечення протипожежним водопостачанням, а також влаштовані автоматичні системи пожежогасіння.

Пожежні ризики на складах текстильної промисловості аналізуються в роботі [88]. Автор наголошує, що масштабні пожежі виникають через низький рівень систем протипожежного захисту. Зокрема, наголошується на комплексності підходу до питань забезпечення пожежної безпеки: дотримання відповідних норм

та правил, забезпеченості підприємств необхідними системами протипожежного захисту тощо.

Яким чином забезпечити пожежну безпеку складів зернопереробних підприємств можна дізнатись з роботи [70]. На думку автора вибухо-пожежо небезпеку пилу зернообробних підприємств можна суттєво зменшити забезпечивши герметичність з'єднань технологічного обладнання, ефективною роботою аспіраційного обладнання.

В дослідженні [83] розглядаються чинники забезпечення пожежної безпеки складів зберігання бавовни шляхом аналізу її фізичних та хімічних характеристик, типових випадків пожеж і національних стандартів та протипожежних норм. Оскільки можливість тління від тепла, що виділяється при поглинанні вологи, надзвичайно висока, температура нижче 31,8 і вологість нижче 70%, а також регульований тиск упакування – обов'язкові умови, яких необхідно дотримуватись. Порушення умов зберігання, надлишкове пожежне навантаження, недотримання встановлених протипожежних відстаней між стелажми менше 2 м сприяють швидкому розвитку пожежі на значні площі. Відсутність джерел протипожежного водопостачання необхідного об'єму, недостатній ступінь вогнестійкості будівлі, як правило, призводить в результаті до пожеж та повного знищення продукції і руйнування будівлі.

В роботі [112] наведено схему системи протипожежного захисту підприємства нафтохімічної промисловості (рис. 1.36.).

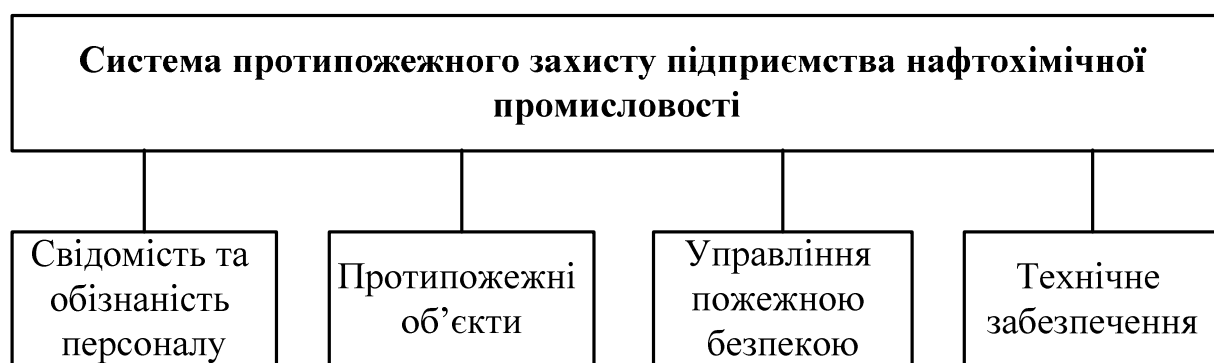


Рисунок – 1.36 Схема системи протипожежного захисту підприємства нафтохімічної промисловості [112]

Зокрема, у роботі [112] проаналізовано вплив чинників пожежної безпеки підприємства нафтохімічної промисловості на рівень його захисту. На основі цього побудована імітаційна модель системи протипожежного захисту такого підприємства. Результати цих досліджень [112] дали змогу виявити причинно-наслідковий зв'язок як між чинниками пожежної безпеки, так і між чинниками та рівнями системи протипожежного захисту, що своєю чергою, дало змогу динамічно прогнозувати рівень забезпечення пожежної безпеки.

Результати експериментальних досліджень щодо раннього виявлення пожежі в підземних сховищах дизельного пального, що базуються на дослідженні ефективності застосування пожежних сповіщувачів різного типу (вогню, диму, СО) наведено в праці [109]. Зокрема, для зменшення ризику, пов'язаного з зберіганням і перенесенням великої кількості дизельного пального в постійні сховища підземних шахт, було проведено експериментальне дослідження часу спрацювання різних сповіщувачів для раннього виявлення пожеж дизельного пального в зоні зберігання. Проаналізовано час реакції для сповіщувачів різного типу та встановлено, що сповіщувачі полум'я і сповіщувачі диму призвели до зменшення часу спрацювання у більшості дослідів порівняно з сповіщувачами СО. На основі результатів експериментальних досліджень були визначені відповідні місця розташування сповіщувачів для раннього виявлення пожежі в зоні зберігання дизельного пального.

Проаналізувавши роботи [112,109] бачимо, що забезпечення пожежної безпеки підприємств нафтохімічної промисловості базується на ефективному функціонуванні систем протипожежного захисту, а також принципах раннього виявлення пожеж шляхом застосування сучасних систем пожежної сигналізації. В статті [80] проаналізовано процес хибного спрацювання протипожежної сигналізації. Високочутливі елементи в пожежних сповіщувачах дають змогу ідентифікувати пожежі на ранній стадії, але це також робить їх чутливим до хибних спрацювань.

Аналіз системи пожежної безпеки підприємств зберігання небезпечних хімічних речовин наведено в статті [111]. Для оцінки рівня пожежної безпеки

такого підприємства в згаданій роботі застосовано ідентифікацію джерела небезпеки, моделі пожежної та вибухової ситуації, процесу аналітичної ієрархії та оцінки пожежної небезпеки на певному інтервалі. Стаття [111] надає наукову основу для оцінки ризику пожежної небезпеки складів хімічних речовин, а також підґрунтя для встановлення якісної системи контролю безпеки для ефективного управління пожежною безпекою.

З метою підвищення ефективності управління ризиками пожежної безпеки під час контролю стану складів хімічної продукції, в роботі [87] пропонують динамічний інтелектуальний метод, який базується на опрацюванні масиву даних в режимі реального часу наданих сповіщувачів, розташованих в приміщенні складу.

Для прогнозування пожежного ризику на логістичному складі важливо оцінити різні фактори впливу. В роботі [95], присвяченій аналізу факторів, що впливають на пожежний ризик логістичного складу, його розділяють на такі компоненти: безпека будівлі, продукції, персоналу, зовнішні фактори.

Результати вивчення процесу розповсюдження продуктів згорання на об'єктах зберігання представлено в роботі [100]. Зокрема вплив продемонстрованих металевих конструкцій стелажної системи зберігання складського приміщення на швидкість задимлення робочої камери димового пожежного сповіщувача.

У серії публікацій [3,4,5] порушується проблематика забезпечення надійності компонентів систем пожежної сигналізації. Автор акцентує увагу на необхідності визначення регулятором методик і програм проведення випробувань пожежних сповіщувачів і надання відкритого доступу до них. Завдання виробників окреслюється в площині дотримання встановлених вимог.

Проблема представлення на ринку несертифікованої протипожежної продукції таких систем озвучується в роботі [6]. Йдеться про комбінацію з двох сертифікованих димових пожежних сповіщувачів об'єднаних в один монтажний комплект для застосування в якості двоточкового сповіщувача з метою контролю середовища за підвісною стелью. Однак при монтажі застельового сповіщувача



його пропонують розміщувати перпендикулярно до стельового, таке рішення звісно призводить до його некоректної роботи.

Автор роботи [31] намагається розібратись з причинами, які призводять до відмов роботи систем протипожежної автоматики. Основними чинниками вбачається непрофесійне виконання проектної документації, відхилення від норм при виконанні монтажних робіт, непроведене вчасно належним чином технічне обслуговування. Пропонується взяти на озброєння досвід закордонних колег з запровадження страхування і здійснення приймання робіт незалежними експертами в цій царині.

На думку автора публікації [10] реалії вимагають більш сучасних сповіщувачів, виробництво яких в змозі налагодити вітчизняні виробники. Однак для реалізації амбітних планів необхідно адаптувати національні норми до серії європейських стандартів EN 54-26, ДСТУ EN 54-29, ДСТУ EN 54-30, ДСТУ EN 54-31. Окрім цього означення термінів комбінований та мультисенсорний сповіщувачі повинні бути розкриті в ДСТУ EN 54-1, ДСТУ CEN/TS 54-14.

В роботі [7] автори пропонують діалог про зміни серії ДСТУ EN 54, закликають до діалогу розробників і користувачів стандартів.

Для оптимальної роботи системи пожежної сигналізації необхідно використовувати високотехнологічне обладнання, застосовувати індивідуальний підхід з врахуванням усіх обставин. В цьому допомагають новітні розробки мультикритеріальні сповіщувачі, лінійні теплові оптоволоконні, аспіраційні димові пожежні сповіщувачі, точкові газові сповіщувачі. Про це йдеться в роботі [13].

Автор публікації [56] робить негативні висновки, проводячи аналіз десятирічного періоду після набуття чинності Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» у 2011, яким державні інспектори з пожежного нагляду відлучені від участі у формуванні вимог до протипожежних систем на стадії будівництва, а також не включаються у склад комісій по прийманню закінчених будівництвом об'єктів. Також звертається увага на необхідність законодавчо врегулювати можливість орендодавців здавати в оренду лише приміщення і

будівлі забезпечені необхідними протипожежними системами. Той самий алгоритм зміни законодавчої бази пропонується застосувати для впровадження нових технологічних безпроводних систем пожежної сигналізації і оповіщення, що в свою чергу призведе до зменшення вартості таких систем при масовому їх використанні.

Аналізуючи ДСТУ EN 54-13:2014 прийнятий методом підтвердження за позначенням без внесення національних правок автор [8] приходять до висновку необхідності повернення до практики створення робочих груп, перекладу європейських стандартів на українську мову з внесенням національних приміток.

Автор дослідження [9] впевнений, що запровадження в Україні серії європейських стандартів EN 54 суттєво підвищило якість компонентів систем забезпечення пожежної безпеки, оскільки посилюється контроль якості цих компонентів. Відповідність вимогам законодавства - обов'язок виробників даної продукції. Розкривається відмінність термінів чутливості та поріг спрацювання для димових пожежних сповіщувачів.

Оцінка індивідуального пожежного ризику включає в себе визначення ймовірності безвідмовної роботи систем протипожежного захисту. Питання невизначеності під час оцінки при визначенні пожежного ризику досліджувались у багатьох наукових працях. Так, у роботі [86] авторами наведено результати дослідження ймовірнісного методу для усунення негативних впливів під час пожежі через невизначеності, які упускаються під час оцінки пожежної небезпеки об'єкта. У дослідженні ймовірність виникнення та очікувана кількість випадків пожеж оцінюються з урахуванням деяких невизначеностей з використанням нечітких множин. Показано, що дана методика може бути застосована для різних типів об'єктів. Проте невирішеним залишається питання забезпечення надійності досліджуваних систем. Частково цю проблему висвітлено у роботі [94], де запропоновано здійснювати двоступеневий захист об'єктів. Перший ступінь захисту захищає об'єкт від загроз, попереджує вплив небезпек на об'єкт, другий – зменшує негативний вплив у випадку ураження об'єкту унаслідок цих небезпек (рис. 1.37). Окрім цього, у даній роботі досліджено надійність систем захисту та

ймовірність їх відмов. Проте у роботі не вирішено шляхи усунення несправностей та підвищення надійності цих систем.

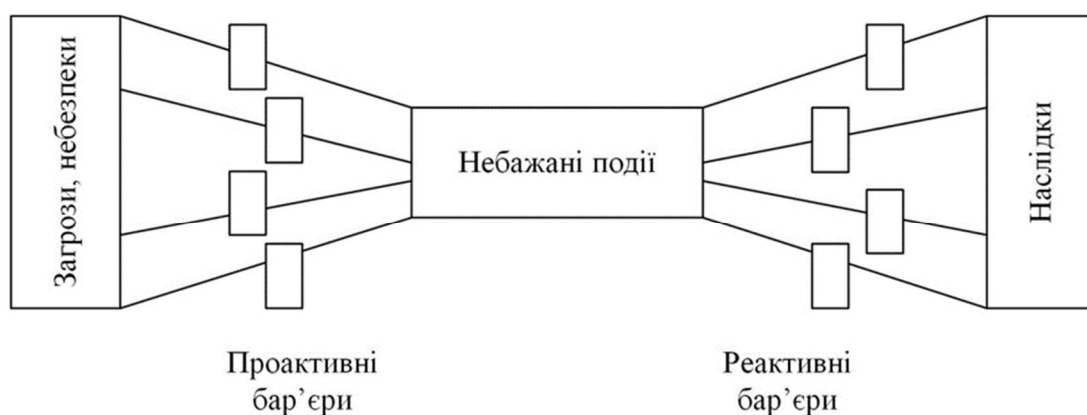


Рисунок – 1.37 Метеликова діаграма двоступеневого захисту [86]

Варіантом усунення відповідних труднощів є розгляд кожного елемента систем протипожежного захисту окремо. Саме такий підхід застосовано у роботах [89,92,84,72], у яких досліджено надійність елементів спринклерних систем автоматичного пожежогасіння, елементів систем електропостачання систем протипожежного захисту, елементів системи передавання тривожних сигналів, теплових та димових сповіщувачів тощо. Для зниження інтенсивності відмов систем протипожежного захисту автори [92] пропонують забезпечувати надійність електромереж та систем електроживлення, що забезпечують роботу цих систем. У роботі [84] автори пропонують встановлювати приладів контролю систем протипожежного захисту у різних приміщеннях. У роботі [72] запропоновано здійснювати резервування теплових і димових сповіщувачів ручними пожежними сповіщувачами, що дозволить знизити інтенсивність відмов.

Проте у цих роботах не розглянуто ще один фактор, який впливає на надійність роботи систем захисту, а саме – людський фактор. Шляхом усунення негативних наслідків недбалості людей, які експлуатують об'єкт захисту (проживають чи працюють на ньому), є прийняття окрім технічних рішень при проектуванні організаційних. Саме такий підхід запропоновано у роботі [73]. Проте у роботі не вирішено питання забезпечення надійності систем протипожежного захисту з урахуванням усіх інших чинників.

Аналізуючи останні дослідження у царині забезпечення надійності систем протипожежного захисту, слід зазначити, що не існує комплексного підходу, що дозволив би забезпечити надійність роботи усіх без винятку систем протипожежного захисту. А саме, не розроблено методики для визначення необхідної кількості засобів протипожежного захисту, який би забезпечив ймовірність відмов у прийнятних межах. Крім наведеного аналізу сучасного стану в галузі протипожежного захисту об'єктів можна додати, що самим головним недоліком є відсутність методики прийняття для конкретного об'єкта оптимальної кількості засобів для забезпечення його пожежної безпеки.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого розробленню методики визначення оптимальної кількості засобів для забезпечення безвідмовної роботи систем протипожежного захисту об'єктів, в тому числі і для закритих складських приміщень. При розробленні методики слід врахувати, що у разі відмови елементів систем протипожежного захисту у зв'язку із людським фактором, виходу з ладу елементів електропостачання, впливу зовнішніх факторів тощо, повинне бути забезпечене своєчасне виявлення та успішне гасіння пожежі на об'єктах.

Для приміщень складів використовують пожежну сигналізацію у вигляді пожежних сповіщувачів (димув, полум'я, тепла і комбінованих) та мовлену систему оповіщення. При організації такої системи сигналізації враховують різні інформаційні методи [68], а саме:

- інформуванню тих, хто надає допомогу;
- попередження присутніх;
- керування системою пожежної автоматики.

Система керування повинна виявляти пожежу, вмикати засоби оповіщення про пожежу та засоби автоматичного протипожежного захисту об'єкта, сприяти евакуації людей, викликати підрозділи ДСНС для ліквідації пожежі (рис. 4.1.) [69].

Враховуючи вищевикладене, актуальними є дослідження, що присвячені методикам визначення для будь-якого об'єкта (складів, які розміщені в закритих приміщеннях) оптимальної кількості приладів системи протипожежного захисту,

яка давала б можливість стабільно отримати імовірність відмови протипожежної системи в межах не більше  $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$  [54].

За даними роботи [44] пожежі на відкритих складах лісоматеріалів відзначаються розкиданням іскор і палаючих голешок в радіусі до 300 м, а при штормовій швидкості вітру – в радіусі понад 1000 м, хоча такі умови не є характерними для нашого об'єкту досліджень.

Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я і Постанови Кабінету Міністрів України від 29 лютого 2012 р. № 306, пожежні ризики класифікують так: 1) незначний ризик  $\varepsilon \leq 10^{-6}$ ; 2) середній ризик  $\varepsilon = 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ ; 3) високий (терпимий) ризик  $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ ; 4) неприйнятний ризик  $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$ .

Забезпеченню пожежної безпеки на складах присвячена робота О. Б. Андрусейка і Ю. І. Грицюка [2]. В ній розглянуто причини виникнення та розповсюдження пожеж, наведено особливості організації процесу гасіння пожежі. Ю. Полярин [53] в своїй статті наводить вимоги до встановлення автоматичних пожежних сповіщувачів їх вибір залежно від призначення складу. А. А. Лісняк і І. Г. Дерев'янка [46] в своїй публікації наводять розрахунки потрібних витрат води для підвищення якості гасіння пожеж на відкритих складах. Досліджуючи причини та наслідки пожеж на складах бавовни Wen-hui Ju [83] зазначає, що відсутність систем автоматичної пожежної сигналізації призвела до поширення пожежі на значні площі і великих матеріальних втрат.

У будівельних нормах, зокрема [27], наявні рекомендації щодо вибору пожежних сповіщувачів в залежності від призначення приміщення, проте відсутня конкретика щодо їх вибору залежно від характеристик пожежного навантаження, оптимального їх розміщення у приміщенні тощо. Будь-яке проектування вимагає гнучкого об'єктно-орієнтованого підходу, натомість законодавство щодо проектування систем протипожежної сигналізації є досить жорстким.

Авторами роботи [82] було запропоновано метод для визначення кількості пожежних сповіщувачів у закритих приміщеннях складів та логістичних центрів.

Результати моделювання показали, що для того, щоб забезпечити надійність спрацювання систем протипожежного захисту необхідно в декілька раз збільшити кількість пожежних сповіщувачів у порівнянні із нормативною кількістю. Проте залишаються нерозглянуті питання, які типи сповіщувачів слід використовувати та на якій відстані один від одного встановлювати тощо. Тому експериментальні дослідження характеристик пожежних сповіщувачів є важливою науковою задачею.

Метод дослідження димових пожежних сповіщувачів розглянуто у роботі [76]. Для імітування задимленості внаслідок пожежі пропонується застосовувати аерозольний генератор, що має можливість змінювати гранулометричний склад аерозолю у заданих межах. Такий підхід є досить цікавим, проте слід враховувати те, що леткі продукти горіння матеріалу характеризується не тільки дисперсністю, а сам горючий матеріал характеризується лінійною та масовою швидкістю вигорання, оптичною густиною утворюваного диму тощо. Крім цього, дослідження [106] показують вплив аерозолів, пари, розпилювачів на хибні спрацювання димових сповіщувачів. Тому ефективнішим способом проведення дослідів над спрацюванням пожежних сповіщувачів є моделювання пожеж із реальним пожежним навантаженням.

Автори роботи [105] пропонують використовувати для визначення часу спрацювання димових сповіщувачів алгоритм SDAА. Даний алгоритм заснований на FDS моделюванні із змінною параметрів пожежі. Проте дана методика стосується лише димових сповіщувачів. У роботі [79] розглядаються особливості розробки аспіраційних пожежних сповіщувачів. Проте розміщення для ефективності спрацювання таких сповіщувачів у роботі не розглядається.

У роботі [77] розглянуто вплив систем кондиціонування на час спрацювання пожежного сповіщувача. Основним висновком є те, що при наявності сильного потоку повітря необхідно збільшувати кількість пожежних сповіщувачів для своєчасного виявлення пожежі. Проте у роботі не розглянуто вплив пожежного навантаження на їх кількість. Дану проблему розглянуто у роботі [113], проте результати даного дослідження можуть розповсюджуватись лише при

проектуванні протипожежного захисту вагонів потяга. У роботі [85] також розглянуто особливості проектування систем протипожежного захисту для розумного дому. Дослідники зупинилися на виборі типу пожежного сповіщувача, проте не врахували необхідну їх кількість для захисту приміщень та спосіб розміщення.

Здійснювати вибір пожежних сповіщувачів в залежності від їх чутливості з метою зниження часу виявлення пожежі запропоновано у роботі [108]. На основі експериментальних досліджень та моделювання FDS зроблено висновок, що чим нижчий поріг чутливості пожежного сповіщувача, тим коротший час його спрацювання, що власне є очевидним твердженням. Автори встановили, що для кабельних тунелів оптимальним варіантом є аспіраційний димовий пожежний сповіщувач. Проте для підтвердження даного висновку для складських будівель великого об'єму та значної висоти слід проводити додаткові дослідження, оскільки геометрія цих об'єктів та кабельних тунелів є суттєво відмінними.

Експериментальні дослідження димових пожежних сповіщувачів наведені у роботі [98]. Результати показали, що час спрацювання детектора залежить від відстані, проте не прослідковується залежності від типу фотоелектричного детектора. Дослідження проводились у приміщенні невеликою висоти (4 м), що не є характерним для складських приміщень. Крім цього, авторами не оброблені статистичні дані для розроблення емпіричних формул, що дали б змогу обирати оптимальне розміщення сповіщувачів.

У жодній із розглянутих робіт немає комплексного підходу, а результати дослідження не можуть бути застосовані для вибору оптимального розміщення у складських приміщеннях.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого виявленню чинників, що впливають на час спрацювання пожежного сповіщувача у разі пожеж у складських приміщеннях [19]. Це знадобиться для подальшого вибору типу сповіщувачів і оптимального їх розміщення у приміщенні.

## 1.5. Висновки, мета та задачі дослідження

1. Пожежі на логістично-складських об'єктах є одними з найскладніших, характеризуються залученням значної кількості сил та засобів, великими масштабами. Найбільш ефективним є виявлення пожежі на початковому етапі, це мінімізує ризики для персоналу і особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, а також можливі матеріальні збитки. Рівень небезпеки об'єктів логістики, наслідків і відповідальності є надзвичайно високими. Вирішальне значення має дотримання всіх компонентів безпеки.

2. Необхідним є розроблення методики визначення для будь-якого об'єкта (складів, які розміщені в закритих приміщеннях) оптимальної кількості приладів системи протипожежного захисту, яка давала б можливість стабільно отримати імовірність відмови протипожежної системи в межах не більше  $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ .

3. На сьогоднішній день немає комплексного підходу до вибору типу та кількості пожежних сповіщувачів на різних об'єктах, існуючі результати досліджень не можуть бути застосовані для вибору оптимального розміщення у складських приміщеннях. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого оцінці впливу чинників на ефективність виявлення пожеж досліджуваних об'єктів.

Враховуючи вищевикладене, поставлено за мету розкриття особливостей впливу чинників на процеси виникнення, виявлення та розвитку пожеж складських приміщень на основі теоретичних та експериментальних досліджень у контексті вдосконалення систем забезпечення пожежної безпеки таких об'єктів.

Для досягнення задекларованої мети поставлено до розв'язку такі завдання:

- виконати аналіз сучасного стану забезпечення пожежної безпеки складських приміщень та окреслити напрями щодо підвищення рівня пожежної безпеки цих об'єктів;
- вдосконалити математичну модель пожежного ризику для складських приміщень із урахуванням необхідної та дійсної кількості компонентів системи протипожежного захисту, а також ризику їх відмови;



- виконати теоретичні дослідження впливу чинників на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях складських об'єктів;
- розробити методику виконання експериментальних досліджень щодо виявлення залежностей впливу чинників на ефективність виявлення пожеж досліджуваних об'єктів;
- виконати експериментальні дослідження з метою отримання емпіричних залежностей для встановлення впливу чинників на ефективність виявлення пожеж складських приміщень;
- розробити пропозиції щодо удосконалення систем пожежної безпеки складських приміщень та метод визначення раціональних параметрів забезпечення пожежної безпеки цих об'єктів із урахуванням імовірності відмов протипожежної системи.

## РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ СКЛАДСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

### 2.1. Особливості моделювання процесу розвитку пожеж у складських приміщеннях

Складські приміщення складаються з різноманітних будівельних конструктивних елементів, які по-різному себе поведуть за умов дії на них небезпечних факторів пожежі. У великій кількості країн застосовують об'єктно-орієнтоване протипожежне нормування, визначаючи ступінь впливу всіх факторів на процес розвитку пожежі, застосуючи математичне моделювання пожежі. Для цього використовують математичні моделі тепломасообміну в приміщенні під час пожежі. Так, відомо, що найбільший вплив на значення температури має відстань від осередку пожежі, не суттєвий вплив має пожежне навантаження і час вільного розвитку пожежі.

Важливою особливістю процесу розвитку пожеж на об'єктах зберігання, на яку необхідно звертати увагу при виборі тієї чи іншої системи виявлення є ефект стратифікації, який може виникнути, коли повітря, що містить димові частинки або продукти горіння, нагрівається в результаті тління або займання матеріалу. Нагріте повітря, що містить продукти горіння, стає менш щільним, ніж навколишнє більш холодне повітря і піднімається вгору до рівня, поки не зіткнеться з більш холодним повітрям зверху, яке поглине тепло і призупинить рух нагрітого повітря, що містить продукти горіння, вгору, що призведе до збільшення часу виявлення загорання. Ефект стратифікації також може виникати в спекотні дні, коли сонце нагріває конструкцію перекриття складу до високої температури, створюючи набагато більш гарячий повітряний шар під перекриттям. Невелика пожежа на нульовій відмітці може не мати стільки теплової енергії, щоб проштовхнути частки диму через повітряний бар'єр з більш високою температурою. Це призведе до того, що частки диму не досягнуть точок

виявлення під перекриттям до тих пір, поки пожежа істотно не розвинеться. Існує значне пожежне навантаження особливо при зберіганні товарів і матеріалів з використанням стелажних систем зберігання. При захисті складів з системами високих стелажів більше 8 м це необхідно враховувати.

Для забезпечення протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів необхідно першочергово розв'язати такі задачі:

- дослідити процес розповсюдження пожежі в закритих складських приміщеннях;
- розробити метод розрахунку оптимальних розмірів захищених об'ємів приміщень складу.

Для розв'язання першої задачі, а саме дослідження процесу розвитку пожежі в закритих складських приміщеннях, було визначено, що у виробничо-складських об'єктах розміщено пожежне навантаження, горіння якого відбувається із термічним розкладом речовин із утворенням газоподібних продуктів. Питома швидкість вигорання пожежного навантаження залежить не лише від фізичних параметрів матеріалів, а й від складу пожежного навантаження. Крім цього, питома швидкість вигорання матеріалів у закритих складських приміщеннях відрізняється від питомої швидкості вигорання на відкритому середовищі.

