

ЧЕРКАСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ІМЕНІ ГЕРОЇВ
ЧОРНОБИЛЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦІВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БОРИСОВА АННА СЕРГІЇВНА

УДК 614.841.123.24

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ
ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖИ НА СУСІДНІ ОБ'ЄКТИ З
УРАХУВАННЯМ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ

21.06.02 – пожежна безпека

(261 – пожежна безпека)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
(доктора філософії)

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

А. С. БОРИСОВА

*Трилінійна дисертація
є ідентифікована за вмістом*
Учений секретар
к.т.н.



Науковий керівник: **НІЖНИК Вадим Васильович**
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

Львів – 2021

АНОТАЦІЯ

Борисова А.С. Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу.
– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека» (261 – Пожежна безпека). – Черкаський інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України; Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України, Львів, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі у сфері пожежної безпеки – розкриття закономірностей зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва залежно від швидкості та напрямку вітру, як наукового підґрунтя удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва.

Наукова новизна роботи полягає у розкритті закономірності зміни параметрів теплообміну між сусідніми (суміжними) будівлями під час пожежі залежно від впливу потоку повітря, а також від дистанції між цими будівлями. При цьому уперше встановлено, що:

- залежність зміни густини теплового потоку від швидкості вітру у разі, коли він спрямований під кутом 90° по відношенню до напрямку поширювання пожежі на будівлю, є прямо пропорційною та описується виразом типу $q = 9,88_0 + 3,36v_0$;

- залежність поширювання пожежі на сусідні будівлі від швидкості вітру, коли будівля, що опромінюється факелом пожежі розташовується із навітряної сторони відносно пожежі, можна описати у вигляді лінійної регресії, яка має вигляд

$$l = 1,35 + 0,0006Q - 0,36v + 0,04t + 0,00004Qv + 0,000002Qt + 0,004vt - 2,88Qvt$$

- швидкість вітру під час оцінювання поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва може бути врахована введенням поправочного коефіцієнту $\alpha=1,2$.

Набули подальшого розвитку експериментальні та розрахункові методи визначення параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням швидкості та напрямку вітру.

Удосконалено:

1. Довідково-інформаційну базу щодо визначення критичної поверхневої густини теплового потоку залежно від швидкості вітру.
2. Розрахунковий метод прогнозування умов поширювання пожежі на сусідні будівлі із урахуванням швидкості та напрямку вітру.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної тематики дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, визначено мету та задачі дослідження. Сформульовано ідею роботи, об'єкт, предмет досліджень, наукову новизну та практичну значущість одержаних результатів, дані щодо апробації, а також публікації її результатів.

У **першому розділі** проаналізовано та узагальнено теоретичні та практичні напрацювання щодо сучасного стану методів оцінювання поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу. Зазначено, що у роботах науковців, що досліджували подібне питання, неповною мірою досліджені питання впливу умов навколишнього середовища, зокрема вітру, на значення поверхневої густини теплового потоку та температури на поверхні сусідніх об'єктів по відношенню до вогнища пожежі, а результати досліджень різними вченими мають неузгоджені дані. Також недостатньо дослідженими є питання зміни поширювання пожежі залежно від напрямку та швидкості вітру по відношенню до осередку горіння та об'єкта будівництва, що опромінюється теплом від факелу пожежі.

У **другому розділі** зазначено та обґрунтовано параметри, що в процесі пожежі можуть найбільше вплинути на сусідні будівлі та спричинити їх подальше займання. На основі вже проведених досліджень як параметри, що найбільше впливають на теплові процеси, обрано тривалість опромінювання та теплоутворювальну здатність пожежної навантаги. Ці параметри доповнено параметрами вітрового впливу. Визначено, що середня швидкість вітру на території України улітку варіює в діапазоні від 3 м/с до 6 м/с, в зимовий період цей показник дещо вищий від 6 м/с до 9 м/с на більшій частині узбережжя. Тому для подальших досліджень було прийнято рішення приймати діапазон вітрового впливу від 0 до 10 м/с.

Проведено вибір теоретичних та розрахункових методів для вирішення поставленого питання.

У **третьому розділі** наведено методикку експериментальних досліджень закономірностей зміни теплового впливу пожежі на сусідні будівлі залежно від сили та напрямку вітру.

Методикою запропоновано розглянути два варіанти можливих сценаріїв впливу вітру на процес теплообміну, а саме:

- зразок, що опромінюється факелом пожежі, розташовується із навітряного боку по відношенню до пожежі;
- вітровий вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на зразок.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень закономірності зміни поширювання горіння на дослідний зразок залежно від сили та напрямку вітру.

За результатами проведення трьох експериментів отримані дані щодо зміни тривалості досягнення температури займання дослідного зразка від величини густини теплового потоку для різних швидкостей вітру та побудовані відповідні графіки. Всі результати оцінені за абсолютними, відносними та середньоквадратичними відхиленнями, а також критеріями Граббса та Фішера. Отримані результати свідчать, що абсолютні відхилення

експериментальних даних кожного експерименту від усереднених значень не перевищують 2,2 с, що у відсоткових значеннях становить 4,1%, а максимальне середньоквадратичне відхилення дорівнює 2,1, с що свідчить про задовільну збіжність отриманих експериментальних даних.

Отримані результати дають змогу дійти до висновку, що зміна густини теплового потоку від швидкості вітру у разі, коли його вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на сусідню будівлю, є прямо пропорційною та у разі збільшення швидкості вітру потребує збільшення густини теплового потоку для досягнення передумов поширювання пожежі, тобто за таких умов напрямку впливу вітру його силу, можна не враховувати під час прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти. Для сценарію, коли дослідний зразок знаходився з навітряного боку від впливу джерела випромінювання, критичне значення поверхневої густини теплового потоку, яке необхідне для займання дослідного зразка, дорівнювало 8 кВт/м^2 тобто за таких умов відбувалося нагнітання теплоти, що потребує врахування під час прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти.

У п'ятому розділі з метою дослідження значення впливу вітру на процес теплового опромінювання сусіднього об'єкта від факелу пожежі в реальних умовах, коли об'єкт, що опромінюється факелом пожежі, розташовується із навітряного боку по відношенню до пожежі, проведено математичне моделювання процесу поширювання пожежі на сусідні об'єкти за моделлю, яка на цей час вже розроблена та перевірена, при цьому цю модель доповнено умовами вітрового впливу. На основі даних, отриманих під час моделювання, розроблено таблицю розподілу температур залежно від відстані до джерела випромінювання та швидкості вітру. Отримані результати моделювання та дані графічних зображень підтверджують отримані дані експериментальних досліджень щодо наявності впливу вітру на процеси теплового опромінювання сусіднього об'єкта від факелу пожежі у випадку, коли об'єкт розташований з навітряного боку від джерела теплового випромінювання (пожежі). Такий вплив описано відповідним коефіцієнтом

вітрового впливу, для визначення якого проведено повний факторний експеримент.

За результатами проведених розрахунків розроблено таблицю даних для подальших розрахунків впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітрового впливу. Отримання коефіцієнта теплового впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітру можливо як співвідношення отриманих даних до даних визначених без вітрового впливу.

Таким чином, на основі виявлених закономірностей встановлено вплив пожежі на сусідні будівлі із урахуванням вітру, що описано у вигляді коефіцієнту, який враховує вплив вітру, значення якого становить $\alpha=1,2$, а також складено таблиці, які дають змогу врахувати швидкість вітру під час реалізації спрощеного табличного методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні будівлі. За результатами проведених досліджень розроблено пропозиції щодо удосконалення нормативної бази в частині вимог та розрахункового методу прогнозування теплового впливу пожежі на сусідні будівлі із урахуванням вітру, а саме внесення змін до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення».

Ключові слова: сусідній об'єкт будівництва, густина теплового потоку, критична поверхнева густина теплового потоку, поширювання пожежі, температура, тепловий вплив, теплопередача, навантага, математична модель, тепловий потік, поправочний коефіцієнт.

ABSTRACT

Borysova A.S. Improving the calculation method for forecasting the spread of fire to neighboring objects, taking into account the impact of wind – A qualification scientific paper exercised as typescript.

A dissertation for the competition of the scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) (Philosophy Doctor) by specialty of 21.06.02 “Fire safety” (261 – Fire safety) prepared at the Cherkasy Institute of Fire Safety named after

Chornobyl Heroes of National University of Civil Defense of Ukraine; Lviv State University of Life Safety of State Emergency Service of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to solving the current scientific and technical problem in the field of fire safety - revealing the patterns of change of fire propagation parameters to neighboring construction sites depending on wind speed and direction, as a scientific basis for improving the calculation method of fire propagation forecasting to neighboring sites.

The scientific novelty of the work is to reveal the pattern of changes in the parameters of heat transfer between neighboring (adjacent) buildings during a fire depending on the impact of air flow, as well as the distance between these buildings.

It was first established that:

- the dependence of the change in heat flux density on the wind speed when it is directed at an angle of 90° relative to the direction of fire spread to the building, is directly proportional and is described by an expression of the type

$$q = 9,88_0 + 3,36v_w;$$

- the dependence of the spread of fire on neighboring buildings on the wind speed, when the building, irradiated by the fire torch, is located on the windward side relative to the fire, can be described as a linear regression, which has the form

$$l = 1,35 + 0,0006Q - 0,36v + 0,04t + 0,00004Qv + 0,000002Qt + 0,004vt - 2,88Qvt$$

- wind speed when estimating the spread of fire to neighboring construction sites can be taken into account by introducing a correction factor $\alpha = 1.2$.

Experimental and computational methods for determining the parameters of fire spread to neighboring objects, taking into account wind speed and direction, have been further developed. The reference base for determining the critical surface heat flux density depending on the wind speed and the calculation method for forecasting the conditions of fire spread to neighboring buildings taking into account the wind speed and direction have been improved.

Improved:

1. Reference and information base for determining the critical surface heat flux density depending on the wind speed.

2. Calculation method for forecasting the conditions of fire spread to neighboring objects, taking into account the speed and direction of the wind.

The introduction substantiates the relevance of the chosen topic of the dissertation, its connection with scientific programs, defines the purpose and objectives of the study. The idea of the work, object, subject of research, scientific novelty and practical significance of the obtained results, data on approbation, as well as publication of its results are formulated.

The first section analyzes and summarizes the theoretical and practical developments on the current state of thermal impact of fire on neighboring objects, taking into account the wind. It is noted that in the works of scientists who studied this issue are not fully investigated the impact of environmental conditions, including wind, on the value of surface heat flux density and surface temperature of neighboring objects in relation to the fire, and the results of studies by various scientists have inconsistent data. Also insufficiently studied are the issues of changing the spread of fire depending on the direction and speed of the wind in relation to the combustion center and the object irradiated with heat from the fire torch.

The second section indicates and substantiates the parameters that in the process of fire can have the greatest impact on neighboring objects and cause their further ignition. Based on the research already conducted, the duration of irradiation and the heat-generating capacity of the fire load were chosen as the parameters that most influence the thermal processes. These parameters are supplemented by wind parameters. It is determined that the average wind speed on the territory of Ukraine in summer varies in the range from 3 m / s to 6 m / s, in winter this indicator is slightly higher from 6 m / s to 9 m / s on most of the coast. Therefore, for further research, it was decided to take the range of wind exposure from 0 to 10m / s. The choice of theoretical and computational methods for solving the question is made.

In the third section the technique of experimental researches of regularities of change of thermal influence of fire on the neighboring objects depending on force and a wind direction is resulted.

The method proposes to consider two options for possible scenarios of wind impact on the heat transfer process, namely:

- the objects irradiated with a fire torch is located on the windward side in relation to the fire;
- wind influence occurs at an angle of 90° in relation to the thermal influence of fire on the objects.

The fourth section presents the results of experimental studies of the regularity of changes in the spread of fire on a prototype depending on the strength and direction of the wind.

According to the results of three experiments, the data on the change in the duration of reaching the ignition temperature of the test sample from the value of the heat flux density for different wind speeds were obtained and the corresponding graphs were constructed. All results were evaluated by absolute, relative and standard deviations, as well as Grubbs and Fisher criteria. The results show that the absolute deviations of the experimental data of each experiment from the average values do not exceed 2.2 s, which in percentage values is 4.1%, and the maximum standard deviation is 2,1 s, which indicates a satisfactory convergence of the obtained experimental data. The obtained results allow to conclude that the change of heat flux density from wind speed in case of its influence at an angle of 90° in relation to the thermal effect of fire on the neighboring object is directly proportional and in case of increase of wind speed requires increase of thermal density flow to achieve the preconditions for the spread of fire, that is under such conditions, the direction of the wind, its strength, can be ignored when forecasting the spread of fire to neighboring objects. For the scenario when the test sample was on the windward side of the radiation source, the critical value of the surface heat flux density required to ignite the test sample was $8 \text{ kW} / \text{m}^2$, that is under such conditions heat was pumped, which should be taken into account when predicting

the spread of fire to neighboring areas objects. In the fifth section, in order to study the value of wind influence on the process of thermal irradiation of a neighboring object from a fire torch in real conditions, under conditions when the object irradiated by a fire torch is located on the windward side of the fire, mathematical modeling of fire propagation to neighboring objects according to the model, which is already developed and tested, and this model is supplemented by the conditions of wind influence. Based on the data obtained during the simulation, a table of temperature distribution depending on the distance to the radiation source and wind speed was developed. The obtained simulation results and graphical data confirm the obtained experimental data on the presence of wind on the thermal radiation of a neighboring object from a fire torch in the case when the object is located on the windward side of the heat source (fire). This effect is described by the corresponding coefficient of wind influence to determine which a complete factorial experiment was performed. Based on the results of the calculations, a data table was developed for further calculations of the impact of fire on neighboring objects in conditions of wind. Obtaining the coefficient of thermal impact of fire on neighboring objects in wind conditions is possible as the ratio of the obtained data to the data determined without wind exposure. Thus, based on the identified patterns, the impact of fire on neighboring objects, taking into account the wind, is described as a coefficient that takes into account the impact of wind, the value of which is $\alpha = 1.2$, and tables are built to take into account wind speed during the implementation of simplified tabular method for predicting the spread of fire to neighboring objects. Based on the results of the research, proposals were developed to improve the regulatory framework in terms of requirements and calculation method for forecasting the thermal impact of fire on neighboring objects, taking into account the wind, namely amendments to DSTU 9058: 2020 "Fire safety. Determination of fire distances between objects by calculation methods. Substantive provisions".

Keywords: neighboring object, heat flux density, surface density critical heat flux, spread of fire, temperature, thermal effects, heat transfer, load, mathematical model, heat flow, the correction factor.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Положення дисертаційного дослідження викладено у 13 основних роботах.

У наукових фахових виданнях:

1. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Сучасний стан щодо визначення критичного значення поверхневої густини теплового потоку. Геотехнічна механіка. 2020. № 152 С. 99-106.

Особистий внесок: авторка здійснила аналіз сучасного стану щодо визначення критичної поверхневої густини теплового потоку.

2. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Методика експериментальних досліджень залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура. 2020. №2 С. 200–203.

Особистий внесок: авторка розробила методику експериментальних досліджень визначення залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу.

3. **Борисова А.С., Ніжник В.В., Серeda Д.В.** Експериментальні дослідження поверхневої густини теплового потоку в умовах вітрового впливу. Науковий вісник УкрНДЦЗ. 2020. №1(9) С. 107 – 115.

Особистий внесок: авторка провела експериментальні дослідження тривалості займання матеріалів залежно від поверхневої густини теплового потоку та в умовах вітрового впливу.

4. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Виявлення залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку. Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». 2020 Том 4 № 1 С. 48–55.

Особистий внесок:авторка науково обґрунтувала інформаційно довідкові дані щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу

5. **Борисова А.С.** Тищенко Е. А., Абрамов Ю. А. Влияние изменения температуры окружающей среды на результаты испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. Проблемы пожарной безопасности. 2015. Вып. 37. С. 32-35.

Особистий внесок:авторка отримала математичну модель, що описує вплив зовнішньої температури на результати проведення об'єктових випробувань.

6. **Борисова А.С.,** Ніжник В.В. Обґрунтування критерію швидкості та напрямку вітру як передумови поширювання пожежі на сусідні об'єкти. Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». 2020 Том 4 № 2 С. 42–47.

Особистий внесок:авторка визначила середні значення швидкості вітру, при цьому обґрунтувала найбільш імовірні інтервали критерію вітрового впливу

Статті у міжнародних фахових виданнях

7. **Borysova A.S.** Nignyk V.V., Pozdeev S.V., Yakovchuk R.S. Substantiation of the correction factor for the influence of wind speed to assess the spread of fire to neighboring buildings. The scientific heritage ISSN 9215- 0365. VOL 1, No 55(55) (2020) P 7-10, Budapest, Hungary.

Особистий внесок:авторка провела повний факторний експеримент, результатом якого стало визначення поправочного коефіцієнту вітрового впливу на процес поширювання пожежі на сусідні об'єкти в умовах вітрового впливу.

Опубліковано в інших виданнях:

8. **Борисова А. С.** Дослідження вітрового впливу на величину критичної поверхневої густини теплового потоку із використанням газогідродинамічної моделі. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2020. №16. С. 48 – 51. (Видання індексується бібліометричними платформами: Ulrichsweb Global Serials Directory; Google Scholar; Open Academic Journals Index, Polish Scholarly Bibliography).

Особистий внесок:авторка

Матеріали науково-практичних конференцій

9. **Борисова А.С.,** Ніжник В.В., Фещук Ю.Л. Розроблення методики експериментальних досліджень щодо визначення значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин та матеріалів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» – Черкаси. 2020. С. 184 – 185.

Особистий внесок:авторка обґрунтувала доцільність розроблення методики експериментальних досліджень.

10. **Борисова А.С.,** Ніжник В.В. Обґрунтування довідкових даних прогнозування теплового впливу пожежі з урахуванням вітрового впливу. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки». Київ. 2020. С. 63-64.

Особистий внесок:авторка запропонувала теоретичні підходи щодо оцінювання розрахунковими методами поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва залежно від швидкості та напрямку вітру.

11. **Борисова А.С.,** Ніжник В.В. Дослідження вітрового впливу на поверхневу густину теплового потоку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність на транспорті» Харків. 2020. С.152-153.

Особистий внесок:авторка означила особливості вітрового впливу на поверхневу густину теплового потоку.

12. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Використання спрощеного розрахункового методу для дослідження вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку. Міжнародна науково-практична конференція «Korszerű műszerek és algoritmusai tapasztalati és elméleti tudományos kutatási» - Будапешт, HUN 2020. С.71.

Особистий внесок:авторка проаналізувала спрощений розрахунковий метод для проведення досліджень.

13. **Борисова А.С., Пустовіт М.О., Таран Є.О.** Аналіз застосування роботизованих систем для гасіння пожеж. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій». Черкаси 2017. С. 142 – 144.

Особистий внесок:авторка проаналізувала стан питання та обґрунтувала подальше використання роботизованих систем для гасіння пожеж.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів	17
ВСТУП	18
РОЗІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ ОБ’ЄКТИ З УРАХУВАННЯМ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ	24
1.1 Статистичні дані про пожежі та аналіз літературних джерел щодо прогнозування поширювання пожежі на сусідні об’єкти з урахуванням параметрів вітрового впливу та визначення критичного значення густини теплового потоку для речовин і матеріалів	24
1.2 Аналіз сучасних методів прогнозування поширювання пожежі на сусідні об’єкти з урахуванням параметрів вітрового впливу та визначення критичного значення густини теплового потоку як передумови поширювання пожежі	36
1.3 Аналіз методів дослідження теплового потоку за допомогою обчислювальних методів комп’ютерної математики	43
1.4 Висновки за першим розділом	60
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОМІЖКУ ЧАСУ ДО НАСТАННЯ ПЕРЕДУМОВ ДЛЯ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ВІД ПАРАМЕТРІВ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ	61
2.1 Обґрунтування критеріальної бази щодо дослідження залежності проміжку часу до настання передумов для поширювання пожежі з урахуванням теплового впливу та температури займання від параметрів вітрового впливу	61
2.2. Розрахунок безпечних відстаней між об’єктами спрощеним методом	71
2.3 Висновки за розділом	74
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ ОБ’ЄКТИ З УРАХУВАННЯМ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ	75

	16
3.1 Методика проведення експериментальних досліджень	75
3.2 Висновки за розділом	84
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖИ	
НА СУСІДНІ ОБ'ЄКТИ ЗАЛЕЖНО ВІД ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМКУ	
ВІТРУ	85
4.1 Результати експериментальних досліджень	85
4.2. Оцінювання результатів експериментальних досліджень	92
4.3 Висновки за розділом	100
РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ ДАНИХ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІТРОВОГО	
ВПЛИВУ НА КРИТИЧНУ ПОВЕРХНЕВУ ГУСТИНУ ТЕПЛОВОГО	
ПОТОКУ	102
5.1 Обґрунтування довідкових табличних даних залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку	102
5.2 Дослідження вітрового впливу на величину критичної поверхневої густини теплового потоку з використанням газогідродинамічної моделі	107
5.3 Обґрунтування поправочного коефіцієнта вітрового впливу	112
5.4 Висновки за розділом	118
ВИСНОВКИ	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122
ДОДАТОК А Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	135
ДОДАТОК Б Проект зміни до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення»	140
ДОДАТОК В Список публікацій здобувача за темою дисертації	142

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

КПГТП - критична поверхнева густина теплового потоку виступає критерієм за яким визначають групу поширювання полум'я, але не визначає значення.

ПГТП – поверхнева густина теплового потоку.

Безпечна відстань – протипожежна відстань, що визначена розрахунковим методом.

Сусідні об'єкти – об'єкти будівництва, в одному із яких або на його поверхні може виникнути пожежа, що поширює тепло назовні, а інші (або інші) сприймають це тепло.

Розрахункова температура - температура, що визначена розрахунковим методом.

ВСТУП

Актуальність теми. За статистичними даними, за десятирічний період виявлено сталу тенденцію щодо збільшення кількості пожеж. На основі здійсненого аналізу статистичних даних зроблено висновок, що кожна тридцята пожежа в Україні поширювалась на сусідні будівлі та споруди, технологічне обладнання та об'єкти природної екосистеми передаванням теплової енергії з послідуочим займанням.

Умовою займання будь-якого матеріалу під впливом тепла, що випромінюється від вогнища пожежі є перевищення певного критичного значення густини теплового потоку для такої речовини і матеріалу. На сьогоднішній день недостатня статистична база критичних значень поверхневої густини теплового потоку для різних речовин і матеріалів яка враховує швидкість вітру. Слід також відмітити, що на процес теплообміну впливають вітер та його швидкість. При цьому характер такого впливу різними вченими описується по-різному.

Експериментальними і теоретичними дослідженнями процесів теплообміну займалися такі вчені: Ройтман М.Я., Грушевський Б.В., Підгрушний А.В., Кашмаров Ю.А., Ковалишин В.В., Поздєєв С.В., Басманов А.Е., Семерак М.М., Гудим В.І., Лабай В.Й., Гаврилюка А.Ф., Ніжник В.В., Новак С.В., Яковчук Р.С., E.Garlsson, P.Tofito Zhang Miao та ін.

Однак слід зазначити, що у наведених роботах не повною мірою досліджені питання впливу умов навколишнього середовища, зокрема вітру, на значення поверхневої густини теплового потоку та температури на поверхні сусідніх об'єктів по відношенню до вогнища пожежі, а результати досліджень різними вченими мають неузгоджені дані. Також недостатньо дослідженими є питання зміни теплового впливу пожежі залежно від напрямку вітру по відношенню до осередку горіння та об'єкта, що опромінюється теплом від факелу пожежі.

У зв'язку з вищенаведеним, розкриття закономірностей зміни теплового впливу пожежі залежно від швидкості та напрямку вітру є важливою

науковою задачею, розв'язання якої створить передумови для удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти в умовах вітрового впливу.

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

Дисертаційну роботу виконано відповідно до основних напрямів наукової діяльності УкрНДІЦЗ в рамках Переліку розробок на створення науково-технічної продукції з нормування у сферах будівництва та житлової політики на 2018 рік за бюджетною програмою КПКВК 2751030 затвердженого наказом Мінрегіону № 30 від 12.02.2018, Стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 № 844-р, замовлення Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України на науково-дослідну роботу, які виконано в УкрНДІЦЗ, результати яких використано в дисертації: «Провести дослідження та обґрунтувати вимоги до розрахункового методу визначення мінімальних протипожежних відстаней» (ДР № 0118U004739).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в розкритті закономірностей поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва залежно від швидкості та напрямку вітру, як наукового підґрунтя удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні будівлі.

Для досягнення поставленої мети необхідно поставити та вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних методів прогнозування параметрів теплообміну під час пожежі в сусідніх (суміжних) об'єктах з урахуванням вітрового впливу;
- розробити методичку експериментальних досліджень закономірностей поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва залежно від швидкості та напрямку вітру;

- провести експериментальні дослідження та встановити характер поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва залежно від швидкості та напрямку вітру;
- провести чисельний експеримент щодо визначення впливу швидкості вітру на поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва;
- провести перевірку адекватності експериментальних та розрахункових даних;
- розробити пропозиції щодо удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва з урахуванням вітрового впливу.

Об'єкт дослідження – процеси оцінки поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва в умовах вітрового впливу.

Предмет дослідження – зв'язок вітрового впливу на проміжок часу до настання передумов поширювання пожежі.

Методи дослідження: В роботі використано комплексний метод досліджень, який включав: аналізування літературних даних і нормативних документів, якими регламентовано методи визначення поверхневої густини теплового потоку, експериментальні дослідження з визначення тривалості займання матеріалів залежно від поверхневої густини теплового потоку та в умовах вітрового впливу, математичне моделювання процесів теплообміну між джерелом теплового випромінювання та досліджуваними зразками з використанням польових методів; методи вимірювання температури та вологості повітря, атмосферного тиску, швидкості вітру під час експериментальних досліджень; метод аналізування на наявність викидів та квазівикидів у результатах досліджень (Граббса); метод перевірки належності дисперсій результатів досліджень до однієї генеральної сукупності (Фішера); метод планування експерименту; методи математичної статистики для обробляння результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримано нові наукові результати, новизна яких полягає в розкритті закономірності теплообміну між сусідніми (суміжними) об'єктами будівництва під час пожежі залежно від впливу потоку повітря, а також від відстані між цими об'єктами.

В результаті проведених досліджень:

➤ *вперше встановлено, що:*

- залежність зміни густини теплового потоку від швидкості вітру у разі, коли він спрямований під кутом 90° до напрямку поширювання пожежі на сусідній об'єкт будівництва, є прямо пропорційною та описується виразом типу:

$$q = 9,88 + 3,36v_v;$$

- залежність від швидкості вітру небезпечної відстані поширювання пожежі на розташовані з навітряної сторони сусідні об'єкти будівництва, відносно пожежі, має вигляд:

$$l = 1,35 + 0,0006Q - 0,36v + 0,04t + 0,00004Qv + 0,000002Qt + 0,004vt - 2,88Qvt;$$

- швидкість вітру під час оцінювання поширювання пожежі на сусідні будівлі розрахунковим методом може бути врахована шляхом введення поправочного коефіцієнту $\alpha=1,2$.

➤ *набули подальшого розвитку* експериментальні та розрахункові методи визначення параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва із врахуванням швидкості та напрямку вітру.

➤ *удосконалено:*

1. Довідково-інформаційну базу щодо визначення критичної поверхневої густини теплового потоку залежно від швидкості вітру.

2. Розрахунковий метод прогнозування умов поширювання пожежі на сусідні будівлі із врахуванням швидкості та напрямку вітру.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність досліджень полягає у створенні удосконаленої методичної бази щодо оцінювання поширювання пожежі в умовах вітрового впливу та розробленні відповідних довідково-табличних даних.

Результати дисертаційної роботи впроваджені розроблянням проекту зміни до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення» з подальшим її прийняттям.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у формулюванні ідеї роботи, визначенні мети і завдань досліджень, об'єкту та предмету досліджень, самостійному аналізі вітчизняних та закордонних джерел інформації, удосконаленні та розробленні методики досліджень та обладнання, проведенні експериментальних досліджень та обробленні їх результатів, формулюванні та узагальненні висновків. Участь автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведено в списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися та отримали позитивне схвалення на міжнародних та національних науково-практичних конференціях, а саме:

- VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» – Черкаси., 2017;
- XI Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 2020);
- VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки» (м. Київ, 2020);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність на транспорті» (м. Харків 2020);

- Міжнародній науково-практичній конференція «Korszerű műszerek és algoritmusai tapasztalati és elméleti tudományos kutatási» 18 вересня 2020 Будапешт, HUN.

Публікації.

Основний зміст роботи викладено в 8 наукових статтях, 6 з яких віднесено до переліку фахових, в тому числі в двох статтях у виданні, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, Open Academic Journals Index та інших. Результати досліджень також висвітлено у 5 доповідях на вітчизняних та зарубіжних наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 113 посиланнями, 3 додатків. Зміст роботи викладено на 144 сторінках, що включає 27 рисунків і 29 таблиць.

РОЗІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ ОБ'ЄКТИ З УРАХУВАННЯМ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ

1.1 Статистичні дані про пожежі та аналіз літературних джерел щодо прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням параметрів вітрового впливу та визначення критичного значення густини теплового потоку для речовин і матеріалів

Зростання кількості пожеж на території України з кожним роком стає все більше актуальною та важливою проблемою.

Статистичні дані про пожежі свідчать, що в 2019 році в Україні зареєстровано 95915 пожеж, що на 22 % більше, ніж у 2018 році [1].

Внаслідок пожеж загинуло 1902 особи, у тому числі 58 дітей, 1519 осіб отримали травми, з них 135 дітей. Кількість травмованих на пожежах збільшилась на 0,2 % і склала 1519 проти 1516.

За період з 2010 по 2019 роки на території України спостерігається стала тенденція щодо збільшення кількості пожеж і матеріальних втрат від них та зменшення кількості людей, загиблих унаслідок пожеж, і травмованих на пожежах. На підставі проведеного аналізу карток обліку пожеж та статистичних даних зроблено висновок, що кожна тридцята пожежа в Україні поширювалася на сусідні будівлі та споруди, технологічне обладнання та об'єкти природної екосистеми через поширювання теплової енергії з подальшим займанням [2].

Як приклади поширювання пожежі на сусідні об'єкти, будівлі, технологічне обладнання перенесенням теплової енергії з подальшим займанням зазначених об'єктів можна навести багато випадків. Наймасштабніші та найцікавіші наведено нижче.

8 червня 2015 року о 17 год 23 хв у Васильківському районі Київської області виникла пожежа на одному з резервуарів із палимим нафтобази БРСМ-нафта (рисунок 1.1). Після прибуття рятувальників було повідомлено,

що горять три резервуари з паливом. Вночі, внаслідок дії теплового випромінювання від резервуарів, що горіли, вогонь поширився і пожежа охопила ще кілька резервуарів [3].



Рисунок 1.1 – Пожежа на одному з резервуарів із паливом нафтобази БРСМ-нафта

03 вересня 2019 року о 03 годині 55 хвилин надійшло повідомлення про пожежу на складах для зберігання зерна філії ПАТ «ДПКЗУ» «Старокостянтинівський елеватор» міста Старокостянтинів Хмельницької області. На момент прибуття першого пожежно-рятувального підрозділу вогнем було охоплено склади № 5 та № 6 на площі 1100 м², а також розпочалось поширювання пожежі на зерносушарку ДСП-32 та склад № 4, 2. Завдяки злагодженим та оперативним діям, рятувальникам вдалося врятувати від знищення вогнем 13 складських приміщень, де зберігалось зерно, та зерносушарку елеватора (рисунок 1.2.) [4].



Рисунок 1.2 – Пожежа на складах для зберігання зерна

25 січня 2020 року 14:56 по лінії «101» надійшло повідомлення про пожежу в будівлі магазину по вулиці Бориса Тена у Житомирі. Займання сталося у приміщенні одного з магазинів, де продавали текстильні товари, і поширилося на дерев'яне перекриття, суміжний орендований магазин та дах будівлі. [5].



Рисунок 1.3 – Пожежа в магазині з подальшим поширюванням на суміжні будівлі

В середньому за останні 3 роки щоденно на об'єктах різних форм власності в Україні виникало 235 пожеж.

Кожна тридцята пожежа в Україні знищувала або пошкоджувала сусідню будівлю чи споруду. Кожну четверту пожежу підрозділам ДСНС України вдавалося погасити вчасно та запобігти поширюванню на сусідні будівлі чи споруди [1].

Проведений аналіз статистичних даних [1,2] виникнення пожеж та їх причин дає змогу зробити висновки, що кожна тридцята пожежа на території України поширювалася на сусідні об'єкти перенесенням теплоти. Слід зазначити, що умовою займання речовин і матеріалів від дії теплового опромінювання є перевищення певного критичного значення густини теплового потоку цієї речовини або матеріалу, внаслідок чого відбувається займання. Слід також зазначити, що на процес теплообміну впливають вітер та його швидкість. При цьому характер такого впливу різними вченими описується по-різному. Також на сьогоднішній день недостатня статистична база критичних значень поверхневої густини теплового потоку для різних речовин і матеріалів, яка враховує швидкість вітру.

Враховуючи вищенаведене, зроблено висновок, що процес поширювання пожежі на сусідні будівельні об'єкти в умовах вітрового впливу є актуальною проблемою сьогодення, розв'язання якої створить передумови для вдосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти в умовах вітрового впливу.

З аналізу літературних джерел відомо, що теплота в навколишнє середовище передається трьома способами: конвекцією, теплопровідністю і випромінюванням [6].

Конвекція – вид теплообміну (теплопередачі), за якого внутрішня енергія передається струменями і потоками самої речовини [7]. Теплопровідність – здатність речовини переносити теплову енергію, а також кількісна оцінка цієї здатності: фізична величина, що характеризує інтенсивність теплообміну в речовині, яка дорівнює відношенню густини

теплового потоку до градієнта температури [8]. Випромінювання - це складний процес, який об'єднує випромінювання енергії тілом, розповсюдження її в просторі електромагнітними хвилями і поглинання іншими тілами. Такий вид теплопередачі називають також радіаційним теплообміном [9].

У початковій стадії розвитку пожежі в будівлях теплота з палаючого приміщення в суміжне передається теплопровідністю через будівельні конструкції, металеві труби та інші інженерні комунікації [10]. На стадії розвиненої пожежі в будівлях конвекцією передається значно більше теплоти, ніж під час пожеж на відкритому просторі [10]. У палаючому приміщенні випромінювання є основним способом передавання теплоти від поверхні полум'я до сусідніх поверхонь горючих речовин та матеріалів, внутрішнього інтер'єру та будівельних конструкцій в усіх напрямках до моменту інтенсивного задимлення, коли дим стає ослаблючим тепловий потік середовищем в результаті поглинання і розсіювання променистої енергії. Під час пожеж на відкритому просторі теплота передається оточуючим об'єктам головним чином випромінюванням [10]. Незважаючи на те що частка теплоти, переданої конвекцією, досягає орієнтовно 76 %, значна її частина передається верхнім шаром атмосфери і не змінює обстановки на пожежі [11], у цьому випадку не враховують вплив умов навколишнього середовища, зокрема вплив вітру з різною швидкістю та різним напрямком.

Однією з причин поширювання пожежі на сусідні будівлі та споруди, технологічні блоки та об'єкти природної екосистеми може бути перенос теплової енергії шляхом променевим та конвекційним теплообміном [12].

При відкритих пожежах [13] швидкість їх поширювання (займання суміжних з палаючою будівлею об'єктів) залежить від умов теплообміну випромінювання, тобто площі, теплофізичних властивостей опромінюючої та опроміненої поверхонь, а також взаємного їх розташування.

На відкритому просторі обсяг і площа задимлення залежать головним чином від потужності джерела горіння, швидкості вигорання матеріалів,

підвищенням температури (різниці температур навколишнього повітря і зони горіння) і швидкості руху газоподібних речовин. Значною мірою впливає на обстановку при відкритих пожежах висота зони полум'яного горіння, оскільки від неї залежать площа поверхні випромінювання і інтенсивність теплового потоку у напрямку до непалаючих об'єктів [14]. Параметри розвитку пожежі впливають один на одного, але не можуть впливати на процеси розвитку і поширення пожежі без взаємодії з навколишнім середовищем. Навколишнє середовище характеризується такими параметрами: метеорологічними - температурою, вологістю, тиском, видимістю, або ступенем прозорості газового середовища, швидкістю і напрямом приземного вітру; пожежним навантаженням - горючістю, температурою samozаймання і займання, вологістю і щільністю речовин і матеріалів, змістом летких речовин, критичним тепловим потоком, що спричиняє їх займання або samozаймання від теплового потоку [14]. Взаємодія основних параметрів пожежі та параметрів навколишнього середовища можна простежити на двох характерних прикладах розвитку пожежі на відкритому та в закритому просторі [14]. З посиленням швидкості вітру в напрямку відкритих віконних прорізів палаючого приміщення при наявності відкритих прорізів на підвітряній стороні будівлі пожежа стає ще більш інтенсивнішою в результаті збільшення різниці тиску зовні і всередині будівлі [14]. Збільшується швидкість руху газових потоків всередині будівлі, як у вертикальній, так і в горизонтальній площині [15]. Тому відчинення віконних прорізів для видалення диму і нагрітих газів допускається тільки в межах палаючого поверху з підвітряного боку будівлі при одночасній подачі високопродуктивних стволів в осередок пожежі і на захист вище розташованих поверхів, а також шляхів евакуації [16]. При відкритій пожежі швидкість її поширення (загоряння суміжних з палаючою будівлею об'єктів) залежить від умов теплообміну випромінюванням, а саме: площі, теплофізичних властивостей випромінюючої і опромінюваної поверхонь, а також їх взаємного розташування в просторі [14].

В процесі розвитку пожежі на відкритому просторі променистий тепловий потік від факела полум'я падає на навколишні будівлі чи горючі матеріали. Необхідна і достатня умова загорання будь-якої поверхні горючого матеріалу виражається співвідношенням $q_n \geq q_{кр}$ (q_n - падаючий потік на поверхню матеріалу, що опромінюється $Вт / м^2$; $q_{кр}$ - критичний тепловий потік, при якому має місце загорання поверхні цього виду горючого матеріалу, $Вт / м^2$) [13].

Відповідно до законів променистого теплообміну, загорання може відбутися, якщо коефіцієнт опромінення і відстань між випромінюючою і такою, що поглинає теплоту поверхнями, будуть такими, при яких падаючий тепловий потік стане не меншим ніж критичний. Схему променистого теплообміну палаючої будівлі з об'єктом, що не горить, наведено на рисунку 1.4 [12, 14].

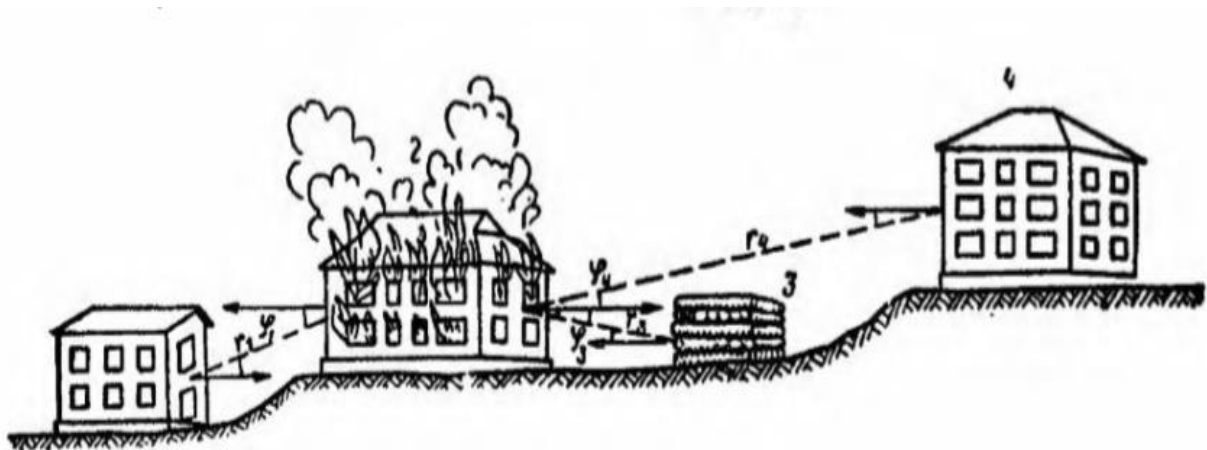


Рисунок 1.4 – Схема променистого теплообміну палаючої будівлі з об'єктом, що не горить:

1- будівля V ступеня вогнестійкості займається від променевої теплоти;
 2 - будівля III ступеня вогнестійкості горить (відкрита пожежа); 3 - штабель деревини загорається від променевої теплоти; 4 - будівля II ступеня вогнестійкості, загрози виникнення пожежі від променистої теплоти немає;
 r_1 , r_3 , r_4 - відстань від палаючої будівлі до об'єктів, що опромінюються у напрямку випромінювання; φ_1 , φ_3 , φ_4 - кути між напрямками

випромінювання в бік об'єктів, що не горять, і нормальними до випромінюючої поверхні полум'я.

При відкритій пожежі в будівлі вогонь може поширитися на оточуючі будівлі під дією теплового випромінювання полум'я, як зображено на рисунку 1.4 [14]. В цьому випадку очікується дві події: загоряння будівлі V ступеня вогнестійкості і штабеля пиломатеріалів, розташованих поблизу будівлі, що горіла [14]. Однак ці події можуть і не настати в разі невиконання розглянутих вище умов загоряння від дії променевого випромінювання. Таким чином, обстановка, що складається в процесі розвитку пожежі – це результат взаємодії основних параметрів пожежі з параметрами навколишнього середовища за певний час. Вона являє собою суму очікуваних або вже наявних подій і явищ, що супроводжують пожежу. Знаючи закони динаміки пожежі, можна прогнозувати обстановку і передбачити її зміну в ході розвитку пожежі [13].

Для запобігання можливості розповсюдження пожежі на сусідні будівлі та споруди передбачають протипожежні відстані, що визначаються розрахунковим методом. В основу методу визначення протипожежних відстаней лежить згадана вище класична теорія теплообміну. Падаючий потік на поверхню матеріалу q_n визначається розрахунковим методом, а $q_{кр}$ є величиною експериментальною [17].

Напрями науки, для яких вимірювання значень теплового потоку має вагоме значення, є вкрай різноманітними.

Експериментальними і теоретичними дослідженнями процесів теплообміну між матеріалами та полум'ям пожежі займалися такі вчені: Ройтман М.Я., Грушевський Б.В., Підгрушний А.В., Кашмаров Ю.А., Ковалишин В.В., Поздєєв С.В., Басманов А.Е., Семерак М.М., Гудим В.І., Лабай В.Й., Гаврилюк А.Ф., Ніжник В.В., Новак С.В., E.Garlsson, P.Tofito Zhang Miao, та ін. Однак слід відмітити, що у роботах зазначених авторів неповною мірою досліджені питання впливу умов навколишнього середовища, зокрема вітру, на значення поверхневої густини теплового

поток та температури на поверхні сусідніх об'єктів по відношенню до вогнища пожежі, а результати досліджень різними вченими мають неузгоджені дані. Також недостатньо дослідженими є питання зміни теплового впливу пожежі залежно від напрямку вітру по відношенню до осередку горіння та об'єкту, що зазнає теплового випромінювання від полум'я пожежі.

Тематика, що досліджується розглядалася у багатьох публікаціях. Такі вчені як В.Й. Лабай, В.І Гудим та А.Ф. Гаврилюк у своїй роботі [18] експериментально дослідили та визначили, що густина теплового випромінювання різко зменшується зі збільшенням відстані від джерела випромінювання, а також при введенні у простір тонкорозпиленої води. Вони визначили, що середовище, в якому відбувається випромінювання, досить істотно впливає на променистий тепловий потік і на значення температури в точках простору, які піддаються опроміненню. Тонкорозпилена вода зменшує опромінення об'єкта з коефіцієнтом послаблення, що дорівнює 2 – 2,2. Однак дані щодо впливу вітру на об'єкт опромінення відсутні та на значення густини теплового потоку, при якому відбувається самозаймання речовин і матеріалів, авторами не досліджувалися.

У роботі [19] С.В. Жартовський, С.В. Поздеев, В.В. Ніжник та Ю.Л. Фещук розробили методику та провели дослідження впливу густини теплового потоку на елементи суміжних будівельних об'єктів залежно від тривалості теплового впливу та відстані від вогнища пожежі. Вони встановили, що тепловий потік від вогнища пожежі є суттєво змінним у часі та залежить від зовнішніх погодних умов, зокрема наявності вітру. Також вони визначили, що густину теплового потоку недоцільно використовувати як основний критерій оцінювання небезпеки поширювання пожежі між суміжними будівельними об'єктами, як наслідок того, що змінну в часі густину теплового потоку неможливо порівняти із пожежонебезпечними характеристиками матеріалів, які використовуються у суміжному будинку, що опромінюється від пожежі. Але в свою чергу в цьому дослідженні

відсутні дані щодо зміни величини густини теплового потоку на сусідній поверхні, що підпадає під тепловий вплив, залежно від параметрів вітрового впливу, а дані величин теплового потоку які існують, не прив'язано до тривалості теплового впливу.

Під час проведення дослідження інтенсивності теплових потоків, обумовлених пожежею в резервуарних парках залежно від впливу вітру, автор [20] визначив вплив швидкості вітру на кут відхилення факела полум'я, що дало можливість визначити інтенсивність теплового випромінювання на сусідні резервуари залежно від швидкості вітру, але теоретичним шляхом, без проведення експериментальних досліджень, що в нашому випадку відрізняється від отриманих експериментально даних. Дослідники розрахунками встановили та зробили висновок, що при збільшенні швидкості вітру стінка матеріалу (резервуару) нагріватиметься інтенсивніше, тобто буде збільшуватись величина теплового потоку. Однак враховуючи інформацію [19] в якій автори експериментально встановили, що величина теплового потоку зменшується у наслідок вітрового впливу, постає питання щодо подальшого більш детального дослідження даної теми оскільки проблеми, що вирішували автори у своїх дослідженнях мають кардинально різні висновки.

Науковці кафедри пожежної техніки Університета Меріленд США Joseph Panagiotou та J.G Quintiere у своїй роботі [21] запропонували експериментальні методи, спрямовані на визначення ефективності загорання матеріалу під дією падаючого теплового потоку однак без урахування вітрового впливу на досліджуваний зразок.

Тема нагрівання резервуарів та поширювання пожежі на сусідні об'єкти під дією теплового опромінювання також розглядалась у роботах [22-24] Основну увагу роботи зосереджено на розробленні математичних моделей, що можуть розраховувати температуру нагрівання поверхневого шару нафтопродукту від сусіднього палаючого резервуара під час пожежі в

резервуарному парку. Створену модель призначено для визначення максимально досяжної температури нафтопродукту і небезпеки займання.

В [24] розроблена модель дає змогу визначити проміжок часу досягнення до вибухонебезпечної температури. Але ці моделі не враховують параметри вітрового впливу на резервуар, автори лише згадують дію вітру як нездатну до зміни картини величину, винятком є лише ураганний вітер який може нахилити полум'я майже горизонтально. Також у переважній більшості моделі ґрунтуються на теорії, разом з тим експериментальні дослідження подібних питань показують істотно інші результати [12].

У роботі [25] проаналізовано сучасні підходи і вимоги технічних та нормативно - правових актів щодо оцінки інтенсивності теплового випромінювання під час пожежі. Виявлено недоліки, такі як відсутність інформації про прийняту геометрію в завданні теплообміну чи відсутність можливості визначати теплове навантаження для різних випадків розташування матеріалу, що опромінюється, що на сьогоднішній день для визначення безпечної відстані під час пожежі використовується розрахунково експериментальний метод, сутність якого полягає в порівнянні розрахункової щільності променистого теплового потоку для матеріалу що опромінюється з експериментально встановленим критичним значенням. При цьому умова безпеки виконується, якщо отримане в результаті розрахунку теплове навантаження менше критичного. Автори [25] також розробили програму: «Теплообмін випромінюванням при пожежі», яка дає змогу розрахувати інтенсивність теплового випромінювання з урахуванням всіх можливих ситуацій взаємного розташування поверхонь, що випромінюють та опромінюються, а також параметрів фронту полум'я і горючості матеріалу. Розроблена програма дає можливість оцінити мінімальну безпечну відстань при пожежі і передбачає функцію побудови графічної залежності щільності променистого теплового потоку від одного з параметрів розв'язуваної задачі.

У роботі [26] вивчаються різні параметри поширювання пожежі між будівлями, однак вплив напрямку та швидкості вітру у цьому випадку не розглядався.

Для дослідження вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку та температуру на поверхні матеріалу, що підпадає під дію променевого опромінювання від полум'я пожежі, було проаналізовано ряд публікацій закордонних дослідників [27-29], однак наявність даних щодо впливу умов навколишнього середовища, зокрема вітру в зазначених роботах не відображено. Слід зазначити, що у роботі [29] цікавим є те, що автори дослідили вплив кута нахилу сопла на теплове випромінювання, що створюється дифузійним струменевим полум'ям. Дослідження проводилися для трьох різних кутів нахилу сопла (0° , 45° і 90°), трьох різних відстаней (10 см, 15 см і 20) см, шести різних висот (10 см, 20 см, 30 см, 40 см, 50 см і 60 см), і двох різних діаметрів сопла 17 мм і 11 мм. Інтенсивність теплового випромінювання збільшувалася зі збільшенням відстані і висоти вимірювання. Було виявлено, що зміна горизонтальної та вертикальної швидкості струминного полум'я підпорядковується лінійному рівнянню. Дослідження також включали вивчення впливу форми полум'я на теплове випромінювання [29].

Проведений аналіз статистичних даних карток обліку пожеж та аналіз літературних джерел і наукових публікацій, як вітчизняних так, і зарубіжних дає можливість дійти висновку, що велика кількість пожеж, що сталися причиною яких є поширювання вогню на сусідні будівельні конструкцію перенесенням теплової енергії під дією променевого теплообміну, який має вплив на зазначені передумови, не враховує дію параметрів вітрового впливу, що може істотно вплинути як на проміжок часу до досягнення критичного стану матеріалу, під час якого відбувається займання, так і на введення сил і засобів для боротьби з пожежею.

1.2 Аналіз сучасних методів прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням параметрів вітрового впливу та визначення критичного значення густини теплового потоку як передумови поширювання пожежі

Аналіз нормативних документів показує, що в процесі прогнозування теплового впливу пожежі на сусідні будівельні об'єкти можуть бути використані різні методи, які ми розглянули нижче.

Так, у [30] сутністю методу експериментальних досліджень є моделювання джерела теплового випромінювання, а також визначення проміжку часу від початку дослідження до початку полуменевого горіння під дією на поверхню дослідного зразка променистого теплового потоку. Метод, описаний в стандарті, полягає у визначенні параметрів займистості при заданих стандартом рівнях впливу на поверхню зразка променистого теплового потоку в межах від 5 кВт/м². до 50 кВт/м². Як джерело променистого теплового потоку виступає радіаційна панель, а також рухомий пальник з механізованою та ручною системою переміщення. Визначивши параметри займистості та зробивши висновок про групу займистості матеріалу (таблиця 1.1) з зазначенням критичної поверхневої щільності теплового потоку, також фіксують додаткові спостереження, такі як: проміжок часу до настання та місце спалахування, процес руйнування зразка під дією теплового випромінювання та полум'я, плавлення, спучування, розшарування, розтріскування, набухання або усадка.

Таблиця 1.1

Визначення групи займистості матеріалу

Група займистості матеріалу	КПЩТП, кВт/м ²
B1	$35 \leq \text{КПЩТП}$
B2	$20 \leq \text{КПЩТП} < 35$
B3	$\text{КПЩТП} < 20$

Цей метод не враховує дію на зразок потоку повітря, що може суттєво вплинути на значення критичної поверхневої густини теплового потоку та на займистість.

В свою чергу в роботі [31] описується метод визначення протипожежних відстаней, який ґрунтується на моделюванні джерела теплового випромінювання, яким слугує панель, змонтована з пальників інфрачервоного випромінювання. На зразках, які знаходяться під дією теплового випромінювання, вимірюється температура або тепловий потік.