Можливі два режими розвитку горіння матеріалів в приміщенні: 1) з наявністю достатньої кількості повітря (кисню), тобто пожежа, яка виникла, регулюється пожежним навантаженням; 2) з недостатньою кількістю повітря (кисню), тобто пожежа, яка виникла, регулюється вентиляцією.

В закритому приміщенні в реальних умовах перший режим пожежі поступово переходить в другий, а після досягнення температури в приміщенні, при якій руйнуються шибки вікон, процес газообміну стає двостороннім і пожежа переходить до першого режиму.

Розглянемо методику моделювання процесу розвитку пожежі у складському приміщенні при першому та другому режимах.

1) *перший режим розвитку пожежі*, для якого значення площі пожежі визначаємо за залежностями:

– при тривалості вільного горіння  $\tau \leq 10$  хв (600 с)

$$S_{II} = 0,25\alpha v_n^2 \tau^2, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

– при тривалості вільного горіння  $\tau > 10$  хв (600 с)

$$S_{II} = \alpha v_n^2 (\tau - 600)^2 + 0,25\alpha v_n^2 (600)^2 = \alpha v_n^2 (\tau^2 - 1200\tau + 450000), \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

де  $\tau$  – час вільного розвитку пожежі, с;  $v_n$  – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с;  $\alpha$  – кут, що відображає форму пожежі, рад (кругова пожежа –  $\alpha = 3,14$  рад; кутова пожежа  $180^\circ - \alpha = 1,57$  рад; кутова пожежа  $90^\circ - \alpha = 0,785$  рад).

– сумарна теплова енергія  $Q$ , яка виділяється в зоні полум'я пожежі

$$Q = \eta \psi_n S_{II} Q_{\min}, \text{ Вт} \quad (2.3)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт повноти згорання (при розрахунках його значення приймають в межах  $\eta = 0,9 \dots 0,95$ );  $\psi_n$  – питома масова швидкість вигорання, кг/м<sup>2</sup>·с;  $Q_{\min}$  – нижча теплота згорання, кДж/кг; значення  $Q_{\min}$ ,  $v_n$  і  $\psi_n$  наведені в табл. 2.1, згідно із даними роботи [45].

Таблиця 2.1

Значення чинників для залежностей (1) – (3)

№ з/п	Назва горючого навантаження	Нижча теплота згорання $Q_{\min}$ , кДж/кг	Лінійна швидкість розповсюдження полум'я $v_n$ , м/с	Питома масова швидкість вигорання $\psi_n$ , кг/м <sup>2</sup> ·с
1	2	3	4	5
1	Склад оргскла	15700	0,07	0,021

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5
2	Склад льноволокна	16700	0,004	0,016
3	Склад бавовни в тюках	15100	0,005	0,008
4	Приміщення механічного цеху	14000	0,0163	0,0152
5	Приміщення будівлі III ст. вогнестійкості	18100	0,0405	0,0143
6	Склад паперу в рулонах	26400	0,005	0,191
7	Приміщення заготівельного цеху	14000	0,0163	0,0152
8	Приміщення закритого складу	15400	0,04	0,02

– температура  $T_{o,n}$  осередка пожежі [22]

$$T_{o,n} = \frac{Q_{\min} \psi_n \tau_{n,z}}{c_p G} - 273 \quad ^\circ\text{C} \quad (2.4)$$

де  $Q_{\min}$  – значення нижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження для приміщення, в якому виникла пожежа, кДж/кг;  $c_p$  – теплоємність для цього приміщення, кДж/кг·К [55];  $\tau_{n,z}$  – тривалість до повного горіння, при якому осередок пожежі досягає максимальної температури, с ( $\tau_{n,z} = 600 \dots 720$  с [55]); значення  $c_p$  наведені в табл. 2.2;  $G$  – пожежне навантаження, кг/м<sup>2</sup>;

Таблиця 2.2

## Значення питомої теплоємності

№ з/п	Назва горючого навантаження	Питома теплоємність $c_p$ , кДж/кг·К
1	Деревина	2,8
2	Меблі, побутові вироби, тканини	2,4
3	Обладнання (верстати), мастила, фарба	2,0
4	Меблі, папір	2,7
5	Меблі, лінолеум ПВХ	2,5
6	Книжки, журнали на стелажах	1,8
7	Дерево, тканини, фарба	2,5
8	Паливно-мастильні матеріали	2,1
9	Різні промислові товари	1,8
10	Електротехнічні прилади та матеріали	2,2
11	Лікарські препарати, етиловий спирт, гліцерин	2,4
12	Деревина, картон, полістирол (тара)	2,3
13	Гума, бензин, штучна шкіра, емаль	2,1

В закритому приміщенні при пожежі *перший режим* поступово переходить в *другий*, а після досягнення такої температури в приміщенні, за якої руйнуються шибки вікон, процес газообміну стає двостороннім і пожежа, як було зазначено вище, переходить до *першого режиму*. Початковий вміст кисню в приміщенні  $\rho_{01} = 0,27 \text{ кг/м}^3$ , за якої може виникнути перший режим пожежі і припинитися при критичній густині кисню  $\rho_{1к} = 0,19 \text{ кг/м}^3$ , тобто при такому значенні густини кисню процес горіння може припинитися. Тому розглянемо другий режим розвитку пожежі:

2) *другий режим розвитку пожежі*, для якого необхідно визначити час пожежі, коли шибки вікон прогріються до температури 300...350 °С, що приведе їх до руйнування:

– внутрішній об'єм приміщення

$$V = B \cdot L \cdot H, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

де  $B$  – ширина приміщення, м;  $L$  – довжина приміщення, м;  $H$  – висота приміщення, м;

– критичний час підтримки вогнища пожежі через наявність необхідної концентрації кисню в приміщенні, згідно із даними роботи [45].

$$\tau_{кр} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1 - \phi) Q_{\min} \psi_n v_L^2} \ln \left[ \frac{\frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1 - \phi) Q_{\min}} + \rho_{01}}{\frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1 - \phi) Q_{\min}} + \rho_{1к}} \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \text{ с} \quad (2.6)$$

де  $c_p$  – теплоємність газового середовища в приміщенні, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $\rho_0 \cdot T_0 \approx 3 \cdot 10^2$  кг·м<sup>-3</sup>·К;  $\eta \approx 1$  – коефіцієнт повноти згорання;  $\phi \approx 0,5$  – коефіцієнт тепловтрат;  $Q_{\min}$  – нижча теплота згорання речовини, яка знаходиться в осередку пожежі, Дж/кг;  $\psi_n$  – питома швидкість вигорання, кг·м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>;  $V$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $v_L$  – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с;  $L_1 = - (1,15 \dots 1,3)$  кг/кг – стехіометричний коефіцієнт, що визначає кількість кисню в кг, яка необхідна для згорання 1 кг матеріалу, що горить при пожежі;  $n = 3$  – для кругової пожежі.

На підставі значення  $\tau_{кр}$  визначаємо:

– температурний режим в об'ємі приміщення в процесі пожежі [23]

$$T_i = T_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau_{кр}^{0,18} \cdot Z^{1,5} \cdot S_{II}^{0,13}}{R^{0,71}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.7)$$

де  $T_{o.n.}$  – температура осередку пожежі, °С;  $G$  – пожежне навантаження в приміщенні, кг/м<sup>2</sup>;  $\tau_{в.г.}$  – тривалість вільного горіння, хв;  $Z$  – висота, на якій визначається температура, м;  $S_{II}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>;  $R$  – відстань, на якій

визначається температура, м;  $C_T = 0,014$  – коефіцієнт пропорційності та обезрозмірювання складових елементів дробу, згідно із даними роботи [23].

Коли  $T_i$  досягне 300...350 °С, руйнуються шибки вікон приміщення і пожежа переходить до першого режиму.

Для розв'язання другої задачі у роботі [18] розроблено метод визначення оптимальних розмірів захищених об'ємів, який може бути використаний для закритих складських приміщень.

Розглянувши план будь-якого складського приміщення, можна відзначити, що всю площу складських приміщень розділяють на окремі ділянки. Багато ділянок з підвищеною пожежною небезпекою відокремлюються від загальної площі складських приміщень протипожежними захисними стінами згідно із будівельними нормами, тобто ці ділянки розміщують у протипожежних відсіках. Тоді для розташування захищених об'ємів залишається площа складського приміщення, на якій розміщене обладнання та відповідні робочі дільниці.

## **2.2. Теоретичні дослідження раціональних параметрів та кількості засобів протипожежного захисту складських об'єктів**

Розглянемо методику визначення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту для приміщення закритого складу виробничого об'єкту. Для цього визначимо всі протипожежні засоби, необхідні для забезпечення пожежної безпеки виробничо–складських об'єктів промислових підприємств, а саме для закритих та напівзакритих приміщень. До таких протипожежних засобів відносять: приймально-контрольний пристрій пожежної сигналізації; пожежні сповіщувачі; звукові пожежні оповіщувачі; систему протидимного захисту; систему завіс; систему для автоматичного відкривання евакуйовальних дверей.

*Функція мети* повинна враховувати пожежний ризик об'єкта захисту, значення якого необхідно мінімізувати, а саме



$$\varepsilon_o \Rightarrow \min \leq [\varepsilon_i], \quad (2.8)$$

де  $\varepsilon_o$  – значення пожежного ризику об'єкта;  $[\varepsilon_i]$  – допустиме нормативне значення пожежного ризику для об'єкта.

**Розробимо математичну модель пожежного ризику  $\varepsilon_{o.3}$  для закритих і напівзакритих складських об'єктів:**

$$\varepsilon_{o.3} = \varepsilon_n P_l \varepsilon_{n.k.n} \varepsilon_{n.c} \varepsilon_{n.o} \varepsilon_{n.3} \varepsilon_{c.3} \varepsilon_{e.d} (1 - P_e) K_{c.n.3} \leq [\varepsilon_{o.3}], \quad (2.9)$$

де  $\varepsilon_n$  – імовірність ризику виникнення пожежі в складському приміщенні (розраховується за ДСТУ 8828: 2019 [30]; у випадку відсутності даних приймається  $\varepsilon_n = 4 \cdot 10^{-2}$  [29]);  $P_l$  – імовірність наявності людей в приміщенні (при цілодобовому режиму роботи об'єкта дане значення приймається рівним 1; при двохзмінному режимі роботи – 0,66, при однозмінному 0,33);  $\varepsilon_{n.k.n}$  – імовірність ризику відмови ПКПП сигналізації (розраховується за методикою [18]);  $\varepsilon_{n.c}$  – імовірність ризику відмови пожежного сповіщувача (розраховується за методикою [18]);  $\varepsilon_{n.o}$  – імовірність ризику відмови звукового пожежного оповіщувача;  $\varepsilon_{n.3}$  – імовірність ризику відмови системи протидимного захисту;  $\varepsilon_{c.3}$  – імовірність ризику відмови системи завіси (розраховується за методикою [18]);  $\varepsilon_{e.d}$  – імовірність ризику відмови автоматики евакуйовальних дверей (розраховується за методикою [18]);  $P_e$  – імовірність евакуювання людей із приміщення цеху у випадку виникнення пожежі (розраховується за ДСТУ 8828: 2019 [30]);  $K_{c.n.3}$  – коефіцієнт, який враховує необхідну кількість систем протипожежного захисту для закритих і напівзакритих виробничо-складських об'єктів промислових підприємств:

$$K_{c.n.3} = \prod_{i=1}^6 \frac{N_i}{N_{i.d}}, \quad (2.10)$$

$N_b, N_{i.o}$  – відповідно необхідна та наявна кількість систем протипожежного захисту для закритих і напівзакритих виробничо-складських об'єктів промислових підприємств (у випадку відсутності на об'єкті дійсної кількості відповідної системи протипожежного захисту, наприклад, пожежних оповіщувачів, або інших систем, то це співвідношення приймають таким, що дорівнює **1** (одиниці)).

Для визначення необхідної кількості систем протипожежного захисту запропоновано наступну методичку:

1. **Прилад приймально-контрольний пожежний** (ППКП). Потрібну кількість цих приладів для виробничо-складських об'єктів позначимо літерою  $N_{ПК}$ . На підставі рекомендацій ДБН В.2.5-56:2014 [27] ППКП призначена для електричного живлення компонентів системи, приймання та оброблення інформації від пожежних сповіщувачів, формування і передавання на інші виконавчі пристрої сигналів про виявлення ознак горіння. ППКП розміщується у пункті пожежного спостереження. Цей пункт розміщується в межах виробничо-складського об'єкта. Мінімальна кількість  $N_{ПК} = 1$ .

2. **Пожежні сповіщувачі** (ПС). Потрібну кількість ПС можна визначити згідно із рекомендаціями [27]

$$N_{ПС} = \frac{S_c}{S_{n.c}}, \quad (2.11)$$

де  $S_c$  – площа складу, м<sup>2</sup>;  $S_{n.c}$  – площа, яку контролює один сповіщувач, м<sup>2</sup> (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 7.2.11 [27]  $S_{n.c} = 49$  м<sup>2</sup>).

3. **Пожежні оповіщувачі** (ПО). Потрібну кількість ПО визначаємо згідно із рекомендаціями ДСТУ EN 54-3:2003 п. 4.6.2, де вказується, що площа, яку обслуговує один оповіщувач  $S_{n.o} = 72$  м<sup>2</sup>. В цьому випадку  $N_{ПО}$  буде

$$N_{ПО} = \frac{S_c}{S_{n.o}}. \quad (2.12)$$

4. **Система протидимного захисту** (система димо- та тепловидалення з механізмом відкриття) (СПЗ). Потрібна кількість систем протидимного захисту  $N_{СПЗ}$  для приміщення складу, шт.

$$N_{СПЗ} = \frac{S_c}{S_{n.з}}, \quad (2.13)$$

де  $S_{n.з}$  – площа складу, яка обслуговується одним димоприймальним пристроєм (згідно із [27] п. 10.4.2,  $S_{n.з} = 900 \text{ м}^2$ ).

5. **Щільні вертикальні завіси** (ЩВЗ) з негорючих матеріалів, що опускаються від перекриття до підлоги не нижче 2,5 м від підлоги і утворюють під перекриттям резервуари для диму. Потрібну кількість ЩВЗ можна визначити за залежністю

$$N_{ЩВЗ} = \frac{S_c}{S_{с.з}}, \quad (2.14)$$

де  $S_{с.з}$  – площа, яка обслуговується однією системою завіс (згідно із [27] п. 10.4.3,  $S_{с.з} = 1600 \text{ м}^2$ ).

6. **Евакуаційні двері** (ЕД) із системою їх автоматичного відкривання для закритих та напівзакритих складів. Мінімальна кількість ЕД із системою їх автоматичного відкривання повинна бути  $N_{ЕД} = 4$  (по 2 дверей на довгих протилежних сторонах приміщення).

7. **Лебідка з двигуном внутрішнього згоряння** (Л) та паливо не більше однієї бочки (200 л) на відстані не менше 10 м від лебідки. Мінімальна кількість лебідок  $N_{Л} = 1$ .

8. **Лафетний ствол ЛС-60**. Кількість лафетних стволів  $N_{ЛС}$  для відкритих складів можна визначити за залежністю

$$N_{ЛС} = \frac{S_c}{S_{л.с}}, \quad (2.15)$$

де  $S_{л.с}$  – площа, яку обслуговує один лафетний ствол, м<sup>2</sup> ( $S_{л.с} = 31400$  м<sup>2</sup> [18]).

9. **Насосний агрегат насосної станції.** Мінімальна кількість насосних агрегатів  $N_{НА} = 2$  (один робочий, другий резервний).

10. **Мотопомпа типу МП-1600.** Мінімальна кількість мотопомп  $N_M = 1$ .

11. **Ручні стволи** з насадками діаметром 19-21 мм. Кількість ручних стволів  $N_{PC}$  для відкритих складів можна визначити за залежністю

$$N_{PC} = \frac{S_c}{S_{p.c}}, \quad (2.16)$$

де  $S_{p.c}$  – площа, яку обслуговує один ручний ствол, м<sup>2</sup> ( $S_{p.c} = 7850$  м<sup>2</sup> [18]).

12. **Пожежні рукава** діаметром 65 мм. Мінімальна довжина пожежних рукавів  $N_{ПР} = 200$  м.

13. **Розгалуження.** Мінімальна кількість розгалужень  $N_P = 2$ .

14. **Пожежні колонки.** Мінімальна кількість пожежних колонок  $N_{ПК} = 2$ .

Для вибору **критерія оптимізаційної моделі** визначення методів і засобів протипожежного захисту для об'єкта з урахуванням допустимого значення пожежного ризику скористуємося рекомендаціями [48]. В нашому випадку це можуть бути сумарні збитків внаслідок пожежі  $Z_o$  і витрати на протипожежний захист  $B_o$  об'єкта [39]

$$B = Z_o + B_o \Rightarrow \min, \quad (2.17)$$

Збитки об'єкта від пожежі будуть [39]

$$Z_o = C_o V_l^2 \alpha (\tau_{в.з}^2 - 20\tau_{в.з} + 0,25\tau_{лок}^2 + 125) + C_n \tau_{з.н} N_v, \quad (2.18)$$

де:  $C_o$  – середня вартість одного квадратного метра площі об'єкта, яка знищена пожежею, грн/м<sup>2</sup>;  $V_l$  – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/хв;  $\alpha$  –

кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова (360°)  $\alpha = 3,14$  рад; кутова (180°)  $\alpha = 1,57$  рад; кутова (90°)  $\alpha = 0,785$  рад;  $\tau_{в.г}$  – прогнозований час вільного горіння, хв (значення складових часу вільного горіння визначаємо з використанням рекомендацій [57, 49, 47, 14]);  $\tau_{лок}$  – прогнозований час локалізації пожежі, хв;  $C_n$  – середня вартість однієї хвилини роботи пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) в процесі ліквідації пожежі, грн/хв;  $\tau_{з.п}$  – прогнозований час зайнятості ПРП для ліквідації пожежі, хв;  $N_g$  – загальна кількість відділень, яка приймала участь в ліквідації пожежі.

Витрати на придбання засобів протипожежного захисту  $B_o$ , які впливають на значення пожежного ризику для об'єкта, можна визначити за залежністю

$$B_o = \left( \sum_{i=1}^n C_i N_i \right) K_{ki}, \quad (2.19)$$

де  $C_i$  – вартість  $i$ -ого засобу протипожежного захисту, грн;  $N_i$  – загальна кількість  $i$ -ого засобу протипожежного захисту, шт.;  $K_{ki}$  – коефіцієнт, який враховує капітальні витрати на монтаж засобів протипожежного захисту;  $n$  – загальна кількість засобів протипожежного захисту.

*Таким чином оптимізаційна математична модель* для визначення оптимальної кількості протипожежних засобів набуде такого вигляду .

#### ***Функція мети***

$$\varepsilon_o \Rightarrow \min \leq [\varepsilon_o], \quad (2.20)$$

#### ***за критерієм***

$$B = Z_o + B_o \Rightarrow \min, \quad (2.21)$$

за обмеженнями

$$a_i \leq \delta_i \leq b_i \quad (2.22)$$

$$p \geq [p] \quad (2.23)$$

де  $a_i$  – мінімальні значення  $i$ -ого обмеження (у всіх випадках рівне 1);  $b_i$  – максимальне значення  $i$ -ого обмеження (у всіх випадках приймається рівним 15);  $p$  – імовірність отримання результату, що задовільняє усі умови ( $p = k/N$ , де  $k$  – кількість циклів, при яких задовільняються усі умови;  $N$  – загальна кількість циклів);  $[p]$  – допустима ймовірність отримання результату, що задовільняє усі умови (приймається не менше 0,9);  $\delta_i$  – відношення необхідної кількості  $i$ -го елемента систем протипожежного захисту до дійсної кількості.

### 2.3. Дослідження впливу протипожежних завіс та перегородок на розвиток пожежі складського приміщення

Для визначення кількості та оптимальних розмірів захищених об'єктів за допомогою протипожежних перегородок чи завіс слід скористатися методикою [24,26].

Для прикладу розглянемо посилковий корпус логістичного комплексу ТзОВ "Нова Пошта" (Пустомитівського району Львівської області). Загальна площа –  $S = 7270 \text{ м}^2$ . Сумарна площа ділянок підвищеної пожежної небезпеки, які відділені від загальної площі складу протипожежними захисними стінами, становить  $\sum_{i=1}^n S_i = 5184 \text{ м}^2$ . Нормативна площа захищених об'ємів приміщень  $S_{н.о} = 3500 \text{ м}^2$  (будівля одноповерхова категорії Б, IV ступеня вогнестійкості, клас конструктивної пожежної небезпеки С0).  $\gamma = 0,7$ ;  $[p] = 0,95$ ;  $a_1 = 0,9S_{н.о} = 3150 \text{ м}^2$ ;  $b_1 = 1,1S_{н.о} = 3850 \text{ м}^2$ ;  $a_2 = 2$ ;  $b_2 = 3$ ;  $S = 7270 - 5184 = 2086 \text{ м}^2$ .

Після введення вхідних даних був отриманий результат  $S_{д.о} = 2086 \text{ м}^2$ ; кількість захищених об'ємів  $K_{д} = 1$ .

Наявність захищених об'ємів в приміщенні значно зменшує швидкість розповсюдження пожежі. Для врахування цього зменшення розглянемо це питання на прикладі складу, ділянки якого відокремлені протипожежними завісами, вогнестійкості яких дорівнюють EI 60. Кожна ділянка має вільний вихід на центральний проїзд складу. Розглянемо випадок, коли на одній ділянці виникла кутова пожежа ( $90^\circ$ ;  $\alpha = 0,785$ ).

Загальна площа цієї ділянки (ширина 30 м; довжина до центрального проїзду 34 м) становить  $1020 \text{ м}^2$ , лінійна швидкість розповсюдження полум'я  $V_d =$  від 0,0166 до 0,022 м/с [45], тривалість вільного розвитку пожежі  $\tau_{в.з} = 35,9$  хв.

Результати розрахунків демонструють, що при встановленні в складі захищених об'ємів приміщень швидкість розповсюдження пожежі зменшується в 1,8 раза. При цьому кількість захищених об'ємів приміщень їх площа залежать від загальної площі складського приміщення.

Розпочнемо дослідження впливу протипожежних перегородок на розповсюдження пожежі наступним чином:

1) дослідимо процес розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів без використання протипожежних перегородок (розділ 2.1);

2) дослідимо вплив застосування протипожежних перегородок на швидкість розвитку пожежі.

Розглянемо модель розвитку пожежі в закритому приміщенні виробничо-складських об'єктів при застосуванні протипожежних перегородок на швидкість розвитку пожежі.

**На першому етапі** для розв'язування даної задачі необхідно вибрати матеріал і відповідну конструкцію протипожежної перегородки. Результати експериментальних досліджень [21] показали, що для виготовлення протипожежних перегородок можуть бути використані вермикуліто-силікатні плити, які застосовують для різних будівельних конструкцій. Аналіз конструкцій закритих виробничо-складських приміщень показав, що ці приміщення будуються в більшості випадків з сіткою колон  $9 \times 12$  м. Прикладом такого

закритого виробничо–складського приміщення може бути складське приміщення логістичного комплексу ТзОВ "Нова пошта" Пустомитівського району Львівської області рис. 2.1.

Для зберігання товарів на складі використовують ділянки розміром  $9 \times 12$  м, які повинні бути ізолювані одна від одної. Особливо така ізоляція ділянок необхідна при виникненні пожежі для зменшення швидкості розповсюдження пожежі. Ізоляцію ділянок проводимо шляхом встановлення протипожежних перегородок 3 (рис. 2.1) з використанням вермикуліто-силікатних плит товщиною 40 мм з теплоізоляційною здатністю  $RI\ 180$ , тобто втрата вогнестійкості за ознакою теплоізоляційної здатності, як показали результати експерименту [21], становить  $180 \dots 185$  хв.

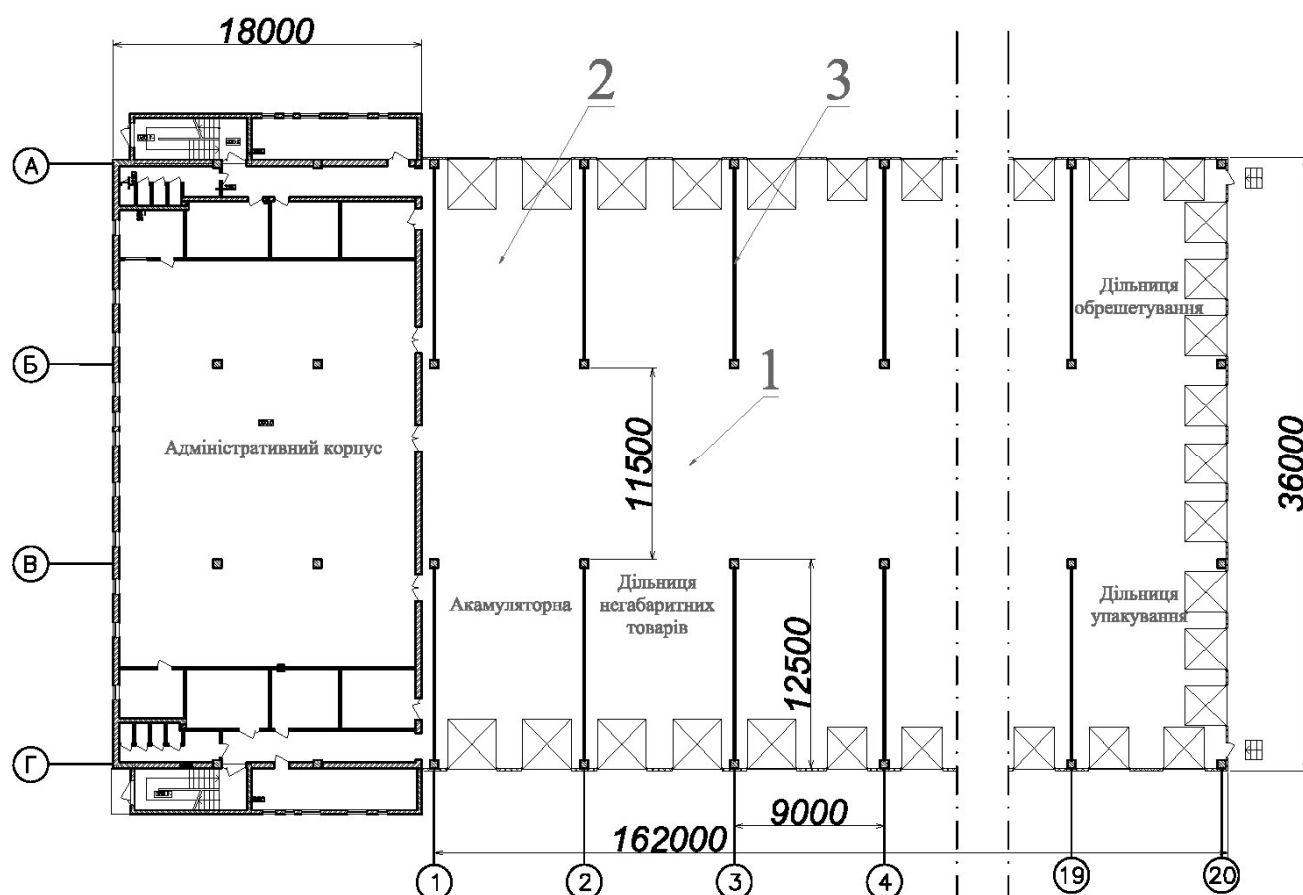


Рисунок – 2.1 Складське приміщення логістичного комплексу ТзОВ "Нова пошта" Пустомитівського району Львівської області [26]:

1 – центральний проїзд; 2 – ділянка зберігання товарів; 3 – протипожежна перегородка



На наступному етапі для розв'язування другої задачі необхідно отримати залежності для визначення імовірності зміни швидкості розповсюдження пожежі між дільницями складу без використання протипожежних перегородок і з використанням цих перегородок.