На рисунку 1.5 зображено схему експериментальної установки. Радіаційна панель випромінює теплоту за середньої температури 1000°C . Дослідні зразки, що підпадають під дію теплового випромінювання закріплюють на столі, який за допомогою колес та лебідки пересувається по прямій лінії. Тепловий потік на поверхні зразка, що опромінюється від панелі змінюється змінюванням відстані від панелі до зразка і вимірюється актинометром [31] .

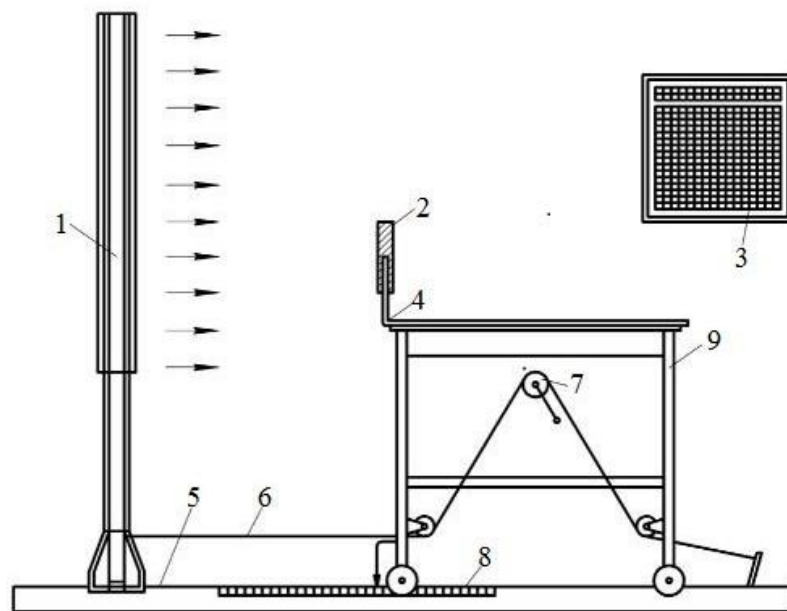


Рисунок 1.5 – Схема експериментальної установки із визначення необхідної протипожежної відстані: 1 – випромінювач тепла, 2 – зразок, що випробовується, 3 – прилад для фіксації густини теплового потоку, 4 – рама

для кріплення зразка, 5 – напрямні елементи для пересування стола, 6 – трос, 7 – барабан для намотування троса, 8 – шкала для визначення відстані від панелі до зразка, 9 – стіл, що пересувається

Стіл (9) зі зразком (2) установлюють на максимальній відстані від випромінювача тепла (1), після чого його включають. За допомогою барабана (7) відстань між випромінювачем тепла (1) та дослідним зразком (2) зменшується до тих пір, поки відбувалося займання дослідного зразка при короткочасному піднесенню до зразка стороннього джерела запалювання (газовий палик) або до початку тління дослідного зразка. Початок тління дослідного зразка характеризується появою першої іскри на опромінюваній поверхні, або відстанню за якої під час експерименту дослідні зразки нагрівалися до температури самозаймання [31].

Недоліком запропонованого методу є те, він не враховує параметри навколишнього середовища, а саме дії вітрового впливу.

Стандарт [32] описує метод випробувань на поширювання полум'я поверхнею вертикально розташованих декоративно-оздоблювальних та облицювальних будівельних матеріалів у горизонтальному напрямку та класифікацію їх за групами поширювання полум'я. Сутність методу полягає у визначенні величини теплового потоку, за якого припиняється поширювання полум'я поверхнею, та теплоти стійкого горіння зразка під час дії на нього джерела запалювання та променистого теплового потоку. Вертикально розташовані декоративно-оздоблювальні та облицювальні горючі будівельні матеріали залежно від критичної поверхневої густини теплового потоку та теплоти стійкого горіння розподіляють на чотири групи поширювання полум'я: РПв1, РПв2, РПв3 та РПв4 таблиця 1.2. Матеріали, що відносяться до групи РПв1, характеризуються як ті, що не поширюють полум'я, РПв2 - локально поширюють полум'я, РПв3 - повільно поширюють полум'я, РПв4 - швидко поширюють полум'я.

Таблиця 1.2

Визначення Групи поширювання полум'я

Групи поширювання полум'я	Критична поверхнева густина теплового потоку, кВт/м ²	Теплота стійкого горіння, МДж/м ²
РПв1	50,0 та більше	не розраховується
РПв2	від 37,0, але менше ніж 50,0	1,5 та більше
РПв3	від 20,0, але менше ніж 37,0	1,5 та більше
РПв4	менше 20,0	менше ніж 1,5

Іншими словами критична поверхнева густина теплового потоку виступає критерієм, за яким визначають групу поширювання полум'я, але не визначає значення КПЦТП для речовин і матеріалів з внесенням їх даних у таблицю, та не враховує параметри вітрового впливу на досліджувані зразки.

Суть методу [33] полягає у визначенні критичної поверхневої густини теплового потоку, величину якого встановлюють за довжиною поширювання полум'я за зразком в результаті впливу теплового потоку на його поверхню. Відповідно до цього стандарту критичною поверхневою щільністю теплового потоку називається значення величини теплового потоку, при якому припиняється поширювання полум'я.

Таблиця 1.3

Значення ПГТП за якій припиняється поширювання полум'я

Контрольна точка	ПГТП, кВт/м ²
L1	9,1 ± 0,8
L2	5,0 ± 0,4
L3	2,4 ± 0,2

Величину КПГТП встановлюють на підставі результатів вимірювання довжини поширювання полум'я, яке визначають як середнє арифметичне значення за довжиною пошкодженої ділянки п'яти зразків та за графіком розподілу ПГТП по поверхні зразка, отриманого під час калібрування установки. Але цей метод також не визначає кількісне визначення значення КПГТП для речовин і матеріалів, а також не враховує вплив вітру на значення ПГТП.

Розрахунок густини променевого теплового потоку від фронту полум'я наведено у деяких нормативних документах [33-37]. Так у [37] описано методи розрахунку інтенсивності теплового опромінення горючого матеріалу при пожежі та метод розрахунку інтенсивності теплового опромінення та тривалості існування «вогняної кулі». Для оцінки пожежної небезпеки полум'я наведені формули, що дають змогу оцінити інтенсивність опромінення горючого матеріалу під час дії теплового випромінювання від фронту пожежі з урахуванням коефіцієнта опромінення між випромінюючою поверхнею та поверхнею що знаходиться під дією опромінення [37]. Після цього розрахункове значення інтенсивності опромінення порівнюють з критичним значенням для конкретного горючого матеріалу та роблять висновок щодо виконання або невиконання умов безпеки при пожежі. Критична густина променевого теплового потоку для деяких горючих речовин пропонується приймати згідно таблиці 1.4 [37].

Таблиця 1.4

Критичне значення інтенсивності опромінення

Матеріал	Мінімальна інтенсивність випромінювання, $Вт/м^2$ при тривалому опроміненні, хв.		
	3	5	15
Деревина (сосна вологістю 12%)	18800	16900	13900

Продовження таблиці 1.4

Деревно-стружкові плити (Густина 417 кг / м ³)	13900	11900	8300
Торф брикетний	31500	24400	13200
Торф кусковий	16600	14350	9800
Бавовна-волокно	11000	9700	7500
Шаруватий пластик	21600	19100	15400
Склопластик	19400	18600	17400
Пергамін	22000	19750	17400
Гума	22600	19200	14800
Вугілля	–	35000	35000

Однак слід відмітити, що проведений аналіз вищезазначених документів свідчить, що на сьогоднішній день відсутні методи визначення зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу.

Щодо зарубіжних методів визначення теплового впливу пожежі на сусідні об'єкти слід відмітити роботу [38], де зазначено, що існує велика кількість випробовувань матеріалів на пожежну безпеку, а саме під час перегляду вимог різних агентств у DOT США виявлено, що там передбачено приблизно 23 різних методи випробування, які використовуються для оцінки горючості матеріалів [12]. Вони, як правило, невеликі за масштабом (з кількома масштабами) і використовують скринінгові тести. Загальний характер більшості випробувань на вогнебезпеку полягає в тестуванні чи екрануванні продуктивності матеріалу [12]. Критерії ефективності, як правило, визначаються прийняттям результатів випробувань матеріалу, обраного для надання допустимо прийнятних показників. За результатами цих тестів класифікують характеристики матеріалу як належність до певної групи матеріалів, які поведуться аналогічно, або надають певну індексну основу [12]. Зрідка тести дають результати щодо властивостей, які можна було б використати під час інженерних розрахунків. Експериментальні

методи, запропоновані вченими, спрямовано на визначення ефективності загорання матеріалу під дією падаючого теплового потоку складався з випробувань, що використовують встановлений конусометричний калориметр для отримання показників запалювання, виділення енергії та маси [38]. Випробувальні зразки були розрізані на паралелепіеди зі стороною 76 мм номінальною товщиною 6,5 мм. Загальною метою експерименту було вимірювання тривалості запалювання (t_g), інтенсивності викиду енергії на одиницю площі (Q'), та масового потоку (m') як функції фактичного теплового потоку. Початкові випробування передбачали широкий спектр дії рівнів теплового потоку, що падали на поверхню зразка, використовуючи всі матеріали та випробування при 20, 30, 40, 50 та 60 кВт/м². У тестах використовували 12 матеріалів, але лише чотири з них були випробувані як на конусометричному калориметрі, так і на поширення полум'я та показали результати і були занесені у таблицю даних таблиця 1.5 [38].

Таблиця 1.5

Результати експериментальних досліджень

Матеріал	Теплота загорання, кдж / г	Критичний тепловий потік, кВт / м ²
Полістирол з високим впливом	28,8	16
Поліоксиметилен	13,5	8
Поліметилметакрилат	23,3	8
Акрилонітрилбутадиєн стирол	28,2	12

Документ [39] описує різні параметри, які впливають на поширення вогню між об'єктами. У звіті проведено порівняння між нормами та методами розрахунку безпечної відстані між будівлями та зазначається важливість зовнішнього полум'я.

Документи [40,41] визначають вимоги нормування потипожежних відстаней між будівлями у США, однак даних щодо врахування вітру у зазначених документах немає.

Враховуючи вищенаведене та на основі проведеного аналізу наукових публікацій, літературних джерел, нормативних документів вітчизняних та закордонних можливо зробити припущення, що існуючі розрахункові методи прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти потребують удосконалення в частині врахування сили та напрямку вітру.

У зв'язку з цим, розкриття закономірностей зміни поширювання пожежі залежно від швидкості та напрямку вітру є важливою науковою задачею, розв'язання якої створить передумови для удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти в умовах вітрового впливу.

1.3 Аналіз методів дослідження теплового потоку за допомогою обчислювальних методів комп'ютерної математики

Програмний комплекс PyroSim [42 і 43] призначений для швидкої і точної роботи з Fire Dynamics Simulator (FDS). Він являє собою графічний інтерфейс користувача для FDS, який дає змогу швидко і зручно створювати, редагувати та аналізувати складні моделі розвитку пожежі.

PyroSim дає змогу виконати моделювання поширювання небезпечних чинників пожежі на основі польового методу моделювання та побудувати поля небезпечних чинників пожежі. Модель відповідає вимогам «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [44], а також «Методике определения расчетных величин пожарного риска на промышленных объектах» [45].

PyroSim дає змогу імпортувати із AutoCAD файли в форматах DXF і DWG. При імпорті 3D-грані перетворюються в перешкоди, а інші дані (лінії,

криві і ін.) – в незалежні CAD – об'єкти. Крім того, PiroSim дає змогу завантажувати зображення в форматах GIF, JPG або PNG в якості підложки, що допомагає швидко створювати об'єкти на їх основі.

В PiroSim наявні інструменти, що допомагають створювати і керувати декількома сітками. Декілька сіток в моделі дозволяють використовувати паралельні обчислення для прискорення розрахунків, спрощувати геометрію об'єктів для зменшення кількості ячеек сітки в моделі (зменшуючи цим тривалість розрахунку), змінювати розширення в різних частинах моделі.

Він підтримує запуск паралельних обчислень з використанням протоколу MPI. На одному комп'ютері з декількома ядрами або процесорами паралельні розрахунки запускаються легко через команду меню. Крім того, PiroSim дає змогу запускати розрахунок FDS на мережевому кластері із декількох комп'ютерів. В цьому випадку спочатку необхідно встановити програму кластера на кожен з комп'ютерів, а потім на них можна запускати розрахунки.

Однією з важливих новинок в FDS є підтримка системи HVAC (опалення, вентиляція і кондиціонування) в польовому моделюванні. Система HVAC дає змогу передавати газоподібні речовини і теплоту в будинку. Систему можна описати за допомогою декількох простих компонентів: повітропроводи, вузли, вентилятори, теплообмінники і фільтри. Все це створюється, редагується і візуалізується в PiroSim.

Система HVAC дає змогу моделювати повітряні потоки без врахування пожежі, а також може слугувати частиною елемента протипожежного захисту будинку (димовидалення, підпір повітря в сходові клітці).

В PiroSim можливо створювати і використовувати бібліотеки властивостей для різних об'єктів (реакції, поверхні, матеріали і ін.). Це прискорює створення моделі і зменшує ймовірність помилок.

Він уможлиблює інтерактивний перегляд і редагування властивостей об'єктів в моделі. Такий візуальний зворотній зв'язок прискорює створення моделі і зменшує ймовірність помилок.

У будь-який момент під час створення моделі чи розрахунку можливо запустити програму SmokeView, що розроблена Національним інститутом стандартів і технологій (США). Ця програма дає змогу наглядно побачити поширювання диму, побудувати поля температур, швидкості і інших небезпечних чинників пожежі. Крім того, PiroSim має вбудований інструмент для побудови двовимірних графіків залежностей величин від часу.

Програмний комплекс СИТИС: ВИМ 4.11 [46] призначений для проведення розрахунків динаміки розвитку небезпечних чинників пожежі за допомогою інтегральної моделі згідно з Додатком 6 [44].

Програмний комплекс дає змогу:

- визначати критичну тривалість пожежі, тривалість блокування шляхів евакуації, у тому числі з урахуванням роботи систем димовидалення та підпору повітря;

- створення декількох розрахункових сценаріїв з необмеженою кількістю елементів топології;

- працювати з єдиним файлом проекту в складі комплексу програм СИТИС для розрахунку пожежного ризику.

- 2D / 3D анімація поширювання небезпечних чинників пожежі з можливістю покрокового перегляду;

- побудова графіків розвитку небезпечних чинників пожежі із зазначенням граничних значень;

- формувати звіт, що включає вихідні дані, таблиці розрахунку небезпечних чинників пожежі для кожної розрахункової точки, графіки. Експорт оформленого звіту в формат RTF.

В програмі присутня база вихідних даних, типових горючих навантажень відповідно до вимог [47].

Програмний комплекс СИТИС: Блок 4.11 [48] призначено для проведення розрахунків динаміки розвитку небезпечних чинників пожежі за допомогою двохзонної моделі згідно з Додатком 6 [44].

Програмний комплекс дає змогу:

- проводити розрахунок динаміки розвитку небезпечних чинників пожежі з використанням двохзонної моделі CFAST [49];
- визначення критичної тривалості пожежі, тривалості блокування шляхів евакуації;
- наявна можливість створення декількох розрахункових сценаріїв;
- працювати з єдиним файлом проекту у складі комплексу програм СИТИС для розрахунку пожежного ризику, що дає змогу оформлювати звіт з визначення розрахункової величини пожежного ризику за всіма сценаріями, з узагальненням результатів розрахунків за іншими моделями небезпечних чинників пожежі і моделям евакуації;
- перегляд 2D/3D анімацію поширювання небезпечних чинників пожежі з можливістю покрокового перегляду, побудова графіків розвитку небезпечних чинників пожежі із зазначенням їх граничних значень;
- формувати звіт, що включає вихідні дані, таблицю часу настання критичних значень небезпечних чинників пожежі для кожної розрахункової точки, графіки. Під час розрахунку категорій звіт включає в себе детальні таблиці з описом ділянок навантаження, розрахунком категорій. Звіт може бути збережений в форматі RTF, що дає змогу його редагування для подальшого доопрацювання в текстових редакторах;

Програма СИТИС: Динамо [50] є адаптованою версією програми FDS (Fire Dynamics Simulator) [44] версії 6.5.2, яку розроблено Інститутом стандартів і технологій США (NIST) в 1995-2016 роках.

Адаптацію виконано відповідно до ліцензії на програму FDS, її вихідний код і документацію.

Під час адаптації програми виконані такі модифікації вихідного коду, виконуваних файлів і документації до програми [50]:

- інтерфейс програми переведено на російську мову;
- документація до програми написано російською мовою з використанням понять і термінології, які прийняті у російських нормах і науковій літературі;

- інструкції програми доповнені командами, що використовують прийняті в російських нормах системи позначень і понять;
- внесено зміни, що забезпечують зменшення розміру файлів результатів моделювання і зменшення часу роботи програми;
- змінено налаштування параметрів програми за умовчанням, які більш відповідають російській практиці розрахунків блокування шляхів евакуації людей небезпечними чинниками пожежі при розрахунках пожежних ризиків;
- виконано оцінку точності (прогнозуючої здатності) програми і реалізованих в ній моделей явищ під час пожежі на основі російських експериментальних даних.

Адаптовану програму включено до складу програмного забезпечення ТОВ «СИТИС», що дає змогу користувачам програмного забезпечення отримувати такі послуги, які не доступні від розробника програми FDS:

- отримувати технічну підтримку з питань використання програми;
- направляти письмові запити та отримувати письмові відповіді від розробника адаптованої програми для їх використання у відповідності з російськими вимогами діловодства.

Формати вхідних та вихідних даних СИТИС: Динамо адаптовані до формату даних комплексу програм для розрахунку пожежних ризиків СИТИС, що спрощує спільне використання програм і підвищує зручність і ефективність роботи користувача.

Формати вхідних та вихідних даних СИТИС: Динамо адаптовані до формату даних комплексу програм для виконання мультифізичних розрахунків СИТИС: СимЛаб, що забезпечує можливість виконання моделювання складних явищ, таких як вогнестійкість і вогнезбереження конструкцій при реальних або модельних пожежах, розслідуванні пожеж, розробки пристроїв і устаткування для пожежної сигналізації і пожежогасіння, інших подібних завдань. (Комплекс СИТИС: СимЛаб знаходиться на стадії дослідного тестування, документацію до нього не опубліковано).

Під час адаптації не змінено алгоритми розрахунків і моделювання, реалізовані в програмі FDS 6.5.2. Відсутність змін контролюється порівняльними розрахунками базової (немодифікованої) і адаптованої версій програми за технологією, прийнятою NIST і співтовариством розробників при розробці програми FDS.

Програмний комплекс FIM-інтегральна модель пожежі [51]. При вирішенні задач забезпечення пожежної безпеки часто необхідно виконати цілу серію розрахунків з різними вихідними даними: об'ємно-планувальними рішеннями, параметрами роботи протипожежних систем і ін. У таких випадках використання польової моделі потребує достатньо багато часу і стає проблематичним, оскільки для виконання кожного розрахунку необхідно достатньо багато часу і значні обчислювальні ресурси. На практиці це призводить до того, що користувачу необхідно обмежувати кількість варіантів, які розглядаються, що може вплинути на якість досліджень, які проводяться.

Для вирішення цієї проблеми розроблено програмний комплекс Fire Integral Model (FIM) – інтегральна модель пожежі. FIM реалізовує розрахунок динаміки небезпечних чинників пожежі з використанням інтегральної моделі, використовуючи у якості вихідних даних вхідний файл формату FDS. Якщо планування будинку відповідає сфері застосування інтегральної моделі, то FIM дає змогу значно (у сотні разів) прискорити використання попередніх розрахунків для оцінювання найбільш небезпечного сценарію, перед тим як запускати довготривалий розрахунок в FDS. При цьому немає необхідності створювати нову модель будинку у будь-якому іншому форматі – програма дає змогу читати вихідний файл FDS, виконує розрахунок динаміки небезпечних чинників пожежі і генерує вихідні файли, що аналогічні FDS, які можна аналізувати в програмах Smokeview [52], FireRisk [53] і ін.

FIM дає змогу провести розрахунок динаміки небезпечних чинників пожежі з використанням інтегральної моделі, яка відповідає вимогам Додатку 6 нормативного документу [44].

Інтегральна модель використовується у випадку, коли стан газового середовища з достатнім ступенем вірогідності можливо вважати однаковим по всьому об'єму приміщення. Таке припущення достовірне, якщо модель містить:

- достатньо великий осередок пожежі;
- відносно невеликий об'єм приміщення;
- гарний газообмін всередині приміщення, що забезпечує рівномірне змішування продуктів згоряння.

Таким чином, інтегральну модель можна використовувати в таких умовах:

- для будинків, що містять розвинену систему приміщень малого об'єму простої геометричної конфігурації;
- для приміщень, де характерний розмір осередку пожежі можливо порівняти з характерними розмірами приміщення і розміри приміщення можливо порівняти між собою (лінійні розміри приміщення відрізняються не більше ніж в 5 разів);
- для попередніх розрахунків з метою виявлення найбільш небезпечного сценарію розвитку пожежі.

Якщо один з лінійних розмірів приміщення більше ніж в п'ять разів перевищує хоча б один з двох інших лінійних розмірів, то необхідно це приміщення розподіляти на ділянки, розміри яких повинні бути порівняні між собою, і розглядати ці ділянки як окремі приміщення. Використання аналогічної процедури у випадку, коли два лінійних розміри перевищують третій більш ніж в 5 разів, не дає змогу.

Програмний комплекс ANSYS FLUENT [54 і 55] характеризується наступними можливостями:

- моделювання 2D плоских, 2D вісесиметричних, 2D вісесиметричних завихрених і 3D течій;
- використання неструктурованих сіток;
- моделювання всіх швидкісних режимів;
- моделювання нев'язких, ламінарних і турбулентних течій;
- моделювання течій ньютонівських і не ньютонівських рідин;
- широкий набір моделей турбулентності;
- моделювання теплоперенесення, включаючи різні види конвекції, пов'язаний теплообмін і випромінювання;
- використання моделей горіння перемішаних і не перемішаних хімічних компонентів, моделей поверхневого осаджування і гетерогенних реакцій;
- використання моделей течій з вільною поверхнею і багатофазних течій, включно тепло перенесення і хімічні реакції;
- обчислення траєкторій частинок в лагранжевому підході опису дисперсних течій, включаючи моделі розвитку тонких плівок і утворення аерозолів;
- використання моделей фазових переходів для прикладних програм, які розглядають плавлення/кристалізацію, ефекти кавітації і утворення вологої пари;
- моделювання пористих середовищ з анізотропною проникністю, опором, теплопровідністю і можливістю обчислення швидкостей в порах;
- використання спеціальних моделей для вентиляторів, радіаторів і теплообмінників;
- використання динамічних сіток для моделювання течій навколо об'єктів, що рухаються;
- використання стаціонарних, таких, що обертаються і прискорюються систем відліку;
- широкий набір засобів моделювання аероакустики;
- можливість залучення в модель об'ємних джерел маси, імпульсу, тепла і хімічних реакцій;

- можливість індивідуального налаштування числової моделі через визначені користувачем функції.

У пакеті програми наявні засоби автоматичного і ручного балансування навантаження на паралельно працюючих процесорах. Крім обчислювального модуля FLUENT разом з пакетом надаються засоби підготовки сіток для задач, що розглядаються – GAMBIT і TGrid.

Широкий спектр фізичних моделей FLUENT дає змогу вирішувати найрізноманітніші задачі. На теперішній час FLUENT – сучасний, універсальний програмний комплекс, який призначений для вирішення задач механіки рідин і газів. Він є лідером ринку комерційних CFD програм. FLUENT використовує неструктуровану технологію сіток. Це означає, що сітка може включати елементи різноманітної форми: чотирикутники і трикутники для 2-вимірних моделей і гексаєдрів, тетраєдрів, призм і пірамід для трьохвимірних моделей. Складні числові схеми і потужний обчислювач гарантують точні результати моделювання. Можливість використання матричного алгоритму спільного (coupled) рішення основних рівнянь підвищує стійкість числового розв'язку, а використання non-iterative часової схеми значно зменшує тривалість розв'язку для перехідних процесів. FLUENT запускається в паралельному режимі на Windows, Linux і Unix платформах. При цьому можуть бути використані багатопроцесорні обчислювальні машини або кластери. FLUENT написано мовою програмування C, що робить його достатньо гнучкою і потужною програмою, і дає змогу динамічний розподіл пам'яті, використовувати ефективну структуру даних і проводити контроль стану обчислювача. Також необхідно відмітити, що FLUENT має клієнт-серверну архітектуру. В FLUENT включено ламінарні і турбулентні моделі гідродинаміки, теплопередачі, фазових переходів і радіації. Також наявні моделі для розрахунку кавітації, течії середовищ, що стискаються, теплообміну, теплопровідності, реальних газів і модуль для розрахунку вологої пари. Можливість використання динамічної сітки суттєво розширює галузь

використання FLUENT: потоки в циліндрах, клапани і ін. Динамічні сітки можуть розглядатися спільно з моделями горіння, багатофазного потоку і ін.

Моделювання хімічних реакцій, особливо турбулентних потоків, було характерною рисою FLUENT, починаючи з моменту його створення. FLUENT використовує найсучасніші моделі для описання хімічних реакцій. База даних містить властивості багатьох газоподібних, твердих, вугільних і рідких паливних матеріалів. Також існують моделі для прогнозування NO_x. Моделі реакції FLUENT можуть використовуватися в поєднанні з LES і DNS-підходами. FLUENT містить багато моделей турбулентності: декілька версій двох параметричної моделі k-epsilon, модель k-omega і модель напружень Рейнольдса (RSM). FLUENT – один з кращих пакетів в технології багатофазного моделювання. Різноманітні можливості програми дозволяють отримувати найглибші відомості про роботу технічного пристрою чи апарату, що створюється. FLUENT також містить такі багатофазні моделі, як VOF (Volume of Fluid), mixture і модель Ейлера. Моделі також допускають врахування міжчастичної взаємодії в гранульованих течіях. Для деяких багатофазових явищ можливе використання моделі дискретної фази (DPM). VOF-моделі використовуються для розрахунку течій з вільною поверхнею. Модель кавітації, наявна в FLUENT, дає змогу моделювати роботу підводних гвинтів, насосів і паливних інжекторів.

Адаптація розрахункової сітки дає змогу отримати точне розв'язання для областей з великими градієнтами потоку, наприклад для приграничних шарів. Можливість адаптації дає змогу значно скоротити тривалість для побудову якісної сітки, рішення чисельної задачі і обробку результатів. Постпроцесор FLUENT відображає результати розрахунків у векторному і контурному видах, а також здатний відображати траєкторії руху частинок. Вбудований модуль анімації дає змогу обробляти результати нестационарних розрахунків.

Програмний комплекс PHOENICS [56 і 57] – це багатофункціональне програмне забезпечення, яке дає змогу прогнозувати і формалізувати опис,

наприклад надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Він дає змогу вирішувати одно-, двох- і трьохвимірні задачі з врахуванням тепло- та масообміну, турбулентності, перенесення енергії випромінюванням та хімічних реакцій. Цей програмний комплекс можливо використовувати для вивчення процесів тепло- та масообміну в різних галузях, для конструювання повітряного транспорту, будівель і споруд, прогнозування забруднення навколишнього середовища, управління (за можливості) впливом і небезпекою забруднення навколишнього середовища. Графічний редактор (VR – virtual reality) в складі PHOENICS дає змогу задавати в розрахунковій області конструкції з необхідними властивостями матеріалів з яких вони виготовлені. Наявна можливість визначати необхідні для даної математичної моделі рівняння, початкові і граничні умови для опису процесу, що вивчається. При цьому PHOENICS генерує спеціальний код, який користувач може редагувати для завдання нових умов і властивостей математичної моделі при розв'язанні поставленої задачі. Крім цього, наявна можливість підключати додаткові компіліровані модулі, які написано мовою алгоритмів (наприклад, Fortran). Деяку складність, яка вимагає знання обчислювальних методів і механіки рідини та газу, становить отримання коректного числового рішення за прийнятний тривалість обчислень на комп'ютері. У спеціальному програмному модулі необхідно задати параметри дискретизації розрахункової області і параметри ітераційного процесу. Результати числового вирішення задач можуть бути наведені за допомогою розвиненого графічного інтерфейсу у вигляді ізоліній, ізоповерхонь функцій, що досліджуються, векторних полів швидкості, ліній току і ін. На сайті компанії CHAM [56] – розробника PHOENICS наявний детальний опис основних математичних моделей і чисельних методів, які використовуються у цьому програмному комплексі.

У складі програмного комплексу PHOENICS наявні декілька модулів, які дозволяють вирішувати різні типи задач (багатофазне середовище, деформоване тверде тіло, протікання хімічних реакцій, врахування

електролітичних процесів та ін.). Наприклад, FLAIR – спеціалізований модуль, призначений для вирішення задач, які пов’язані з процесами перенесення тепла, вентиляційними системами і системами кондиціонування повітря, що забезпечують тепловий комфорт, здоров’я і безпеку, якість повітря і контролюють забруднення. FLAIR дає змогу інженерам за допомогою потужних і легкокерованих інструментів прогнозувати поведінку повітряних потоків, розподіл температури і рух диму в будинках і інших закритих приміщеннях.

Програмне забезпечення PHOENICS складається з наступних основних модулів:

- «SATELLITE» - редактор постановки задач та переглядач віртуальної реальності «VR-Editor»;
- обчислювальний модуль «EARTH» - призначено для чисельних рішень поставлених завдань;
- редактор візуалізації «PHOTON» - призначений для візуалізації та перегляду результатів розрахунку.

Програмний комплекс CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport [49] призначений для оцінки динаміки поширювання небезпечних чинників пожежі в житлових, громадських і промислових будинках та спорудах. Модель також може використовуватись для визначення розрахунку характеристик протипожежних систем – системи природного та механічного димовидалення, пожежної сигналізації.

CFAST для визначення небезпечних чинників пожежі у будинках і спорудах використовує двохзонну модель, яка поділяє кожне досліджуване приміщення на три зони: конвективну колонку, пристельовий простір (верхня зона) і зона холодного повітря (нижня зона). Математична модель CFAST базується на задачі Коші для системи звичайних диференційних рівнянь. В систему входять рівняння збереження маси, енергії (перший закон термодинаміки), рівняння стану ідеального газу, відношення густини і внутрішньої енергії.

CFAST розроблена Національним інститутом стандартів і технології (NIST) США в міжнародній кооперації з науково-дослідними організаціями США, Канади та Фінляндії. Програма пройшла валідацію у міжнародних дослідних лабораторіях, якими підтверджено її адекватність реальним процесам, що відбуваються під час пожежі. CFAST відображає результати моделювання пожежі з попередньо заданими розмірами приміщення. Дає змогу визначати тривалість за який небезпечні чинники пожежі досягнуть граничних для людини значень і, відповідно, тривалість блокування шляхів евакуації. Для визначення тривалості блокування шляхів евакуації наявна можливість визначати всі основні чинники, які на нього впливають, а саме: підвищена температура, інтенсивність теплового випромінювання (тепловий потік), втрата видимості (гранична видимість в диму), знижений вміст кисню, і кожен з токсичних газоподібних продуктів згоряння (окис вуглецю, двоокис вуглецю і хлористий водень), які впливають на людей під час пожежі, згідно з вимогами нормативних документів [58, 59, 44, 45].

Програмний комплекс CFAST є інструментом для інженера-проектувальника, оскільки він дає змогу досить швидко виконати моделювання пожежі та визначити тривалість за якого небезпечні чинники пожежі досягнуть своїх гранично допустимих значень у приміщеннях будинку, що дає змогу визначити граничний допустимий для людей тривалість евакуації та запропонувати необхідні технічні рішення (заходи) для його збільшення.

Програмний комплекс CFAST є безкоштовним програмним продуктом з відкритим кодом і дає змогу його використовувати на базі платформ операційних систем Windows, Linux і Mac OS.

Програмний комплекс Fire Dynamics Simulator (FDS) [60 і 61] реалізовує обчислювальну гідродинамічну модель (CFD) тепломасообміну під час горіння. FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурно-залежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму і теплопередачі при пожежі. Для візуалізації

результатів розрахунків використовується додаткова програма SmokeView [52], яка дає змогу переглядати тривимірну модель проекту та результати моделювання.

Для моделювання програма FDS використовує схему одноступінчастої хімічної реакції, результати передаються через двохпараметричну модель частки в суміші. За умовчужанням розраховуються два параметра суміші: масова частка незгорілого палива і масова частка палива, що згоріло (тобто продуктів згорання). Променистий теплообмін включено в модель розв'язування рівняння переносу випромінювання для сірого газу і, для деяких обмежених випадків, з використанням широкодіапазонної моделі. Рівняння вирішується за допомогою «методу скінченних об'ємів» (FVM). Даний метод аналогічний методу скінченних об'ємів для конвективного перенесення. Для всіх твердих поверхонь задаються теплові граничні умови, а також інформація про горючість матеріалу.

FDS дає змогу розв'язувати одну з важливих проблем польової моделі, а саме моделювання турбулентності, двома методами – LES (Large Eddy Simulation) – масштабне моделювання вихорів та DNS (Direct Numerical Simulation) – пряме розрахункове моделювання. Це дає змогу моделювати дисипативні процеси (в'язкість, теплопровідність, дифузивність) та використовувати пряме моделювання змішування палива та кисню і моделювати реакції з кінцевою швидкістю.

На рисунку 1.6 наведено приклад проведених розрахунків за допомогою програмного комплексу FDS швидкості руху повітряних потоків та їх візуалізація за допомогою програми SmokeView.

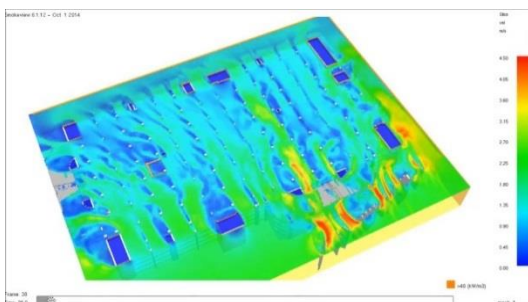


Рисунок 1.6 – Приклад проведених розрахунків за допомогою програмного комплексу FDS [60] швидкості руху повітряних потоків та їх візуалізація за допомогою програми SmokeView [52].

Вихідними величинами в FDS є температура, густина, тиск, швидкість і хімічний склад усередині кожної розрахункової сітки на кожному визначеному часовому кроці. Зазвичай буває від сотень тисяч до мільйонів осередків сітки і від тисяч до сотень тисяч часових кроків. Додатково, в FDS наявна можливість отримання на поверхні твердих тіл даних про температуру, тепловий потік, величину втрати маси, і інші величини. В цьому випадку більш достовірний розрахунок залежить від оператора, який повинен уважно обирати вихідні розрахункові дані для збереження, які дійсно важливі та потрібні під час проведення моделювання. Програмний комплекс FDS у вихідних файлах результатів моделювання може зберігати доволі велику кількість інформації, але що більше її зберігатиметься, то довше триватиме процес моделювання, тому важливо, щоб перед початком моделювання було задано для збереження тільки ті дані, які дійсно важливі для даного випадку. Типові вихідні величини при моделюванні для газової фази дають змогу отримати інформацію про:

- температуру гаоподібних речовин;
- швидкість газу - Концентрацію частинок газу (водяна пара, діоксид вуглецю, оксиду вуглецю, кисеню, азота і ін.);
- концентрацію диму і дальності видимості в ньому;
- значення тиску;
- швидкості виділення теплоти на одиницю об'єму;
- частки в суміші (або відношення повітря / паливо);
- густини газоподібних сумішей;
- масі крапель води на одиницю об'єму.

На твердих поверхнях FDS прогнозує додаткові величини, що пов'язані з балансом енергії між газом і твердою фазою, включаючи такі:

- поверхнева і внутрішня температура;
- тепловий, радіаційний і конвективний потоки;
- швидкість горіння;
- маса краплин води на одиницю площі.

Глобальні величини, що записуються програмою, включають наступні:

- загальна інтенсивність виділення теплоти (HRR);
- час спрацьовування спринклерів і сповіщувачів;
- потоки маси та енергії через отвори і тверді тіла.

Тимчасова історія різних величин в окремій точці простору, або глобальні величини на зразок інтенсивності виділення теплоти (HRR) зберігаються в простих тестових файлах (значення, розділені комами), які можуть бути оброблено з використанням програм для обробки даних.

Тим не менше, більшість просторових або поверхневих даних можуть бути візуалізовані за допомогою програми під назвою Smokeview - інструменту, спеціально розробленого для аналізу даних, що генеруються FDS. FDS і Smokeview використовуються спільно для моделювання та візуалізації його результатів. Smokeview виконує цю візуалізацію поданням анімованого руху досліджуваних частинок, анімаційних форм обчислених газових змінних і анімованих поверхневих даних. Smokeview також представляє контурні і векторні графіки статичних даних по всій сцені у заданий момент часу.

На цей час деякі вимоги чинної нормативної документації, що пред'являються до будівель підвищеної поверховості, не мають під собою достатнього наукового обґрунтування. Їх застосування може виявитися неоптимальним з економічної точки зору і складно реалізованим з технічної. Проблема належного наукового обґрунтування полягає в тому, що нещодавно, широко використовувалися повномасштабні моделі будівель, проводилися вогневі випробування на реальних будівлях. В цей час проведення таких випробувань має дуже високу їх вартість. Необхідність перевірки та обґрунтування вимог все ж залишається, внаслідок чого потрібно шукати альтернативні методи перевірки. Тому однією з альтернатив натурним експериментам (або доповненням до них) можуть слугувати спеціалізовані програмні комплекси, що пройшли апробацію та валідацію на

адекватність, під час відповідних процесів (наприклад, пожежі), що відбуваються.

Програмний комплекс FDS і програма SmokeView являються безкоштовними програмними продуктами з відкритим кодом і дозволяють використовувати їх на базі платформ операційних систем Windows, Linux і Mac OS.

Програмний комплекс STAR-CD [62] компанії CD-adapco дає змогу використовувати найефективніші чисельні методиками, забезпечуючи високу точність, необхідну для проведення розрахунків на складних неструктурованих сітках, і гарантуючи високу швидкість, ефективність і надійність, як того вимагає інженерне проектування і виробничі цикли.

STAR-CD використовує сучасні запатентовані методи для досягнення високої точності рішення задач, як стаціонарних, так і не стаціонарних, залишаючись при цьому найменш чутливим до типу і якості сіток, включаючи спотворені тетраїдральні. Примітно, що це досягнуто без втрати ефективності або надійності. Тому, який би тип сітки не був обраний, програма гарантує краще рішення за найкоротший час. Одна з особливостей STAR-CD - швидка продуктивність при вирішенні нестационарних задач.

Гнучкість програми, що виражається в здатності працювати з будь-якою сіткою і / або поверхнею сітки, робить його ідеальним для адаптивного побудови сіток. Набір інструментів, реалізований в графічному інтерфейсі користувача, дає змогу адаптувати сітку, ґрунтуючись не тільки на змінних, але і на реальних чисельних помилках. Це дає змогу оптимізувати моделі подрібненням сіток там, де це найбільш необхідно.

STAR-CD повністю інтегрований з pro-STAR, середовищем підготовки розрахунків та обробки їх результатів, що має графічний інтерфейс користувача (GUI). pro-STAR надає користувачеві найдосконаліший набір засобів пре- і пост-процесінгу, будь-коли розроблений для задач обчислювальної гідродинаміки і дає змогу задати різні параметри

розрахунку, автоматично побудувати різницеву сітку, запустити розрахунок і обробити його результати.

1.4 Висновки за першим розділом

За результатами аналізування літературних джерел [63-77], нормативних документів наведених вище та проаналізованих [78, 82], а також за результатами аналізування експериментальних досліджень поширювання пожежі на сусідні об'єкти, проведених раніше різними вченими виявлено, що в одному з випадків під час експериментальних досліджень вітровий вплив не враховувався, оскільки під час впливу вітру здійснюється більш інтенсивне відведення теплоти від досліджуваного зразка [19]. Інші автори у своїх роботах теоретично обґрунтовують та зазначають залежність інтенсивності теплового потоку на поверхні об'єктів, від швидкості та напрямку вітру [20].

Разом з тим, розроблені іншими науковцями математичні моделі [22-24] передбачають розгляд вітрового впливу як чинника, що нездатний змінити картину в цілому, винятком є лише ураганний вітер, який може нахилити полум'я майже горизонтально. З проведеного аналізу випливає, що швидкість вітру впливає на теплові процеси під час пожежі, однак цей вплив відрізняється в експериментальних та теоретичних дослідженнях. Тому перспектива подальших досліджень полягає у визначенні впливу вітру на теплові процеси в умовах пожежі як експериментальним, так і теоретичним методами.

Проаналізовані існуючі розрахункові та експериментальні методи прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти не враховують у своїх розрахунках параметри вітрового впливу.

Виходячи з вищенаведеного та на основі виконаного огляду наукової літератури зазначено, що існуючі розрахункові та експериментальні методи прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти потребують удосконалення в частині врахування сили та напрямку вітру.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОМІЖКУ ЧАСУ ДО НАСТАННЯ ПЕРЕДУМОВ ДЛЯ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ВІД ПАРАМЕТРІВ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ

2.1 Обґрунтування критеріальної бази щодо дослідження залежності проміжку часу до настання передумов для поширювання пожежі з урахуванням теплового впливу та температури займання від параметрів вітрового впливу

З проведеного у розділі 1 літературного огляду та аналізу нормативних документів зроблено висновок, що існує ряд параметрів, які впливають на процеси теплообміну між джерелом теплового випромінювання та сусідніми об'єктами. Основними з них є параметри, обґрунтовані і визначені в роботі [31], які не пов'язано з навколишнім середовищем, а саме: тривалість опромінювання, теплоутворювальна здатність пожежної навантаги, потужність джерела горіння, висота зони полуменевого горіння і інтенсивність теплового потоку у напрямку до непалаючих об'єктів. З іншої сторони параметрами, що також істотно впливають на процеси теплообміну є параметри, які безпосередньо пов'язані з навколишнім середовищем. Серед них: температура, вологість, тиск, видимість, швидкість і напрямок вітру. Для нашого дослідження важливими є параметри теплового потоку в комбінації з дією параметрів вітрового впливу.

Тепловий потік [83] – фізична величина, яка визначає кількість теплоти, що проходить через ізотермічну поверхню за одиницю часу, спрямована в напрямку, протилежному до градієнта температури, або є похідною по часу від кількості теплоти, що проходить через таку поверхню. [83] визначає тепловий потік як кількість теплоти, що проходить через зразок за одиницю часу. В свою чергу [84] описує поняття теплового потоку як кількість теплоти, що проходить крізь огорожувальну конструкцію за

одиницю часу. З аналізу поняття зроблено висновок, що важливою характеристикою теплового потоку є тривалість та кількість теплоти, що проходить крізь поверхню за дану одиницю часу. Характеристикою теплового потоку є його густина, що за [84] визначається як кількість теплоти, що проходить крізь огорожувальну конструкцію за одиницю часу, віднесена до площі розрахункової поверхні розміром 1 м². За [85] щільністю теплового потоку або питомим тепловим потоком, що характеризує інтенсивність теплообміну визначається кількість теплоти, через одиницю поверхні в одиницю часу.

Критична поверхнева густина променистого потоку за [85] визначається як мінімальне значення густини теплового потоку, за якого виникає стійке полове горіння матеріалів, на які падає променистий потік. У приміщеннях категорії Д відстані між ділянками, що містять складові пожежної навантаги (тверді горючі і важкогорючі матеріали), мають бути не меншими за мінімальні граничні значення l_{gr} , l_{gr1} та l_{gr2} залежно від величини критичної поверхневої густини падаючих променистих потоків.

Значення $q_{кр}$ (за тривалості опромінення 15 хв) для деяких матеріалів пожежної навантаги наведені у таблиці 2.1.

таблиця 2.1

Матеріал	$q_{кр}$, кВт· м ⁻²
Деревина (сосна вологістю 12 %)	13,9
Деревостружкові плити (питома вага 417 кг· м ⁻³)	8,3
Торфобрикети	13,2
Торф кусковий	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Шаруватий пластик	15,4
Склопластик	15,3
Пергамін	17,4
Гума	14,8
Вугілля	35,0
Рулонна покрівля	17,4
Сіно, солома	7,0

В цьому випадку значення критичної поверхневої густини теплового потоку не враховує дію повітря, та прив'язане лише до одного часового проміжку в 15 хв.

В якості критерія оцінювання значення критичної поверхневої густини теплового потоку різні вчені приймають різні ознаки, такі як:

- обвуглення речовин і матеріалів;
- перші ознаки тління речовин і матеріалів;
- поява полуменевого горіння;
- плавлення, спучування, розшарування речовин і матеріалів.

Разом з цим, зазначені параметри, крім полуменевого горіння, є досить жорсткими підходами оскільки не є тільки передумовами можливого початку горіння, та не є фактом виникнення горіння. Тому використання цих параметрів під час оцінювання значення критичної поверхневої густини теплового потоку може закласти необґрунтовані коефіцієнти запасу, що вплине на економічну доцільність під час визначення пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів.

Разом з цим критерієм, що безпосередньо асоціюють із виникненням стійкого горіння, є виникнення полум'я на поверхні речовини і матеріалу внаслідок дії на нього променистого теплового потоку. Тому під час розроблення методів щодо оцінки значення критичної поверхневої густини теплового потоку доцільно за критеріальну базу використовувати ознаку полуменевого горіння речовин і матеріалів.

Кількісні значення експериментальних даних критичної інтенсивності теплового випромінювання для органічних матеріалів згідно [13] наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Кількісні значення експериментальних даних критичної інтенсивності теплового випромінювання для органічних матеріалів

Матеріал	$q_{кр}, Вт/м^2$ при тривалому опроміненні, хв			
	3	5	15	30
Деревина (ялина, вологістю 12%)	18,6	16,5	14	12,5
Гума	23,3	19,8	15	14
ДВП ($\rho = 574$ кг/м ³)	16,9	14	10,5	9,3
ДВП ($\rho = 574$ кг/м ³)	14,5	11,8	9	8

Значення $q_{кр}$ за тривалості опромінення 15 хв для деяких матеріалів згідно з [85] наведено у таблиці 2.3

Таблиця 2.3

Тривалість опромінення матеріалів

<i>Матеріал</i>	<i>$q_{кр}, кВт м-2$</i>
Антрацит	34,80
Білок рослинний	23,45
Оргскло	25,10
Брикети бурого вугілля	20,20
Пінополістирол ПСБ-С	41,63
Папір	17,60
Пінополіуретан	24,30
Папір рихлий	13,40
Пінопласт ПХВ-1	19,51
Пінопласт ФС-7	24,43
Пінопласт ФФ	31,40
Пил бурого вугілля	25,00
Буре вугілля молоде	8,4
Плита деревоволокниста	20,90
Буре вугілля старе	18,60
Плитка полістирольна	41,87
Поліетилен	46,62
Гумотехнічні вироби	33,50
Рубероїд	29,50

Продовження таблиці 2.3

Цукор	16,80
Сіно	14,70
Дермантин	21,54
Смола штучна	16,80
Солома	14,70
Деревина в штабелях	16,60
Скло органічне	27,72
Деревина дубова	19,90
Тверде тваринне масло	38,20
Клепка букова для паркету	17,40
Лінолеум гумовий (релин)	27,21
Матеріал (текстиль)	24,47
Деревина ялинова	20,32
Деревина соснова	15,32
Деревина як умовне паливо	16,45
Жири тваринні	40,00
Борошно	16,80
Зерно	16,80
Вуглець	33,30
Кам'яне вугілля	31,25
Буре вугілля	12,50
Картон	16,50
Вугілля деревне	30,2
Вугілля коксоване	36,30
Каучук натуральний	44,80
Книги на стелажах	13,40
Бавовна	17,50
Бавовна розрихлена	15,70
Кожані обрізки	19,90
Целофан	17,37
Кокс газовий	26,90
Целюлоза	16,40
Кокс доменний	30,35
Целулоїд	16,30
Крохмаль	16,80
Шерсть	20,500
Лінолеум	21,00
Шерстяні волокна	32,14
Шовк	21,00
Ячмінь	17,37
Деревина (сосна вологістю 12 %)	13,9
Деревостружкова плита (густина 417 кг м ⁻³)	8,3

Продовження таблиці 2.3

Торфобрикет	13,2
Торф грудковий	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Багатошаровий пластик	15,4
ПВХ-лінолеум	9,1
Полімерна черепиця	11,5
Ламінарна підлога	9,4
Склопластик	15,3
Пергамін	17,4
Гума	14,8
Вугілля	35,0
Рулонна покрівля	17,4
Сіно, солома (за мінімальної вологості до 8 %)	7,0

З проведеного аналізу зазначеного параметру теплового впливу пожежі на сусідні об'єкти та виходячи з існуючих табличних даних показників критичної поверхневої густини теплового потоку діапазон кількісного значення показника теплового потоку для подальшого дослідження доцільно прийняти від 5...50 кВт/м².

Аналізуючи наступний досліджуваний нами параметр вітрового впливу визначено, що вітер [86] – великомасштабний потік газів. На Землі вітер є потоком повітря, що рухається переважно в горизонтальному напрямку. Вітри, як правило, класифікують за просторовим масштабом, швидкістю, типами сил, що їх спричиняють, місцями існування та впливом на довкілля.

Типовим засобом представлення даних щодо вітрів є атласи і мапи вітрів [86]. Ці атласи зазвичай складаються для кліматологічних досліджень та можуть містити інформацію як щодо середньої швидкості, так і щодо відносної частоти вітрів кожної швидкості у регіоні [86]. Зазвичай атлас містить середні за годину дані, виміряні на висоті 10 м та усереднені за десятки років.

Для окремих потреб використовуються й інші стандарти складання мап вітру. Так, для потреб вітроенергетики вимірювання проводять на висоті,

більшій за 10 м, зазвичай 30-100 м, та наводять дані у вигляді середньої питомої потужності вітрового потоку [86].

Через те що вплив вітру на людину залежить від його швидкості, ця характеристика була в основі перших класифікацій вітру. Найбільш поширеною з таких класифікацій є Шкала сили вітру Бофорта, що надає емпіричний опис сили вітру залежно від умов на морі, що спостерігаються [86].

Для опису кожного рівня ця шкала в оригінальному вигляді використовувала терміни розмовної англійської мови, такі як breeze, gale, storm, hurricane [87], що були замінені також розмовними термінами інших мов, такими як «штиль», «шторм» і «ураган» українською. Так, за шкалою Бофорта, шторм відповідає швидкості вітру (усередненій за 10 хвилин та округленій до цілого числа вузлів) від 41 до 63 вузлів (20,8-32,7 м/с), при цьому цей діапазон поділяється на три підкатегорії прикметниками «сильний» та «жорстокий» [87].

Шкала Бофорта — дванадцятибальна шкала, прийнята Всесвітньою метеорологічною організацією для наближеної оцінки швидкості вітру за його дією на наземні предмети або по хвилюванню у відкритому морі. Середня швидкість вітру вказується на стандартній висоті 10 м над відкритою рівною поверхнею. [88].