За основу для розгляду швидкості розповсюдження пожежі приймаємо універсальний закон розподілу Вейбулла, для якого імовірність  $P(x)$  безвідмовного спрацювання об'єкта можна визначити за залежністю

$$P(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x}{X} \right)^b \right], \quad (2.24)$$

де  $x$  – тривалість спрацювання об'єкта, упродовж якої визначають для нього  $P(x)$ ;  $X$  – параметр масштабу;  $b$  – параметр форми (якщо  $b = 1$ , то розподіл Вейбулла перетворюється в експоненціальний з параметром інтенсивності відмов  $\lambda(x) = 1/X = \text{const}$ ; якщо  $b = 2$ , то розподіл Вейбулла перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією інтенсивності відмов  $\lambda(x)$ ; якщо  $b > 2,5$ , то розподіл Вейбулла стає близьким до нормального розподілу).

Наведені залежності дають змогу проаналізувати процес розвитку та поширення пожежі в складському приміщенні логістичного комплексу ТзОВ "Нова пошта".

В закритому складському приміщенні логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» на дільниці А...Б – 3...4 виникла *кругова пожежа*. На складі зберігається продукція для наступного транспортування і передачі її отримувачам. Основним видом цієї продукції є картонні упаковки (80%), кераміка, пластмасові вироби, деревина та металеві вироби. Основні параметри приміщення складу: пожежне навантаження  $G = 80 \text{ кг/м}^2$ ;  $Q_{\min} = 15400 \text{ кДж/кг}$ ;  $v_d = 0,04 \text{ м/с}$ ;  $\psi_n = 0,02 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ ;  $c_p = 2,3 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$

***Розв'язок.***

1. Визначаємо внутрішній об'єм приміщення складу

$$V = B \times L \times H = 31104 \text{ м}^3.$$

2. Визначаємо критичний час підтримки вогнища пожежі завдяки наявності необ-хідної концентрації кисню в приміщенні за залежністю (2.6)

$$\tau_{кр} = \left\{ \frac{3 \cdot 2,3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 31104}{3,14 \cdot 1 \cdot (1-0,5) \cdot 15400 \cdot 0,02 \cdot 0,04^2} \ln \left[ \frac{\frac{2,3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot (-1,15)}{(1-0,5) \cdot 15400} + 0,27}{\frac{2,3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot (-1,15)}{(1-0,5) \cdot 15400} + 0,19} \right] \right\} \frac{1}{3} = 376 \text{ с.}$$

Отримане значення критичного часу підтримки вогнища пожежі вказує на те, що через  $\tau_{кр} = 376$  с, тобто через 6,3 хв, закінчується перший режим пожежі. Але для підтвердження цього висновку необхідно з урахуванням цього часу визначити температуру, яка буде діяти на шибки вікон складу, що розміщені по його периметру.

3. За залежністю (2.1) визначаємо площу пожежі при  $\tau = \tau_{кр}$

$$S_{II} = 0,25 \alpha v_a^2 \tau^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 376^2 = 177,5 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо температуру осередку пожежі за залежністю (2.4)

$$T_{o.n} = \frac{15400 \cdot 0,02 \cdot 600}{2,3 \cdot 80} - 273 = 731 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

5. Визначаємо температуру біля шибок вікон, тобто на відстані  $R = 6$  м від центра осередку пожежі на висоті  $Z = 3$  м

$$T_i = 731 \cdot \frac{0,014 \cdot 80^{0,75} \cdot 6,3^{0,18} \cdot 3^{1,5} \cdot 177,5^{0,13}}{6^{0,71}} = 1086 \text{ } ^\circ\text{C} \quad .$$

Визначене значення температури вказує на те, що шибки вікон вже на 4 хв пожежі будуть зруйновані і повернеться перший режим пожежі. Таким чином можна стверджувати, що на складі з об'ємом приміщення 31104 м<sup>3</sup> в процесі пожежі діє тільки перший режим пожежі з наявністю достатньої кількості кисню і пожежа, яка виникла, регулюється тільки пожежним навантаженням.

Результати аналізу процесу розвитку та поширення пожежі в приміщенні будівлі складського логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» показали, що швидкість розповсюдження пожежі дуже велика і для її зменшення ділянки складу необхідно розділяти протипожежними перегородками.

Використання протипожежних перегородок зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу. Розглянемо це питання з використанням основних положень теорії імовірності.

6. Визначаємо імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу без використання протипожежних перегородок. В цьому випадку межа вогнестійкості незахищених конструкцій становить RI 10-15 [21]. Виходячи з цього положення, параметр масштабу приймаємо як середнє значення RI, тобто  $X = 13$  хв, а тривалість пожежі тільки до критичної температури  $\tau_{кр} = 6,3$  хв. Для уточнення параметра форми  $b$  скористаємося методом статистичного моделювання. В цьому випадку проведемо 10 числових експериментів, тобто  $N = 10$ .

Для кожного експерименту будемо використовувати випадкове число для чинника  $P_i(x)$ , які розподілено в інтервалі  $[0, 1]$ , визначати  $x_i$  за залежністю  $x_i = 13\sqrt{-\ln P_i(x)}$  та для статистичної оцінки імовірності того, що тривалість безвідмовної роботи  $x_i$  не перевищить значення  $X$ , використовувати залежність  $P(x_i) = 1 - \frac{i}{N+1}$ . Результати розрахунків заносимо до табл. 2.3.

Таблиця 2.3

## Результати статистичного моделювання розподілу Вейбулла

№	$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$P_i(x)$	0,10	0,09	0,73	0,25	0,33	0,37	0,54	0,20	0,48	0,06
2	$x_i$	19,7	20,2	7,3	15,3	13,7	12,9	10,2	16,5	11,1	21,8
3	Впорядкований ряд $x_i$	7,3	10,2	11,1	12,9	13,7	15,3	16,5	19,7	20,2	21,8
4	$P(x_i)$ за залежністю $P(x_i) = f(i, N)$	0,91	0,82	0,73	0,64	0,55	0,46	0,36	0,27	0,18	0,09
5	$\lg x_i$	0,86	1,01	1,05	1,11	1,14	1,18	1,22	1,29	1,31	1,34
6	$\lg(-\lg P(x_i))$	-1,39	-1,06	-0,86	-0,71	-0,59	-0,47	-0,35	-0,25	-0,13	0,02

За результатами статистичного моделювання розподілу Вейбулла (5 і 6 рядки табл. 2.3) будуємо залежність  $\lg(-\lg P(x_i))$  від  $\lg x_i$  (крива 1, рис. 2.2) з накладанням на неї лінії тренда (крива 2, рис. 2.2) і отриманням рівняння  $y = 2,8876x - 3,9059$ , за допомогою якого визначаємо дійсне значення параметра форми  $b = 2,8876$ .

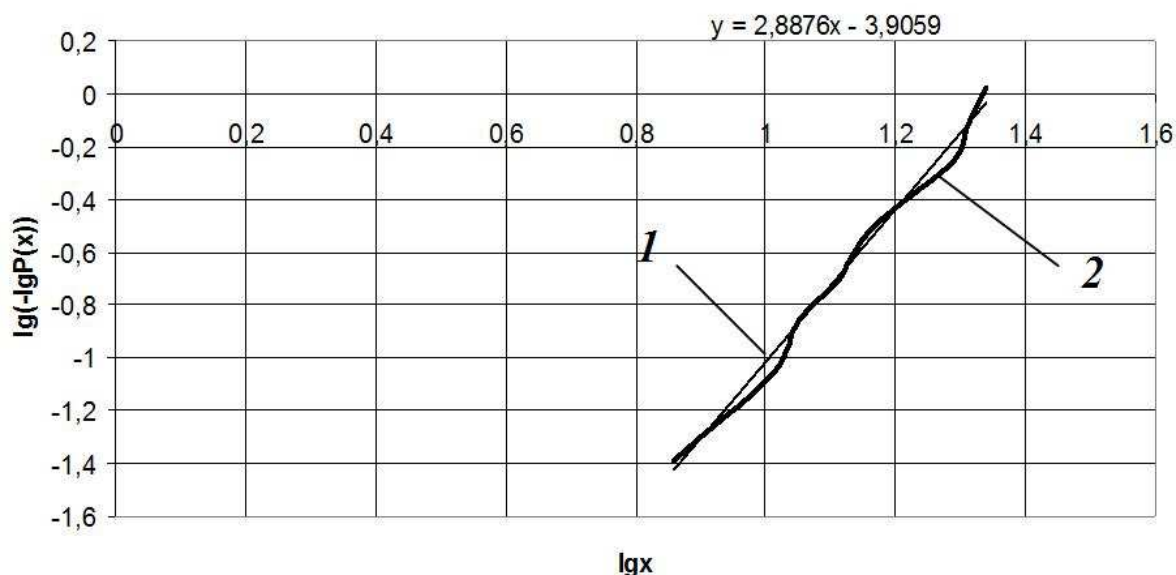


Рисунок – 2.2 Графічне відображення статистичного моделювання розподілу Вейбулла для уточнення параметра форми  $b$  [26]

Визначаємо імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу без використання протипожежних перегородок з використанням нормального закону розподілу ( $b > 2,5$ ) за залежністю

$$P(x) = 0,5 + \Phi(u_p),$$

де  $\Phi(u_p)$  - функція Лапласа (ця функція є непарною, тобто  $\Phi(-u_p) = -\Phi(u_p)$ );  $u_p$  - квантиль нормального розподілу.

Для визначення функції Лапласа необхідно спочатку визначити квантиль  $u_p$  нормального розподілу для відповідного значення  $x$  а потім з використанням довідника, в якому розміщені таблиці функції Лапласа, вибрати значення  $\Phi(u_p)$ .

$$u_p = \frac{x - X}{S_x},$$

де  $S_x$  - середнє квадратичне відхилення напрацювання чинника  $x$ ; для нашого випадку  $S_x = 2,16$

Визначаємо квантиль нормального розподілу

$$u_p = \frac{6,3 - 13}{2,16} = -3,1.$$

В цьому випадку  $\Phi(u_p) = -0,498$ . Тоді  $P_1(x) = 0,5 - 0,498 = 0,002$ . Таке значення імовірності розповсюдження пожежі вказує на те, що швидкість її розповсюдження не зменшується.

7. Визначаємо імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу з використанням протипожежних перегородок. В цьому випадку  $x = 6,3$  хв,  $X = 180$  хв,  $S_x = 68,9$  хв. Тоді квантиль нормального розподілу буде

$$u_p = \frac{6,3 - 180}{68,9} = -2,52.$$

Враховуючи значення квантиля нормального розподілу з використанням функції Лапласа, отримуємо  $P_2(x) = 0,5 - 0,494 = 0,006$ . В цьому випадку імовірність зменшення швидкості розповсюдження пожежі з використанням протипожежних перегородок зростає. Виходячи зі значень імовірностей можна констатувати, що швидкість розповсюдження пожежі з використанням протипожежних перегородок зменшується приблизно в  $P_2(x)/P_1(x) = 0,006/0,002 = 3$  рази.

8. Сумарна теплова енергія  $Q$ , яка виділяється в зоні полум'я пожежі

$$Q = 0,9 \cdot 0,02 \cdot 177,5 \cdot 15400 = 49203 \text{ кВт.}$$

## 2.4. Висновки

За результатами проведених досліджень отримано такі результати:

1. Розроблено методику для дослідження процесу розвитку пожежі в закритих складських приміщеннях з урахуванням переходу пожежі із режиму з наявністю достатньої кількості кисню до режиму з браком кисню.

2. Удосконалено математичні моделі пожежних ризиків для закритих складських приміщень виробничо-складських об'єктів з урахуванням необхідної та дійсної кількості компонентів системи протипожежного захисту, а також ризику їх відмови.

3. Удосконалено оптимізаційну математичну модель вибору оптимальної кількості протипожежних засобів для закритих складських приміщень, яка дозволяє визначати потрібну кількість протипожежних засобів з урахуванням можливої відмови окремих компонентів систем протипожежного захисту.

4. Виконано теоретичні дослідження впливу протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі та встановлено, що наявність в складі об'ємів приміщень захищених протипожежними завісами зменшує швидкість розповсюдження пожежі в 1,8 рази.

5. Теоретичні дослідження пожежі в закритих складських приміщеннях виробничо-складських об'єктів із загальною площею понад 5000 м<sup>2</sup> показали, що використання протипожежних перегородок між ділянками приміщень виробничо-складських об'єктів зменшує імовірність розповсюдження пожежі по усьому приміщенню приблизно в 3 рази.

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ В СКЛАДСЬКОМУ ПРИМІЩЕНІ

### 3.1. Вибір об'єкту для проведення експериментальних досліджень

Основною задачею системи управління пожежною безпекою на об'єкті є організація роботи щодо забезпечення функціонування комплексу протипожежного захисту. Адже раннє виявлення пожежі, а як наслідок, своєчасна її локалізація, дозволяє мінімізувати збитки від пожежі. Одним із основних елементів систем протипожежного захисту, від якого залежить спрацювання усіх інших систем (автоматичного пожежогасіння, димовидалення, оповіщення людей про пожежу тощо), є пожежний сповіщувач. Саме після виявлення пожежі сповіщувачем передається сигнал на пульт управління іншими системами. Стандарти та норми щодо проектування протипожежної сигналізації є жорсткими у частині розміщення пожежних сповіщувачів у приміщеннях. Також немає чітких рекомендацій щодо вибору типу сповіщувачів. Таким чином у проєктантів немає можливості керувати таким параметром як час спрацювання пожежного сповіщувача при виникненні пожежі, який прямим чином впливає на збитки внаслідок пожежі.

Метою дослідження є встановлення емпіричних залежностей часу спрацювання пожежних сповіщувачів у разі пожежі у складських приміщеннях, що дадуть змогу обирати та оптимально розміщувати пожежні сповіщувачі в об'ємі приміщення.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити методику проведення експериментального дослідження для виявлення залежності часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі у складських приміщеннях від виду горючого матеріалу, відстані та висоти їх розміщення від потенційного осередку пожежі;
- провести експериментальні дослідження для виявлення залежності часу



спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів;

– обробити результати експериментального дослідження для отримання емпіричних залежностей, що дадуть змогу обирати та оптимально розміщувати пожежні сповіщувачі в об'ємі приміщення.

Експериментальні дослідження виконувалися на території науково-випробувального центру, що знаходиться в с. Черляни Городоцького району Львівської області. Об'єктом дослідження обрано приміщення розміром 52×24×12,4 м, розташоване в окремо стоячій будівлі, що дало змогу відтворити процес експериментальних досліджень в умовах, що є притаманними для складських приміщень.

Обрана будівля складається з таких приміщень:

- основне приміщення центру – (перший поверх);
- адміністративно-побутові приміщення – (перший, другий, третій поверх).

Максимально наближене за своїми характеристиками до логістичних центрів і складських приміщень. Несприятливі умови та явища в районі знаходження будівлі відсутні. За складністю інженерно-геологічних умов ділянка відноситься до першої (простої) категорії. Ділянка межує: з півночі – заклад зберігання, зі сходу – заклад ведення підсобного сільського господарства, з півдня – заклад зберігання, з заходу – недіюче адміністративно-господарське приміщення.

Архітектурно-планувальне вирішення території – в'їзд на ділянку від дороги з асфальтним покриттям зі східної сторони ділянки. Ділянка довкола будівлі вільна від зелених насаджень. До будівлі підведені підземних комунікацій, (електропостачання, газопостачання, водопостачання та каналізація) згідно технічних умов відповідних міських служб. Рельєф ділянки рівнинний. Занулення, заземлення виконується відповідно до вимог, вибрані апарати захисту (плавкі вставки запобіжників автоматичні вимикачі, ПЗВ) захищають кабелі, проводи і електрообладнання. Конструктивна схема – рамно-зв'язковий металевий каркас. Колони металеві, зі зварних двотаврів. Ферми металеві, з профільних труб та кутника. Стіни виконані з заводської сендвічпанелі з екструдованого пінополістеролу.

Схема приміщення, де виконувалися експериментальні дослідження, наведена на рис. 3.1.

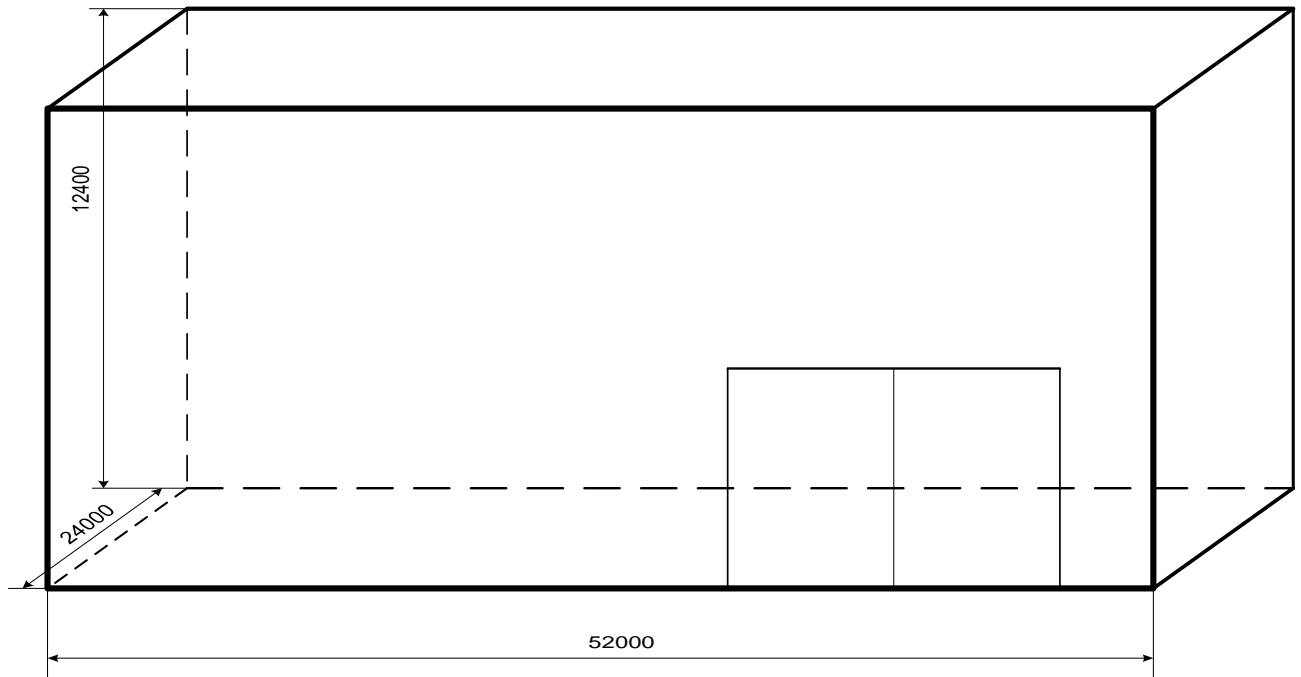


Рисунок – 3.1 Схема приміщення, де виконувалися експериментальні дослідження

Для видалення продуктів горіння (після завершення експерименту) в приміщенні використовувались металеві ворота розміром 4,2×6,3 м. При побудові систем пожежної сигналізації забезпечено захист від реагування на інші явища, не пов'язані з виявленням пожежі. Унеможливлено вихід систем з ладу частково або повністю через вплив на них вогню або продуктів горіння, до того, як вогонь чи продукти горіння будуть виявлені. Виключено попадання під несприятливий вплив інших систем. Горюче навантаження встановлювалось на штучно створеному підвищенні висотою 40 см для хорошого доступу кисню до осередку пожежі.

## **3.2. Методика проведення експериментальних досліджень виявлення пожежі в складському приміщенні**

### **3.2.1. Умови для проведення експериментальних досліджень виявлення пожежі в складському приміщенні та вибір обладнання**

Умови проведення дослідження: даний експеримент проводитиметься на території науково-випробувального центру, що знаходиться в с. Черляни Городоцького району Львівської області в приміщенні науково-випробувальної лабораторії, де було встановлено вогнище пожежі класу А. За допомогою точкових димових пожежних сповіщувачів та аспіраційного димового пожежного сповіщувача визначалось тривалість виявлення пожежі на ранній стадії.

Основною метою проведення цих досліджень є розроблення методики та виконання експериментальних досліджень щодо ефективності систем запобігання та виявлення пожежі на досліджуваних об'єктах, зокрема:

- встановлення залежності часу спрацювання пожежних сповіщувачів у разі пожежі у складських приміщеннях;
- визначення оптимального розміщення пожежних сповіщувачів в об'ємі приміщення.

Вище описані стадії необхідні для визначення залежності часу спрацювання пожежних сповіщувачів у разі пожежі в складському приміщенні та факторами, що впливають на зміну швидкості виявлення, а саме: характеристика пожежного навантаження (питома швидкість вигорання), висотою приміщення (висота встановлення пожежного сповіщувача), відстань від пожежного сповіщувача по горизонталі до місця виникнення пожежі. Для визначення цієї залежності необхідно визначити час спрацювання безадресних, адресних, аспіраційних димових пожежних сповіщувачів, встановлених в складському приміщенні на висоті від 3 до 12 м., а також на відстані від осередку пожежі від 1 до 10 м по горизонталі таким чином, як показано на рис. 3.2.

У приміщенні було змонтовано 4 безадресні димові пожежні сповіщувачі СПД-3 (рис. 1.26) [41], з такими основними характеристиками:

- спосіб підключення по двох провідному шлейфу пожежної сигналізації зі зміною полярності з номінальною напругою живлення шлейфу 12 В або 24 В;
- чутливість сповіщувача відповідає вимогам ДСТУ EN 54-7;
- інерційність, не більше 10 с;
- спосіб формування вихідного сигналу – безконтактний;
- маса, не більше 0,15 кг;
- діапазон робочих температур, від -10 до 55° С;
- середній термін служби, не менше 10 років;
- сповіщувач індукує два режими роботи: "черговий режим" червоний індикатор миготить, "стан пожежної тривоги" червоний індикатор світиться;
- необхідність проведення технічного обслуговування згідно паспортних даних, не рідше одного разу в 6 місяців.

Чотири адресні димові пожежні сповіщувачі СПДОТА (рис. 1.29) [42], з наступними основними характеристиками:

- спосіб підключення двох провідна лінія зв'язку;
- інерційність, не більше 10 с;
- спосіб формування вихідного сигналу – безконтактний;
- маса, не більше 0,1 кг;
- діапазон робочих температур, від - 30 до 55° С;
- поріг спрацювання сповіщувачем, дБ/м, від 0,05 до 0,2;
- швидкість "компенсації забруднення" дБ9м г), не більше ніж 0,00625;
- середній термін служби, не менше 12 років;
- сповіщувач являється багато режимним і може знаходитись в одному з трьох положень: норма "черговий режим" індикатор миготить, тривога "стан пожежної тривоги" коли вбудований індикатор миготить червоним, несправність "режим несправності" формується по самодіагностиці вбудований індикатор миготить жовтим кольором;

- підприємство виробник рекомендує проведення технічного обслуговування, в залежності від умов експлуатації виробничі і складські приміщення кожні 3 місяці, адміністративні і житлові приміщення кожні 6 місяців.

Аспіраційний димовий пожежний сповіщувач Protec Pro Point Plus (рис. 1.32) [93] з технічними характеристиками:

- повітрозабірний канал монтується з пластикових труб довжиною 3 м, діаметром 25 мм;
- 4 вхідні канали з можливістю підключення труб відповідного діаметру, максимальна довжина каналу 200 м;
- чотири незалежні повітрозабірних канали в одному приладі, що забезпечує індивідуальне виявлення загоряння в кожній окремій зоні, яка контролюється, контроль збільшення здійснюється комбінованими оптичними детекторами "Scatter Chamber Detectors" OP/CO SCD. Оптичні детектори оснащуються окрім оптичної камери датчиком CO, що дає можливість виявлення підвищення концентрації CO на початковій стадії розвитку пожежі коли видимі частинки ще непомітні;
- робочий діапазон напруги 21–28 В;
- ступінь захисту IP 30;
- журнал подій 256;
- налаштування чутливості у відповідності до EN 54-20.

Чутливість:

- клас A1,A2,A3 – мах. 3 точки відбирання в трубі;
- клас B1,B2,B3-B5 – мах. 5 точок відбирання в трубі;
- клас C1,C2,C3-C8 – мах. 8 точок відбирання в трубі.

Вибір димових та аспіраційного сповіщувачів обумовлений вимогами ДБН В. 2.5-56:2014 таблиця 7.1: якщо висота приміщення, що захищається понад 8 до 11 м, як правило, теплові пожежні сповіщувачі за цих висот не застосовують (допускається використання в окремих обґрунтованих випадках), ДСТУ-Н СЕН/TS 54-14:2009 таблиця А.1 теплові пожежні сповіщувачі при висоті

приміщення від 8 до 11 м зазвичай не застосовують, допускається використання в окремих випадках, при висоті приміщення, що захищається більше 11 м, теплові сповіщувачі не придатні до використання.

Схема розміщення сповіщувачів у досліджуваному приміщенні зображена на рис. 3.2., де позначено А1...А4 – адресні димові пожежні сповіщувачі, Н1...Н4 – безадресні димові пожежні сповіщувачі, АС – забірний канал аспіраційного димового пожежного сповіщувача. Сповіщувачі було змонтовано в правій стороні приміщення на висоті 3 та 12 м, відстань від сповіщувача до стіни 5 м, відстань між сповіщувачами 7 м.