Таблиця 2.4

Співвідношення між балами Бофорта, швидкістю вітру і його дією на суші

Бали Бофорта	Словесне визначення сили вітру	Середня швидкість вітру, м/с (км/Г)	Дія вітру на суші
0	Штиль	0-0,2 (< 1)	Затишшя. Дим піднімається вертикально, листя дерев нерухомі
1	Тихий	0,3-1,5 (1-5)	Напрямок вітру помітний по віднесенню диму,

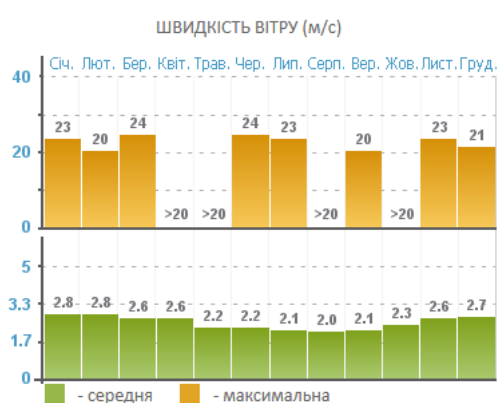
Продовження таблиці 2.4

2	Легкий	1,6-3,3 (6-11)	Рух вітру відчувається обличчям, шелестить листя, приводиться в рух флюгер
3	Слабкий	3,4-5,4 (12-19)	Листя і тонкі гілки дерев весь час колишуться, вітер розвіває легкі прапори
4	Помірний	5,5-7,9 (20-28)	Вітер піднімає пил і сміття, приводить в рух тонкі гілки дерев
5	Свіжий (холоднуватий)	8,0-10,7 (29-38)	Гойдаються тонкі стволи дерев, рух вітру відчувається рукою
6	Сильний	10,8-13,8 (39-49)	Гойдаються товсті суччя дерев, гудуть телеграфні дроти
7	Міцний	13,9-17,1 (50-61)	Гойдаються стволи дерев
8	Дуже міцний	17,2-20,7 (62-74)	Вітер ламає суччя дерев, йти проти вітру дуже важко
9	Шторм	20,8-24,4 (75-88)	Невеликі пошкодження, вітер починає руйнувати дахи будинків
10	Сильний шторм	24,5-28,4 (89-102)	Значні руйнування будівель, вітер викоріняє дерева
11	Жорстокий шторм	28,5-32,6 (103-117)	Великі руйнування на значному просторі. Спостерігається дуже рідко.
12	Ураган	> 32,6 (> 117)	Учиняє спустошливу дію

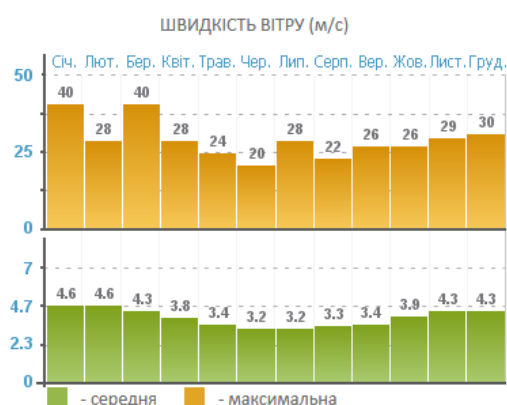
Режим дії вітрів на території України досить різний. Причиною цього є різні чинники, серед них: зміна атмосферного тиску, трансформація повітряних мас, наявність господарських угідь, розташування великих міст

[89]. Напрямок та швидкість вітру в Україні протягом року постійно змінюється, але в загальному територія України відноситься до зони західних вітрів помірного поясу [90].

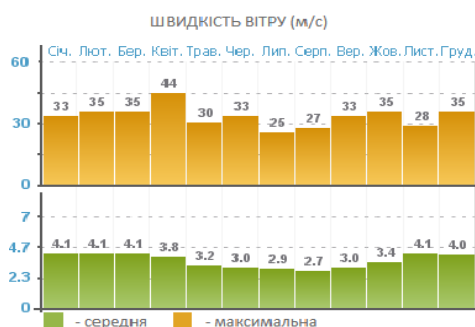
Український гідрометеорологічний центр, а також інформаційний сервер погоди містить на своїх сайтах досить детальну інформацію про поточну погоду, клімат, гідрологію, агрометеорологію, прогноз погоди та інше [89, 90]. За допомогою даного сервера можна проаналізувати кліматичні дані починаючи з 1899 року. Залежно від обраного міста визначено середньомісячні показники швидкості вітру, повторюваність (%) напрямку вітру та штилю, кількості опадів та ін. Завдяки цьому серверу та моніторингу даних по містах України встановлено, що протягом року швидкість вітру на території України коливається в межах від 3 до 6 м/с. Для прикладу на рисунку 2.1 зазначено дані середньої швидкості вітру в м. Києві, в м. Одеса, в м. Львові та [90].



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2. 1 – Кліматичні дані швидкості вітру на території: а) м. Києва б) м. Одеса, в) м. Львів, г) м. Маріуполь за річний період.

Також за допомогою цього сервера можливо спостерігати та відслідковувати повторюваність напрямку вітру у регіоні, що в подальшому можна використовувати для оцінки напрямку вітру при розрахункових методах визначення безпечних відстаней між об'єктами рисунок 2.2 [91].

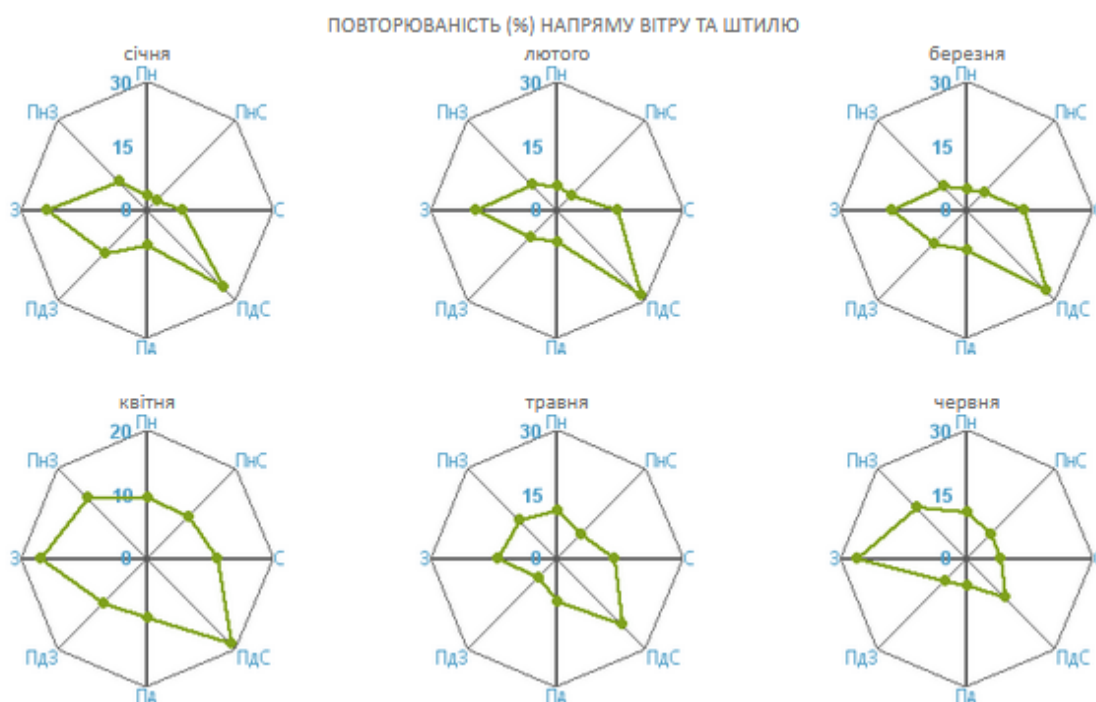


Рисунок 2.2 – Повторюваність (%) напрямку вітру та штилю

За результатами аналізування показники швидкості вітру на території України зроблено висновок, що середня швидкість становить від 2,5 до 5 м/с. На середню швидкість вітру також істотно впливають місцеві природні умови. Так, на території змішаних лісів, швидкість вітру дещо менша, в свою чергу вона більша в степових зонах та біля берегів морів та водосховищ [91].

Проведений моніторинг гідрометеорологічного сервера погоди в Україні та статистичних даних Українського гідрометеорологічного центру, а також кліматичних даних за період з 1899 по 2019 роки дає змогу визначити, що середня швидкість вітру на території України улітку варіює в діапазоні від 3 до 6 м/с, а загальна середня швидкість вітру залежно від

регіону становить до 5 м/с. В зимовий період цей показник дещо більший, він досягає від 6 до 7 м/с на більшій частині узбережжя і до 9 м/с біля Євпаторії [91]. Тому, враховуючи вищенаведене для подальших досліджень було прийнято рішення приймати діапазон вітрового впливу від 0 до 5 м/с, а у комп'ютерному моделюванні збільшити діапазон до 10 м/с.

2.2. Розрахунок безпечних відстаней між об'єктами спрощеним методом

За допомогою спрощеного розрахункового методу зроблено припущення, що загальний (сумарний) тепловий потік, що опромінює речовини і матеріали, складається з двох складових – променевої та конвекційної – та визначається за формулою [92] (1).

$$q^B + q^K = q^M, \quad (1)$$

де q^B – інтенсивність теплового випромінювання;

q^K – інтенсивність конвекційного впливу;

q^M – критична поверхнева густина теплового потоку

Інтенсивність джерела випромінювання розраховували за формулою Стефана-Больцмана (2)

$$q^B = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \left((T_f + 273)^4 - (T_s + 273)^4 \right) \quad (2)$$

де Φ – кутовий коефіцієнт опромінювання;

ε_m – ступінь чорноти поверхні матеріалу, що сприймає теплоту, приймають таким, що дорівнює 0,8;

ε_f – ступінь чорноти полум'я, приймають таким, що дорівнює 1;

σ – стала Стефана-Больцмана, Вт/м²·К⁴;

T_f – температура полум'я пожежі, °С;

T_s – температура на поверхні матеріалу та речовини, що опромінюється теплотою, °С.

Інтенсивність конвекційного впливу розраховували за формулою (3)

$$q^k = \alpha(T_f - T_s) \quad (3)$$

де α – коефіцієнт теплообміну, який визначається за формулою (4)

$$\alpha = \frac{\lambda_t}{d_{\text{екв}}} K_1 K_2 Pr^n \left(\frac{V_B d_{\text{екв}}}{v(t)} \right)^m \varepsilon \quad (4)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності продуктів згорання;

ε – коефіцієнт, який враховує напрямок дії вітру [20];

$d_{\text{екв}}$ – еквівалентний розмір поверхні, яка омивається конвекційними потоками, м;

$v(t)$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості продуктів згорання;

Pr – критерій Прандтля; Re – критерій Рейнольдса, V_B – швидкість вітру, м/с;

n і m – показники ступенів, що залежать від геометричної форми тіла, яке підпадає під дію конвекційного випромінювання; K_1 і K_2 – температурні фактори.

Для теоретичного дослідження залежності поширювання пожежі на сусідні об'єкти від вітру можна також використати польову модель, яка ґрунтується на повній системі диференційних рівнянь Нав'є – Стокса [93,94], а саме:

- рівняння збереження маси [93] :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{u} = \dot{m}_b^m, \quad (5)$$

де t – час; ρ – густина;

\vec{u} – вектор відносної швидкості,

$\dot{m}_b^m = \sum_a \dot{m}_{b,a}^m$ - швидкість утворення газових компонентів в наслідок випаровування,

\vec{u} - двохелементний тензор, в матричній системі

$\vec{u} = [u, v, w]^T$, що представлений тензорним добутком векторів u та u^T .

- рівняння збереження імпульсу [93]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot \rho u u + \nabla p = \rho g + f_b + \nabla \cdot \tau_{ij}, \quad (6)$$

де p – тиск,

f_b – зовнішня сила, наприклад, опір руху через краплини рідини,

τ_{ij} - тензор напруги.

- рівняння збереження енергії [93]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s u = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}^m - \dot{q}^b - \nabla \dot{q}^n - \varepsilon, \quad (7)$$

де h_s – ентальпія, що є функцією температури,

$$h_s = \sum_a Y_a h_{s,a}, \quad h_{s,a}(T) = \int_{T_0}^T C_{p,a}(T') dT', \quad \frac{Dp}{Dt} = \frac{dp}{dt} + u \nabla p, \quad \dot{q}^m -$$

інтенсивність виділення теплоти на одиницю об'єму через перебіг хімічної реакції, \dot{q}_s^m - енергія, витрачена на випаровування краплин, \dot{q}^n - конвекційні та радіаційні теплові потоки, ε - енергія розсіювання $\dot{q}^n = -k \nabla T - \sum_a h_{s,a} \rho D_a \nabla Y_a + \dot{q}_r^n$.

- рівняння стану ідеального газу [93] встановлює зв'язок між температурою та механічними параметрами

де R – універсальна газова стала, - усереднена молекулярна маса суміші компонентів.

В польовій моделі також використовують математичні моделі, які враховують супутні явища, а саме: модель конвективних та радіаційних потоків, модель горіння (у вигляді узагальненого стехіометричного рівняння хімічної реакції, та швидкості хімічної реакції, що визначає кількість утворення відповідного компонента), модель стану газу модель турбулентності (великих вихрів, Смагоринського) [94].

За допомогою програмного комплексу Fire Dynamics Simulator (FDS) [95] можливе розв'язання зазначених вище рівнянь для визначення безпечних відстаней між об'єктами в умовах поширювання пожежі під дією потоку

повітря, що можливо відобразити та візуалізувати у програмі Smokeview (SMV) [96 – 98].

2.3 Висновки за розділом

На основі аналізу літературних джерел, та нормативних документів зазначено перелік критеріїв, які впливають на прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти, а саме:

- густина теплового потоку;
- температура полум'я;
- температура займання речовин і матеріалів, які опромінюються від факелу пожежі;
- критична поверхнева густина теплового потоку для речовин і матеріалів, які опромінюються від факелу пожежі;
- теплоутворювальна здатність пожежної навантаги;
- тривалість теплового опромінювання;
- швидкість вітру.

При цьому обґрунтовані найбільш імовірні інтервали критерію вітрового впливу, а саме його швидкість, на території України, які становлять від 0 до 10 м/с.

Також на основі проведеного аналізу теоретичних досліджень прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти можливо провести із використанням рівняння теплопровідності в стаціонарному режимі (спрощена модель), рівняння теплопровідності у нестационарному режимі та в режимі польових моделей, яка ґрунтується на повній системі диференціальних рівнянь Нав'є – Стокса, а також враховує супутні явища такі як модель конвективних та радіаційних потоків, що і обрано для подальших розрахунків.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ ОБ'ЄКТИ З УРАХУВАННЯМ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ

За результатами опрацювання нормативних документів та літературних джерел, які проведені у першому розділі, зроблено висновок, що експериментальні дослідження щодо зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу доцільно проводити на установці, конструкцію якої регламентовано ДСТУ Б В.1.1-2-97 «Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість», але з певною модифікацією, а саме без використання газового пальника рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Вигляд установки для проведення дослідження

3.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження щодо зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу проводили з

метою кількісного визначення значення критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів, отримання табличних даних критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів з їх прив'язкою до тривалості теплового впливу та введення у простір потоку повітря, а також встановлення закономірності зміни густини теплового потоку в цих умовах [99].

Методикою проведення експериментальних досліджень передбачався розгляд двох варіантів можливих сценаріїв впливу вітру на процес теплообміну, що відповідають граничним (найбільш сприятливим і найбільш несприятливим) ситуаціям, а саме:

- досліджуваний зразок, що опромінюється, знаходиться з навітряного боку по відношенню до пожежі рисунок 3.1 а);
- вітровий вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на досліджуваний зразок рисунок 3.1 б).

Методика проведення досліджень передбачала імітацію джерела теплового випромінювання, а також імітацію потоку повітря з різною швидкістю та різним напрямком впливу з визначенням проміжку часу від початку досліду до початку полуменевого горіння.

Обладнання, що використовувалося для проведення експериментального дослідження, включало в себе:

- установку;
- вентилятор;
- засоби вимірної техніки;
- зразки;
- обладнання для фото та відео зйомки.

Конструкція установки відповідала вимогам ДСТУ Б В.1.1-2-97 «Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість».

Схему установки для проведення дослідження за двома запропонованими сценаріями наведено на рисунку 3.2.

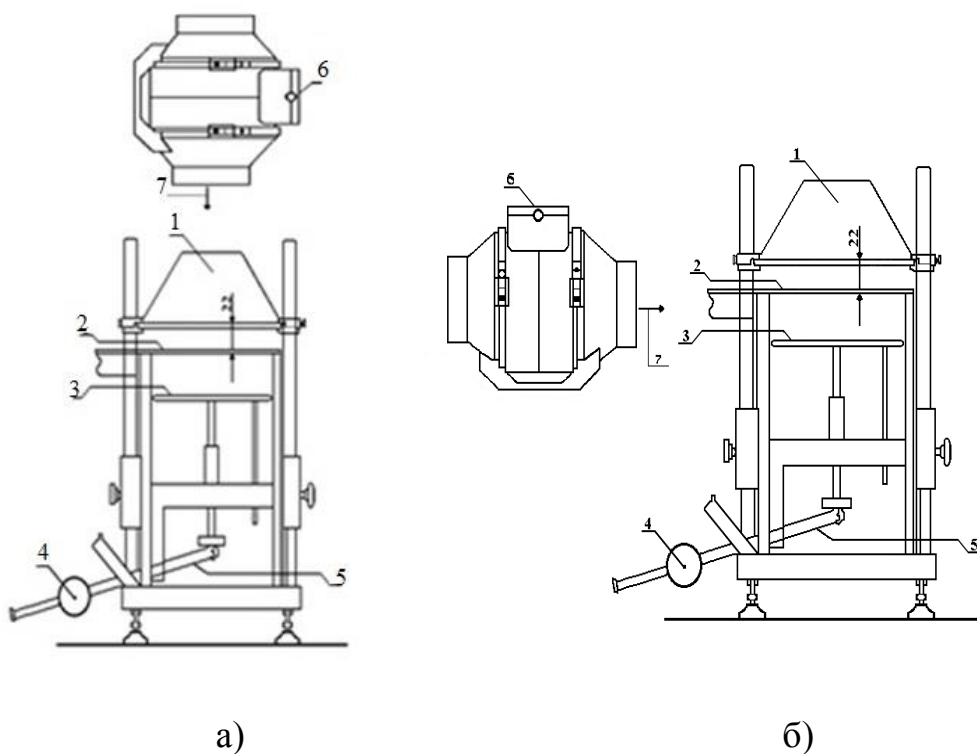


Рисунок 3.2 – Опорна станина, радіаційна панель та установка: 1 – радіаційна панель; 2 – захисна плита; 3 – рухома платформа 4 – противага; 5 – важіль; 6 – вентилятор; 7 – потік повітря.

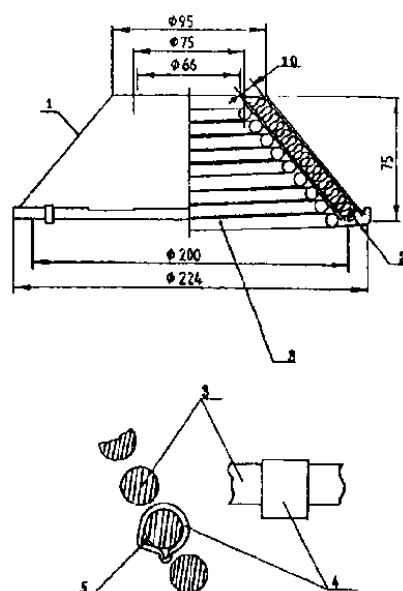


Рисунок 3.2 – Радіаційна панель: 1 – шкіра з теплоізолюючим шаром; 2 – теплоізолюючий шар з мінерального волокна; 3 – нагрівальний елемент; 4 – хомут; 5 – термоелектричний перетворювач

Джерелом теплового потоку слугувала радіаційна панель рисунок 3.3, яка забезпечувала задані рівні променистого теплового потоку в діапазоні вимірювань від 5 кВт/м^2 до 50 кВт/м^2 без використання газового пальника.

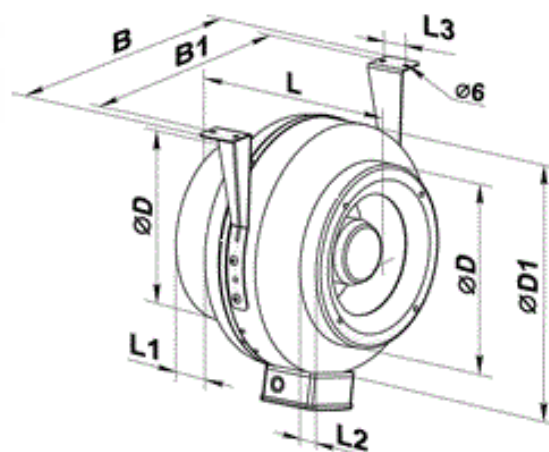


Рисунок 3.3 – Радіаційна панель (джерело теплового впливу)

Крім цього, для створення потоку повітря використано промисловий вентилятор Vents VKM 150 рисунок 3.4, розміри та характеристики якого наведено на рисунку 3.1 б) та в таблицях 3.1, 3.2.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Вентилятор Vents VKM 150, а) зовнішній вигляд;
б) схематичне зображення

Таблиця 3.1

Розміри промислового вентилятора

Модель	Розміри, мм							
	ØD	B1	ØD1	B	L	L1	L2	L3
ВКМ 150	149	304	349	309	220	25	25	30

Характеристики промислового вентилятора зазначені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Характеристики вентилятора Vents VKM 150

Потужність, Вт	Оберти двигуна, об/хв.	Бренд	Країна виробник	Максимальний витрата повітря, м ³ /г	Діаметр патрубка, мм
98	2705	Vents	Україна	555 — 558	150

Вентилятор масою 5,4 кг має регулятор для встановлення різної швидкості потоку повітря, положення якого змінювали відповідно до обраного сценарію. Вентилятор забезпечував швидкість повітряного потоку в площині між досліджуваним зразком та радіаційною панеллю для сценарію, коли вітровий вплив відбувався під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на будівлю. У випадку, коли будівля, що опромінюється факелом пожежі, розташовується з навітряного боку по відношенню до пожежі, вітровий вплив діяв на досліджуваний зразок з навітряного боку.

Швидкість повітряного потоку вимірювали за допомогою анемометра з максимальною похибкою, що складала не більше ніж $\pm 0,1$ м/с. Під час досліджень встановлювалися такі швидкості вітру: 0, 1,5 м/с, 3 м/с, 4,5 м/с. Похибка вимірювання анемометром за швидкості повітряного потоку 4,5 м/с не перевищувала $\pm 0,2$ м/с.

Засоби вимірювальної техніки, що використовувалися під час проведення досліджень

Таблиця 3.3

Засоби вимірювальної техніки

Найменування і тип засобу вимірювання	Діапазон вимірювання	Похибка засобу вимірювальної техніки	Призначення під час досліджень
Лінійка вимірювальна	від 0 до 1000 мм	$\pm 0,1$ мм	Вимірювання розмірів зразків
Штангенциркуль ШЦЦ-1	від 0 до 125 мм	± 1 мм	Вимірювання лінійних розмірів
Секундомір	від 0 до 3600 с	$\pm(0,4 \cdot \tau$ вим/60) с	Вимірювання тривалості випробування
Вологомір ВПК 12	від 6 до 100	± 2 %	Вимірювання вологості
Термоанемометр з виносним датчиком	0,0-45,0 м/с	$\pm 3\% \pm 0.1$	Вимірювання швидкості повітряного потоку

Виготовлення досліджуваного зразка

Зразки було виготовлено відповідно до вимог технічної документації. Для випробування досліджувані зразки, кондиціонували до досягнення сталої маси за температурою $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ та відносній вологості $(50 \pm 5) \%$.

Якщо досліджувані зразки, що застосовуються, легко вбирають вологу або мають значну вологість (що може вплинути на результати випробування), необхідно вжити заходів для забезпечення врівноваженого стану зразка. Вміст води в такому будівельному матеріалі на момент початку випробування має бути вимірний і зареєстрований.

Зразки для експериментальних досліджень являли собою паралелепіпеди з горизонтальними гранями довжиною (165 ± 5) мм і боковими гранями висотою не більше ніж 70 мм у кількості 40 штук, що мають відхилення мінус 5 мм товщиною не більше ніж 70 мм рисунок 3.5.



Рисунок 3.5 – Зразки для експериментальних досліджень

При кожному заданому значенні поверхневої густини теплового потоку та кожному значенні швидкості потоку повітря дослідження проводились не менше трьох разів. При виготовленні зразків експонована поверхня не піддавалася оброблянню.

Як зразки використовували такі матеріали:

- соснова деревина товщиною 40 мм відносною вологістю не більше ніж 15 %;
- папір офісний густиною 80 г/м²;
- екструдований пінополістирол;
- гофрокартон п'ятишаровий;
- дизельне паливо.

Дослідження проводились у закритому приміщенні без протягів. Температура в приміщенні перед дослідженням становила (20 ± 10) °С.

Порядок проведення експериментальних досліджень

Підготовка до проведення досліджень включала такі етапи:

- обгортання зразка плоским листом з алюмінію або нержавіючої сталі (номінальна товщина 0,2 мм), у центрі якого вирізаний отвір діаметром 140 мм. При цьому центр отвору у фользі повинен співпадати з центром експонованої поверхні зразка (рисунок 3.1);

- зразок встановлювали у тримач та на рухому платформу, регулюючи противагу;

- вмикали електроживлення і по регулюючому термоелектричному перетворювачу задавали встановлену при калібруванні задану величину теплового потоку, що відповідає поверхневій густині теплового потоку рівній 30 кВт/м^2 ($646 \pm 3^\circ \text{C}$).

Проведення досліджень

Кожен зразок випробовували з метою визначення КПГТП за однакових умов. Цими умовами є: задана величина швидкості потоку повітря в діапазоні від 0 до 4,5 м/с та відстань до досліджуваного зразка 50 мм.

Послідовність випробувань

а) випробовування без впливу потоку повітря:

- задавали величину термоелектрорушійної сили 30 кВт/м^2 , та витримували в заданому режимі приблизно 5 хвилин. При цьому величина термоелектрорушійної сили, що зафіксована по контролюючому термоелектричному перетворювачу, повинна відрізнитися від одержаної при калібруванні не більше ніж на 1%.

- зразок установлювали у тримач та поміщали його на рухому платформу, регулюючи противагу;

- після закінчення 20 хв або спалахуванні зразка експериментальне дослідження припиняли. Для припинення експериментального дослідження зразок гасився та розміщувався на захисній плиті, після чого зупинявся реєстратор часу, видалявся тримач із зразком і розміщувався на рухомій платформі зразок-імітатор, прибирають екранувальну поверхню.

- якщо протягом 20 хв зафіксовано спалахування то величину ПГТП зменшують до 25 кВт/м^2 та повторювали експериментальне

дослідження. Якщо спалахування не відбулося у попередньому випробуванні значення ПГТП збільшували до 35 кВт /м². Кожен зразок випробовували на значеннях поки не було визначено КПГТП. Залежно від результатів випробувань величину ПГТП збільшували на 5 кВт/м² (за відсутності спалахування) або зменшували на 5 кВт/м² (за наявності спалахування).

б) випробовування з впливом потоку повітря швидкістю 1,5 м/с:

- встановлювали вентилятор на відстані 50 мм від досліджуваного зразка, вмикали його з заданою швидкістю потоку повітря та повторювали експеримент згідно пп. а.

в) випробовування з впливом потоку повітря 3 м/с:

- встановлювали вентилятор на відстані 50 мм від досліджуваного зразка, вмикали його з заданою швидкістю потоку повітря та повторювали експеримент згідно пп. а.