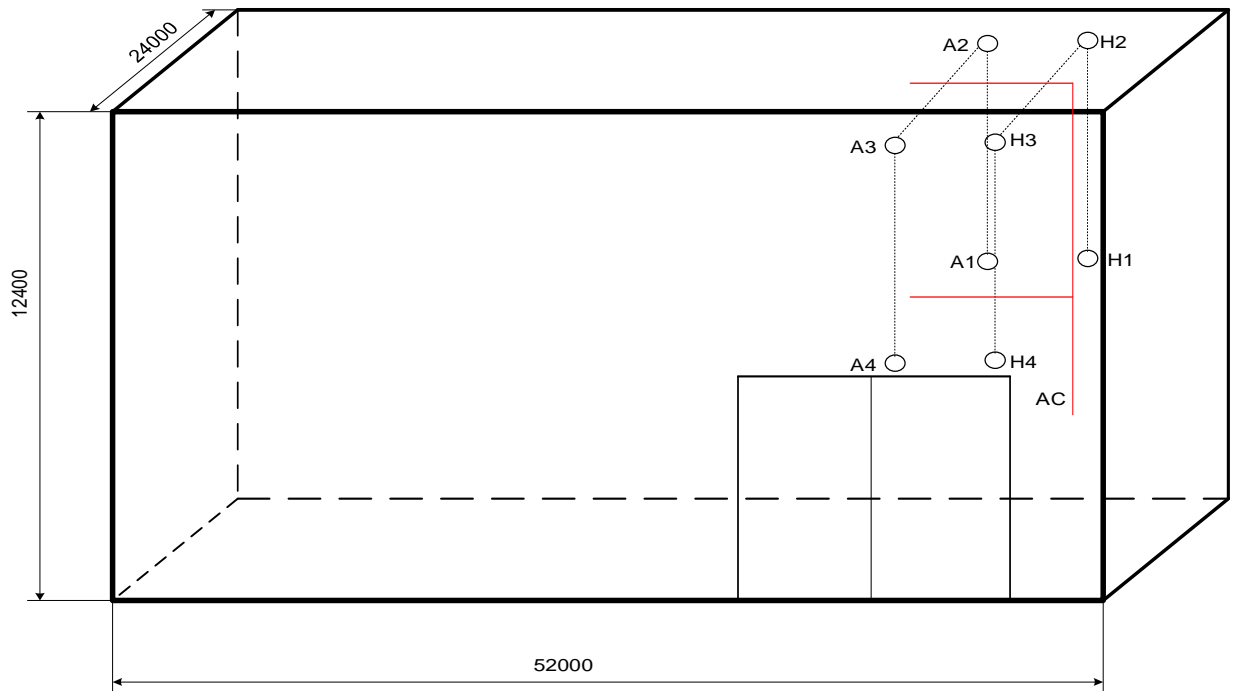


Рисунок – 3.2 Розташування безадресних, адресних, аспіраційних димових пожежних сповіщувачів у приміщенні, в якому проводяться досліді :

А1, А2, А3, А4 – адресні димові пожежні сповіщувачі;

Н1, Н2, Н3, Н4 – безадресні димові пожежні сповіщувачі;

АС – забірний канал аспіраційного димового пожежного сповіщувача

Схема підключення сповіщувачів до приладів приймально-контрольних пожежних наведена на рис. 3.3.

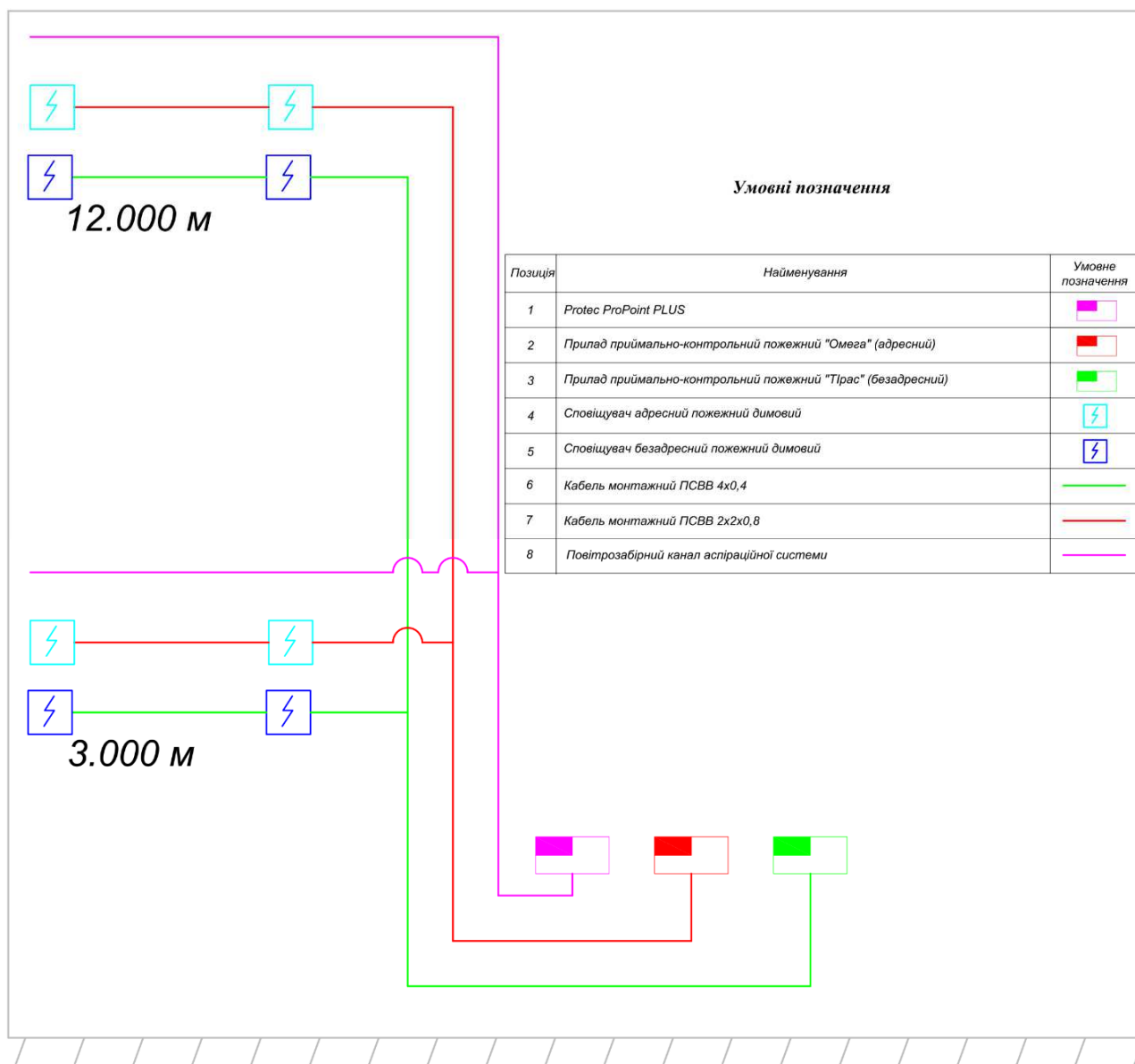


Рисунок – 3.3 Схема підключення сповіщувачів до приладів приймально-контрольних пожежних [97]

Для розміщення сповіщувачів було вибрано місця в яких забезпечується:

- мінімальні вібрації будівельних конструкцій ;
- максимальне віддалення від джерел електромагнітних перешкод (електропроводка), інфрачервоного випромінювання (теплові прилади);
- виключення попадання на корпус води.

Сповіщувачі з'єднано з шлейфом пожежної сигналізації за допомогою баз.

Бази закріплені в місцях встановлення сповіщувачів дюбелями та самонарізами. Використано кабелі, які зберігають цілісність кіл під дією стандартного температурного режиму не менше 30 хв. Кабелі живлення приладів керування систем протипожежного захисту, шлейфів сигналізації прокладено відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

### 3.2.2. Інженерні рішення розміщення обладнання, проведення експериментальних досліджень виявлення пожежі в складському приміщенні

Для прийняття та виведення сигналу про пожежу у приміщенні змонтовано прилади приймально-контрольні пожежні. Для під'єднання бездресних сповіщувачів застосовано прилад пожежної сигналізації Тірас 4П, для під'єднання адресних сповіщувачів – прилад приймально-контрольний Омега ПУП, для під'єднання забірною повітропроводу – прилад пожежної сигналізації Protec Pro Point Plus. На рис. 3.4 наведено місця розміщення бездресних, адресних, пожежних сповіщувачів пожежних сповіщувачів, забірною трубопроводу аспіраційного сповіщувача, а також приладів приймально-контрольних пожежних.



а)



б)

Рисунок – 3.4 Приміщення, у якому проводяться дослідження: а – розміщення пожежних сповіщувачів, б – приймально-контрольні пожежні прилади [97]



Для отримання вогнища пожежі використовували деревину (сосну), було створено модельне вогнище типу 1А, а саме: бруски з перерізом 40х40 мм та довжиною 500 мм, які розміщувались у вигляді решітки із 12 рядів по 6 шт. у кожному ряді (рис. 3.5., а) яка мала такі показники:  $Q_{\min} = 13800 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ ; лінійну швидкість розповсюдження полум'я  $V_{\text{л}} = 0,022 \text{ м/с}$ ; питому швидкість вигорання  $\psi_n = 0,015 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ . При використанні листової гуми створено вогнище аналогічне до модельного вогнища типу 1А, проте в якості брусків використано бруси із листової гуми (рис. 3.5., б), з показниками:  $Q_{\min} = 36000 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ ; лінійну швидкість розповсюдження полум'я  $V_{\text{л}} = 0,018 \text{ м/с}$ ; питому швидкість вигорання  $\psi_n = 0,011 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ . При цьому маса деревини та гуми у модельному вогнищі були ідентичні. Під штабелем розміщено піддон розміром 400×600 мм, у який для підпалювання горючого матеріалу подається бензин марки А-95 об'ємом 0,5 л.



а)



б)

Рисунок – 3.5 Модельне вогнище для проведення експерименту:

а – з деревини; б – з гуми [97]

Для початку необхідно провести кодування факторів для перекладу натуральних факторів в безрозмірні величини, щоб мати нагоду побудувати стандартну ортогональну план-матрицю експерименту. Результати кодування факторів, які досліджуються, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

## Рівні зміни факторів

Рівні факторів	$l$ , м		$h$ , м		$\psi$ , кг/м <sup>2</sup> ·с	
	$\tilde{x}_1$	$\ln\tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	$\ln\tilde{x}_2$	$\tilde{x}_3$	$\ln\tilde{x}_3$
Верхній(+)	10	2.30	12	2,48	0,015	-4,20
Нульовий(0)	5,5	1.7	7,5	2,01	0,013	-4,34
Нижній (-)	1	0	3	1,1	0,011	-4,51

Для кожного експерименту необхідно провести 8 дослідів із зміною факторів. План проведення експерименту наведений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

## Рівні зміни факторів

Дослід	$(l)$ $x_1$		$(h)$ $x_2$		$(\psi)$ $x_3$	
	Код $x_1$	Значення	Код $x_2$	Значення	Код $x_3$	Значення
1	-1	1	-1	3	+1	0,015
2	+1	10	-1	3	+1	0,015
3	-1	1	+1	12	+1	0,015
4	+1	10	+1	12	+1	0,015
5	-1	1	-1	3	-1	0,011
6	+1	10	-1	3	-1	0,011
7	-1	1	+1	12	-1	0,011
8	+1	10	+1	12	-1	0,011

Таким чином для кожного типу сповіщувача слід провести по 8 дослідів, тобто 24 дослідів. Проте, якщо встановити всі три типи пожежних сповіщувачів на рівні 3 м та 12 м, змінюючи при цьому лише вид горючого матеріалу та відстань осередку пожежі від вертикальної осі розміщення пожежних сповіщувачів слід провести по 4 дослідів:

– дослід 1: вид горючого матеріалу – деревина, відстань від вертикальної осі розміщення пожежних сповіщувачів – 1 м;

– дослід 2: вид горючого матеріалу – гума, відстань від вертикальної осі розміщення пожежних сповіщувачів – 1 м;

– дослід 3: вид горючого матеріалу – деревина, відстань від вертикальної осі розміщення пожежних сповіщувачів – 10 м;

– дослід 4: вид горючого матеріалу – гума, відстань від вертикальної осі розміщення пожежних сповіщувачів – 10 м.

Для хорошої відтворюваності результатів дослідів приймаємо число повторюваних дослідів  $r=2$ .

На рис. 3.6. зображено процес проведення експериментальних досліджень, зокрема, в лівій частині рисунку – вогнище пожежі з використанням деревини, а в правій – вогнище пожежі з використанням листової гуми.



а)



б)

Рисунок – 3.6 Виконання дослідів із різними видами горючого матеріалу:

*а* – деревини; *б* – гуми [97]

Аналізуючи процес горіння деревини та листової гуми в закритому приміщенні, візуально спостерігаємо при горінні деревини утворення великої

кількості іскор і їх рознесення на значні відстані конвективними потоками, при цьому спостерігається незначний ступінь задимлення. Під час горіння гуми навпаки іскроутворення відсутнє, ступінь задимлення суттєво більший.

### 3.3. Результати експериментальних досліджень процесу виявлення пожежі в складських приміщеннях

Перетворюємо незалежні змінні  $\tilde{x}_i$  в безрозмірні змінні за залежністю:

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{\max})}{\ln \tilde{x}_{\max} - \ln \tilde{x}_{\min}} + 1; \quad (3.1)$$

$$x_1 = \frac{2(\ln l - 2.3)}{2.3} + 1 = 0,87 \ln G - 1$$

$$x_2 = \frac{2(\ln h - 2,48)}{2,48 - 1,1} + 1 = 1,45 \ln h - 2,59$$

$$x_3 = \frac{2(\ln \psi + 4.2)}{-4.2 + 4.51} + 1 = 6.45 \ln R + 28.1$$

Рівняння з введенням членів, які враховують взаємодію факторів, записуємо в кодових змінних:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (3.2)$$

Результати дослідження часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Дослідження часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача

Дослід	(l) $x_1$		(h) $x_2$		$(\psi)$ $x_3$		Перший дослід $\tau_{сп, с}$	Другий дослід $\tau_{сп, с}$	Сер. значення $\tau_{сп. сер, с}$	$L_n$ ( $\tau_{сп. сер}$ )
	Код $x_1$	Значення	Код $x_2$	Значення	Код $x_3$	Значення	Результат	Результат	Значення	Значення
1	-1	1	-1	3	+1	0,015	31	32	31,5	3,45
2	+1	10	-1	3	+1	0,015	58	59	58,5	4,07
3	-1	1	+1	12	+1	0,015	18	19	18,5	2,92
4	+1	10	+1	12	+1	0,015	29	30	29,5	3,38
5	-1	1	-1	3	-1	0,011	44	43	43,5	3,77
6	+1	10	-1	3	-1	0,011	86	85	85,5	4,45
7	-1	1	+1	12	-1	0,011	27	26	26,5	3,28
8	+1	10	+1	12	-1	0,011	39	40	39,5	3,68

Час спрацювання адресного сповіщувача зменшується при зменшенні відстані від вертикальної осі сповіщувача, а також при монтажі якомога ближче до перекриття. Оптична густина диму при горінні матеріалу суттєво не впливає на час спрацювання або має обернено-пропорційний вплив на час спрацювання сповіщувача.

Розглянемо розрахунок коефіцієнтів регресії та перевірки моделі на адекватність на прикладі дослідження часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача.

Визначення коефіцієнтів моделі після виконання експериментальних досліджень і отримання значень:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \ln \tau_{сп. сер}}{N} = \frac{3,45+4,07+2,92+3,38+3,77+4,45+3,28+3,68}{8} = 3,625; \quad (3.3)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i}) \cdot \ln \tau_{cn cep}}{N} = \frac{-3,45+4,07-2,92+3,38-3,77+4,45-3,28+3,68}{8} = 0,27; \quad (3.4)$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{2i}) \cdot \ln \tau_{cn cep}}{N} = \frac{-3,45-4,07+2,92+3,38-3,77-4,45+3,28+3,68}{8} = -0,31; \quad (3.5)$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{3i}) \cdot \ln \tau_{cn cep}}{N} = \frac{3,45+4,07+2,92+3,38-3,77-4,45-3,28-3,68}{8} = -0,17; \quad (3.6)$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i} \cdot x_{2i}) \cdot \ln \tau_{cn cep}}{N} = \frac{3,45-4,07-2,92+3,38+3,77-4,45-3,28+3,68}{8} = -0,055; \quad (3.7)$$

$$b_{13} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i} \cdot x_{3i}) \cdot \ln \tau_{cn cep}}{N} = \frac{-3,45+4,07-2,92+3,38+3,77-4,45+3,28-3,68}{8} = 0; \quad (3.8)$$

$$b_{23} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{2i} \cdot x_{3i}) \cdot \ln \tau_{cn cep}}{N} = \frac{-3,45-4,07+2,92+3,38+3,77+4,45-3,28-3,68}{8} = -0,005; \quad (3.9)$$

При однаковому числі паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність процесу перевіряється за критерієм Кохрена

$$G = \frac{S_{pi \max}^2}{S_p^2} \leq G_{(0,05; N; f_r)}, \quad (3.10)$$

де  $S_{pi \max}^2$  – найбільше значення дисперсії розсіювання  $S_{pi}^2$ ;

$N = 8$  – кількість дослідів для нашого випадку;

$f_r = r - 1 = 2 - 1 = 1$  – число ступенів вільності кожної оцінки;

$G_{(0,05; N; f_r)}$  – табличне критичне значення критерію Кохрена.

Визначаємо дисперсію відтворюваності. Для цього скористаємося допоміжною таблицею 3.4.

Таблиця 3.4

Визначення дисперсії розсіювання значень результатів експерименту

№ досліду	$S_{pi} = \ln \tau_{i(1,2)} - \ln \bar{\tau}_i$	$S_{pi}^2$
1	$S_{p1} = \ln \tau_{1(1)} - \ln \bar{\tau}_1$	0.000248
1	$S_{p2} = \ln \tau_{1(2)} - \ln \bar{\tau}_1$	0.000072
2	$S_{p3} = \ln \tau_{2(1)} - \ln \bar{\tau}_2$	0.000711
2	$S_{p4} = \ln \tau_{2(2)} - \ln \bar{\tau}_2$	0.000282
3	$S_{p5} = \ln \tau_{3(1)} - \ln \bar{\tau}_3$	0.000134
3	$S_{p6} = \ln \tau_{3(2)} - \ln \bar{\tau}_3$	0.000034
4	$S_{p7} = \ln \tau_{4(1)} - \ln \bar{\tau}_4$	0.000363
4	$S_{p8} = \ln \tau_{4(2)} - \ln \bar{\tau}_4$	0.000158
5	$S_{p9} = \ln \tau_{5(1)} - \ln \bar{\tau}_5$	0.000256
5	$S_{p10} = \ln \tau_{5(2)} - \ln \bar{\tau}_5$	0.000074
6	$S_{p11} = \ln \tau_{6(1)} - \ln \bar{\tau}_6$	0.000751
6	$S_{p12} = \ln \tau_{6(2)} - \ln \bar{\tau}_6$	0.000292
7	$S_{p13} = \ln \tau_{7(1)} - \ln \bar{\tau}_7$	0.000131
7	$S_{p14} = \ln \tau_{7(2)} - \ln \bar{\tau}_7$	0.000034
8	$S_{p15} = \ln \tau_{8(1)} - \ln \bar{\tau}_8$	0.000349
8	$S_{p16} = \ln \tau_{8(2)} - \ln \bar{\tau}_8$	0.000162
$S_p^2 = \sum_{i=1}^{16} S_{pi}^2 = 0,001052$		

$$G = \frac{S_{p_{i\max}}^2}{S_p^2} = \frac{0,000751}{0,001052} = 0,713 < G_{(0,05;N;f_r)} = 0,7945. \quad (3.11)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії виконується за допомогою критерію Стюдента. Коефіцієнт рахується значущим, якщо виконується нерівність з урахуванням половини довжини довірчого інтервалу

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f)} S(b_i), \quad (3.12)$$

де  $t_{(0,05; f)}$  – критичне значення критерію Стюдента для  $f = N(r - 1)$  (в нашому випадку  $f = 8(2 - 1) = 8$ ) і  $\alpha = 0,05$  знаходимо по таблиці;

$$S(b_i) = \pm \sqrt{\frac{S_p^2}{N^2(r-1)r}} = \sqrt{\frac{0,001052}{8^2(2-1)2}} = 0,002867 ; \quad (3.13)$$

$$\Delta b_i = t_{(0,05; f)} S(b_i) = 2,306 \cdot 0,002867 = 0,0066. \quad (3.14)$$

Приймаємо рівняння з першими чотирьма членами:

$$y = 3,625 + 0,27x_1 - 0,31x_2 - 0,17x_3. \quad (3.15)$$

Перевірка адекватності моделі виконується за допомогою критерію Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_o^2} \leq F_{(0,05; f_1; f_2)}, \quad (3.16)$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності;

$S_o^2$  – дисперсія відтворюваності (похибка дослідів);

$$\hat{y}_1 = 3,625 + 0,27(-1) - 0,31(-1) - 0,17(1) = 3,495;$$

$$\hat{y}_2 = 3,625 + 0,27(1) - 0,31(-1) - 0,17(1) = 4,035;$$

$$\hat{y}_3 = 3,625 + 0,27(-1) - 0,31(1) - 0,17(1) = 2,875;$$

$$\hat{y}_4 = 3,625 + 0,27(1) - 0,31(1) - 0,17(1) = 3,415;$$

$$\hat{y}_5 = 3,625 + 0,27(-1) - 0,31(-1) - 0,17(-1) = 3,835;$$



$$\hat{y}_6 = 3,625 + 0,27(1) - 0,31(-1) - 0,17(-1) = 4,375;$$

$$\hat{y}_7 = 3,625 + 0,27(-1) - 0,31(1) - 0,17(-1) = 3,215;$$

$$\hat{y}_8 = 3,625 + 0,27(1) - 0,31(1) - 0,17(-1) = 3,755;$$

$$S_{ao}^2 = \frac{r}{N-m} \sum_{i=1}^N (\ln \bar{\tau}_i - \hat{y}_i)^2 = 0,0506;$$

$$S_o^2 = \frac{S_p^2}{N(r-1)} = \frac{0,001052}{8(2-1)} = 0,00013, \quad (3.17)$$

$\hat{y}_i$  – розрахункове значення параметра за залежністю (3.15) після підстановки значень  $(-1)$  і  $(+1)$  у відповідності з матрицею планування дослідів (табл. 3.3). В нашому випадку отримаємо  $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \hat{y}_3, \hat{y}_4, \hat{y}_5, \hat{y}_6, \hat{y}_7$  та  $\hat{y}_8$ , а також з табл. 3.2 для розрахунків;

$F_{(0,05;f_1;f_2)}$  – табличне критичне значення критерію Фішера при  $\alpha = 0,05$ ;

$$f_1 = N - m; f_2 = N(r - 1).$$

У зв'язку з тим, що  $S_{ao}^2 > S_o^2$ , маємо:

$$F = \frac{S_o^2}{S_{ao}^2} = \frac{0,00013}{0,0506} = 0,0026 < F_{(0,05;f_1;f_2)} = 3,44. \quad (3.18)$$

Таким чином модель адекватна.

Представлення рівняння з кодovаними факторами у вигляд з натуральними змінними. Для приведення рівняння (3.15) з кодovаними факторами у вигляд з натуральними змінними використовуємо залежність (3.1). В цьому випадку отримуємо рівняння виду, в якому замість кодovих позначень  $x_1$  і  $x_2$  проставляємо зв'язок між кодovим і натуральним виразом за залежністю (3.1).

Всі цифрові значення спрощуються та скорочуються, що дозволяє отримати рівняння спочатку виду

$$\begin{aligned}\hat{y} &= 3,625 + 0,27(0,87 \ln l - 1) - 0,31(1,45 \ln h - 2,59) - 0,17(6,45 \ln \psi + 28,1) = \\ &= 0,62 + 0,235 \ln l - 0,45 \ln h - 1,1 \ln \psi\end{aligned}$$

а потім

$$\ln \tau_{cn} = \ln e^{0,62} + \ln l^{0,235} + \ln h^{-0,45} + \ln \psi^{-1,1},$$

тобто після потенціювання отримаємо:

$$\tau_{cn} = 0,54 \cdot \frac{l^{0,235}}{h^{0,45} \cdot \psi^{1,1}}. \quad (3.19)$$

Результати дослідження часу спрацювання бездресного димового пожежного сповіщувача наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Дослідження часу спрацювання бездресного димового пожежного сповіщувача

Дослід	(l) x <sub>1</sub>		(h) x <sub>2</sub>		(ψ) x <sub>3</sub>		Перший дослід τ <sub>сп, с</sub>	Другий дослід τ <sub>сп, с</sub>	Сер. значе- ння τ <sub>сп. сер, с</sub>	Ln (τ <sub>сп.сер</sub> )
	Код x <sub>1</sub>	Значе- ння	Код x <sub>2</sub>	Значе- ння	Код x <sub>3</sub>	Значе- ння	Результат	Результат	Значе- ння	Значе- ння
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-1	1	-1	3	+1	0,015	36	34	35	3,56
2	+1	10	-1	3	+1	0,015	66	65	65,5	4,18
3	-1	1	+1	12	+1	0,015	20	21	20,5	3,02
4	+1	10	+1	12	+1	0,015	51	50	50,5	3,92

Продовж. табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	-1	1	-1	3	-1	0,011	46	45	45,5	3,82
6	+1	10	-1	3	-1	0,011	91	89	90	4,50
7	-1	1	+1	12	-1	0,011	29	28	28,5	3,35
8	+1	10	+1	12	-1	0,011	64	61	62,5	4,14

Час спрацювання бездресного сповіщувача зменшується при зменшенні відстані від вертикальної осі сповіщувача, а також при монтажі якомога ближче до перекриття. Оптична густина диму при горінні матеріалу суттєво не впливає на час спрацювання або має обернено-пропорційний вплив на час спрацювання сповіщувача.

За аналогією отримаємо залежність:

$$\tau_{cn} = 0,99 \cdot \frac{l^{0,33}}{h^{0,3} \cdot \psi^{0,91}} \quad (3.20)$$

Результати дослідження часу спрацювання аспіраційної системи наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

## Дослідження часу спрацювання аспіраційної системи

Дослід	(l) x <sub>1</sub>		(h) x <sub>2</sub>		(ψ) x <sub>3</sub>		Перший дослід τ <sub>сп, с</sub>	Другий дослід τ <sub>сп, с</sub>	Сер. значення τ <sub>сп. сер, с</sub>	L <sub>n</sub> (τ <sub>сп.сер</sub> )
	Код x <sub>1</sub>	Значення	Код x <sub>2</sub>	Значення	Код x <sub>3</sub>	Значення	Результат	Результат	Значення	Значення
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-1	1	-1	3	+1	0,015	24	24	24	3,18
2	+1	10	-1	3	+1	0,015	50	49	49,5	3,90
3	-1	1	+1	12	+1	0,015	16	18	17	2,83
4	+1	10	+1	12	+1	0,015	26	28	27	3,30
5	-1	1	-1	3	-1	0,011	39	39	39	3,66

Продовж. табл. 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	+1	10	-1	3	-1	0,011	70	68	69	4,23
7	-1	1	+1	12	-1	0,011	22	24	23	3,14
8	+1	10	+1	12	-1	0,011	63	16	62	4,13

Час спрацювання аспіраційного сповіщувача зменшується при зменшенні відстані від вертикальної осі сповіщувача, а також при монтажі якомога ближче до перекриття. Оптична густина диму при горінні матеріалу суттєво не впливає на час спрацювання або має обернено-пропорційний вплив на час спрацювання сповіщувача.