г) випробовування з впливом потоку повітря 4,5 м/с:

- встановлювали вентилятор на відстані 50 мм від досліджуваного зразка, вмикали його з заданою швидкістю потоку повітря та повторювали експеримент згідно пп. а.

Оцінювання результатів

Спостереження та вимірювання визначених параметрів повинні проводитися під час та (або) після випробувань з використанням фото – та відеозйомки.

Проміжок часу, що вимірювали від початку випробування, наводили у хвилинах та секундах.

Протокол випробувань складали максимально повним. Для цього зареєстрували всі зроблені під час та після випробувань спостереження, а також надавали коментарі про проблеми, які виникли під час цих робіт. Протокол випробувань містив:

- час спалахування;
- місце спалахування;
- опис процесу руйнування зразка під дією теплового випромінювання;

- інформацію про плавлення;
- інформацію про здимання.

Результати кожного окремого випробування повинні подаватися окремо, а також необхідно вказувати їх середнє значення.

Значення теплового потоку, за яким відбулося займання або тління речовини або матеріалу приймали як Q_{min} та визначали із розрахунку, як середнє арифметичне значення від трьох результатів досліджень.

Вимоги безпеки праці

Перед проведенням експериментальних досліджень потрібно вивчити вимоги безпеки праці наведені [101], а також інструкції з охорони праці, інструкції з безпеки праці встановлені в УкрНДЦЗ.

Під час проведення експериментальних досліджень повинна бути присутня особа, яка відає за охорону праці та проведення інструктажів. Також всі особи, що приймають участь у проведенні досліджень повинні пройти інструктажі під підпис у відповідному журналі, з уточненням функцій кожного учасника досліджень.

3.2 Висновки за розділом

За результатами досліджень по даному розділу:

Розроблено методику експериментальних досліджень закономірностей зміни поширювання пожежі на сусідні будівлі залежно від швидкості та напрямку вітру для двох варіантів впливу вітру:

- досліджуваний зразок, що опромінюється, розташовується з навітряної сторони відносно пожежі;
- вітровий вплив відбувається під кутом 90° відносно напрямку теплового впливу пожежі на досліджуваний зразок.

Використання створеного методу дасть змогу скласти статистичні табличні дані щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для різних речовин і матеріалів в умовах впливу потоку повітря з різною швидкістю.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ ОБ'ЄКТИ ЗАЛЕЖНО ВІД ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМКУ ВІТРУ

4.1 Результати експериментальних досліджень

Як відомо з [102], критична поверхнева густина теплового потоку (далі – $q_{кр}$) – величина, що відноситься до критеріїв займистості матеріалів та розраховується і визначається проведенням експериментальних досліджень. В умовах пожежі умовою займання речовин і матеріалів від дії теплового опромінювання є перевищення деякого критичного значення поверхневої густини теплового потоку для такої речовини чи матеріалу.

Для визначення закономірностей зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти залежно від швидкості та напрямку вітру було проведено експериментальні дослідження [102]. Дослідження проводились на установці конструкцію якої регламентовано ДСТУ Б В.1.1-2-97 Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість. Дослідження проводилися згідно з розробленою методикою, наведеною в розділі 3.

Проведені дослідження створюють умови, подібні до опромінювання речовин та матеріалів незмінною величиною теплового потоку, та дією на досліджуваний зразок потоку повітря різної швидкості до виявлення ознаки полуменевого горіння та встановлення тривалості досягнення цієї ознаки.

Як досліджувані зразки в цьому разі було обрано матеріали, що найбільш розповсюджені в будівництві, а саме: екструдований пінополістирол, OSB-3 товщиною 12 мм, ФКМ Фанера товщиною 12 мм, п'ятишаровий гофрокартон рисунок 4.1.



Рисунок 4.1. – Досліджувані зразки

Найбільш показовим для виявлення впливу вітру на теплові процеси під час поширювання пожежі та виявлення залежності зміни параметрів поширювання пожежі на сусідній об'єкт в умовах вітрового впливу було використано для подальших досліджень п'ятишаровий гофрокартон. За його початковому випробуванні спостерігалася динаміка від початку і до кінця випробувань за досить короткий проміжок часу.

П'ятишаровий гофрокартон товщиною 6 мм

Як досліджуваний зразок в цьому разі було взято п'ятишаровий гофрокартон у формі паралелепіпеду з горизонтальними гранями довжиною (165 ± 5) мм і боковими гранями висотою не більше ніж 70 мм у кількості 40 штук, рисунок 4.2. Підготовка досліджуваного зразка до проведення експериментальних досліджень розпочиналася з обгортання зразка плоским листом з алюмінію або нержавіючої сталі (номінальна товщина 0,2 мм), у центрі якого вирізано отвір діаметром 140 мм. При цьому центр отвору у фользі повинен співпадати з центром експонованої поверхні зразка, після

чого зразок встановлювали у тримач та на рухому платформу, регулюючи противагу.



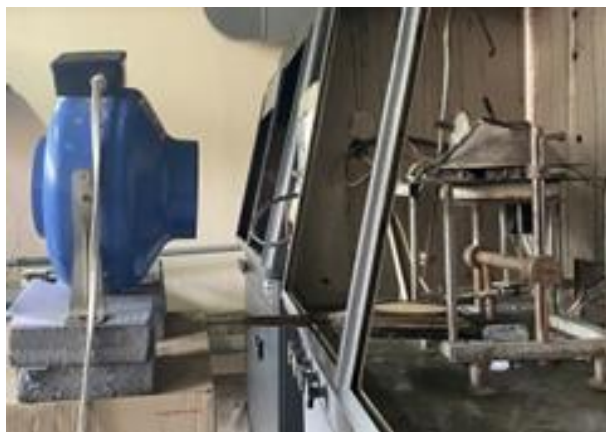
Рисунок 4.2 Досліджувані зразки для проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження розпочиналися з встановлення сталої величини поверхневої густини теплового потоку 30 кВт/м^2 без урахування впливу вітру. Стаціонарне полуменеве горіння спостерігалось вже через 230 с, у зв'язку з чим відбулося зменшення ПГТП на 5 кВт/м^2 . За величини 10 кВт/м^2 протягом 20 хв теплової дії полуменеве горіння не зафіксовано, спостерігалось тління картону, однак без подальшого займання. Для дослідження залежності вітрового впливу кожен зразок досліджувався в умовах впливу сталої величини теплового потоку та відповідної швидкості вітру [102].

Для проведення експериментальних досліджень за двома сценаріями, коли досліджуваний зразок, що опромінюється полум'ям пожежі, розташовується з навітряного боку по відношенню до пожежі, та коли вітровий вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на дослідний зразок; використовували фрагмент гофрокартону п'ятишарового розмірами $(165 \pm 5) \text{ мм} \times (165 \pm 5)$.

Для сценарію, коли вітровий вплив відбувався під кутом 90° , спостерігалось займання досліджуваного зразка за мінімальної густини теплового потоку 15 кВт/м^2 . Зі збільшенням теплового потоку спостерігалось зменшення проміжку часу до займання досліджуваного зразка, зі збільшенням швидкості вітрового впливу за однакових значень теплового потоку проміжок часу до займання досліджуваного зразка збільшувався та, відповідно, збільшувалось значення теплового потоку, за якого досягалась температура займання досліджуваного зразка.

Для сценарію, коли досліджуваний зразок розташовувався з навітряного боку від впливу джерела випромінювання, спостерігалось його займання за мінімальної густини теплового потоку 8 кВт/м^2 , що на 7 кВт/м^2 менше ніж без урахування впливу вітру, тобто умови виникнення займання більш сприятливі, що потребує врахування у відповідних методах прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти. Зі збільшенням теплового потоку спостерігалось зменшення проміжку часу до займання досліджуваного зразка, а зі збільшенням швидкості потоку повітря за однакових значень теплового потоку проміжок часу до займання досліджуваного зразка зменшувався та, відповідно, зменшувалось значення теплового потоку, за якого досягалась температура займання досліджуваного зразка. Хід експерименту зображено на рисунку 4.3.



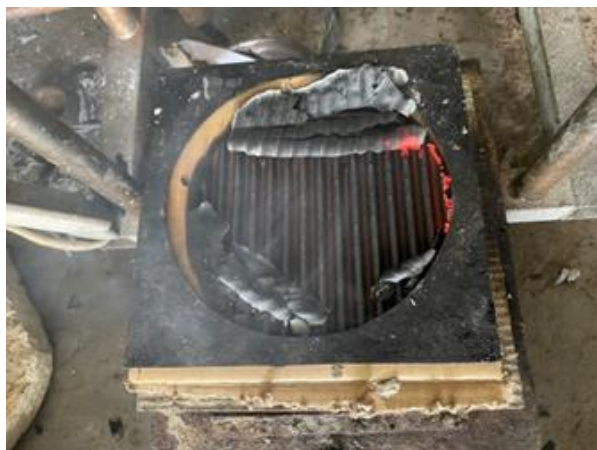
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.3 – Демонстрація проведення експериментального дослідження: а) вигляд установки; б) процес вимірювання швидкості вітру; в) вигляд зразка на початку дослідження; г) вигляд зразка після займання.

Спостереження та вимірювання визначених параметрів проводилися під час та після випробувань з використанням фото - та відеозйомки.

Проміжок часу, що вимірювався від початку випробування, до настання полуменевого горіння досліджуваного зразку наведено в секундах.

Після проведення досліджень було оформлено відповідні дані з реєстрацією всіх зроблених під час та після випробувань спостережень.

Серед них: тривалість спалахування; місце спалахування; процес руйнування зразка під дією теплового випромінювання; плавлення; здимання.

Результати кожного окремого випробування повинні подаватися окремо, а також необхідно вказувати їх середнє значення.

За результатами проведення трьох експериментів отримано дані щодо змінювання тривалості досягнення температури займання дослідного зразка від величини густини теплового потоку для різних швидкостей потоку повітря та побудовано відповідні графіки, що наведені на рисунках 4.4, 4.5.

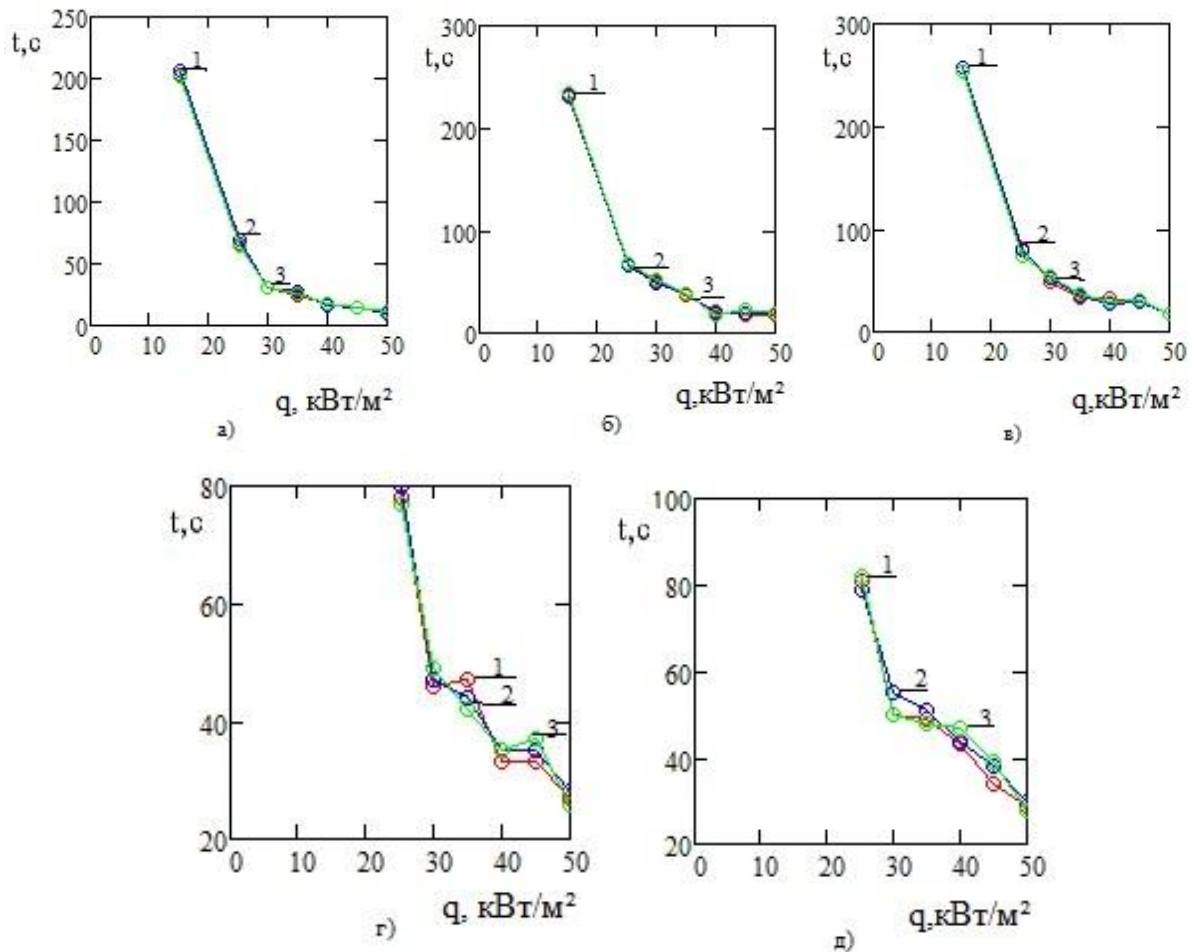


Рисунок 4.4 – Залежність проміжку часу до досягнення температури займання досліджуваного зразка від величини густини теплового потоку: а) результати дослідження без впливу потоку повітря за двома сценаріями; б) результати дослідження з впливом потоку вітру із швидкістю 1,0 м/с; в) результати дослідження з впливом потоку вітру із швидкістю 1,5 м/с; г) результати дослідження з впливом потоку вітру із швидкістю 3,0 м/с; д) результати дослідження з впливом потоку повітря із швидкістю 4,5 м/с для сценарію, коли вітровий вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на дослідний зразок;

Аналізуючи дані графіку при відсутності дії вітру критичне значення поверхневої густини теплового потоку, яке необхідне для займання дослідного зразка дорівнює 15 кВт/м^2 . За швидкості вітру $4,5 \text{ м/с}$ для сценарію, коли його вплив відбувався під кутом 90° , критичне значення поверхневої густини теплового потоку, яке необхідне для займання дослідного зразка, дорівнює 25 кВт/м^2 , тобто за таких умов відбувається відведення тепла.

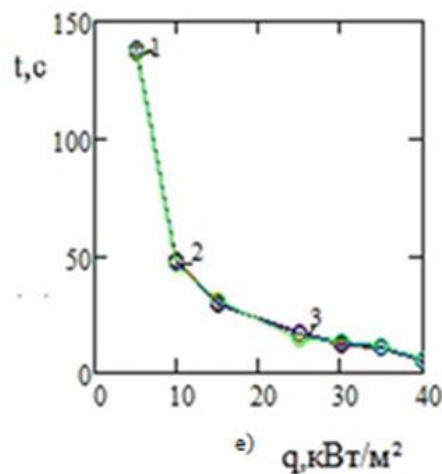


Рисунок 4.5 – Результати дослідження з впливом потоку повітря із швидкістю $4,5 \text{ м/с}$ для сценарію, коли досліджуваний зразок, що опромінюється полум'ям пожежі, розташовується з навітряного боку по відношенню до пожежі; 1,2,3- результати окремого експерименту.

Аналізуючи дані графіка для швидкості вітру $4,5 \text{ м/с}$ та для сценарію, коли дослідний зразок знаходиться з навітряного боку від впливу джерела теплового випромінювання, критичне значення поверхневої густини теплового потоку, яке необхідне для займання дослідного зразка дорівнює 8 кВт/м^2 , що на 7 кВт/м^2 менше, тобто при таких умовах відбувається нагнітання тепла та потребує врахування під час прогнозування впливу пожежі на сусідні об'єкти.

4.2. Оцінювання результатів експериментальних досліджень

Для подання експериментальних даних у формі, зручній для подальшого аналізу, та використання з метою визначення закономірності зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу проведено статистичну обробку отриманих даних.

За допомогою статистичних методів обробки результатів експериментальних досліджень, а саме за допомогою використання критерію Граббса в цьому разі, визначено наявність викидів та квазिवикидів у експериментальних даних. [102,103].

Для того щоб визначити чи насправді отримані дані є викидами або квазिवикидами, використовували формулу 4.1 та розраховували зазначений вище критерій Граббса для кожного окремого експериментального дослідження.

[102,103].

$$G_{jmax} = \frac{y_{jmax} - \bar{y}_j}{S_j}, \quad (4.1)$$

де \bar{y}_j - середнє значення; S_j - середньоквадратичне відхилення.

Перевірка значимості відхилення найменшого значення в упорядкованому ряду, y_{jmin} , розраховується критерій Граббса, G_{jmin} за формулою 4.2 [103]:

$$G_{jmin} = \frac{\bar{y}_j - y_{jmin}}{S_j} \quad (4.2)$$

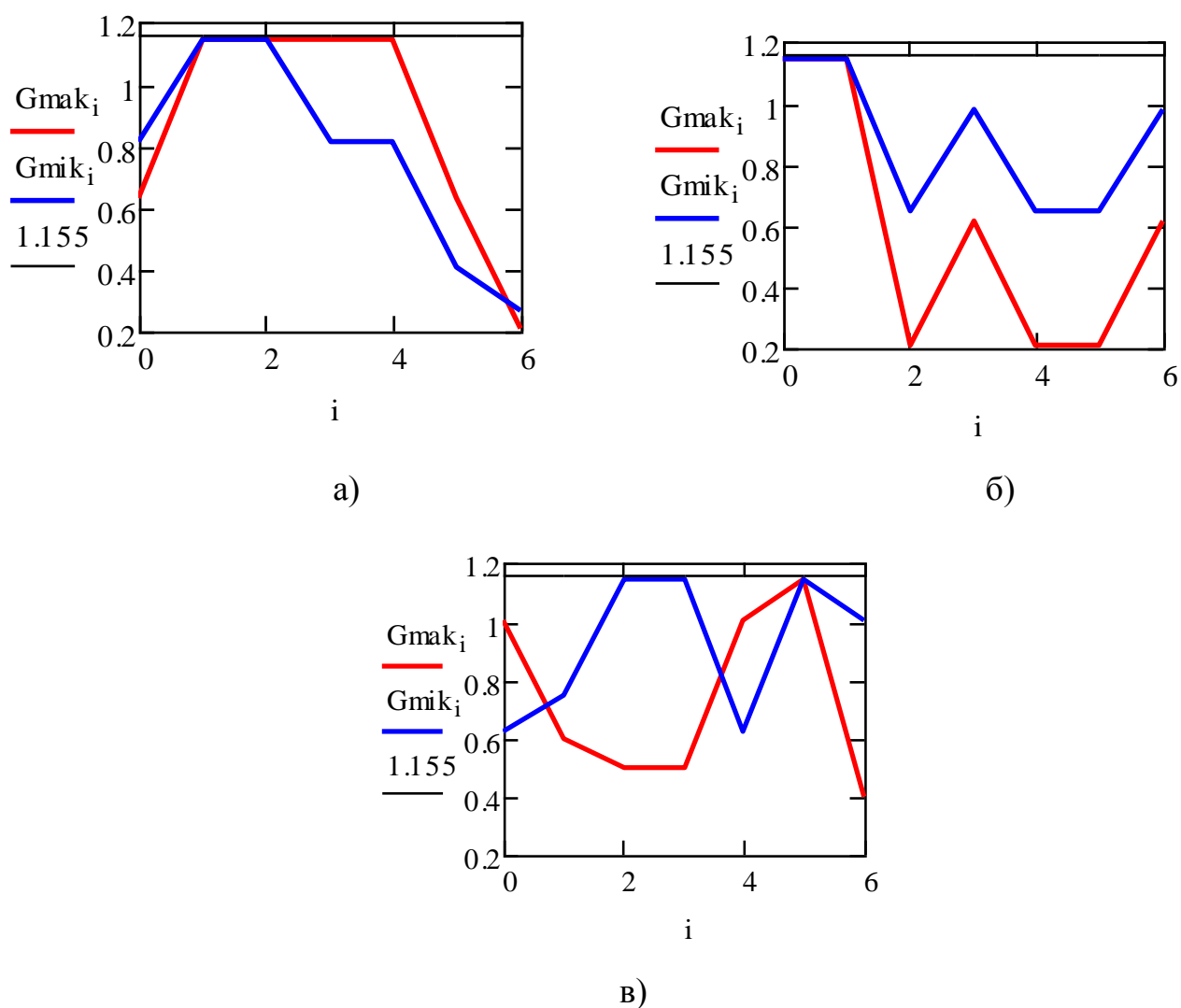
Знайдені значення G_{jmax} і G_{jmin} порівняли з 5 % ($G_{кр.5\%}$) та 1 % ($G_{кр.1\%}$) критичними табличними значеннями [103], які для трьох досліджень однакові та становлять 1,155.

Під час порівняння G_{jmax} або G_{jmin} з їх критичними значеннями та з табличними даними, що становлять більше ніж 5 %-ве критичне значення ($G_{кр.5\%}$) і менше (або дорівнює) 1 %-го ($G_{кр.1\%}$) критичного значення ($G_{кр.1\%}$), тоді значення y_{jmax} або y_{jmin} вважають квазिवикидом [102].

У випадку коли розраховане значення $G_{j\max}$ або $G_{j\min}$ більше 1 %-го критичного значення ($G_{кр.1\%}$), відповідно $u_{j\max}$ або $u_{j\min}$ вважають викидом.

Якщо розраховані значення $G_{j\max}$ та $G_{j\min}$ є меншими (або рівними) за критичні значення 5% ($G_{кр.5\%}$), то результати випробувань не містять викидів та квазिवикидів [103].

Результати перевірки на присутність в експериментальних дослідженнях викидів та квазिवикидів за критерієм Граббса показано на рисунку 4.6.



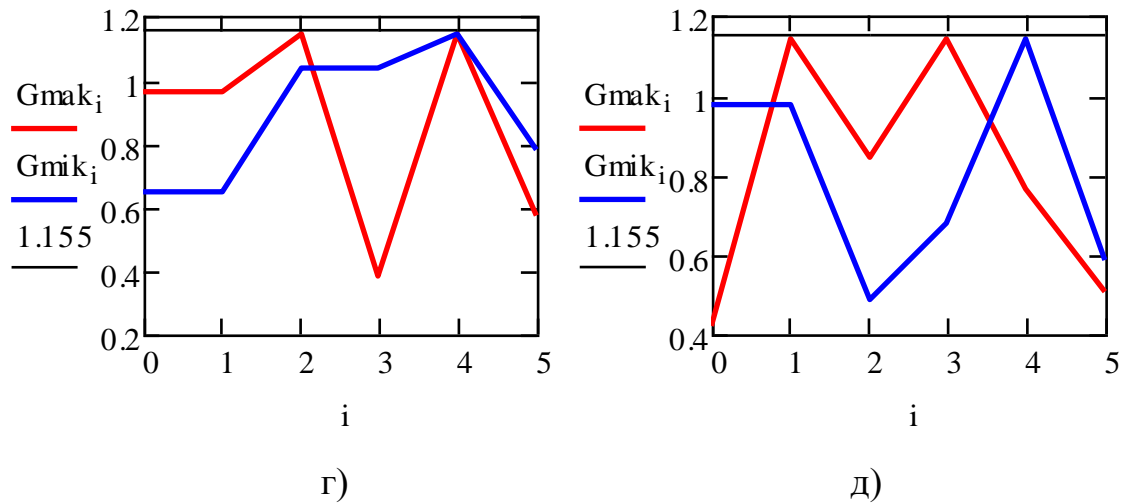


Рисунок 4.6 – Результати оцінювання наявності викидів та квазівикидів в експериментальних дослідженнях: а) без впливу вітру; б) із швидкістю вітру 1,0 м/с; в) із швидкістю вітру 1,5 м/с; г) із швидкістю вітру 3,0 м/с; д) із швидкістю вітру 4,5 м/с

Експериментальні дані, які належали до викидів, не враховувалися для подальших досліджень.

Після перевірки експериментальних даних на наявність викидів та квазівикидів за формулою 4.3 [102,103] обчислено дисперсії відхилень по середнім значенням отриманих даних для перевірки збіжності експерименту.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|^2}{n} \quad (4.3)$$

де x_i – значення i -го дослідження;

\bar{x}_i - середнє значення;

n – кількість досліджень.

За результатами проведених розрахунків побудовані графіки дисперсій відхилень за середніми значеннями, які порівнювались, що наведено на рисунку 4.7.