При цьому забірні повітропроводи аспіраційного димового пожежного сповіщувача при встановленні їх ближче до підлоги є ефективнішими від точкових димових пожежних сповіщувачів.

За аналогією отримаємо залежність:

$$\tau_{cn} = 0,04 \cdot \frac{l^{0,3}}{h^{0,28} \cdot \psi^{1,57}} \quad (3.21)$$

Для перевірки адекватності представлених моделей використано критерій Фішера. Нижче у табл. 3.7 представлені результати порівняння експериментальних даних та даних розрахунків за залежностями (3.19) – (3.21) при значеннях факторів, що застосовувались під час проведення експерименту.

Таблиця 3.7

Порівняння експериментальних даних часу спрацювання пожежних сповіщувачів даних та даних розрахунків

l, м	h, м	$\psi$ , кг/м <sup>2</sup> ·с	Експериментальне значення часу спрацювання, с	Значення часу спрацювання за залежностями (3.19)...(3.21)	Відносна похибка, %
1	2	3	4	5	6
<b>Адресний пожежний димовий сповіщувач</b>					
1	3	0,015	31,5	33,3	-5,5%
10	3	0,015	58,5	57,2	2,2%
1	12	0,015	18,5	17,9	3,6%
10	12	0,015	29,5	30,7	-3,8%
1	3	0,011	43,5	46,9	-7,2%
10	3	0,011	85,5	80,5	6,2%
1	12	0,011	26,5	25,1	5,5%
10	12	0,011	39,5	43,2	-8,5%
<b>Безадресний пожежний димовий сповіщувач</b>					
1	3	0,015	35	32,7	7,0%
10	3	0,015	65,5	70,0	-6,4%
1	12	0,015	20,5	21,6	-5,1%
10	12	0,015	50,5	46,2	9,4%
1	3	0,011	45,5	43,4	4,8%
10	3	0,011	90	92,8	-3,0%
1	12	0,011	28,5	28,6	-0,5%
10	12	0,011	62,5	61,2	2,1%
<b>Аспіраційний димовий пожежний сповіщувач</b>					
1	3	0,015	24	23,2	3,3%
10	3	0,015	49,5	46,4	6,7%
1	12	0,015	17	15,8	7,8%
10	12	0,015	27	31,5	-14,2%
1	3	0,011	39	37,8	3,1%
10	3	0,011	69	75,5	-8,6%
1	12	0,011	23	25,7	-10,3%
10	12	0,011	58	51,2	13,3%

Результати аналізу середньої похибки показують, що найбільші розбіжності стосуються роботи аспіраційного сповіщувача на найбільш віддалених місцях при максимальній висоті встановлення.

### 3.4. Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень процесу виявлення пожежі в складських приміщеннях

З метою візуалізації отриманих результатів на основі даних експериментальних досліджень та отриманих залежностей побудуємо графіки реакції сповіщувачів на фактори віддаленості, висоти встановлення, питомої швидкості вигорання.

На графіку (рис. 3.7) відображена крива відгуку часу спрацювання безадресного, адресного, аспіраційного пожежних димових сповіщувачів в залежності від віддаленості джерела загорання від вертикальної осі сповіщувачів. Можна зробити висновок, що при віддаленості 1 м аспіраційний сповіщувач дещо швидше виявляє загорання від безадресного сповіщувача, однак при збільшенні відстані від 6 до 10 м час виявлення ідентичний. Адресний сповіщувач при віддаленості 1 м показує на кілька с більший час спрацювання, однак при збільшенні відстані до 10 м це відставання зростає в рази.

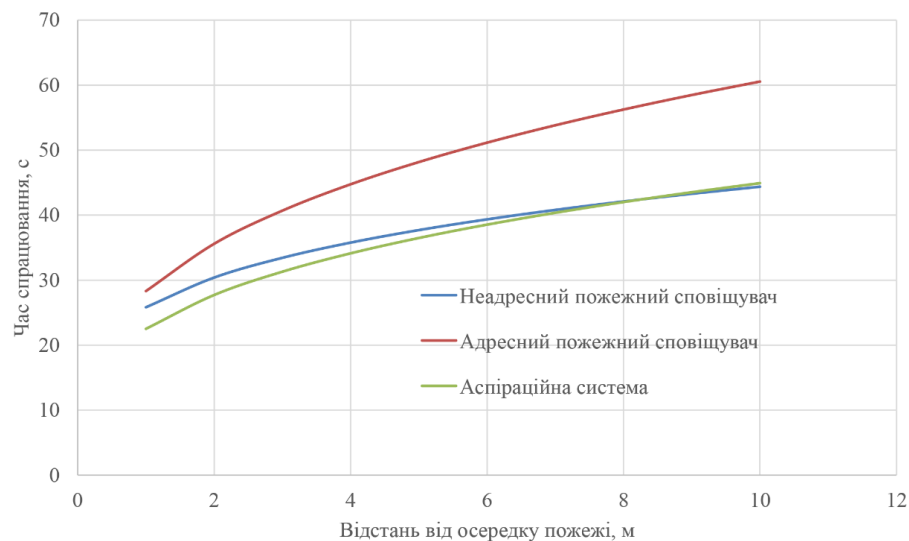


Рисунок – 3.7 Залежність часу спрацювання пожежних сповіщувачів від відстані при середніх значеннях висоти та питомої швидкості вигорання [97]

На графічній залежності (рис. 3.8) спостерігаємо, що при висоті встановлення сповіщувачів 3 м найшвидший час реакції демонструє аспіраційний сповіщувач, безадресний сповіщувач реагує на 10 с пізніше при збільшенні висоти швидкість виявлення зменшується і на відмітці 12 м суттєво не відрізняється. Адресний сповіщувач показує найбільший час реакції, який зменшується зі збільшенням висоти однак на висоті 12 м різниця з аспіраційним і безадресним сповіщувачами зберігається.

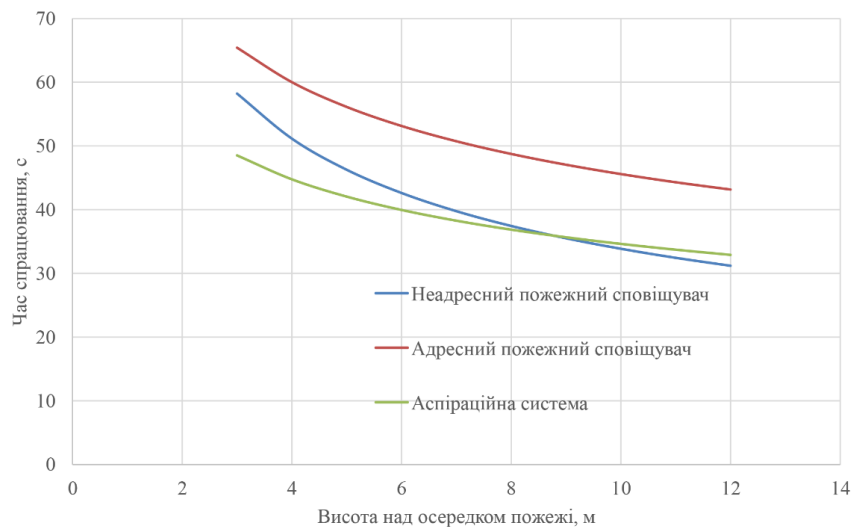


Рисунок – 3.8 Залежність часу спрацювання пожежних сповіщувачів від висоти при середніх значеннях відстані та питомої швидкості вигорання [97]

На рис. 3.9 при меншій швидкості вигорання, відзначаємо найшвидшу реакцію безадресного сповіщувача з незначним відставанням аспіраційного сповіщувача. Зі збільшенням швидкості вигорання аспіраційна система реагує швидше. Адресний сповіщувач по даному параметру показує найнижчу швидкість реакції.

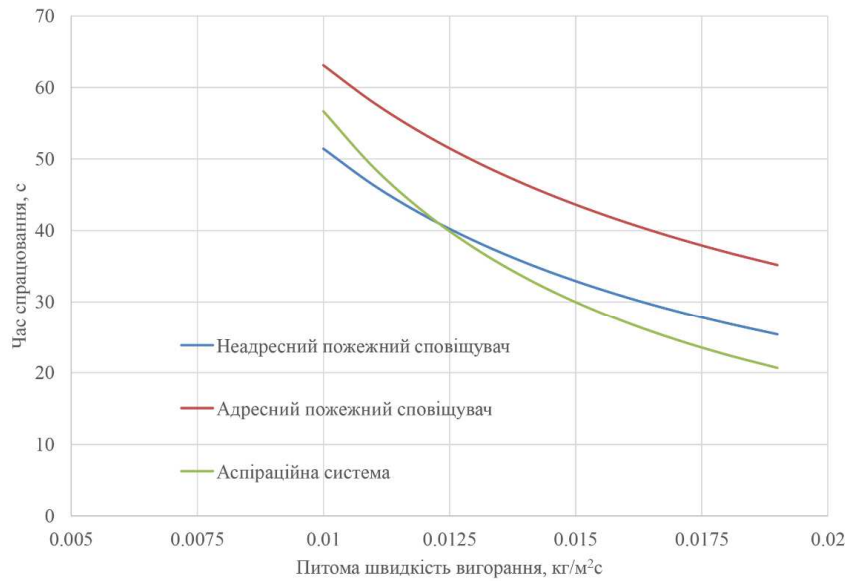


Рисунок – 3.9 Залежність часу спрацювання пожежних сповіщувачів від питомої швидкості вигорання при середніх значеннях відстані та висоти [97]

Оснащення оптичного детектора аспіраційного сповіщувача датчиком *CO* дало можливість визначити підвищення концентрації *CO*. Графік зміни складу повітря в приміщенні показано на рис. 3.10. З графіка бачимо, що крива підвищеної концентрації *CO* в приміщенні проведення досліджень, де відбувається процес горіння, має зростаючу тенденцію по значно плавнішій траєкторії і з суттєвою затримкою у порівнянні з кривою, яка демонструє насиченість повітря продуктами горіння.

Середній термін роботи безадресного сповіщувача складає не менше 10 років, адресного сповіщувача не менше 12 років. Щодо аспіраційного сповіщувача Protec Pro Point Plus - на даний час відповідна інформація недоступна.





Рисунок – 3.10 Графік зміни складу повітря під час тестової пожежі на предмет виявлення підвищеної концентрації CO (зелена крива), насиченість повітря продуктами горіння (синя крива)

Діапазон робочих температур використаних сповіщувачів знаходиться в межах від мінус 10 до 60° C, так безадресний, функціонує при температурах від мінус 10 до плюс 55° C, адресний при температурах від мінус 30 до плюс 55° C, Protec Pro Point Plus від мінус 20 до плюс 60° C.

Проведення технічного обслуговування, пошук компонента, який працює некоректно системи побудованої на базі адресних сповіщувачів вимагає менших затрат часу оскільки за допомогою програмного забезпечення без фізичного доступу до сповіщувача можливо визначити ступінь його забруднення і можливість ймовірної відмови в роботі, система побудована на базі безадресних сповіщувачів не надає такої можливості. Для проведення технічного обслуговування аспіраційного сповіщувача необхідно очистити фільтр, який знаходиться біля приладу керування, а також прокачати систему трубопроводів стисненим повітрям, на це потрібно незначні затрати часу.

### **3.5. Встановлені результати та виявлені відмінності дослідження часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі складських об'єктів**

Результати досліджень дозволяють обрати пожежні сповіщувачі та розмістити у приміщенні їх таким чином, щоб відбулось їх як найшвидше спрацювання. Зниження часу виявлення пожежі дозволить зменшити час реагування на пожежу за допомогою автоматичних систем пожежогасіння або шляхом своєчасного повідомлення пожежно-рятувальних підрозділів.

Результати дослідження показали, що найбільша залежність існує між часом спрацювання пожежних сповіщувачів та питомою масовою швидкістю вигорання горючого матеріалу. Слід також зазначити, що пожежні сповіщувачі слід розміщувати ближче до перекриття приміщення, оскільки леткі продукти горіння при пожежі збираються у верхній зоні приміщення.

Згідно державних будівельних норм при розміщенні безадресних димових пожежних сповіщувачів у приміщення висотою від 8 до 11 м відстань між ними повинна бути 7 м. Тому максимальна відстань від осередку пожежі становитиме 3,5 м. Згідно з розрахунками за залежністю (3.20) час спрацювання цього сповіщувача при горінні гуми становитиме 49 с. Використання адресного димового пожежного сповіщувача на відстані 4 м один від одного скоротить час виявлення пожежі до 35 с.

Метод, представлений у роботі, є об'єктно-орієнтований і спрямований на гнучке проектування систем протипожежного захисту на відміну від існуючих методів проектування.

Результати дослідження показали, що час спрацювання димових пожежних сповіщувачів залежать від питомої масової швидкості вигорання: чим вище значення даного показника, тим швидше спрацює сповіщувач. Так, для гуми цей показник є нижчий, тому при її горінні сповіщувач спрацює пізніше у порівнянні із горінням деревини. Проте оптична густина диму при горінні гуми є на порядок вищою ніж при горінні деревини. Тому, проміжним є висновок, що

цей параметр суттєво не впливає на час спрацювання димових сповіщувачів, підтвердження якого вимагає додаткових досліджень.

В перспективі розвитком даного дослідження є серія експериментів для приміщень різної висоти із зміною горючого матеріалу із параметрами масової швидкості вигорання у більш широкому діапазоні.

### 3.6. Висновки

1. Розроблено методику проведення експериментального дослідження, що дає змогу встановити залежність часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у випадку пожежі в складських приміщеннях від виду горючого матеріалу, відстані та висоти їх розміщення від потенційного осередку пожежі.

2. Отримано емпіричні залежності часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача, безадресного димового пожежного сповіщувача, аспіраційного димового пожежного сповіщувача в залежності від перелічених вище чинників.

3. Результати дослідів показали, що час спрацювання будь-якого пожежного сповіщувача є меншим при зменшенні відстані від вертикальної осі сповіщувача та при монтуванні сповіщувачів ближче до перекриття. Найбільш ефективними у складських приміщеннях незалежно від типу горючого матеріалу є безадресні пожежні димові сповіщувачі та аспіраційні димові пожежні сповіщувачі. При цьому забірні повітропроводи аспіраційного димового пожежного сповіщувача при встановленні їх ближче до підлоги є ефективнішими від точкових димових пожежних сповіщувачів. Оптична густина диму при горінні матеріалу суттєво не впливає на час спрацювання димових сповіщувачів або має обернено-пропорційну залежність.

4. Отримані емпіричні залежності дозволяють обрати пожежні сповіщувачі та розмістити у приміщенні їх таким чином, щоб відбулось їх як найшвидше спрацювання. Середня похибка даних залежностей при порівнянні з даними експерименту становить 6,9 %. Використання даних залежностей дозволяє

зменшити час спрацювання пожежного сповіщувача у порівнянні із розміщенням їх згідно будівельних норм до 14 с.

## **РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ**

### **4.1. Визначення та обґрунтування критерія оптимізації**

#### **4.1.1. Методика визначення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів**

Метою дослідження є розробка методики визначення оптимальної кількості протипожежних засобів для забезпечення миттєвого попередження про виникнення пожежі в закритих приміщеннях складів.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначити необхідну кількість протипожежних засобів в закритому приміщенні об'єкта для забезпечення миттєвого попередження про виникнення пожежі;
- визначити ймовірність відмови протипожежної системи складу;
- розробити математичну модель для визначення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту
- перевірити застосування інженерного методу оптимізації протипожежних засобів на прикладі реального об'єкту.

Система протипожежного захисту закритих приміщень різних об'єктів повинна бути повністю укомплектована і у своєму складі мати [82]:

- 1) прийнятно-контрольний пристрій пожежної сигналізації;
- 2) пожежні сповіщувачі;
- 3) звукові пожежні оповіщувачі;
- 4) нормально закриті клапани системи димовидалення;
- 5) щільні вертикальні завіси з негорючих матеріалів, для створення резервуарів диму;
- б) евакуйовальні двері з системою їх автоматичного відкриття.

При забезпеченні допустимого значення імовірності відмови спрацювання протипожежної системи об'єкта в межах не більше  $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$  також існує імовірність оперативного виконання евакуації людей із зони пожежі, значення якої повинно бути не менше 0,95...1,0, з миттєвим оперативним викликом пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП), що дасть можливість ПРП за значно менший час вільного горіння приступити до ліквідації пожежі. Такий підхід до забезпечення допустимого значення імовірності відмови протипожежної системи об'єкта дає можливість значно зменшити збитки від пожежі і не допустити загибелі людей.

#### **4.1.2. Методи визначення необхідної кількості протипожежних засобів на об'єкті**

Визначенню підлягає необхідна кількість протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів для забезпечення миттєвого попередження про виникнення пожежі. Для цього можна скористатися рекомендаціями державних будівельних норм [27].

ППКП сигналізації встановлюють в спеціальному приміщенні адміністративного відділення складу. Для забезпечення безвідмовної роботи ППКП їх встановлюють в кількості двох (один – працюючий, а другий – резервний). Час напрацювання (безперервної роботи) ППКП на відмову згідно ДСТУ EN 54-2:2003 становить 10 років, тобто його надійність дуже висока. Для забезпечення надійної роботи приймально-контрольного пристрою приймаємо їх кількість  $N_{n-k,n}=2$ .

Пожежні сповіщувачі встановлюють на стелі склада і адміністративних приміщень. При цьому виходять із положення, що один пожежний сповіщувач може обслуговувати площу не більше  $S_{n,c}=49 \text{ м}^2$  [27]. В цьому випадку їх загальну кількість  $N_{n,c}$  можна визначити за залежністю

$$N_{n.c} = \frac{S_c + S_{a.n.}}{S_{n.c}}, \quad (4.1)$$

де  $S_c$  – площа склада, м<sup>2</sup>;  $S_{a.n.}$  – загальна площа приміщень адміністративного відділення склада, м<sup>2</sup>.

Звукові пожежні оповіщувачі встановлюють для повідомлення працюючих склада про виникнення пожежі. Їх кількість  $N_{n.o}$  визначають за умови, що площа, яку обслуговує один оповіщувач  $S_{n.o}=72$  м<sup>2</sup> [27]. Тоді

$$N_{n.o} = \frac{S_c + S_{a.n.}}{S_{n.o}}. \quad (4.2)$$

Система протидимного захисту (система димо- та тепловидалення з механізмом відкриття). Потрібну кількість протидимних пристроїв  $N_{n.з}$  для приміщення складу можна визначити за залежністю

$$N_{n.з} = \frac{S_c}{S_{n.з}}, \quad (4.3)$$

де  $S_{n.з}=900$  м<sup>2</sup> – площа склада, яка обслуговується одним димоприймальним пристроєм [27].

Щільні вертикальні завіси з негорючих матеріалів, які опускаються зі стелі на підлогу, але не нижче ніж 2,5 м від підлоги, утворюючи під перекриттям резервуари диму. Загальну потрібну кількість систем завіс  $N_{c.з}$  можна визначити за залежністю

$$N_{c.з} = \frac{S_c}{S_{c.з}}, \quad (4.4)$$

де  $S_{с.з}=1600 \text{ м}^2$  – площа склада, яка обслуговується однією системою завіс [27].

Евакуювальні двері з системою їх автоматичного відкриття. Загальну потрібну кількість евакуювальних дверей  $N_{е.д}$  для приміщення склада можна визначити за залежністю

$$N_{е.д} = \frac{\Pi}{l}, \quad (4.5)$$

де  $\Pi$  – периметр склада, м;  $l$  – відстань між евакуаційними виходами, м [28]

$$l = 1,5\sqrt{\Pi}. \quad (4.6)$$

Наведені залежності дозволяють визначати необхідну кількість засобів протипожежного захисту згідно норм. Разом з тим, для забезпечення надійної роботи усіх систем пропонується застосовувати 2 приймально-контрольних прилади, які забезпечуватимуть роботу усіх систем навіть у разі виходу із ладу одного із них.

#### 4.1.3. Методи визначення імовірності відмови систем протипожежного захисту

Для визначення імовірності відмови протипожежної системи складу можна скористатися поняттям загальної імовірності відмови системи протипожежного захисту  $I_{СПЗ}$ , яка буде дорівнювати добутку імовірностей відмови кожної складової СПЗ. В цьому випадку

$$I_{СПЗ} = \left(1 - \frac{N_{п-к.п.д}}{N_{п-к.п}}\right) \left(1 - \frac{N_{п.с.д}}{N_{п.с}}\right) \left(1 - \frac{N_{п.о.д}}{N_{п.о}}\right) \left(1 - \frac{N_{п.з.д}}{N_{п.з}}\right) \left(1 - \frac{N_{с.з.д}}{N_{с.з}}\right) \left(1 - \frac{N_{е.д.д}}{N_{е.д}}\right), \quad (4.7)$$

де  $N_{п-к.п.д}$ ,  $N_{п.с.д}$ ,  $N_{п.о.д}$ ,  $N_{п.з.д}$ ,  $N_{с.з.д}$ ,  $N_{е.д.д}$  – дійсна кількість на об'єкті відповідних



засобів протипожежного захисту, які працюють у встановленому режимі. У випадку, якщо співвідношення дійсної кількості будь якого засобу протипожежного захисту  $N_{i,д}$  до потрібної кількості  $N_i$  буде дорівнювати одиниці або більше одиниці  $\left(\frac{N_{i,д}}{N_i} \geq 1\right)$ , то в цьому випадку це співвідношення необхідно приймати 0,999.

Допустиме значення імовірності відмови протипожежної системи  $[I_{СПЗ}]$  для будь яких об'єктів, в тому числі і для складів, які розміщені в закритих приміщеннях, не повинно перевищувати максимального значення пожежного ризику [54], а саме

$$[I_{СПЗ}] \leq 5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}. \quad (4.8)$$

Розрахункова залежність (4.7) дозволяє визначити загальну імовірність відмови системи протипожежного захисту, встановлених відповідно до норм та стандартів, та порівняти її із допустимою. Якщо дане значення не буде дорівнювати допустимому, необхідно переходити до наступного етапу, а саме визначення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту, що забезпечить відповідний рівень надійності роботи усіх систем.

## 4.2. Математичні моделі оптимізації методів і засобів протипожежного захисту на виробничо-складських об'єктах

### 4.2.1 Математична модель для визначення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів

За основу для розроблення математичної моделі може бути прийнята залежність (4.7) [82]. Тоді:

– функція мети

$$I_{\text{СПЗ}} \Rightarrow \min \leq [I_{\text{СПЗ}}]; \quad (4.9)$$

– за критерієм

$$B = B_o + B_n \Rightarrow \min; \quad (4.10)$$

– за обмеженнями

$$a_1 \leq N_{n.c.i} \leq b_1; \quad (4.11)$$

$$a_2 \leq N_{n.o.i} \leq b_2; \quad (4.12)$$

$$a_3 \leq N_{n.з.i} \leq b_3; \quad (4.13)$$

$$a_4 \leq N_{c.з.i} \leq b_4; \quad (4.14)$$

$$a_5 \leq N_{e.д.i} \leq b_5; \quad (4.15)$$

$$p \geq [p], \quad (4.16)$$

де  $a_1, a_2, \dots, a_5$  – мінімально допустима кількість певного виду засобів протипожежного захисту;  $b_1, b_2, \dots, b_5$  – максимально допустима кількість певного виду засобів протипожежного захисту;  $B$  – загальні втрати від пожежі, грн;  $Z_o = C_o S_{\Pi}$  – збитки об'єкта від пожежі, грн;  $C_o$  – середня вартість одного квадратного метра площі об'єкта, у.о./м<sup>2</sup>;  $S_{\Pi}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>;  $B_n = C_n \tau_{з.п.п}$  – витрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі, у.о.;  $C_n$  – середня вартість однієї хвилини роботи ПРП в процесі ліквідації пожежі, у.о./хв;  $\tau_{з.п.п}$  – прогнозований час роботи ПРП при гасінні пожежі, хв;  $p$  – імовірність попадання досліджуваної  $i$ -ої точки в область допустимих значень ( $p=k/N$ , де  $k$  – кількість циклів розрахунку, при яких генеровані значення попали в область допустимих значень;  $N$  – загальна кількість циклів розрахунку);  $[p]$  – допустиме значення імовірності, від значення якого залежить кількість дослідів для визначення оптимального значення.

Мінімальні значення обмежень  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  необхідно приймати відповідно до їх дійсного значення. У випадку, якщо якийсь із засобів системи протипожежного захисту відсутній, то в цьому випадку відповідне значення  $a_i=0$ . Максимальні значення обмежень  $b_1, b_2, \dots, b_5$  приймати відповідно до значень, які отримані за залежностями (4.1)...(4.5).

Використаємо метод Монте-Карло для вирішення оптимізаційної задачі. Область допустимих значень, що обмежуються умовами (4.11)...(4.15), оточують 5-мірним паралелепіпедом, в якому проводиться дослідження. Вирішення даної задачі можливо з використанням персонального комп'ютера шляхом генерування псевдовипадкових чисел  $\mu_{ji}$  в інтервалі 0...1. Для переходу від псевдовипадкових чисел  $\mu_{ji}$  до значення кількості засобів елементів систем протипожежного захисту необхідно скористатись залежністю, прикладом якої для  $N_{п.с.i}$  буде

$$N_{п.с.i} = a_1 + \mu_{li} (b_1 - a_1), \quad (4.17)$$

де  $\mu_{li}$  – псевдовипадкове число для визначення чинника  $N_{п.с.i}$  на певному  $i$ -тому

циклі розрахунку.

Під час розрахунку на кожному циклі програми розраховується значення  $I_{СПЗ}$  за залежністю (4.7) та критерії  $Z_0$  і  $B_0$ , які співставляються із значеннями попереднього циклу. Цей цикл повторюватиметься стільки раз, поки не буде задоволена умова (4.16). Результатами розрахунку будуть такі параметри:  $I_{СПЗ}$ ;  $\tau_{в.г}$  – тривалість вільного горіння, хв;  $S_{П}$  – площа пожежі до і після впровадження протипожежних засобів;  $V_{сл}$  – швидкість слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику, км/г;  $\tau_{сл}$  – тривалість слідування до місця виклику, хв;  $\tau_{лок}$  – тривалість локалізації пожежі, хв;  $\tau_{г}$  – тривалість гасіння пожежі, хв;  $\tau_{лік}$  – тривалість ліквідації пожежі, хв;  $p$  – імовірність попадання досліджуваної  $i$ -ої точки в область допустимих розв’язків; типи необхідних протипожежних засобів їх вартість і кількість та загальні додаткові витрати на їх придбання, грн.

Таким чином, методика визначення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту полягає у послідовному виконанні наступних операцій:

- визначення необхідної кількості протипожежних засобів;
- визначення ймовірність відмови протипожежної системи складу при існуючому рівні протипожежного захисту;
- визначення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту шляхом рішення оптимізаційної задачі з використанням методу Монте-Карло.