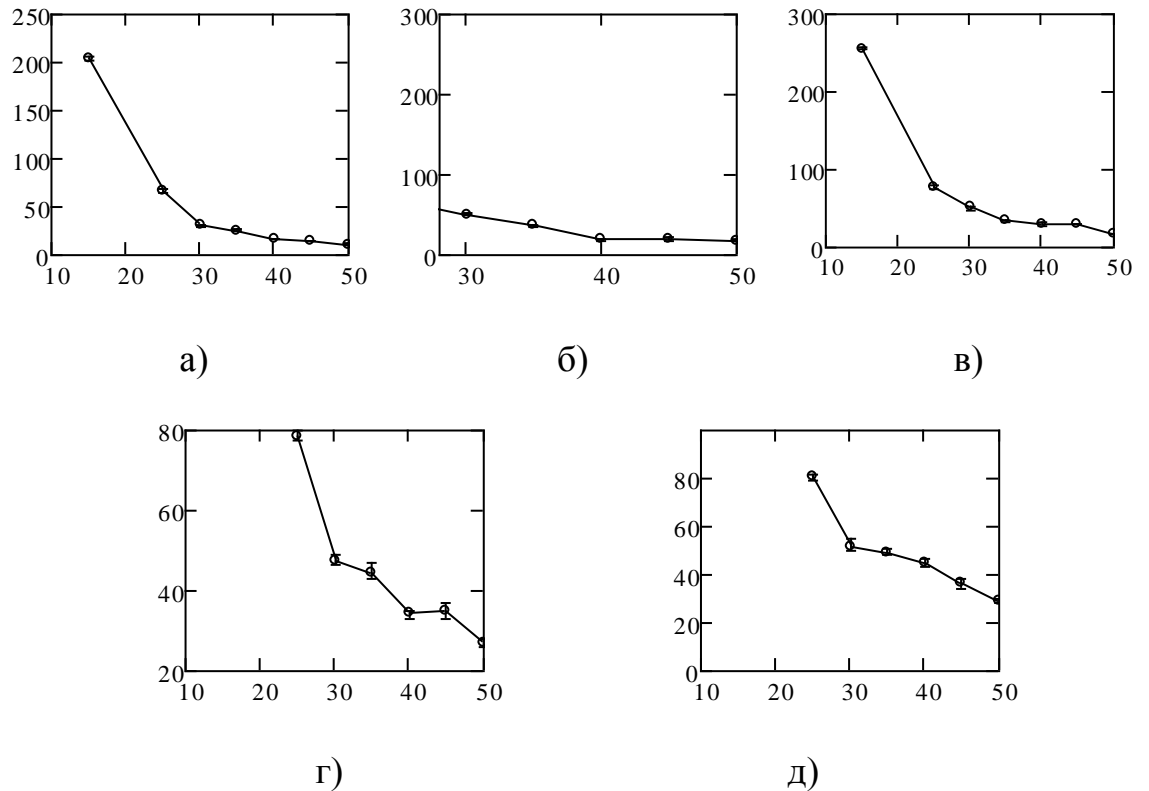


Рисунок 4.7 – Дисперсії відхилень за середнім значенням тривалості займання матеріалу під дією теплового потоку та вітрового впливу: а) без впливу вітру; б) із швидкістю вітру 1,0 м/с; в) із швидкістю вітру 1,5 м/с; г) із швидкістю вітру 3,0 м/с; д) із швидкістю вітру 4,5 м/с

Для подальшого визначення наскільки в середньому відхиляються значення кожного окремого і-го дослідження від середнього значення всіх експериментальних досліджень, розраховано середнє абсолютне відхилення за формулою (4.4) [103]:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|}{n} \quad (4.4)$$

де x_i – значення і-го дослідження;

\bar{x}_i - середнє значення;

n – кількість досліджень

Для визначення відхилень у відсотках використовували формулу 4.5 [103]:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|}{n \cdot \bar{x}_i} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

Для визначення ступеня розсіювання значень випадкової величини (x_i) відносно її математичного сподівання (\bar{x}_i) розраховували середнє квадратичне відхилення результатів досліджень за формуло (4.6) [103]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}_i|^2}{n}} \quad (4.6)$$

Дані щодо середніх абсолютних відхилень, середніх відносних відхилень, середніх квадратичних відхилень для відповідних даних, що порівнювалися, приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Абсолютні, відносні та середньоквадратичні відхилення результатів експериментальних досліджень

Швидкість потоку повітря м/с	Абсолютні відхилення, с	Відносні відхилення, %	Середньоквадратичні відхилення, с
0	1,2	3,5	1,3
1,0	1,4	4,6	1,5
1,5	2,2	4,1	2,1
3,0	1,6	3,5	1,5
4,5	1,8	3,7	1,8

Отримані результати свідчили, що абсолютні відхилення експериментальних даних кожного експерименту від усереднених значень не перевищували 2,2 с, що у відсоткових значеннях становило 4,1 %, а максимальне середньоквадратичне відхилення дорівало 2,1, с що вказує на задовільну збіжність отриманих експериментальних даних [102].

Для подальшої перевірки отриманих даних під час проведення експериментальних досліджень, перевірено належність розрахованих вище дисперсій до загальної кількості об'єктів, які мали деяку спільну ознаку, тобто до однієї генеральної сукупності.

Для оцінювання дисперсій висували нуль-гіпотезу, тобто припускали, що різниця між дисперсіями результатів досліджень дорівнює нулю і дані, отримані під час досліджень є вибірками з генеральної сукупності. При цьому розраховували критерій Фішера [102, 103] за формулою (4.7).

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F, \quad (4.7)$$

де S_1^2, S_2^2 - середньоквадратичне відхилення для вибірки із найбільшими значеннями отриманими під час досліджень та найменшими.

Розраховане значення коефіцієнта F порівнювали з табличним значенням [103]. Для цього задавались рівнем статистичної значущості q % (зазвичай це 5 %) і для кількості ступенів свободи $k_1 = n_1 - 1$ та $k_2 = n_2 - 1$ визначали табличне значення F_{q,k_1,k_2} , яке для вибірки із п'яти експериментальних досліджень становило для 5 % меж – 6,39 для 1 % меж – 15,98.

Якщо виконується нерівність $F \leq F_{q,k_1,k_2}$, то для наявних даних можна вважати, що зі статистичною надійністю $P = 1 - \frac{q}{100}$ дані не суперечать нуль-гіпотезі, тобто розбіжність між дисперсіями результатів досліджень можна вважати несуттєвою і можна пояснити впливом випадкових чинників та обмеженим обсягом даних. Таким чином, дані, отримані під час досліджень, є вибірками з однієї генеральної сукупності.

Якщо $F > F_{q,k_1,k_2}$, то на підставі отриманих результатів нуль-гіпотезу відкидають і розбіжність між дисперсіями результатів досліджень вважають суттєвою. Такі дані не належать до однієї генеральної сукупності.

Результати щодо оцінювання дисперсій результатів експериментальних досліджень до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Дані щодо оцінювання дисперсій результатів експериментальних досліджень до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера

Швидкість потоку повітря, м/с	Табличне значення критерія Фішера	Розрахункове значення критерія Фішера
0	6,39	1,61
1,0		1,23
1,5		0,44
3,0		1,74
4,5		1,31

Оскільки розрахункові значення отримано в ході проведення розрахунків критерія Фішера менші за табличні, отримані результати не суперечать нуль-гіпотезі, а їх відмінності можна вважати несуттєвими. Тому можна вважати дані, отримані за результатами експериментальних досліджень, вибірками з однієї генеральної сукупності, що доводить загальну збіжність кожного окремого експерименту. Це означає, що отримані експериментальні дані можна використати для досліджень закономірностей зміни параметрів поширювання пожежі на сусідні об'єкти залежно від швидкості та напрямку вітру [104].

Для подальшого оброблення даних користувалися середніми значеннями отриманими за даними трьох експериментів для певної швидкості вітру. наведеними в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати визначення середніх значень, отриманих за даними трьох експериментів

v, м/с	Тепловий потік, q, кВт/м ²							
	тривалість займання, t, с							
	10	15	25	30	35	40	45	50
0	-	200	72	44	24	18	16	10
1	-	204	74	45	30	25	23	16
1,5	-	206	77	47	33	34	33	19
3	-	-	79	50	39	36	34	26
4,5	-	-	82	55	46	43	39	27

З використанням отриманих даних побудовано залежність густини теплового потоку від швидкості вітру для випадку, коли вплив вітру відбувається під кутом 90° рисунок 4.8.

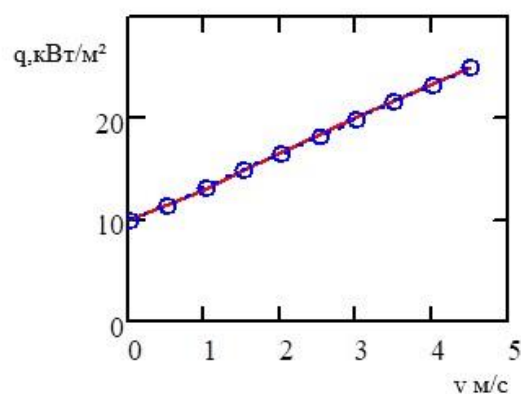


Рисунок 4.8 - Залежність густини теплового потоку від швидкості вітру

Зазначену залежність можна описати рівнянням числової регресії [105]:

$$q = a_0 + a_1 v_e \quad (4.8)$$

де a_0 , a_1 – константи рівняння числової регресії, що дорівнюють 9,88 і 3,36 відповідно.

Аналізуючи дані графіка, побудованого для випадку відсутності дії вітру, можна зазначити, що критичне значення поверхневої густини теплового потоку, яке необхідне для займання досліджуваного зразка, дорівнює 15 кВт/м^2 , у той час як за швидкості вітру $4,5 \text{ м/с}$ критичне значення дорівнює 25 кВт/м^2 . Ця залежність вказує, що у разі збільшення швидкості вітру, що впливає на сусідній об'єкт під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі, для досягнення умов займання матеріалу необхідно збільшувати потужність джерела випромінювання. Зазначене свідчить про те, що зміна густини теплового потоку із швидкістю вітру у разі, коли його вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на сусідню будівлю, є прямо пропорційною та у разі збільшення швидкості вітру для досягнення передумов поширювання пожежі необхідне збільшення густини теплового потоку, тобто за таких умов напрямку впливу вітру його силу можна не враховувати під час прогнозування впливу пожежі на сусідні будівлі.

За швидкості вітру $4,5 \text{ м/с}$ для сценарію, коли дослідний зразок знаходиться з навітряного боку від впливу джерела випромінювання, критичне значення поверхневої густини теплового потоку, яке необхідне для займання досліджуваного зразка, дорівнює 8 кВт/м^2 , що на 7 кВт/м^2 , менше ніж без урахування впливу вітру, тобто умови досягнення виникнення займання більш сприятливі, що потребує врахування у відповідних методах прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти [106].

4.3 Висновки за розділом

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що:

- абсолютні відхилення експериментальних даних кожного експерименту від усереднених значень не перевищують $2,2 \text{ с}$, що у відсоткових значеннях становить $4,1 \%$, а максимальне середньоквадратичне

відхилення дорівнює 2,1, с що свідчить про задовільну збіжність отриманих експериментальних даних.

- зміна густини теплового потоку від швидкості вітру у разі, коли його вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на будівлю, є прямо пропорційною та описується залежністю: $q = 9,88 + 3,36v$, тобто за таких умов напрямку впливу вітру його швидкість можна не враховувати під час прогнозування поширювання пожежі на сусідні будівлі;

Результати отриманих даних доцільно використати під час повного факторного експерименту з метою обґрунтування табличних даних залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від швидкості вітру.

РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ ДАНИХ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА КРИТИЧНУ ПОВЕРХНЕВУ ГУСТИНУ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ

5.1 Обґрунтування довідкових табличних даних залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку

Для удосконалення інформаційно-довідкових даних залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для матеріалів і речовин на прикладі гофрокартону проведено повний факторний експеримент [107]. Як засіб систематизації та узагальнення отриманої інформації використано табличний метод, ідея якого полягає у використанні особливого методу узагальнення і аналізу даних. Табличний метод ґрунтується на розробленні таблиць довідкових даних.

Формування табличних даних щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу доцільно здійснювати за методикою, що передбачає виконання таких процедур [108]:

- здійснюється вибір найбільш значущих факторів впливу та їх діапазон; що впливають на процеси теплового випромінювання, а саме на значення критичної поверхневої густини теплового потоку;
- використовуючи результати експериментальних досліджень [102] побудувати регресійну модель;
- на основі експериментальних досліджень визначити коефіцієнти регресійної залежності;
- створити інформаційно довідкову таблицю щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу.

Як критерій, що може істотно вплинути на показник критичної поверхневої густини теплового потоку, розглядається швидкість вітру (v_v , м/с) та задану поверхневу густину теплового потоку ($q_{дж}$, кВт/м²). Тому для створення плану повного факторного експерименту беремо саме ці

параметри, які мають суттєвий вплив на показник критичної поверхневої густини теплового потоку.

Критерії впливу на процеси поширювання пожежі на сусідні об'єкти та їх діапазони наведено в роботі [99] та таблиці 5.1. Визначені інтервали показують найменше та найбільше значення параметрів в експерименті, які вибрані як фактори.

Таблиця .5.1

Інтервали параметрів в експерименті, що вибрані як фактори

Швидкість вітру, м/с		Задана поверхнева густина теплового потoku, кВт/м ²	
Найменше значення, v	Найбільше значення, v+	Найменше значення, q	Найбільше значення, q+
0	30	10	50

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, та математичну модель якою описується залежність вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для гофрокартону представлено у вигляді лінійної залежності тривалості займання та факторами, яка має такий вигляд рівняння (5.1) [107].

$$t = b_0 + b_1 v_v + b_2 q_{дж} + b_3 v_v q_{дж}, \quad (5.1)$$

де v_v , $q_{дж}$, – параметри, що враховують вибрані фактори, які зазначені у таблиці 1;

b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , – константи рівняння числової регресії.

Для визначення констант рівняння числової регресії відповідно до формули (5.1) необхідно провести 4 чисельних експерименти [109] за складеною для цього матриці планування, що записана у вигляді таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Загальна матриця планування повного факторного експерименту для побудування математичної моделі.

Номер експерименту	x1	x2	x1, x2,
1	+	+	+
2	-	+	-
3	+	-	-
4	-	-	-

Константи рівняння числової регресії (5.1) можна визначити використовуючи формули (5.2) наведені в роботах [110,111]

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \quad b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 y_i; \quad b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 y_i;$$

$$b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_3 y_i; \quad (5.2)$$

де $N = 4$ – кількість експериментальних ситуацій згідно із планом експерименту;

x_i – значення параметру згідно із матрицею плану

y_i – значення заданого теплового потоку

За результатами проведених розрахунків отримані константи рівняння числової регресії наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Константи рівняння числової регресії

Коефіцієнт	b_0 ,	b_1 ,	b_2 ,	b_3 ,
Значення	281,4	25.364	5.43	0.43

Використовуючи отриману регресійну залежність побудовано відповідну поверхню залежності між швидкістю вітру, критичною поверхневою густиною теплового потоку та тривалістю впродовж якого відбувається займання матеріалу, яку показано на рисунку 5.1.

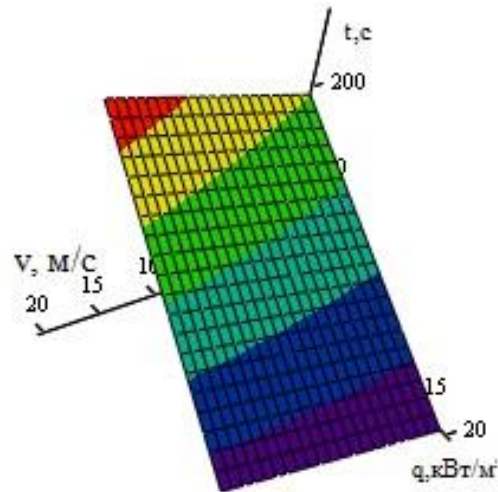


Рисунок 5.1 - Залежність між швидкістю вітру, критичною поверхневою густиною теплового потоку та часу впродовж якого відбувається займання матеріалу

Використовуючи регресійну залежність та із визначеними константами можна побудувати інформаційно довідкові табличні дані щодо залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для гофрокартону. Отримані результати подані в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Визначення тривалості досягнення критичної поверхневої густини теплового потоку для гофрокартону залежно від потужності джерела теплового випромінювання та впливу вітру

Величина швидкості вітру v , м/с	Розрахункове значення тривалості досягнення критичної поверхневої густини теплового потоку, ($q_{кр}$, кВт/м ²) залежно від потужності джерела теплового випромінювання $q_{дж}$ кВт/м ² та впливу вітру			
	$q_{дж}$ кВт/м ²			
	5	15	35	50
	t, с			
0	254,2	199,9	91,4	9.986

Продовження таблиці 5.4

від 0 до 5	370,2	294,4	142,6	28,8
від 5 до 10	486,3	388,8	193,9	47,7
від 10 до 15	602,5	483,3	245,2	66,6
від 15 до 20	718,3	577,7	296,4	85,5
від 20 до 25	834,4	672,1	347,7	104
від 25 до 30	950,4	766,6	399	123

За результатами проведеного повного факторного експерименту науково обґрунтовано інформаційно-довідкові дані щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу. При цьому зроблені такі висновки:

- встановлено, що найбільш значущими факторами, що впливають на час досягнення передумов виникнення пожежі, є вітровий вплив та значення поверхневої густини теплового потоку, та обґрунтовано їх діапазони, які складають для вітрового впливу від 0 до 30 м/с, для густини теплового потоку від 5 кВт/м² до 50 кВт/м².

- побудовано регресійну модель, яка описує залежність вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку для гофрокартону у вигляді лінійної залежності та визначено її коефіцієнти;

- розроблено таблицю визначення тривалості досягнення критичної поверхневої густини теплового потоку для гофрокартону залежно від потужності джерела теплового випромінювання та впливу вітру.

Проведені дослідження та сформовані таблиці даних в подальшому зможуть бути використані для розробки удосконаленого спрощеного методу прогнозування теплового впливу пожежі на суміжні будівельні об'єкти з урахуванням вітрового впливу.

5.2 Дослідження вітрового впливу на величину критичної поверхневої густини теплового потоку з використанням газогідродинамічної моделі

Для дослідження вітрового впливу на параметри теплового впливу на сусідні об'єкти було розроблено модель процесів теплообміну між джерелом теплового випромінювання та досліджуваними зразками в умовах вітрового впливу та змінною відстанню до зразка за методами газодинаміки. Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено таку задачу. За допомогою програмного комплексу FDS поетапно створено математичну модель процесу теплообміну під час пожежі та досліджено вплив вітру на значення температури та критичної поверхневої щільності теплового потоку в умовах вітрового впливу [112].

Моделювання процесів зміни величини температури та критичної поверхневої густини теплового потоку за методами газодинаміки проводилися на основі методики [31].

Модель розміщення досліджуваного зразка, зображено на рис. 5.2.

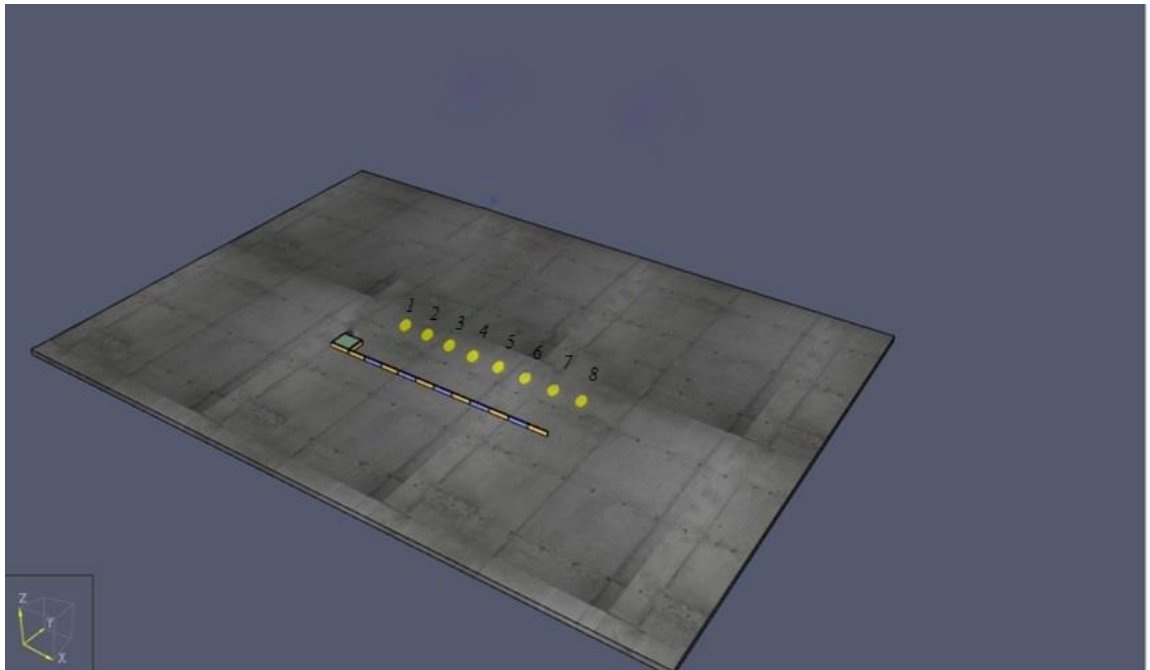


Рисунок 5.2 – Модель розміщення досліджуваного зразка, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – датчики вимірювання температури на різних відстанях

Чисельне моделювання динаміки поширювання пожежі (теплого потоку) від пожежі моделювали за допомогою інструмента PyroSim. Ця програма є інноваційним програмним комплексом, що дає змогу створювати, редагувати та аналізувати складні моделі розвитку пожежі. Для тривимірної та двовимірної візуалізації результатів моделювання динаміки пожеж застосовували програму Smokeview.

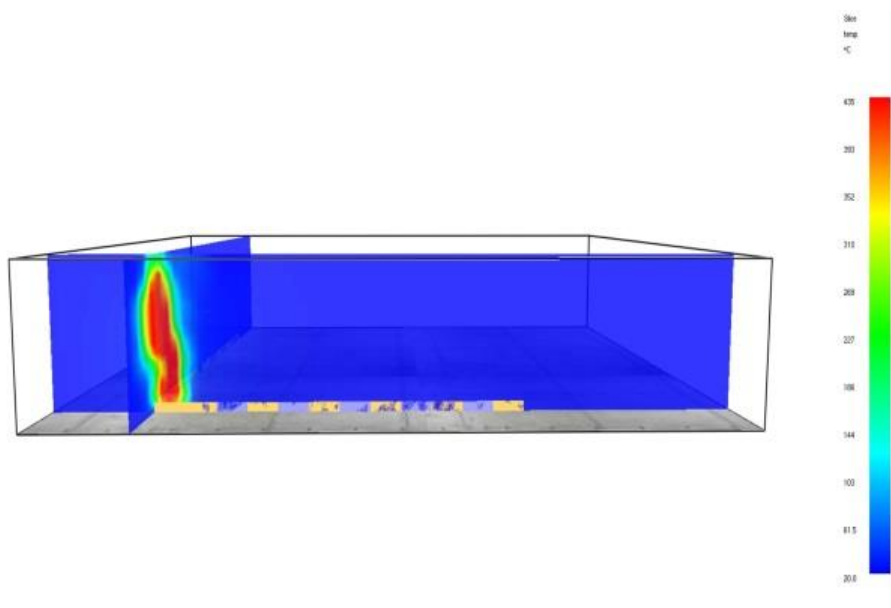
Теплове випромінювання розраховується методом кінцевих елементів у тривимірній сітці (області моделювання). Це програмне забезпечення допомагає відтворити реальні умови модельної пожежі, в тому числі для відкритого простору [112].

Під час проведення досліджень проаналізовано вихідні дані, створено модель, що відповідала реальним умовам натурних випробувань, зокрема модель включала бетонну площадку (основу), для матеріальної конструкції якої було обрано монолітний бетон типу «бетон важкий» густиною 2260 кг/м^3 , питома теплоємність $2,04 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ та теплопровідністю $1,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Як матеріал для ємкості модельного вогнища було прийнято сталь густиною 7600 кг/м^3 , питома теплоємність $0,06 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ та теплопровідністю $35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Як паливо прийнято горіння дизельного палива, питома тепловиділення якого складає 1907 , нижча теплота згорання $45400,0$, лінійна швидкістю полум'я $0,4$, питома масова швидкість вигорання $0,042$ [112].

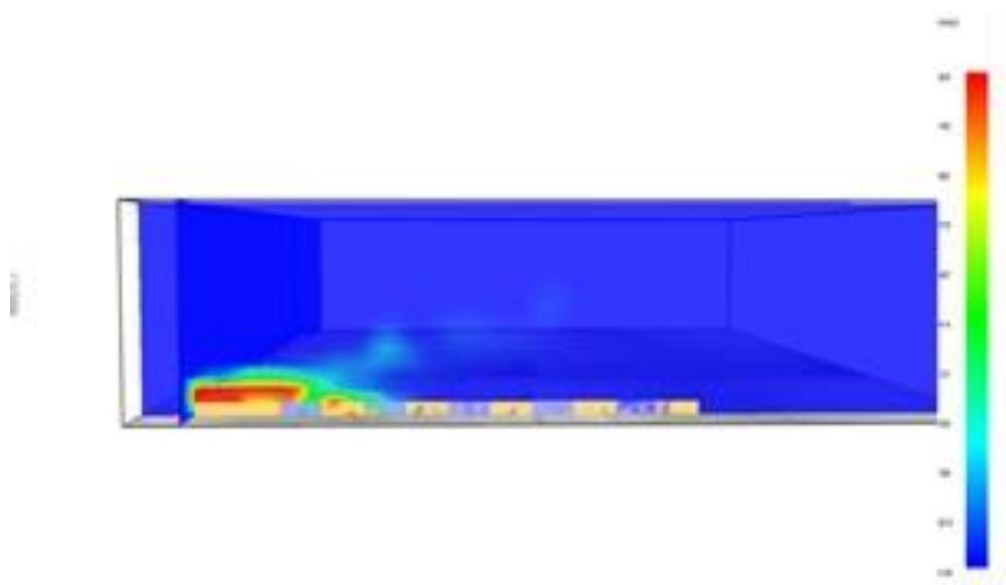
Датчики газових вимірювачів розміщувались на висоті 2 м на відстані $0,5 \text{ м}$ та від 1 м до 12 м з кроком відстані один від одного 1 м . Для досягнення оптимальної точності розрахунку прийнято використовувати комірки з кроком в $0,1 \text{ м}$ та з однаковим кубічним розміром по всім трьом просторовим вимірам (x, y, z). Тривалість моделювання становила 300 с , що обумовлено значенням максимального теплового випромінювання від модельного вогнища, яке відбувається в період з 60 с по 240 с [112].

За результатами проведених досліджень, отримано результати наведені нижче.