Для ефективної реалізації розробленої інженерної методики визначення раціональних параметрів протипожежного захисту складських приміщень за критерієм (4.10) на основі залежностей (4.1)–(4.8) було розроблено алгоритм [82], наведений на рис. 4.1.

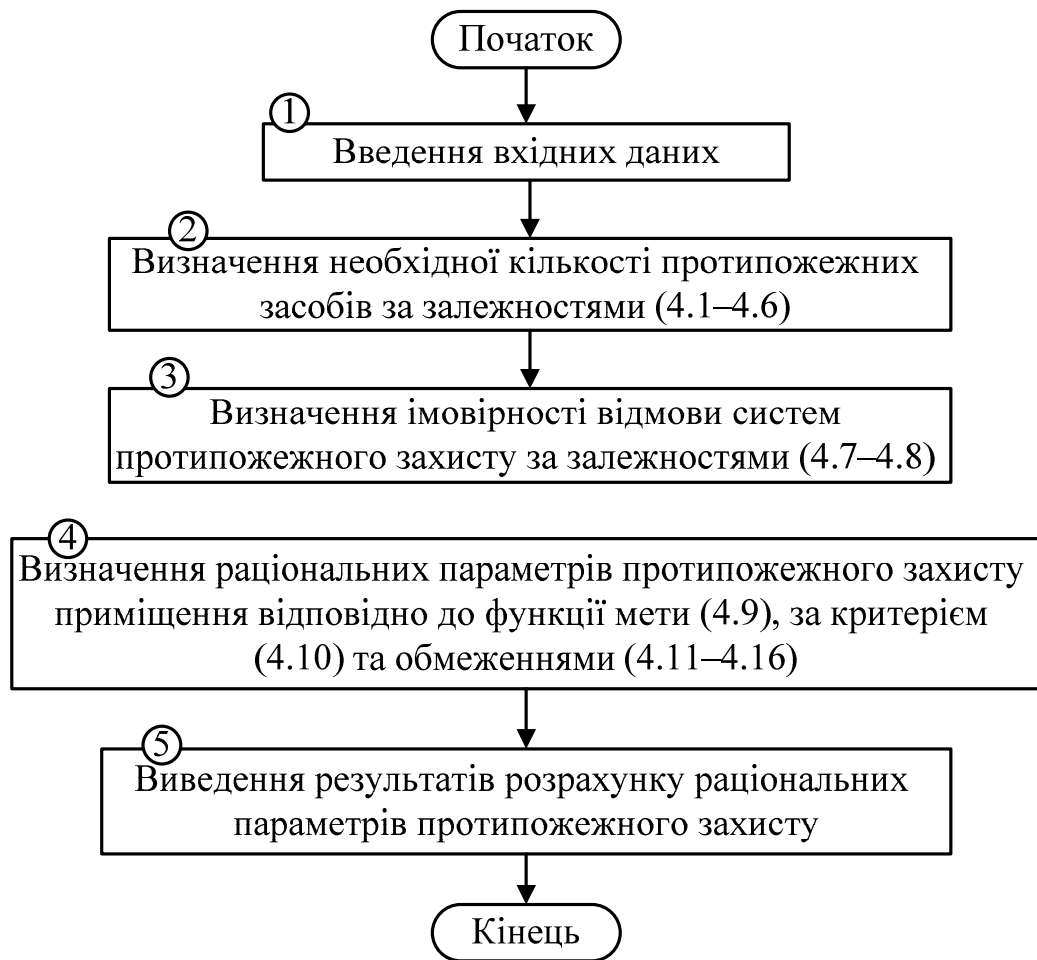


Рисунок – 4.1 Алгоритм визначення раціональних параметрів протипожежного захисту складських приміщень за критерієм (4.10) [82]

Відповідно до наведеного алгоритму для визначення раціональних параметрів протипожежного захисту складських приміщень була написана програма на Java для роботи в середовищі Windows. Робоче вікно програми зображено на рис. 4.2.

Рисунок – 4.2 Робоче вікно програми для забезпечення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту складських приміщень [82]

Лістинг програми для забезпечення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту складських приміщень наведено в додатку В.

#### 4.2.2. Застосування методу оптимізації протипожежних засобів на прикладі логістичного складу

Розглянемо приклад застосування запропонованого методу. Проведемо аудит одного з корпусів логістичного комплексу, який розміщується в закритому приміщенні (рис. 4.3) для визначення існуючого значення загальної імовірності відмови системи протипожежного захисту  $I_{СПЗ}$  та при необхідності з метою забезпечення її допустимого значення вибрати необхідні протипожежні засоби.



Рисунок – 4.3 Логістичний склад ТзОВ "Нова пошта"  
Пустомитівського району, Львівської області (Україна) [82]

План-схема логістичного складу зображена на рис. 4.4.

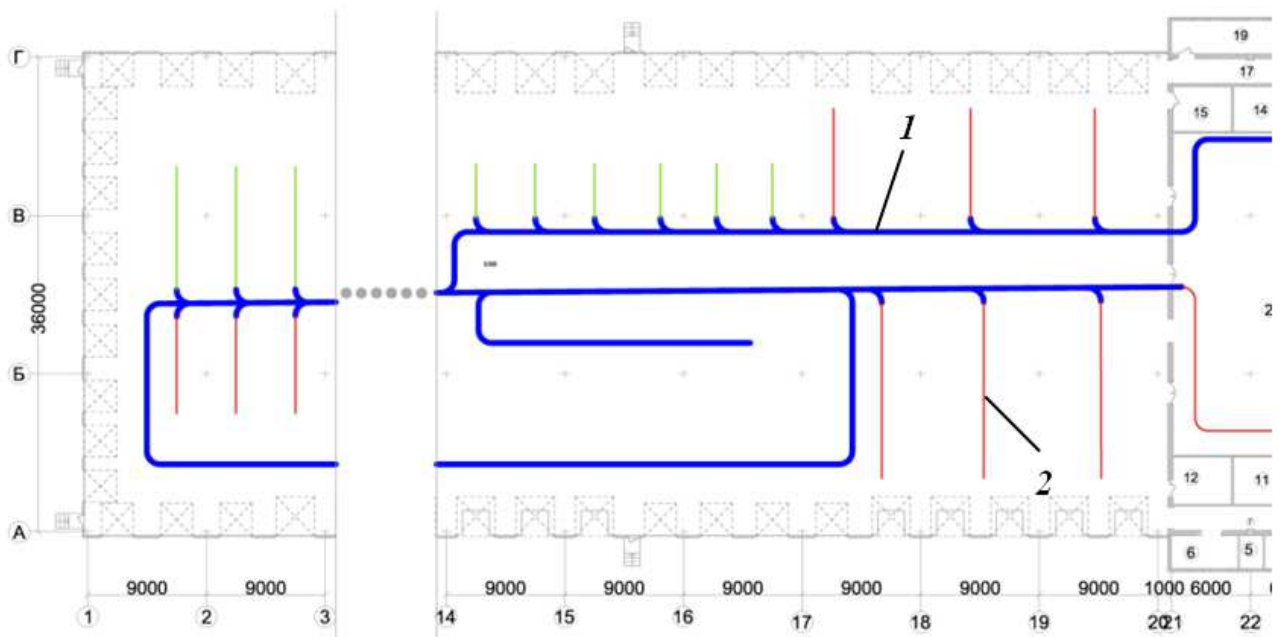


Рисунок – 4.4 План-схема логістичного складу [82]:

- 1 – головний розподільний адресний конвеєр;
- 2 – допоміжні бокові розподільні конвеєри

Вхідні дані: ширина – 36 м; довжина – 162 м; ширина адміністративного приміщення – 36 м; довжина адміністративного приміщення – 18 м;

адміністративне приміщення - двоповерхове; площа склада  $S_c=5832 \text{ м}^2$ ; загальний периметр будівлі  $P=432 \text{ м}$ ;  $N_{\text{п-к.п.д}}=1$  – ППКП встановлено в адміністративному приміщенні в кімнаті охорони, де здійснюється цілодобове чергування персоналу (передача сигналу до диспетчерської служби ДСНС не передається);  $a_5=0$ ; на складі використовують для евакуації персоналу звичайні двері для виходу з адміністративних приміщень в кількості 2;  $a_1=194$  шт.;  $a_2=0$ ;  $a_3=0$ ;  $a_4=0$ ; на даху робочої зони склада відсутні аераційні ліхтарі, що не дає можливості використовувати систему завіс;  $b_1=(5832+1166)/49=143$  шт.;  $b_2=(5832+1166)/72=97$  шт.;  $b_3=5832/900=7$  шт.;  $b_4=5832/1600=4$  шт.;  $b_5=432/1,5\sqrt{432}=14$ ; в одну зміну загальна кількість працюючих 142 працівника.

На рис. 4.5 зображено головний розподільний адресний конвеєр, а на рис. 4.6 – допоміжний боковий розподільний конвеєр.



Рисунок – 4.5 Головний розподільний адресний конвеєр логістичного складу ТзОВ "Нова пошта" у с. Сороки Львівські Пустомитівського району Львівської області (Україна) [82]





Рисунок – 4.6 Допоміжний боковий розподільний конвеєр логістичного складу ТзОВ "Нова пошта" Пустомитівського району Львівської області (Україна) [82]

На підставі вхідних даних визначаємо значення імовірності відмови протипожежної системи складу з використанням залежності (4.7)

Оскільки  $\frac{N_{п.с.д}}{N_{п.с}} = 1,35$  приймаємо це значення 0,999.

З урахуванням цього  $I_{СПЗ} = 5 \cdot 10^{-4}$ . (4.18)

Отримане  $I_{СПЗ}$  відповідає максимально допустимому значенню  $[I_{СПЗ}]$ , що може не забезпечити в повній мірі протипожежний захист складу, особливо на стадії евакуації працюючих при виникненні пожежі.

Користуючись рекомендаціями [81], визначимо значення імовірності евакуації працюючих  $P_{e.n}$  за існуючих умов стосовно діючої протипожежної системи складу при критичному часі пожежі  $\tau_k = 4,3$  хв, часі евакуації  $\tau_e = 1,44$  хв та

тривалості часу  $\tau_{n,e}=2$  хв від початку пожежі до початку евакуації за залежністю

$$P_{e,n} = \frac{0,8\tau_k - \tau_e}{\tau_{n,e}} = \frac{0,8 \cdot 4,3 - 1,44}{2} = 1. \quad (4.19)$$

Результати аналізу значення імовірності евакуації працюючих показали, що процес евакуації пройшов успішно, але на граничному стані. Тому треба розглядати можливість удосконалення системи протипожежного захисту складу. Для цього можна скористатися результатами визначення на основі запропонованої математичної моделі оптимальної кількості елементів систем протипожежного захисту в закритих приміщеннях складів. Для прикладу, що розглядається:

– функція мети

$$I_{\text{СПЗ}} \Rightarrow \min \leq [5 \cdot 10^{-5}]; \quad (4.20)$$

– за критерієм

$$B = 3_o + B_n \Rightarrow \min; \quad (4.21)$$

– за обмеженнями

$$143 \leq N_{\text{п.с.і}} \leq 194; \quad (4.22)$$

$$0 \leq N_{\text{п.о.і}} \leq 97; \quad (4.23)$$

$$0 \leq N_{\text{п.з.і}} \leq 7; \quad (4.24)$$

$$0 \leq N_{\text{с.з.і}} \leq 4; \quad (4.25)$$

$$0 \leq N_{\text{е.д.і}} \leq 14; \quad (4.26)$$

$$p \geq [0,95]. \quad (4.27)$$

Результат аналізу отриманих розрахунків для визначення протипожежних засобів показує:

1) імовірність відмови протипожежної системи складу без переобладнання протипожежними засобами складає  $I_{СПЗ}=5 \cdot 10^{-4}$ ;

2) кількість пожежних оповіщувачів рекомендується встановити в приміщенні складу 70 шт;

3) кількість протидимних пристроїв рекомендується встановити 3 шт.;

4) рекомендується встановити щільні вертикальні завіси в кількості 4 шт.;

5) на даху робочої зони складу необхідно встановити аераційні ліхтарі в кількості 4 шт. для видалення диму при виникненні пожежі з об'єму вертикальних завіс в навколишнє середовище;

б) по периметру складу необхідно облаштувати 10 розпашних дверей системами автоматичного відкриття від сигналу приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації;

7) після проведення цих заходів значення імовірності відмови протипожежної системи складу зменшиться до  $1,8 \cdot 10^{-8}$ , що забезпечує протипожежний захист складу.

Оскільки  $\frac{N_{п.с.д}}{N_{п.с}} = 1,35$   $\frac{N_{с.з.д}}{N_{с.з}} = 1$  приймаємо ці значення 0,999.

З урахуванням цього  $I_{СПЗ} = 1,8 \cdot 10^{-8}$ ;

8) при таких умовах площа пожежі у випадку її виникнення буде не більшою  $90 \text{ м}^2$ , а тривалість локалізації не перевищить 27 хв, тривалість гасіння – 14 хв, тривалість кінцевої ліквідації пожежі – 10,25 хв.;

9) загальний час зайнятості ПРП не перевищить 67,65 хв.

Розроблений метод визначення необхідної кількості засобів протипожежного захисту згідно з стандартами показав, що для надійної роботи систем протипожежного захисту необхідно встановлювати на об'єкті 2 приймально-контрольного пристрою з метою забезпечення роботи усіх систем у разі виходу одного із них з ладу. Розрахункові залежності (4.1)–(4.6) дають змогу визначити мінімальну кількість засобів протипожежного захисту залежно від геометричних

параметрів об'єкту та кількості працюючих.

Розроблений метод визначення ймовірності відмов систем протипожежного захисту із застосування до реального об'єкту із існуючими засобами показав, що значення ймовірності відмови протипожежної системи, розрахований за формулою (4.7), відповідає максимально допустимому значенню  $5 \cdot 10^{-4}$ , що може не забезпечити в повній мірі протипожежний захист складу. Для таких об'єктів необхідно збільшувати кількість засобів протипожежного захисту. Тому розроблена математична модель дозволяє це зробити.

Отримана математична модель дозволяє визначати оптимальну кількість елементів систем протипожежного захисту на об'єкті з метою своєчасного виявлення, швидкої евакуації людей, локалізації пожежі системами автоматичного пожежогасіння, успішного гасіння пожеж пожежно-рятувальними підрозділами. Ця мета досягається шляхом підвищення надійності роботи кожного з цих елементів в комплексі. Натомість існуючі методи забезпечення надійності систем протипожежного захисту направлені лише на покращення безвідмовної роботи конкретної системи.

Існуючі методи визначення необхідної кількості елементів систем протипожежного захисту базуються на виконанні норм та стандартів. Зокрема, відновлення роботи окремих елементів систем протипожежного захисту на об'єктах здійснюється шляхом їх заміни у разі несправності. Проте, якщо несправність виникає у процесі пожежі, здійснити такий підхід є неможливим. Отриманий метод дозволяє системам протипожежного захисту виконувати свої функції навіть у разі виходу одного чи декількох елементів з роботи шляхом створення запасу цих елементів на об'єкті.

Основні обмеження, які притаманні даному дослідженню є те, що у роботі розглянуто 5 основних протипожежних засобів для захисту об'єктів від пожеж. Проте кількість цих засобів може бути розширена відповідно до призначення об'єкту та його характеристик.

Другим обмеженням є те, що використання даного методу можливе на складських об'єктах, розміщених у закритих приміщеннях. У перспективі

розвиток даної математичної моделі дозволить застосовувати її для інших типів об'єктів. При цьому необхідно розробити пакет прикладних програм, які б дали можливість оперативного вводу геометрії об'єкту та автоматичного пошуку рішень.

При застосуванні даного методу для об'єктів з розвиненою системою приміщень необхідно враховувати ряд додаткових факторів, що впливають на визначення необхідної кількості протипожежних засобів.

### 4.3. Висновки

1. Для визначення необхідної кількості протипожежних засобів в закритому приміщенні застосовано існуючі методи з урахуванням державних норм та стандартів, що дозволяють попередити виникнення пожежі та швидко її ліквідувати у разі виникнення. За результатами дослідження отримані залежності для розрахунку необхідної кількості засобів протипожежного захисту згідно із стандартами та нормами.

2. Для визначення ймовірність відмови протипожежної системи складу застосовано методикую визначення загальної ймовірності, яка буде дорівнювати добутку ймовірностей відмови кожної складової СПЗ. Розрахунки за даною методикою показали, що для реального об'єкту (логістичного складу) ймовірність відмови не відповідає допустимому значенню.

3. Розроблена математична модель дозволяє визначити оптимальну кількість протипожежних засобів в приміщеннях складів, які розміщені в закритих приміщеннях.

4. Розроблений метод визначення оптимальної кількості протипожежних засобів для складів, які розміщені в закритих приміщеннях, з урахуванням ймовірності відмови протипожежної системи об'єкта був перевірений на практиці. Для роботи в середовищі Windows була написана програма на мові Java.

## ВИСНОВКИ

У роботі вирішена актуальна наукова задача по підвищенню рівня забезпечення пожежної безпеки складських приміщень та зроблено такі висновки:

1. За результатами аналізу сучасного стану питання окреслено небезпеку пожеж логістично-складських об'єктів. Показано, що найбільш ефективним є виявлення пожежі на початковому етапі, це мінімізує ризики для персоналу і особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, а також можливі матеріальні збитки. Аналізом встановлено, що на сьогоднішній день відсутня чітка методика визначення для будь-якого об'єкта (складів, які розміщені в закритих приміщеннях) оптимальної кількості приладів системи протипожежного захисту, яка давала б можливість стабільно отримати імовірність відмови протипожежної системи в межах не більше  $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ . Крім цього, відсутній комплексний підхід до вибору типу та кількості пожежних сповіщувачів на різних об'єктах, існуючі результати досліджень не можуть бути застосовані для вибору оптимального розміщення у складських приміщеннях.

2. Удосконалено математичні моделі пожежних ризиків для закритих складських приміщень з урахуванням необхідної та дійсної кількості компонентів системи протипожежного захисту, а також ризику їх відмови. Удосконалено оптимізаційну математичну модель вибору оптимальної кількості протипожежних засобів для закритих складських приміщень, яка дозволяє визначати потрібну кількість протипожежних засобів з урахуванням можливої відмови окремих компонентів систем протипожежного захисту.

3. Виконано теоретичні дослідження впливу протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі та встановлено, що наявність в складі об'ємів приміщень захищених протипожежними завісами зменшує швидкість розповсюдження пожежі в 1,8 рази. Теоретичні дослідження пожежі в закритих складських приміщеннях загальною площею понад 5000 м<sup>2</sup> показали, що використання протипожежних перегородок між ділянками приміщень складських

об'єктів зменшує імовірність розповсюдження пожежі по всій площі приміщення приблизно в 3 рази.

4. Розроблено методику проведення експериментального дослідження, що дає змогу встановити залежність часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у випадку пожежі в складських приміщеннях, за допомогою повнофакторного експерименту типу  $2^3$ . Факторами, що впливають на результуючу, є тип пожежного навантаження (при цьому основним фактором є питома швидкість вигорання матеріалу), висота розміщення пожежного сповіщувача та відстань сповіщувача від осередку пожежі.

5. Отримано емпіричні залежності часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача, безадресного димового пожежного сповіщувача, аспіраційного димового пожежного сповіщувача в залежності від характеристик пожежного навантаження та розміщення цих сповіщувачів в об'ємі приміщення. Отримані емпіричні залежності дозволяють обрати пожежні сповіщувачі та розмістити у приміщенні їх таким чином, щоб відбулось їх як найшвидше спрацювання. Середня похибка даних залежностей при порівнянні з даними експерименту становить 6,9 %. Використання даних залежностей дозволяє зменшити час спрацювання пожежного сповіщувача у порівнянні із розміщенням їх згідно будівельних норм до 14 с.

6. За результатами дослідження отримані залежності для розрахунку необхідної кількості засобів протипожежного захисту згідно із стандартами та нормами. Для визначення ймовірності відмови протипожежної системи складу застосовано методику визначення загальної ймовірності, яка буде дорівнювати добутку ймовірностей відмови кожної складової СПЗ. Розрахунки за даною методикою показали, що для реального об'єкту (логістичного складу) ймовірність відмови не відповідає допустимому значенню. Розроблено математичну модель та метод визначення оптимальної кількості протипожежних засобів для складів з урахуванням ймовірності відмови протипожежної системи об'єкта. Метод був перевірений на практиці. Для роботи в середовищі Windows була написана програма на мові Java.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2020 р.  
<https://idundcz.dsns.gov.ua>
2. Андрусейко, О. Б., Грицюк, О. Б. (2013). Склади зберігання пиломатеріалів: особливості запобігання виникненню пожеж. *Пожежна безпека*, 23, 7-13.
3. Баканов, В. В. (2013). Надійність систем пожежної сигналізації та її компонентів як чинник пожежної безпеки частина 1. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 1, 30-31.
4. Баканов, В. В. (2013). Надійність систем пожежної сигналізації та її компонентів як чинник пожежної безпеки частина 2. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2, 34-35.
5. 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.
6. Баканов, В. В. (2013). Знову про протипожежний захист простору за підвісною стелею. *Науково – виробничий журнал Пожежна безпека*, 2(161), 30-33.
7. Баканов, В. В. (2016). Про конфлікт у сфері стандартизації. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 5 (32), 28-30.
8. Баканов, В. В. (2017). Щодо сумісності компонентів систем пожежної сигналізації згідно ДСТУ EN 54-13:2014. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 7(46), 7-9.
9. Баканов, В. В. (2018). Чутливість до пожеж – головний параметр димового сповіщувача. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 6(57), 26-29.
10. Баканов, В. В. (2019). Мультисенсорні пожежні сповіщувачі. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 11(74), 8-10.



11. Бакута, А. В. (2012). *Проблеми та перспективи складської логістики в Україні*. Репозитарій Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu\\_2012\\_2\\_34](http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2012_2_34)
12. Борис, О. П. (2018). *Ризик – орієнтований підхід у системі оцінювання пожежної безпеки*. Чорноморський національний університет імені Петра Могили. ТОВ "ДКС Центр", 2018, 22. [www.investplan.com.ua](http://www.investplan.com.ua)
13. Боровиков, В. О. (2021). Автоматичні пожежні сповіщувачі: критерії вибирання і правильність застосування. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 3(90), 26-30.
14. Бут, В. П., Куціщій, Б. В., Болібрух, Б. В. (2003). Практичний посібник з пожежної тактики. Львів: Сполом. – 133 с.
15. Войтович, Д. П. (2011). *Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожежі*. Дис. ... канд. тех. наук: 21.06.02. ЛДУБЖД. Львів.
16. Галега, В. (2020). Вибух у Бейруті. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*. 8(83), 34-35.
17. Гуліда, Е. М. (2016). Вплив пожежного ризику на величину збитків від пожежі в приміщеннях різних об'єктів. *Пожежна безпека*, 28, 18-27.
18. Гуліда, Е. М., Коваль, О. М. *Забезпечення пожежної безпеки та ліквідація пожеж на деревообробних підприємствах*. Монографія. – Львів: Видав. ПАІС, 2017. – 365 с.
19. 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.
20. 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.
21. Гуліда, Е. М., Лоїк, В. Б., Шерстинюк, Н. Л., Дмитрук, Ю. С. (2015). *Експериментальна оцінка вогнезахисного ефекту вермикуліто-силікатних плит*

для будівельних несних металевих конструкцій. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 25.5, 169-173.

22. Гуліда, Е. М., Меньшикова, О. В. (2010). Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні. *Проблеми пожежної безпеки*, 28, 65–73.

23. Гуліда, Е. М., Меньшикова, О. В., Ренкас, А. А. (2012). Моделювання пожежі в закритому приміщенні. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 22.6, 307–317.

24. Гуліда, Е. М., Шарий, В. В. (2019). Вплив протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*, 35, 23-29.

25. Гуліда, Е. М., Шарий, В. В. (2020). Гарантування пожежної безпеки на відкритих складах виробничих об'єктів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 4, 39-46.

26. Гуліда, Е. М., Шарий, В. В. (2020). Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*, 37, 44-51.

27. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. (Аналоги: ISO 7240-14:2013 - Fire detection and alarm systems, NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code).

28. ДБН, В. 1.1-7: 2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. (2016).

29. Довідник керівника гасіння пожежі за загальною редакцією В.С. Кропивницького (2016). – 320 с.

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 87 с.

31. Євмен'єв, Л. (2012). Відмови систем протипожежної автоматики: причини та шляхи запобігання. *Науково – виробничий журнал Пожежна безпека*, 11(158), 36-37.

32. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2018 році. [https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2018/AO\\_2018.pdf](https://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2018/AO_2018.pdf)

33. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. [https://dsns.gov.ua/upload/1/1/6/7/4/3/2020-1-30-publicnii-zvit-za-2019-rik-ost-fin.pdf?\\_\\_cf\\_chl\\_rt\\_tk=U2XRgMawzplHSlSjySaP077YJ7d440gZ1EZCPLJ6SDY-1669408138-0-gaNycGzNCL0](https://dsns.gov.ua/upload/1/1/6/7/4/3/2020-1-30-publicnii-zvit-za-2019-rik-ost-fin.pdf?__cf_chl_rt_tk=U2XRgMawzplHSlSjySaP077YJ7d440gZ1EZCPLJ6SDY-1669408138-0-gaNycGzNCL0)

34. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році. <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2020/zvit-2020-dsns.pdf>

35. Ільницька, І. (2020). Вибухо та пожежонебезпечність на складах отрутохімікатів і добрив. *Всеукраїнський науково-виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 10(86), 25-27.

36. Інститут державного та наукових досліджень цивільного захисту. Аналіз стану з пожежами та їх наслідків в Україні у 2020 році. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2021, 3(36), 3-5.

37. Климась, Р. В. (2015). Дослідження стану із пожежами за період 2011 – 2014 роки та визначення основних проблем у забезпеченні пожежної безпеки об'єктів. *Науковий вісник Український науково – дослідний інститут цивільного захисту*, 2015, 2, 32.

38. Климась, Р. В. (2020). Аналітична довідка про стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 12 місяців 2019 року за даними аналізу масиву карток обліку пожеж (POG\_STAT) за 12 місяців 2019 року. *Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС України*. [https://undicz.dsns.gov.ua/files/2020/1/27/Analitichna%20dovidka%20pro%20rojeji\\_12.2019.pdf](https://undicz.dsns.gov.ua/files/2020/1/27/Analitichna%20dovidka%20pro%20rojeji_12.2019.pdf)

39. Коваль, О. М. (2015). Визначення критерія прийняття рішення для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж на деревообробних підприємствах. *Вісник НЛТУ України*, 25.4, 345-352.

40. Комарницький, І. М., Питуляк, Н. С. (2008). *Структуризація складських приміщень як фактор організації логістики на підприємствах*. Репозитарій Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/evngu\\_2008\\_4\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/evngu_2008_4_16)
41. Компанія ПП "АРТОН". <http://arton.com.ua/>
42. Компанія ПП "РЕЗЕРВ-1". <http://www.rezerv-1.com/>
43. Компанія ТЗОВ "Тірас-12". <https://tiras.ua/>
44. Копылов, Н. П. (2000). Моделирование пожаров на складах лесоматериалов. Моделирование пожаров и взрывов. *Пожнаука*, 189-197.
45. Кошмаров, Ю. А. (2000). *Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении*. Академия ГПС МВД, – 119 с.
46. Лісняк, А. А., Дерев'янюк, І. Г. (2008). Аналіз розрахунків потрібних витрат води для гасіння пожеж на відкритих складах лісоматеріалів. *Проблеми пожежної безпеки*, 24, 100-104.
47. Мовчан, І. О., Васильєв, М. І. (2013). Вибір критеріїв для прийняття рішень в системі пожежогасіння. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 8, 146-154.
48. Мушик, Э., Мюллер, П. (1990). *Методы принятия технических решений*. Мир. – 208 с.
49. Нормативи виконання навчальних вправ з підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту та працівників оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України до виконання завдань за призначенням. Наказ МВС від 20.11.2015 № 1470. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1528-15#Text>
50. Носач, В., Боровиков, В. (2019). Про майбутні зміни серії ДСТУ EN 54 Системи пожежної сигналізації та оповіщення. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2(36), 22-25.
51. Паснак, І. В., Придатко, О. В., Гаврилюк, А. Ф., Колеснікова, А. В., Гангур, Ю. В. (2016). Аналіз чинників впливу на тривалість слідування

пожежного автомобіля до місця виклику. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26.1, 286-291.

52. Петренко, О. І. (2017). Управління складською діяльністю промислових підприємств на логістичних засадах. *Ефективна економіка: електронне наукове фахове видання*. № 6 Дніпропетровськ: Дніпропетровський державний аграрний університет ТОВ "ДКС Центр". <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=5644>

53. Полярин, Ю. Пожежна безпека складів. <https://sitmag.ru/article/9989-rojarnaya-bezopasnost-skladov-ch-2-meropriyatiya-opoveshchayushchego-haraktera>

54. 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>

55. Пузач, С. В. (2005). Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. Академия ГПС МЧС . – 336 с.

56. Рожков, А. (2021). Деякі проблеми щодо забезпечення пожежної безпеки. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2(89), 18-19.

57. Самошин, Д. А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий. – 46 с.

58. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2009-2012 роки Статистичний збірник аналітичних матеріалів. <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/6/2/1/8/0/0/Eoea1aBkV09QuQ86fGbFq3vnZypB4pLRCTU1RnVz.pdf>

59. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки Статистичний збірник аналітичних матеріалів. <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/6/2/1/7/9/9/NqqqHaNp71KbJEw1YpwlByrmjrrKD bGJFMhsTjBK.pdf>

60. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 2011 рік. *Науково – виробничий журнал Пожежна безпека*, 2012, 2(149), 24-25.

61. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Аналіз пожеж і причин виникнення їх в Україні в 2012 році. *Науково – виробничий журнал Пожежна безпека*, 2013, 2(161), 24-25.

62. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Аналіз масиву карток обліку пожеж за 2013 рік. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2014, 2(5), 32-34.

63. 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.

64. 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.

65. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 2017 рік. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2018, 2(53), 34-36.

66. 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.

67. 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.

68. Холщевников, В. В. (2003). Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях. *Пожаровзрывобезопасность*, 4, 21-27.

69. Христич, В. В., Дерев'янку, О. А., Бондаренко, С. М., & Антошкін, О. А. (2001). Системи пожежної та охоронної сигналізації. *Академія пожежної безпеки України*. – 87 с.
70. Шпонтак, І. (2011). Пожежо і вибухонебезпечність на складах та зернопереробних підприємствах. *Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека*, 2(137), 30-31.
71. Ahrens, M. (2009). Warehouse fires excluding cold storage. *National Fire Protection Association*. – 78.
72. Akhmedova, A. A., Shevtsova, T. G., Kotliarov, R. V., & Krol, A. N. (2018). Estimation of reliability of fire alarm system. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(4), 79-86. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-79-86>
73. Alvarez, A., Meacham, B. J., Dembsey, N. A., & Thomas, J. R. (2014). A framework for risk-informed performance-based fire protection design for the built environment. *Fire technology*, 50(2), 161-181. <https://doi.org/10.1007/s10694-013-0366-1>
74. Campbell, R. B. (2016). Structure fires in warehouse properties. *National Fire Protection Association. Fire Analysis and Research Division*. January 2016, 1-36. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/oswarehouse.pdf>
75. Carli, L. (2020). NFPA releases new warehouse safety fact sheet. <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Press-Room/News-releases/2020/NFPA-releases-new-warehouse-safety-fact-sheet>
76. Chen Nan, Ma Xianmeng, Dong Wenhui (2012). Experimental Study on the Testing Environment Improvement of Fire Smoke Detectors. *Procedia Engineering*, Volume 45, 610-616. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.211>
77. Choi, M. S., & Lee, K. O. (2018). Study on influence of air flow of ceiling type Air conditioner on fire detector response. *Fire Science and Engineering*, 32(5), 40- 45. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.5.040/> [http://dcontent.dkyobobook.co.kr/genomad\\_gift/001/article/1/04/47/10447306.pdf](http://dcontent.dkyobobook.co.kr/genomad_gift/001/article/1/04/47/10447306.pdf)
78. Company Ajax Systems. <http://support.ajax.systems/uk/>

79. Fei Liu, Zhe Zhao, Hao-wei Yao, Dong Liang (2013) Application of Aspirating Smoke Detectors at the Fire Earliest Stage. *Procedia Engineering*, 52, 671-675. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.204>
80. Festag, S. (2016). False alarm ratio of fire detection and fire alarm systems in Germany – a meta analysis. *Fire Safety Journal*, 79, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.11.010>
81. 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>
82. Hulida, E., Pasnak, I., Renkas, A., & Sharyy, V. (2020). Engineering method for determining rational fire protection parameters of warehouses. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10(104)), 38-45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201819>
83. Ju W. (2016). Study on Fire Risk and Disaster Reducing Factors of Cotton Logistics Warehouse Based on Event and Fault Tree Analysis. 135, 418 – 426. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.150>
84. Klimczak, T., & Paś, J. (2019). Reliability and operating analysis of transmission of alarm signals of distributed fire signaling system. *Journal of KONBIN*, 49(1), 165-174. <https://doi.org/10.2478/jok-2019-0009>
85. Ko, E. Y., Hong, S. H., & Cha, J. S. (2020). A Study on Remote IoT operating time for Fire Detector of Smart Home. *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 20(2), 235-238. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.235>
86. Kong, D. P., Lu, S. X., Kang, Q. S., Lo, S. M., & Xie, Q. M. (2014). Fuzzy risk assessment for life safety under building fires. *Fire technology*, 50(4), 977-991.
87. Li Y., Wang H., Bai K., Chen S. (2021). Dynamic intelligent risk assessment of hazardous chemical warehouse fire based on electrostatic discharge method and improved support vector machine. 145, 425-434. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.11.012>



88. Ma, J. Y. (2014). Analysis on the fire risk existing in the storage of textile materials and textile goods. *Procedia engineering*, 71, 271-275. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.039>
89. Moinuddin, K. A. M., & Thomas, I. R. (2014). Reliability of sprinkler system in Australian high rise office buildings. *Fire safety journal*, 63, 52-68. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.11.009>
90. Moore W. (2019). *In Compliance | NFPA 72 How to meet requirements of the entire code for a new fire alarm system*. National Fire Protection Association NFPA Journal March-April 2019. <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2019/March-April-2019/In-Compliance/NFPA-72>
91. NewYorkPost. Amazon plans to open 1500 warehouses in US suburbs. (2015). <https://nypost.com/2020/09/16/amazon-plans-to-open-1500>
92. Paś, J. (2015). Selected methods for increases reliability the of electronic systems security. *Journal of KONBiN*, 35(1), 147-156. <https://doi.org/10.1515/jok-2015-0048>
93. Pro Point Plus. <https://brandmaster.systems/uk/produktssiia/aspiratsiinyi-pozhezhnyi-dymovyi-spovishchuvach-protec/aspiratsiinyi-pozhezhnyi-dymovyi-spovishchuvach-pro-point-plus.html>
94. Rausand, M. (2014). Reliability of safety-critical systems: theory and applications. John Wiley & Sons. 480.
95. Ren, S. (2012). Assessment on logistics warehouse fire risk based on analytic hierarchy Process, 45, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.121>
96. Securiton AG Швейцарія. <https://www.securiton.com/>
97. 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>
98. Sung-Ho, H. (2016). An Experimental Study on the Response Characteristics of Fire Detector for Early Stage Fire Detection in Warehouse. *Fire Science and Engineering*, 30(3), 41-47. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.3.041>

99. Sylvia, T. (2021). *Amazon warehouse fire linked to solar installation*. PV magazine USA. June, 2021. <https://pv-magazine-usa.com/2021/06/10/amazon-warehouse-fire-linked-to-solar-installation>
100. Tao, S., Dong, X., Tan, Y., Wei, Y., Wang, B., Huang, Y. *Numerical simulation study on the smoke spread process under the influence of the hollow floorboard in the logistics warehouse*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X19303326>
101. Uk Fire Safety Search. Amazon Fulfillment Center Safe Thanks to ASD's. <https://www.firesafetysearch.com/amazon-fulfillment-center-safe-thanks-to-asds>
102. Verzoni, A. (2017). General Electric Warehouse Fire. *National Fire Protection Association NFPA Journal* March-April 2017. <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2017/March-April-2017/Features/GE-Warehouse-Fire>
103. Verzoni, A. (2018). Prime Protection. How Amazon keeps its massive warehouses safe from fire and other life safety hazards. *NFPA Journal The magazine of the National Fire Protection Association*. March-April 2018. <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2018/March-April-2018/POV/Perspectives>
104. Verzoni, A. Multiple Failures. Understanding the Beirut catastrophe through the NFPA Fire & Life Safety Ecosystem. *National Fire Protection Association NFPA Journal* March-April 2020. <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2020/September-October-2020/News-and-Analysis/Dispatches>
105. Wei, Z., Stephen, M. Olenick, Michael S. Klassen, Douglas J. Carpenter, Richard J. Roby, Jose L. Torero (2008) A smoke detector activation algorithm for large eddy simulation fire modeling. *Fire Safety Journal*, 43 (2), 96-107. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2007.05.004>
106. Wolfgang Kruell, Thorsten Schultze, Robert Tobera, Ingolf Willms. (2013). Analysis of Dust Properties to Solve the Complex Problem of Non-fire Sensitivity

Testing of Optical Smoke Detectors. *Procedia Engineering*, 62, 859-867. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.136>

107. Xiaojun, C., Lizhong, Y., Zhihua, D., & Weicheng, F. (2005). A multi-layer zone model for predicting fire behavior in a fire room. *Fire Safety Journal*, 40(3), 267-281. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.7-851>

108. Xiaosheng Liu, Dong Hou, Jun Ji, Hui Zhu. (2021). Experiment and numerical simulation of cable trench fire detection. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101338. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101338>

109. Yuan, L., Thomas, R. A., Rowland, J. H., & Zhou, L. (2018). Early fire detection for underground diesel fuel storage areas. *Process safety and environmental protection*, 119, 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.07.022>

110. Zhang, H. Y., & Huang, J. H. (2013). The Fire Safety Research on the Tobacco Storage. *Procedia Engineering*, 52, 578-582. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.188>

111. Zhang, C. (2018). Analysis of Fire Safety System for Storage Enterprises of Dangerous Chemicals. *Procedia engineering*, 211, 986-995. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.101>

112. Zhang, Y., Zhang, M. G., & Qian, C. J. (2018). System dynamics analysis for petrochemical enterprise fire safety system. *Procedia engineering*, 211, 1034-1042. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.107>

113. Zheng, W., Zhang, X., & Wang, Z. F. (2016). Experiment study of performances of fire detection and fire extinguishing systems in a subway train. *Procedia Engineering*, 135, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.147>

ДОДАТОК А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи  
Львівського державного університету

безпеки життєдіяльності,  
кандидат технічних наук, доцент,  
полковник служби цивільного захисту



Дмитро ЧАЛИЙ

09

2022 р.

### АКТ

про використання у навчальному процесі результатів дисертаційної роботи Шарого Володимира Володимировича, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Комісія у складі: начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, к.т.н., доцента, полковника служби цивільного захисту Андрія ЛІНА, начальника докторантури, ад'юнктури, к.т.н., підполковника служби цивільного захисту Юрія КОПИСТИНСЬКОГО, професора кафедри прикладної математики та механіки, д.т.н., доцента, полковника служби цивільного захисту Олени ВАСИЛЬЄВОЇ встановила, що результати дисертаційних досліджень ад'юнкта денної форми навчання, підполковника служби цивільного захисту Володимира ШАРОГО використовуються в навчальному процесі підготовки фахівців, зокрема:

- під час підготовки магістрів на другому рівні здобуття вищої освіти за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» у рамках вивчення навчальної дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень і теорія інженерного експерименту»;

- під час підготовки докторів філософії на третьому рівні здобуття вищої освіти за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» у рамках вивчення навчальної дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень».

У зазначених вище курсах навчальних дисциплін використовуються наведені у дисертаційній роботі теоретичні положення та методичні підходи в царині розроблення методики виконання експериментальних досліджень щодо визначення впливу чинників на ефективність функціонування засобів протипожежного захисту, виконання таких досліджень та обробки отриманих результатів для отримання емпіричних залежностей. Також використання отриманих у дисертаційних дослідженнях результатів дає змогу здобувачам

вищої освіти якісніше опанувати можливості використання методу Монте-Карло під час виконання досліджень у царині пожежної безпеки.

Начальник навчально-наукового інституту  
пожежної та техногенної безпеки,  
к.т.н., доцент, полковник сл. ц.з.



Андрій ЛИН

Начальник докторантури, ад'юнктури,  
к.т.н., підполковник сл. ц.з.



Юрій КОПИСТИНСЬКИЙ

Професор кафедри  
прикладної математики та механіки,  
д.т.н., доцент, полковник сл. ц.з.



Олена ВАСИЛЬЄВА



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ "Науково-випробувальний центр" "ЄВРОСТАНДАРТ"

Олексій Ільницький

*ОІ* 2022 року

## АКТ

### про впровадження результатів дисертаційного дослідження ад'юнкта Шарого В.В.

Отримані в дисертаційній роботі Шарого Володимира Володимировича результати свідчать, що однією з ключових задач системи управління пожежною безпекою на об'єкті є організація роботи щодо забезпечення функціонування комплексу протипожежного захисту, оскільки раннє виявлення пожежі, а як наслідок, своєчасна її локалізація, дозволяє мінімізувати збитки від пожежі.

Оскільки стандарти та норми щодо проектування у царині протипожежної сигналізації є жорсткими у частині розміщення пожежних сповіщувачів у приміщеннях, то в проєктантів немає можливості керувати таким параметром як час спрацювання пожежного сповіщувача при виникненні пожежі, який прямим чином впливає на збитки внаслідок пожежі.

Саме тому методика проведення та отримані результати експериментальних досліджень щодо ефективності виявлення пожежі різними типами пожежних досліджень є актуальними та будуть використовуватися в діяльності науково-випробувального центру під час виконання робіт щодо оцінки ефективності систем протипожежного захисту.

Начальник науково-дослідної лабораторії  
ТзОВ "Науково-випробувальний  
центр" "ЄВРОСТАНДАРТ"

Віктор ПИКУС

Доктор технічних наук

Олександр КОВАЛЬ

Інженер-випробувальник

Михайло КАРП'ЯК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник управління запобігання НС  
та ЦЗ по Львівській міській ТГ

ГУ ДСНС України у Львівській області  
полковник служби цивільного захисту

Любомир ПАСІЧНИК



08

2022р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Шарого Володимира Володимировича

Комісія у складі: голови – начальника відділу запобігання НС управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області полковника служби цивільного захисту Гошко В.Р. та членів: начальника відділу ЦЗ управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області полковника служби цивільного захисту Вдовичина Р.Л. та заступника начальника відділу запобігання НС управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ полковника служби цивільного захисту Последов В.Є.; склали цей акт про те, що при організації наглядово-профілактичної роботи по запобіганню та попередженню виникнення пожеж на території Львівської області працівниками управління запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ ГУ ДСНС у Львівській області використано такі результати дисертаційної роботи Шарого Володимира Володимировича:

1. Методика оцінювання часу спрацювання різних типів пожежних сповіщувачів у разі пожежі в складських приміщеннях залежно від виду горючого матеріалу, відстані та висоти їх розміщення від потенційного осередку пожежі.



2. Метод вибору оптимальної кількості протипожежних засобів для закритих приміщеннях складів з урахуванням імовірності відмови протипожежної системи об'єкта.

Заступник начальника управління  
запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ  
начальник відділу запобігання НС  
ГУ ДСНС України у Львівській області  
полковник служби цивільного захисту

 Володимир ГОШКО

Заступник начальника управління  
запобігання НС та ЦЗ по Львівській міській ТГ  
начальник відділу ЦЗ  
ГУ ДСНС України у Львівській області  
полковник служби цивільного захисту

 Роман ВДОВИЧИН

Заступник начальника відділу запобігання НС  
управління запобігання НС та ЦЗ  
по Львівській міській ТГ  
ГУ ДСНС України у Львівській області  
полковник служби цивільного захисту

 Віталій ПОСЛЕДОВ

ДОДАТОК Б  
АКТ ПРО ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ «Науково-випробувальний  
центр» «ЄВРОСТАНДАРТ»



Олексій Ільницький

12 \_\_\_\_\_ 2021 року

## А К Т

про виконання дослідження

з виявлення пожежі в складському приміщенні

ад'юнктом Шарим Володимиром Володимировичем

Комісія у складі: заступника начальника інституту з навчально-наукової роботи навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, к.т.н., доцента, підполковника служби цивільного захисту Паснака І. В., д.т.н. Ковалю О.М., ад'юнкта докторантури, ад'юнктури ЛДУ БЖД Шарого В.В., керівника випробувальної лабораторії ТзОВ «Науково-випробувального центру» «ЄВРОСТАНДАРТ» Пикуса В.С., склали цей акт про проведення дослідження з виявлення пожежі в складському приміщенні з метою отримання залежності часу спрацювання пожежного сповіщувача від відстані вертикальної осі осередку пожежі, висоти розміщення пожежного сповіщувача від підлоги, швидкості вигорання матеріалу у разі пожежі.

Для проведення досліджень використовувались приміщення науково-випробувального центру, де було встановлено вогнище згідно методики проведення повнофакторного експерименту, 4 неадресні димові точкові пожежні сповіщувачі СПД-3, 4 адресні димові точкових пожежні сповіщувачі СПДОТА, забірний повітропровід аспіраційного димового пожежного сповіщувача, для прийняття та виведення сигналу про пожежу у приміщенні змонтовано прилади приймально-контрольні пожежні, Тірас 4П, Омега ПУП, Protec Pro Point Plus. Для виходу нагрітого повітря з приміщення використовувалось металеві ворота розміром 4,2×6,3м, а також система димовидалення.

Для проведення експериментальних досліджень проводився повнофакторний експеримент з метою встановлення емпіричних залежностей час спрацювання пожежного сповіщувача  $\tau_{сп}$ , с від відстані вертикальної осі осередку пожежі  $l$ , м, від висоти розміщення пожежного сповіщувача від підлоги  $h$ , м та швидкості

Таблиця 1

## Рівні зміни факторів

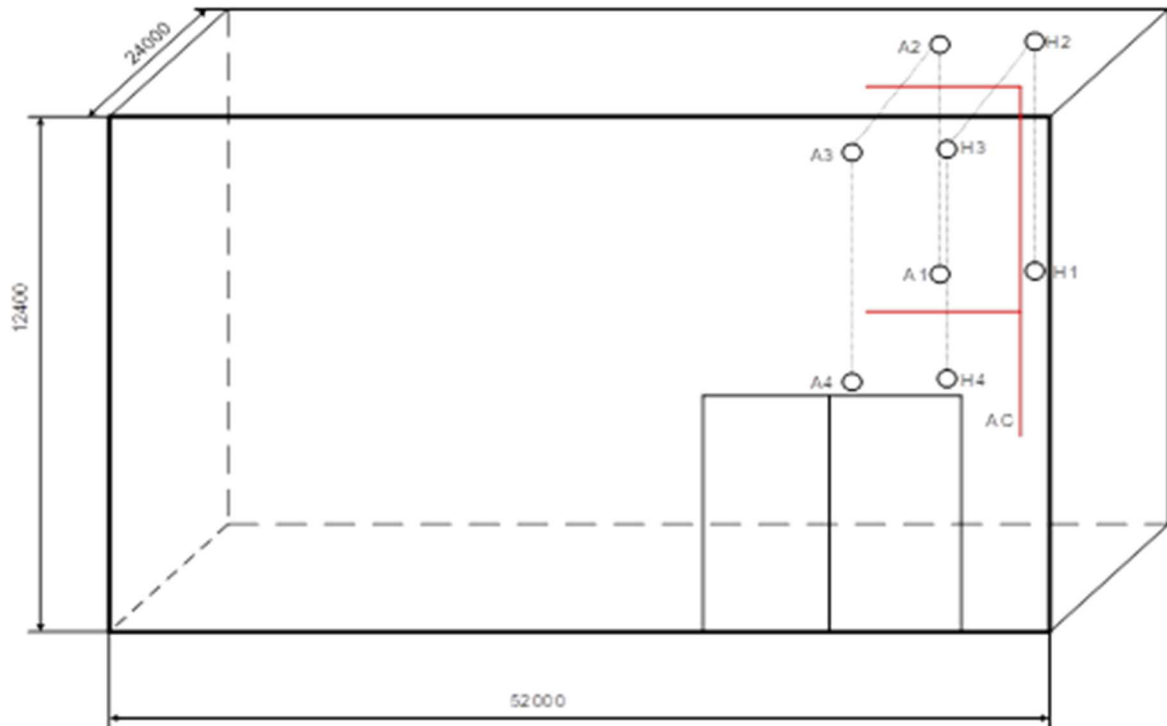
Рівні факторів	$l, \text{ м}$		$h, \text{ м}$		$\psi, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$	
	$\tilde{x}_1$	$\ln \tilde{x}_1$	$\tilde{x}_2$	$\ln \tilde{x}_2$	$\tilde{x}_3$	$\ln \tilde{x}_3$
Верхній(+)	10	2.30	12	2,48	0,015	-4,20
Нульовий(0)	5,5	1.7	7,5	2,01	0,013	-4,34
Нижній (-)	1	0	3	1,1	0,011	-4,51

Таблиця 2

## Матриця планування експериментів та отриманих результатів

Дослід	$(l)$ $x_1$		$(h)$ $x_2$		$(\psi)$ $x_3$	
	Код $x_1$	Значення	Код $x_2$	Значення	Код $x_3$	Значення
1	-1	1	-1	3	+1	0,015
2	+1	10	-1	3	+1	0,015
3	-1	1	+1	12	+1	0,015
4	+1	10	+1	12	+1	0,015
5	-1	1	-1	3	-1	0,011
6	+1	10	-1	3	-1	0,011
7	-1	1	+1	12	-1	0,011
8	+1	10	+1	12	-1	0,011

### Додаток 1. Розміщення сповіщувачів в приміщенні



Додаток 2. Фотографії приміщення, у якому проводяться досліді: а – розміщення пожежних сповіщувачів, б – приладів приймально-контрольних пожежних



а)



б)

Додаток 3. Проведення дослідів із різними видами горючого матеріалу:

а – деревини; б – гуми



а)



б)

Результати дослідження часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Дослідження часу спрацювання адресного димового пожежного сповіщувача

Дослід	(l) $x_1$		(h) $x_2$		$(\psi)$ $x_3$		Перший дослід $\tau_{сп, с}$	Другий дослід $\tau_{сп, с}$	Сер. значення $\tau_{сп. сер, с}$	$L_p$ $(\tau_{сп.сер})$
	Код $x_1$	Значення	Код $x_2$	Значення	Код $x_3$	Значення	Результат	Результат	Значення	Значення
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-1	1	-1	3	+1	0,015	31	32	31,5	3,45

Продовж. табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	+1	10	-1	3	+1	0,015	58	59	58,5	4,07
3	-1	1	+1	12	+1	0,015	18	19	18,5	2,92
4	+1	10	+1	12	+1	0,015	29	30	29,5	3,38
5	-1	1	-1	3	-1	0,011	44	43	43,5	3,77
6	+1	10	-1	3	-1	0,011	86	85	85,5	4,45
7	-1	1	+1	12	-1	0,011	27	26	26,5	3,28
8	+1	10	+1	12	-1	0,011	39	40	39,5	3,68

Результати дослідження часу спрацювання безадресного димового пожежного сповіщувача наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Дослідження часу спрацювання  
безадресного димового пожежного сповіщувача

Дослід	$(l)$ $x_1$		$(h)$ $x_2$		$(\psi)$ $x_3$		Перший дослід $\tau_{сп, с}$	Другий дослід $\tau_{сп, с}$	Сер. значення $\tau_{сп, с}$ сер, с	$L_n$ ( $\tau_{сп, с, ср}$ )
	Код $x_1$	Значення	Код $x_2$	Значення	Код $x_3$	Значення	Результат	Результат	Значення	Значення
1	-1	1	-1	3	+1	0,015	36	34	35	3,56
2	+1	10	-1	3	+1	0,015	66	65	65,5	4,18
3	-1	1	+1	12	+1	0,015	20	21	20,5	3,02
4	+1	10	+1	12	+1	0,015	51	50	50,5	3,92
5	-1	1	-1	3	-1	0,011	46	45	45,5	3,82
6	+1	10	-1	3	-1	0,011	91	89	90	4,50
7	-1	1	+1	12	-1	0,011	29	28	28,5	3,35
8	+1	10	+1	12	-1	0,011	64	61	62,5	4,14

Результати дослідження часу спрацювання аспіраційного димового пожежного сповіщувача наведені в таблиці 5.

Дослідження часу спрацювання  
аспіраційного димового пожежного сповіщувача

Дослід	$(l) x_1$		$(h) x_2$		$(\psi) x_3$		Перший дослід $\tau_{сп, с}$	Другий дослід $\tau_{сп, с}$	Сер. значення $\tau_{сп. сер, с}$	$L_n$ ( $\tau_{сп. сер}$ )
	Код $x_1$	Значення	Код $x_2$	Значення	Код $x_3$	Значення	Результат	Результат	Значення	Значення
1	-1	1	-1	3	+1	0,015	24	24	24	3,18
2	+1	10	-1	3	+1	0,015	50	49	49,5	3,90
3	-1	1	+1	12	+1	0,015	16	18	17	2,83
4	+1	10	+1	12	+1	0,015	26	28	27	3,30
5	-1	1	-1	3	-1	0,011	39	39	39	3,66
6	+1	10	-1	3	-1	0,011	70	68	69	4,23
7	-1	1	+1	12	-1	0,011	22	24	23	3,14
8	+1	10	+1	12	-1	0,011	58	59	58,5	4,07

Акт склали:

заступник начальника інституту  
з навчально-наукової роботи  
ННІ ПтаТБ ЛДЖБЖД  
к.т.н., доцент  
підполковник служби цивільного захисту

Іван ПАСНАК

Доктор технічних наук

Олександр КОВАЛЬ

ад'юнкт докторантури, ад'юнктури ЛДУ БЖД  
підполковник служби цивільного захисту

Володимир ШАРИЙ

начальник науково-дослідної лабораторії  
ТзОВ "Науково-випробувальний  
центр" "ЄВРОСТАНДАРТ"

Віктор ПИКУС



ДОДАТОК В  
ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

## Лістинг програми для забезпечення оптимальної кількості засобів протипожежного захисту складських приміщень

### sample.fxml:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<?import javafx.scene.text.*?>
<?import javafx.scene.control.*?>
<?import javafx.geometry.*?>
<?import javafx.scene.shape.*?>
<?import java.lang.*?>
<?import javafx.scene.layout.*?>
<?import javafx.geometry.Insets?>
<?import javafx.scene.layout.GridPane?>
<?import javafx.scene.control.Button?>
<?import javafx.scene.control.Label?>

<HBox maxHeight="-Infinity" maxWidth="-Infinity" minHeight="-Infinity"
minWidth="-Infinity" prefHeight="800.0" prefWidth="1330.0"
xmlns="http://javafx.com/javafx/8" xmlns:fx="http://javafx.com/fxml/1"
fx:controller="sample.Controller">
  <children>
    <AnchorPane maxWidth="600.0" prefHeight="600.0" prefWidth="500.0"
HBox.hgrow="ALWAYS">
      <children>
        <VBox layoutX="25.0" layoutY="37.0" prefHeight="200.0"
prefWidth="100.0" AnchorPane.bottomAnchor="250.0" AnchorPane.leftAnchor="30.0"
AnchorPane.rightAnchor="0.0" AnchorPane.topAnchor="50.0">
          <children>
            <HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
              <children>
                <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Ширина складу" HBox.hgrow="ALWAYS">
                  <HBox.margin>
                    <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                  </HBox.margin>
                  <font>
                    <Font size="18.0" />
                  </font>
                </Label>
                <TextField fx:id="txt_B" maxWidth="70.0" minWidth="70.0"
prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
                  <HBox.margin>
                    <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                  </HBox.margin>
                </TextField>
                <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="м" HBox.hgrow="ALWAYS">
                  <HBox.margin>
                    <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                  </HBox.margin>
                </Label>
              </children>
            </HBox>
            <HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
              <children>

```

```

        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Довжина складу" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
        <font>
            <Font size="18.0" />
        </font>
    </Label>
    <TextField fx:id="txt_A" maxWidth="70.0" minWidth="70.0"
prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </TextField>
    <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="м" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </Label>
</children>
</HBox>
<HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Ширина адміністративного приміщення"
HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_B_admin" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </TextField>
        <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="м" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </Label>
    </children>
</HBox>
<HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Довжина адміністративного приміщення"
HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </Label>
    </children>
</HBox>

```

```

        <font>
            <Font size="18.0" />
        </font>
    </Label>
    <TextField fx:id="txt_A_admin" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </TextField>
    <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="М" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </Label>
</children>
</HBox>
<HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Кількість поверхів адміністративного
приміщення" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </Label>
        <font>
            <Font size="18.0" />
        </font>
    </Label>
    <TextField fx:id="txt_kilk" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </TextField>
    <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="од." HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </Label>
</children>
</HBox>
<HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Площа складу" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </Label>
        <font>
            <Font size="18.0" />
        </font>
    </Label>
    <TextField fx:id="txt_square" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
        <HBox.margin>

```

```

                                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                </HBox.margin>
                                </TextField>
                                <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="м.кв" HBox.hgrow="ALWAYS">
                                <HBox.margin>
                                    <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                </HBox.margin>
                                </Label>
                            </children>
                        </HBox>
                    <HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
                        <children>
                            <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Загальна площа адміністративних
приміщень" HBox.hgrow="ALWAYS">
                                <HBox.margin>
                                    <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                </HBox.margin>
                                <font>
                                    <Font size="18.0" />
                                </font>
                                </Label>
                                <TextField fx:id="txt_S_zagal" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
                                    <HBox.margin>
                                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                    </HBox.margin>
                                    </TextField>
                                    <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="м.кв" HBox.hgrow="ALWAYS">
                                        <HBox.margin>
                                            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                        </HBox.margin>
                                        </Label>
                                    </children>
                                </HBox>
                            <HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
                                <children>
                                    <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Кількість приймально-контрольних
пристроїв" HBox.hgrow="ALWAYS">
                                        <HBox.margin>
                                            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                        </HBox.margin>
                                        <font>
                                            <Font size="18.0" />
                                        </font>
                                        </Label>
                                        <TextField fx:id="txt_Npkp" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
                                            <HBox.margin>
                                                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                                            </HBox.margin>
                                            </TextField>
                                            <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="од." HBox.hgrow="ALWAYS">
                                                </Label>
                                            </children>
                                        </HBox>
                                    </children>
                                </HBox>
                            </children>
                        </HBox>
                    </children>
                </HBox>
            </children>
        </HBox>
    </children>
</HBox>

```

```

        <HBox.margin>
            <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
        </HBox.margin>
    </Label>
</children>
</HBox>
<HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Кількість евакуаційних виходів з
складу" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_Kilk_Evak_Vyh" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </TextField>
        <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="од." HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </Label>
    </children>
</HBox>
<HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Загальна кількість працівників"
HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_Zag_kilk_prac" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </TextField>
        <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="осіб" HBox.hgrow="ALWAYS">
            <HBox.margin>
                <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
            </HBox.margin>
        </Label>
    </children>
</HBox>

```

```

        </HBox>
        <HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
            <children>
                <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Середня вартість 1м.кв. площі об'єкта"
HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <HBox.margin>
                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                    </HBox.margin>
                    <font>
                        <Font size="18.0" />
                    </font>
                </Label>
                <TextField fx:id="txt_C0" maxWidth="70.0" minWidth="70.0"
prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <HBox.margin>
                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                    </HBox.margin>
                </TextField>
                <Label maxWidth="72.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="72.0" text="грн/м.кв." HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <HBox.margin>
                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                    </HBox.margin>
                </Label>
            </children>
        </HBox>
        <HBox prefHeight="30.0" prefWidth="200.0" VBox.vgrow="ALWAYS">
            <children>
                <Label maxWidth="400.0" minWidth="420.0"
prefHeight="31.0" prefWidth="334.0" text="Середня вартість однієї хвилини роботи
ППП" HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <HBox.margin>
                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                    </HBox.margin>
                    <font>
                        <Font size="18.0" />
                    </font>
                </Label>
                <TextField fx:id="txt_Cn" maxWidth="70.0" minWidth="70.0"
prefWidth="70.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <HBox.margin>
                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                    </HBox.margin>
                </TextField>
                <Label maxWidth="50.0" minWidth="50.0" prefHeight="31.0"
prefWidth="69.0" text="грн/хв" HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <HBox.margin>
                        <Insets bottom="5.0" left="5.0" right="5.0"
top="5.0" />
                    </HBox.margin>
                </Label>
            </children>
        </HBox>
    </children>
</VBox>
<AnchorPane layoutX="30.0" layoutY="550.0" prefHeight="200.0"
prefWidth="590.0" AnchorPane.bottomAnchor="10.0" AnchorPane.leftAnchor="30.0"
AnchorPane.rightAnchor="0.0">

```

```

        <children>
            <VBox layoutX="101.0" layoutY="8.0" prefHeight="200.0"
prefWidth="100.0" AnchorPane.bottomAnchor="0.0" AnchorPane.leftAnchor="0.0"
AnchorPane.rightAnchor="0.0" AnchorPane.topAnchor="0.0">
                <children>
                    <HBox prefHeight="45.0" prefWidth="590.0"
VBox.vgrow="ALWAYS">
                        <children>
                            <Label minWidth="140.0" text="Значення a1">
                                <font>
                                    <Font size="18.0" />
                                </font>
                            </Label>
                            <TextField fx:id="txt_a_1" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
                            <Label minWidth="140.0" text="Значення b1">
                                <HBox.margin>
                                    <Insets left="50.0" />
                                </HBox.margin>
                                <font>
                                    <Font size="18.0" />
                                </font>
                            </Label>
                            <TextField fx:id="txt_b_1" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
                        </children>
                    </HBox>
                    <HBox prefHeight="45.0" prefWidth="590.0"
VBox.vgrow="ALWAYS">
                        <children>
                            <Label minWidth="140.0" text="Значення a2">
                                <font>
                                    <Font size="18.0" />
                                </font>
                            </Label>
                            <TextField fx:id="txt_a_2" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
                            <Label minWidth="140.0" text="Значення b2">
                                <HBox.margin>
                                    <Insets left="50.0" />
                                </HBox.margin>
                                <font>
                                    <Font size="18.0" />
                                </font>
                            </Label>
                            <TextField fx:id="txt_b_2" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
                        </children>
                    </HBox>
                    <HBox prefHeight="45.0" prefWidth="590.0"
VBox.vgrow="ALWAYS">
                        <children>
                            <Label minWidth="140.0" text="Значення a3">
                                <font>
                                    <Font size="18.0" />
                                </font>
                            </Label>
                            <TextField fx:id="txt_a_3" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
                            <Label minWidth="140.0" text="Значення b3">
                                <HBox.margin>
                                    <Insets left="50.0" />
                                </HBox.margin>
                                <font>

```



```

        <Font size="18.0" />
        </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_b_3" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
    </children>
</HBox>
<HBox prefHeight="45.0" prefWidth="590.0"
VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label minWidth="140.0" text="Значення a4">
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_a_4" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
        <Label minWidth="140.0" text="Значення b4">
            <HBox.margin>
                <Insets left="50.0" />
            </HBox.margin>
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_b_4" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
    </children>
</HBox>
<HBox prefHeight="45.0" prefWidth="590.0"
VBox.vgrow="ALWAYS">
    <children>
        <Label minWidth="140.0" text="Значення a5">
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_a_5" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
        <Label minWidth="140.0" text="Значення b5">
            <HBox.margin>
                <Insets left="50.0" />
            </HBox.margin>
            <font>
                <Font size="18.0" />
            </font>
        </Label>
        <TextField fx:id="txt_b_5" maxWidth="70.0"
minWidth="70.0" />
    </children>
</HBox>
</children>
</VBox>
</children>
</AnchorPane>
    <Label alignment="CENTER" layoutX="-6.0" layoutY="29.0"
prefHeight="21.0" prefWidth="626.0" text="Вхідні дані:" textAlignment="CENTER"
AnchorPane.topAnchor="20.0">
        <font>
            <Font name="System Bold Italic" size="18.0" />
        </font>
    </Label>
</children>
</AnchorPane>

```

```

    <AnchorPane maxWidth="700.0" minWidth="700.0" prefHeight="200.0"
prefWidth="600.0" HBox.hgrow="ALWAYS">
    <children>
        <HBox layoutX="20.0" layoutY="63.0" prefHeight="100.0"
prefWidth="200.0" AnchorPane.bottomAnchor="250.0" AnchorPane.leftAnchor="10.0"
AnchorPane.rightAnchor="30.0" AnchorPane.topAnchor="50.0">
            <children>
                <AnchorPane prefHeight="500.0" prefWidth="105.0"
HBox.hgrow="ALWAYS">
                    <children>
                        <VBox prefHeight="500.0" prefWidth="177.0"
AnchorPane.bottomAnchor="0.0" AnchorPane.leftAnchor="0.0"
AnchorPane.topAnchor="0.0">
                            <children>
                                <Button mnemonicParsing="false"
onAction="#calculate" prefHeight="66.0" prefWidth="165.0" text="Розрахунок">
                                    <VBox.margin>
                                        <Insets top="30.0" />
                                    </VBox.margin>
                                    <font>
                                        <Font size="18.0" />
                                    </font>
                                </Button>
                                <Button mnemonicParsing="false" onAction="#clear"
prefHeight="66.0" prefWidth="165.0" text="Очистити">
                                    <VBox.margin>
                                        <Insets top="15.0" />
                                    </VBox.margin>
                                    <font>
                                        <Font size="18.0" />
                                    </font>
                                </Button>
                                <Button mnemonicParsing="false" onAction="#example"
prefHeight="66.0" prefWidth="165.0" text="Дані з прикладу" textAlignment="CENTER"
wrapText="true">
                                    <VBox.margin>
                                        <Insets top="15.0" />
                                    </VBox.margin>
                                    <font>
                                        <Font size="18.0" />
                                    </font>
                                </Button>
                            </children>
                        </VBox>
                    <AnchorPane layoutX="262.0" layoutY="56.0"
prefHeight="500.0" prefWidth="435.0" AnchorPane.bottomAnchor="0.0"
AnchorPane.rightAnchor="0.0" AnchorPane.topAnchor="0.0">
                        <children>
                            <TextArea fx:id="txtArea_VyhDani" layoutX="-39.0"
layoutY="59.0" prefHeight="500.0" prefWidth="475.0" AnchorPane.bottomAnchor="0.0"
AnchorPane.leftAnchor="-39.0" AnchorPane.rightAnchor="0.0"
AnchorPane.topAnchor="0.0" />
                        </children>
                    </AnchorPane>
                </children>
            </AnchorPane>
        </children>
    </HBox>
    <Label alignment="CENTER" layoutX="102.0" layoutY="18.0"
prefHeight="21.0" prefWidth="626.0" text="Вихідні дані:" textAlignment="CENTER">
        <font>
            <Font name="System Bold Italic" size="18.0" />
        </font>
    </Label>

```

```

        </children>
    </AnchorPane>
</children>
</HBox>

```

### Main1.java:

```

package sample;

import javafx.application.Application;
import javafx.fxml.FXMLLoader;
import javafx.scene.Scene;
import javafx.stage.Stage;

public class Main1 extends Application {

    @Override
    public void start(Stage primaryStage) throws Exception{
        FXMLLoader fxmlLoader = new
FXMLLoader(Controller.class.getResource("sample.fxml"));
        primaryStage.setTitle("Визначення оптимальної кількості засобів
протипожежного захисту складських приміщень");
        primaryStage.setScene(new Scene(fxmlLoader.load(), 1330, 800));
        primaryStage.setResizable(false);
        primaryStage.show();
    }

    public static void main(String[] args) {

        launch(args);
    }
}

```

### Controller.java:

```

package sample;

import javafx.event.ActionEvent;
import javafx.fxml.FXML;
import javafx.scene.control.TextArea;
import javafx.scene.control.TextField;

public class Controller {

    @FXML
    private TextField txt_b_3;

    @FXML
    private TextField txt_a_4;

    @FXML
    private TextField txt_b_2;

    @FXML
    private TextField txt_a_3;

    @FXML
    private TextField txt_b_1;

    @FXML
    private TextField txt_a_2;
}

```

```
@FXML
private TextField txt_a_1;

@FXML
private TextField txt_A;

@FXML
private TextField txt_B;

@FXML
private TextField txt_Zag_kilk_prac;

@FXML
private TextField txt_b_5;

@FXML
private TextField txt_b_4;

@FXML
private TextField txt_a_5;

@FXML
private TextField txt_Npkp;

@FXML
private TextField txt_square;

@FXML
private TextField txt_A_admin;

@FXML
private TextField txt_S_zagal;

@FXML
private TextField txt_Cn;

@FXML
private TextField txt_B_admin;

@FXML
private TextField txt_kilk;

@FXML
private TextField txt_Kilk_Evak_Vyh;

@FXML
private TextField txt_C0;

@FXML
private TextArea txtArea_VyhDani;

double A = 0.0D;

double B = 0.0D;

double square = 0.0D;

double a_1 = 0.0D;

double a_2 = 0.0D;

double a_3 = 0.0D;

double a_4 = 0.0D;
```

```
double a_5 = 0.0D;

double Vt = 0.0D;

double L = 0.0D;

double V1 = 0.0D;

double Nv = 0.0D;

double Npkp = 0.0D;

double C0 = 0.0D;

double Cn = 0.0D;

double Ai1;

double Ai2;

double i_s_p_z;

double s_p_i;

double s_p_g;

double t_g_i;

double Ni = 0.0D;

double Ki = 0.0D;

double Pi;

double random_one() {
    return Math.random();
}

double random_two() {
    return Math.random();
}

double random_three() {
    return Math.random();
}

double random_four() {
    return Math.random();
}

double random_five() {
    return Math.random();
}

double random_six() {
    return Math.random();
}

double method_b_1() {
    return (int)Math.round((this.A * this.B + this.square) / 49.0D);
}

double method_b_2() {
```

```

        return Math.round((this.A * this.B + this.square) / 72.0D);
    }

    double method_b_3() {
        return Math.round(this.A * this.B / 900.0D + 0.1D);
    }

    double method_b_4() {
        return Math.round(this.A * this.B / 1600.0D);
    }

    double method_b_5() {
        return Math.round(2.0D * (this.A + this.B) / 1.5D * Math.sqrt(2.0D *
(this.A + this.B)) + 0.5D);
    }

    double method_n_p_s_i() {
        return this.a_1 + random_one() * (method_b_1() - this.a_1);
    }

    double method_n_p_o_i() {
        return this.a_2 + random_two() * (method_b_2() - this.a_2);
    }

    double method_n_p_z_i() {
        return this.a_3 + random_three() * (method_b_3() - this.a_3);
    }

    double method_n_s_z_i() {
        return this.a_4 + random_four() * (method_b_4() - this.a_4);
    }

    double method_n_e_d_i() {
        return this.a_5 + random_five() * (method_b_5() - this.a_5);
    }

    double method_t_v_g_i() {
        return 60.0D * this.L / this.Vt + 8.0D + random_six() * (28.0D - 60.0D *
this.L / this.Vt + 8.0D);
    }

    double method_s_p_i() {
        if (method_t_v_g_i() > 10.0D)
            return Math.PI * Math.pow(0.5D * this.Vl * method_t_v_g_i() + this.Vl
* (method_t_v_g_i() - 10.0D), 2.0D);
        return Math.PI * Math.pow(0.5D * this.Vl * method_t_v_g_i(), 2.0D);
    }

    double method_s_p_g() {
        return 74.0D * this.Nv;
    }

    double method_t_g_i() {
        return method_s_p_i() / method_s_p_g() * 6.39D * Math.pow(method_s_p_g(),
0.893D) / 2.0D * this.Nv;
    }

    double method_i_s_p_z() {
        double i_s_p_z_2 = 1.0D - this.Npkp / 2.0D * (1.0D - method_n_p_s_i() /
method_b_1()) * (1.0D - method_n_p_o_i() / method_b_2()) * (1.0D -
method_n_p_z_i() / method_b_3()) * (1.0D - method_n_s_z_i() / method_b_4()) *
(1.0D - method_n_e_d_i() / method_b_5());
        this.i_s_p_z = i_s_p_z_2 - 1.0D;
        return i_s_p_z_2;
    }

```

```

}

void start_1() {
    method_i_s_p_z();
    if (this.i_s_p_z > 1.0005D) {
        while (this.i_s_p_z >= 1.0005D) {
            this.s_p_i = method_s_p_i();
            this.s_p_g = method_s_p_g();
            this.t_g_i = method_t_g_i();
            this.Ni++;
            method_i_s_p_z();
        }
        this.Ai1 = this.C0 * this.s_p_i + this.Cn * this.t_g_i;
    } else {
        this.s_p_i = method_s_p_i();
        this.s_p_g = method_s_p_g();
        this.t_g_i = method_t_g_i();
        this.Ai1 = this.C0 * this.s_p_i + this.Cn * this.t_g_i;
        this.Ni++;
    }
}

void start_2() {
    if (this.Ni <= 1.0D) {
        this.Ai2 = this.Ai1;
        start_1();
    }
}

void start_3() {
    if (this.Ai1 < this.Ai2) {
        this.Ai2 = this.Ai1;
    } else {
        this.Ki++;
        this.Pi = this.Ki / this.Ni;
    }
}

public void calk() {
    this.A = Double.parseDouble(this.txt_A.getText());
    this.B = Double.parseDouble(this.txt_B.getText());
    this.square = Double.parseDouble(this.txt_S_zagal.getText());
    this.a_1 = Double.parseDouble(this.txt_a_1.getText());
    this.a_2 = Double.parseDouble(this.txt_a_2.getText());
    this.a_3 = Double.parseDouble(this.txt_a_3.getText());
    this.a_4 = Double.parseDouble(this.txt_a_4.getText());
    this.a_5 = Double.parseDouble(this.txt_a_5.getText());
    this.Vt = 40.0D;
    this.L = 3.0D;
    this.Vl = 0.8D;
    this.Nv = 6.0D;
    this.Npkp = Double.parseDouble(this.txt_Npkp.getText());
    this.C0 = Double.parseDouble(this.txt_C0.getText());
    this.Cn = Double.parseDouble(this.txt_Cn.getText());
    this.txt_b_1.setText(String.valueOf((int)method_b_1()));
    this.txt_b_2.setText(String.valueOf((int)method_b_2()));
    this.txt_b_3.setText(String.valueOf((int)method_b_3()));
    this.txt_b_4.setText(String.valueOf((int)method_b_4()));
    this.txt_b_5.setText(String.valueOf((int)method_b_5()));

    calkResults();
}

public void calkResults(){

```

```

start_1();
start_2();
start_3();
this.txtArea_VyhDani.setText("Ймовірність відмови роботи протипожежної
системи " + String.format("%.6f", new Object[]
{Math.abs(Double.valueOf(this.i_s_p_z)) }) +
"\n\n Кількість пожежних сповіщувачів " + (int)method_n_p_s_i() +
"\n\nКількість пожежних оповіщувачів " + (int)method_n_p_o_i() +
"\n\nКількість протидимних пристроїв " + (int)method_n_p_z_i() +
"\n\nКількість евакуаційних виходів " + (int)method_n_e_d_i() +
"\n\nПлоща пожежі, м.кв. " + String.format("%.0f", new Object[] {
Double.valueOf(this.s_p_i) }) +
"\n\nТривалість гасіння пожежі, хв " + String.format("%.0f", new
Object[] { Double.valueOf(this.t_g_i) }) +
"\n\nЗбитки внаслідок пожежі, грн " + String.format("%.0f", new
Object[] { Double.valueOf(this.Ai2) }));
}

@FXML
void calculate(ActionEvent event) {
    calk();
    //calkResults();
}

@FXML
void clear(ActionEvent event) {
    this.txt_A.setText(null);
    this.txt_B.setText(null);
    this.txt_b_3.setText(null);
    this.txt_a_4.setText(null);
    this.txt_b_2.setText(null);
    this.txt_a_3.setText(null);
    this.txt_b_1.setText(null);
    this.txt_a_2.setText(null);
    this.txt_a_1.setText(null);
    this.txt_A.setText(null);
    this.txt_B.setText(null);
    this.txt_Zag_kilk_prac.setText(null);
    this.txt_b_5.setText(null);
    this.txt_b_4.setText(null);
    this.txt_a_5.setText(null);
    this.txt_Npkp.setText(null);
    this.txt_square.setText(null);
    this.txt_A_admin.setText(null);
    this.txt_S_zagal.setText(null);
    this.txt_Cn.setText(null);
    this.txt_B_admin.setText(null);
    this.txt_kilk.setText(null);
    this.txt_Kilk_Evak_Vyh.setText(null);
    this.txt_C0.setText(null);
    this.txtArea_VyhDani.setText(null);
}

@FXML
void example(ActionEvent event) {
    this.txt_A.setText("162");
    this.txt_B.setText("36");
    this.txt_a_4.setText("0");
    this.txt_a_3.setText("0");
    this.txt_a_2.setText("0");
    this.txt_a_1.setText("194");
    this.txt_Zag_kilk_prac.setText("142");
    this.txt_a_5.setText("2");
    this.txt_Npkp.setText("1");
}

```



```
        this.txt_square.setText("5832");
        this.txt_A_admin.setText("18");
        this.txt_S_zagal.setText("1166");
        this.txt_Cn.setText("70");
        this.txt_B_admin.setText("36");
        this.txt_kilk.setText("2");
        this.txt_Kilk_Evak_Vyh.setText("2");
        this.txt_C0.setText("2100");
        calk();
    }
}
```

ДОДАТОК Г  
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. 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.
2. 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.
3. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2019). Вплив протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*, 35, 23-29.
4. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Гарантування пожежної безпеки на відкритих складах виробничих об'єктів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 4, 39-46.
5. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*, 37, 44-51.

#### Статті у наукових журналах, що входять до бази даних Scopus:

6. Hulida, E., Pasnak, I., Renkas, A., & Sharyu, V. (2020). Engineering method for determining rational fire protection parameters of warehouses. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10(104)), 38-45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201819>
7. Sharyu, V., Pasnak, I., & Renkas, A. (2022). Optimizing the process of fire detection in warehouses considering the type and location of fire detectors. *Eastern-*

**Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

8. Гуліда, Е.М., Коваль, О. М., Шарий, В. В. (2019). Ліквідація пожеж на складах об'єктів господарювання. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (11-12 квітня 2019 р., м. Черкаси)*, 14-15.

9. Шарий, В. В., Гуліда, Е.М. (2020). Вплив застосування протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих виробничо-складських об'єктах. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (26-27 березня 2020 р., м. Львів)*, 89-90.

10. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Забезпечення оптимальної кількості протипожежних засобів в закритих приміщеннях складів виробничих об'єктів з використанням інформаційних технологій. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали X Всеукраїнської наук.-практ. конф. з міжнародною участю, (29-30 жовтня 2020 р., м. Черкаси)*, 22-23.

11. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. (2020). Забезпечення пожежної безпеки на відкритих складах виробничих об'єктів. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті: зб. тез доп. VIII Міжнар. наук.-практ. конф (19-20 листопада 2020 р., м. Дніпро)*, 27-29.

12. Шарий, В. В., Гуліда, Е.М. (2021). Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. пр. XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (25-26 березня 2021 р., м. Львів)*, 140-142.

### **Апробація результатів роботи**

Основні положення роботи викладено та обговорено на наукових семінарах кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, науково-технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на науково-практичних конференціях різного рівня:

- X Міжнародна науково-практична конференція “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій” (м. Черкаси, 11-12 квітня 2019 р., форма участі – публікація тез);

- XV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності” (м. Львів, 26-27 березня 2020 р., форма участі – усна доповідь);

- X Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю “Надзвичайні ситуації: безпека та захист” (м. Черкаси, 29-30 жовтня 2020 р., форма участі – публікація тез);

- VIII Міжнародна науково-практична конференція “Безпека життєдіяльності в XXI столітті” (м. Дніпро, 19-20 листопада 2020 р., форма участі – публікація тез);

- XVI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності” (м. Львів, 25-26 березня 2021 р., форма участі – усна доповідь).