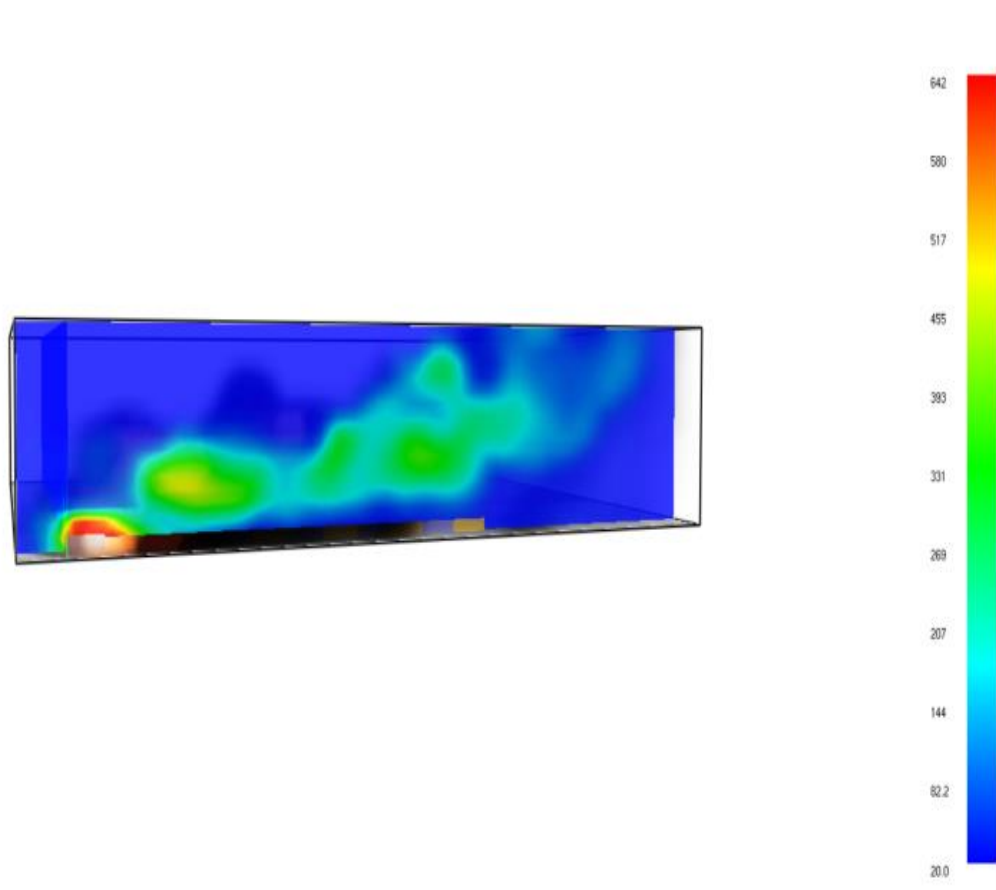
Загальна візуалізація температури з відображенням температурних полів в площинах наведена на рисунку 5.3.



а)



б)



в)

Рисунок 5.3 – Модель візуалізації температури із відображенням температурних полів в площинах: а) без вітру; б) вітер зі швидкістю 5 м/с; в) вітер зі швидкістю 10 м/с.

На основі даних, отриманих під час моделювання, складено таблицю розподілу температур залежно від відстані до джерела випромінювання та швидкості вітру таблиця 5.5.

Таблиця 5.5

Розподіл температур залежно від відстані до джерела випромінювання та швидкості вітру

Відстань l , м	Температура займання T , °C		
	Швидкість вітру v , м/с		
	0	5	10
0,5	425	398	395
1	315	426	423
2	125	306	474

3	103	152	381
4	95	90	205
5	73	71	124
6	68	69	101
7	57	48	93
8	54	41	74
9	47	38	65
10	32	29	51
11	31	27	39
12	30	26	27

Дані таблиці нанесено на графік та зображено на рисунку 5.4.

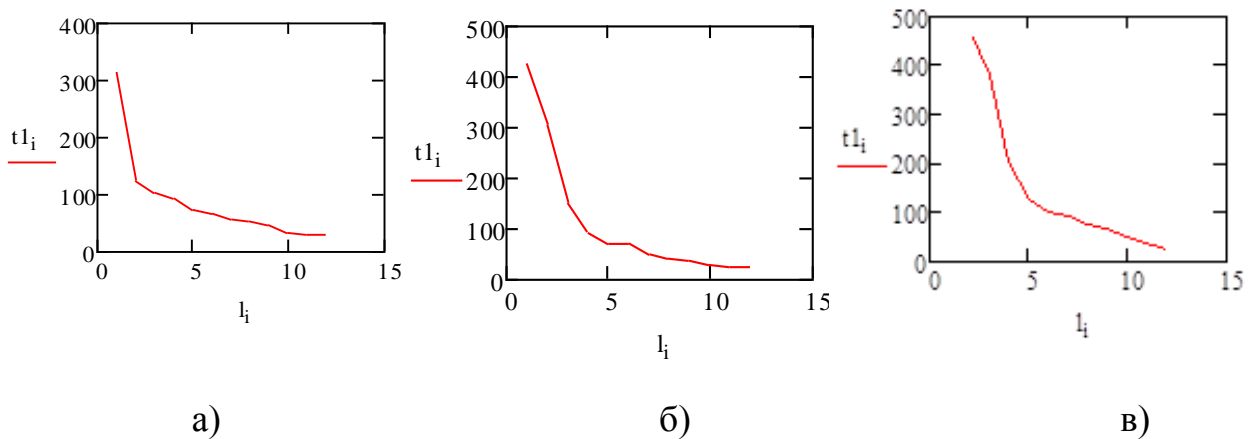


Рисунок 5.4 Залежність зміни температури від дії швидкості вітру та віддаленості від джерела випромінювання а) без дії вітру; б) під дією вітру швидкістю 5 м/с; в) під дією вітру швидкістю 10 м/с.

Аналізуючи результати моделювання та дані графічних зображень, можна зробити припущення щодо впливу вітру на процеси теплообміну між факелом пожежі та суміжних будівельних об'єктів. Наприклад, якщо за критичну температуру впливу прийняти температуру, що дорівнює 200°C, то відстань, яка забезпечує умову безпеки теплової дії, в розглянутому випадку дорівнюватиме:

- у безвітряну погоду – 2 м;
- при погоді зі швидкістю вітру 5 м/с 0 – 3 м;
- при погоді зі швидкістю вітру 10 м/с – 4 м.

Отримані результати моделювання та дані графічних зображень підтверджують отримані дані експериментальних досліджень щодо наявності впливу вітру на процеси теплового опромінювання сусіднього об'єкта від полум'я пожежі у випадку, коли цей об'єкт розташовано з навітряного боку від джерела теплового випромінювання (пожежі).

Враховуючи проведені дослідження та математичне моделювання за допомогою програмного комплексу FDS, поетапно створено модель теплообміну під час пожежі. Визначено залежності зміни температури від швидкості потоку повітря на зразки та віддалення від джерела теплової дії. Отримана залежність в подальшому може бути визначена поправочним коефіцієнтом, який буде враховувати певні критерії [112].

5.3 Обґрунтування поправочного коефіцієнта вітрового впливу

Отримані результати моделювання та дані графічних зображень підтверджують отримані дані експериментальних досліджень щодо наявності впливу вітру на процеси теплового опромінювання сусіднього об'єкту від факелу пожежі у випадку, коли об'єкт розташований з навітряного боку від джерела теплового випромінювання (пожежі).

Такий вплив можна описати відповідним коефіцієнтом вітрового впливу.

Для опису коефіцієнта вітрового впливу проведено повний факторний обчислювальний експеримент.

В якості критеріїв, які істотно впливають на теплові процеси під час пожежі, обрано: тривалість теплового впливу, пожежну навантагу та швидкість вітру. Діапазон зазначених параметрів наведено в таблиці 5.6 [113].

Таблиця .5.6

Інтервали параметрів в експерименті, що вибрані як фактори

Швидкість вітру, м/с	Пожежна навантага,	Тривалість теплового впливу,
-------------------------	--------------------	---------------------------------

		Q, МДж/м ²		T, хв	
Найменше значення, v	Найбільше значення, v+	Найменше значення, Q	Найбільше значення, Q+	Найменше значення, T	Найбільше значення, T+
2,5	10	20	1800	10	150

Визначені інтервали показують найменше та найбільше значення параметрів в експерименті, які вибрані як фактори.

Для подальшого аналізу отриманих даних було використано регресійну залежність, яка має такий вигляд рівняння (5.1).

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3, \quad (5.1)$$

де x_1, x_2, x_3 – параметри, що враховують вибрані фактори, які наведено у таблиці 1;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ – константи рівняння числової регресії.

Для визначення зазначених вище констант рівняння числової регресії проведено 8 чисельних експериментів за складеною для цього матрицею планування експерименту, яка наведена у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Типова матриця планування повного факторного експерименту для побудування математичної моделі

Номер експерименту	x_1	x_2	x_3	$x_1, x_2,$	x_1, x_3	x_2, x_3	x_1, x_2, x_3
1	+	+	+	+	+	+	+
2	-	+	+	-	-	+	-
3	+	-	+	-	+	-	-
4	-	-	+	+	-	-	+
5	+	+	-	+	-	-	-
6	-	+	-	-	+	-	+
7	+	-	-	-	-	+	+
8	-	-	-	+	+	+	-

За допомогою комп'ютерної моделі розраховано значення температур від теплового впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітру, що наведено в таблиці 5.8 [113].

Таблиця 5.8

Розрахункові значення температури теплового впливу на сусідні будівлі під дією вітру

Відстань від осередку теплового випромінювання, м	Розрахункове значення температури теплового впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітрового впливу							
	1	2	3	4	5	6	7	8
18	206	118	148	24	42	24	38	22
15	232	171	206	27	64	29	51	26
10	251	203	230	51	76	40	72	29
8	296	218	252	74	83	63	80	41
6	303	241	281	101	98	87	96	69
4	367	328	342	205	196	191	206	90
2	518	426	501	381	268	208	292	152

Інтерполюючи отримані дані за температурою займання, яку в цьому випадку прийнято 255 °С як для соснової деревини, отримано безпечні відстані між будівлями під час пожежі з урахуванням величини пожежної навантаги, швидкості вітру та тривалості теплового опромінювання, таблиця 5.9 [113].

Таблиця 5.9

Номер експерименту	1	2	3	4	5	6	7	8
Відстань від осередку теплового випромінювання	18,7	9,9	15,2	4,1	3,8	2,5	4,1	1

Використовуючи дані отриманих відстаней, за формулою (5.2) визначено константи рівняння числової регресії.

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \quad b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 y_i; \quad b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 y_i;$$

$$b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_3 y_i; \quad b_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_i; \quad 5.2$$

$$b_5 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_3 y_i; b_6 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 x_3 y_i; b_7 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 x_3 y_i,$$

Константи рівняння числової регресії (кодовані)

Таблиця 5.10

Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
Значення	7,41	3,1	1,31	4,6	-0,51	1,94	1,1	-0,06

Константи рівняння числової регресії (натуральні)

Таблиця 5.11

Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
Значення	1,35	0,0006	-0,36	0,04	0,0004	0,000002	0,004	-2,88

За результатами проведених розрахунків побудовано діаграми за допомогою яких обираючи відповідну швидкість вітру, тривалість опромінювання та значення пожежного навантаження можна знайти відстань за якої забезпечується умова непоширювання пожежі з заданими параметрами пожежної навантаги та її тривалості на сусідні об'єкти.

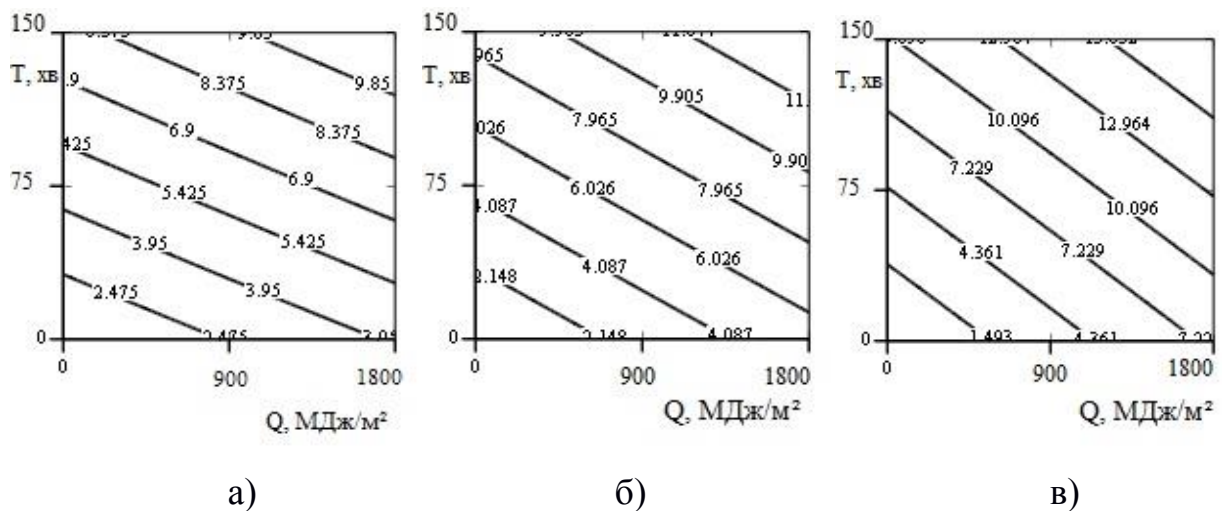
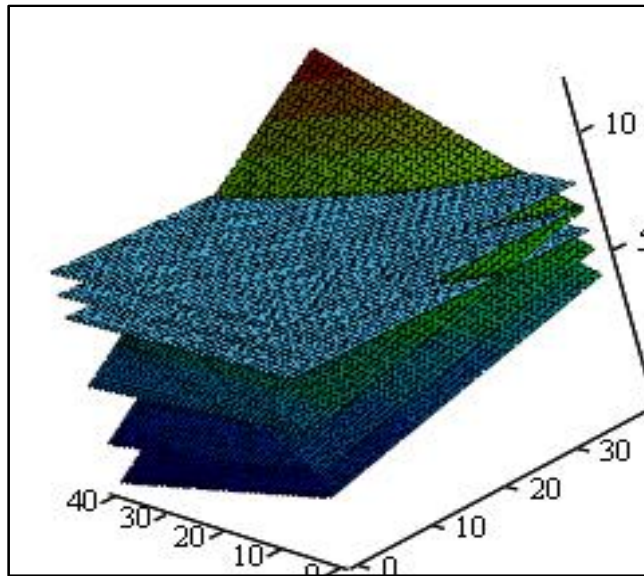


Рисунок 5.5 – Діаграма визначення безпечної відстані з урахуванням швидкості вітру. Відстані до джерела випромінювання та тривалості теплового впливу: а) для швидкості вітру 2,5 м/с; б) для швидкості вітру 5 м/с; в) для швидкості 10 м/с.

На основі отриманої регресійної залежності побудовано поверхню залежності відстані від найбільш впливових факторів рисунок 5.6.



M1, M2, M3, R1, R2, R3

Рисунок 5.6 – Поверхня залежності відстані від найбільш впливових факторів.

За результатами проведених розрахунків розроблено таблицю даних для подальших розрахунків впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітрового впливу, що наведено у таблиці 5.12.

Таблиця 5.12

Дані відстаней за яких тепловий вплив досягає значень температури самозаймання матеріалів

Величина пожежної навантаги q , МДж/м ²	Розрахункова відстань, (м) залежно від тривалості теплового опромінювання, (t, хв) та швидкості вітру					
	5 м/с			10 м/с		
	t, хв.					
	>10	10÷60	>60	>10	10÷60	>60
до 100	27	28	32	28	29	34
від 100 до 400	29	30	35	30	31	38
від 400 до 1500	32	35	40	33	36	45
від 1500	34	37	45	34	38	49

Коефіцієнт теплового впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітру можливо визначити як співвідношення даних таблиці 5.12 які враховують вітровий вплив до відповідних даних таблиці 5.13 які не враховують вітровий вплив[31]. Отримані співвідношення наведено в таблиці 5.14.

Таблиця 5.13

Величина пожежної навантаги q , МДж/м ²	Розрахункова протипожежна відстань, (T_p , м) залежно від тривалості теплового опромінювання, (t , хв)		
	t , хв		
	>10	10÷60	>60
до 100	25,5	27,0	31,5
від 100 до 400	27,0	28,5	33,0
від 400 до 1500	30,0	33,0	39,0
від 1500	31,5	34,5	42,0

Таблиця 5.14

Коефіцієнт вітрового впливу на процес теплообміну між факелом пожежі та суміжним об'єктом

Величина пожежної навантаги q , МДж/м ²	Коефіцієнт вітрового впливу					
	5 м/с			10 м/с		
	t , хв					
	>10	10÷60	>60	>10	10÷60	>60
до 100	1,06	1,04	1,02	1,1	1,08	1,08
від 100 до 400	1,08	1,06	1,07	1,2	1,09	1,2
від 400 до 1500	1,07	1,07	1,03	1,1	1,1	1,2
від 1500	1,08	1,08	1,08	1,08	1,2	1,2

Із таблиці 5.14 значення коефіцієнта теплового впливу пожежі на сусідні будівлі в умовах вітру приймаємо як найбільше 1,2.

Таким чином, на основі виявлених закономірностей встановлено вплив пожежі на сусідні будівлі з урахуванням вітру, що можна описати у вигляді коефіцієнту, що враховує вплив вітру, значення якого становить $\alpha=1,2$.

Розроблено пропозиції щодо удосконалення нормативної бази щодо вимог та розрахункового методу прогнозування теплового впливу пожежі на сусідні будівлі із урахуванням вітру, а саме внесення змін до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення». У п. 5.1 формулу (1) запропоновано викласти у новому вигляді:

$$R_1 = k_s \alpha \max \{R_1, R_2\}$$

Де k_s – коефіцієнт безпеки, приймають рівним 1,2;

- α – коефіцієнт, що враховує вплив вітру, приймають рівним 1,2.

5.4 Висновки за розділом

За результатами чисельного експерименту з використанням математичних моделей обчислювальної газогідродинаміки виявлено залежність тривалості виникнення пожежі у сусідній будівлі від швидкості вітру, відстані між будівлями та пожежною навантагою, коли будівля, що опромінюється факелом пожежі, розташовується з навітряної сторони відносно пожежі у вигляді лінійної регресійної залежності, яка має вигляд:

$$l = 1,35 + 0,0006Q - 0,36v + 0,04t + 0,00004Q v + 0,000002Q t + 0,004v t - 2,88 Q v t$$

На основі виявлених закономірностей побудовано таблицю безпечних відстаней залежно від теплоутворювальної здатності пожежної навантаги, швидкості вітру та тривалості опромінювання для визначення поправочного коефіцієнта вітрового впливу.

Розроблено методологічну базу для розрахункового обґрунтування мінімальних безпечних протипожежних відстаней створенням структурних

схем-методів, що разом складають ієрархічну структуру та є теоретичною основою для створення відповідної нормативної бази.

Встановлено, що швидкість вітру під час оцінювання поширювання пожежі на сусідні будівлі може бути врахована шляхом введення в формулу для розрахунку безпечної протипожежної відстані між будівлями поправочного коефіцієнту $\alpha=1,2$.

З урахуванням цього розроблено пропозиції щодо удосконалення нормативної бази в частині розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітру, а саме внесення змін до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено розв'язання актуальної наукової задачі розкриття закономірностей зміни поширювання пожежі на сусідні об'єкти залежно від швидкості та напрямку вітру, що є обґрунтованою теоретичною базою та створює передумови для удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на такі об'єкти в умовах вітру, при цьому одержано такі наукові і практичні результати:

1. За результатами проведеного аналізу сучасних методів прогнозування теплового впливу пожежі на сусідні будівлі виявлено, що існуючі розрахункові методи потребують удосконалення в частині врахування швидкості та напрямку вітру. При цьому обґрунтовані найбільш імовірні інтервали критерію вітрового впливу, а саме його швидкість, на території України, які становлять від 0 до 10 м/с.

2. Розроблено методику експериментальних досліджень закономірностей зміни поширювання пожежі на сусідні будівлі залежно від швидкості та напрямку вітру для двох варіантів впливу вітру: будівля, що опромінюється полум'ям пожежі, розташовується з навітряної сторони відносно пожежі; вітровий вплив відбувається під кутом 90° відносно напрямку теплового впливу пожежі на суміжну будівлю.

3. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що:

- зміна густини теплового потоку від швидкості вітру у разі, коли його вплив відбувається під кутом 90° по відношенню до теплового впливу пожежі на будівлю, є прямо пропорційною та описується залежністю $q = 9,88 + 3,36v_v$, тобто за таких умов напрямку впливу вітру його швидкість можна не враховувати під час прогнозування поширювання пожежі на сусідні будівлі;

- відбувається збільшення густини теплового потоку за однакових величин потужності джерела теплового випромінювання, а саме: без вітру – 2

м; за швидкості вітру 5 м/с – 3 м, за швидкості вітру 10 м/с – 4 м, тобто за таких умов напрямку впливу вітру його швидкість слід враховувати під час прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти.

4. За результатами чисельного експерименту з використанням математичних моделей обчислювальної газогідродинаміки виявлено залежність проміжку часу до виникнення пожежі в сусідньому об'єкті від швидкості вітру, відстані між будівлями та пожежною навантагою, коли будівля, що опромінюється полум'ям пожежі, розташовується з навітряного боку відносно пожежі у вигляді лінійної регресійної залежності, яка має вигляд:

$$l = 1,35 + 0,0006Q - 0,36v + 0,04t + 0,00004Qv + 0,000002Qt + 0,004vt - 2,88$$

$Q v t$

5. Показано, що результати, отримані в ході кожного окремого експериментального дослідження, є адекватними, оскільки їх відносні та середньоквадратичні відхилення від усереднених даних становлять 4,1 %, а критерій Фішера не перевищує критичних значень.

6. На основі виявлених закономірностей побудовані таблиці, які дозволяють врахувати швидкість вітру під час реалізації спрощеного табличного методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва.

7. Встановлено, що швидкість вітру під час оцінювання поширювання пожежі на сусідні будівлі, що мають дерев'яні поверхні, може бути врахована введенням у формулу для розрахунку безпечної протипожежної відстані між будівлями поправочного коефіцієнта $\alpha=1,2$. Розроблено пропозиції щодо удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні будівлі із урахуванням вітру, введенням поправочного коефіцієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж(POG_STAT) за 2012-2017роки. УкрНДІЦЗ ДСНС України. Київ, [URL:http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html](http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html).
2. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки: статистичний збірник аналітичних матеріалів Р.В. Климась, Д.Я. Матвійчук, А.В. Одинець, Р.В. Уханський, О.П. Якименко. – К.:УкрНДІЦЗ. – 2018. – С. 34 – 35.
3. Звіт про дослідження пожежі, що виникла 08.06.2015 р. на території нафтобази БРСМ-нафта, яка розташовується за адресою: Васильківський район Київської області
4. Звіт про дослідження пожежі, що виникла 03.09.2019 р. на території ПАТ «ДПКЗУ» «СТАРОКОСТЯНТИНІВСЬКИЙ ЕЛЕВАТОР», яке розташовується в м. Старокостянтинів Хмельницької області.
5. Звіт про дослідження пожежі, що виникла 25.01.2020 р. на території будівлі магазину, який розташовується за адресою: м. Житомир, вул. Бориса Тена, 2.
6. Исаченко В.П. и др. Теплопередача: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1975.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики. Т. 6. Гидродинамика.— М.:Наука.— 1988.—736 с.— (§ 56 Свободная конвекция).
8. Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. Теплопровідність. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури . — Львів, 2010. — С. 189. — ISBN 978-966-7407-83-4.
9. Баранов В.М., Коньяков. А.Ю. Термодинамика и теплопередача: учебное пособие: 2- е издание, переработанное Хабаровск: Издательство ДВГУПС. – 2004. – 91 с.
10. Терещев В. В., Подгрушний А. В. Пожарная тактика. - Екатеринбург.: «Издательство «Калан», 2007. - 538 с.

11. Алексашенко, А.А., Кошмаров, Ю.А., Молчадский, И.С. Тепломассоперенос при пожаре [Текст] – М.: Стройиздат, 1982. – 173 с.
12. Борисова А.С., Ніжник В.В. Сучасний стан щодо визначення критичного значення поверхневої густини теплового потоку *Геотехнічна механіка*. – 2020. – №152. – С. 99-106.
13. Грушевский Б.В., Яковлев А.И., Кривошеев И.А. Пожарная профилактика в строительстве [Текст], и др. под ред. В.Ф. Кураленкина.- М.: ВИПТШ, 1985. С.180-183
14. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика: учебн. пособие для пожарно-техн. училищ и нач. состава пожарной охраны. М.: Стройиздат, 1984.590 с., С. 272.
15. Александров, Г.С. Исследование потоков лучистой энергии при пожаре в помещении [Текст]: *дис. канд. техн. наук: 05.26.01 Александров Геннадий Владимирович*. – М., 1973. – 217 с.
16. Ніжник В.В., Фещук Ю.Л., Поздєєв С.В. Дослідження теплового впливу модельного вогнища пожежі через віконний проріз на сусідні об'єкти *Матеріали 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю) «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах»*. – Київ. – 2019. – С. 198 – 201.
17. Грушевський Б., Романенко П., Ройтман М., Ракитянский В. Интенсивность излучения и противопожарные разрывы. «Пожарное дело», 1966, № 9.
18. Лабай В.Й., Гудим В. І., Гаврилюк А. Ф. Дослідження та шляхи зменшення теплового випромінювання під час пожеж. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. - 2013. - № 755. - С. 221-226. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_42.
19. Жартовський С.В., Поздєєв С.В, Ніжник В.В. та Фещук Ю.Л. Оцінювання небезпеки поширювання пожежі на суміжні будівельні об'єкти

за критерієм теплового потоку. *International Scientific Journal "Internauka"*
<http://www.inter-nauka.com/>

20. Семерак М. М., Михайлишин М. Р. Вплив швидкості вітру на процеси теплообміну між вертикальними сталевими резервуарами (на прикладі пожежі на нафтобазі "БРСМ Нафта") *Пожезна безпека*. - 2017. - № 30. - С. 137-147. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2017_30_18.

21. Panagiotou J., Quintiere J.G. Fire performance as a Function of Incident Heat Flux, The Fifth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, 31X 2007

22. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Моделирование нагрева резервуара под действием излучения пожара. *Вісник міжнародного слов'янського університету*. – Харків: ТОВ ПКФ «Яна», 2004. – Т. 7. – №2. – С. 7-9.

23. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка пожарной опасности резервуара с нефтепродуктом при его нагреве от пламени соседнего горящего резервуара. *Радиоэлектроника и информатика*. – Харьков: ХНУРЭ, 2005. – №2. – С. 110-112.

24. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Тепловые процессы в нагреваемом резервуаре. *Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник*. – Киев: Техника, 2006. – Вып. 67. – С. 357-362.

25. Гоман П.Н., Соболевская Є.С. Разработка программы расчёта интенсивности теплового излучения при пожаре. *Интернет-журнал "технологии техносферной безопасности" выпуск № 1 (65), 2016 г.* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ipb.mos.ru/ttb/>

26. Emil Carlsson, Report 5051 - External fire spread to adjoining buildings – A review of fire safety design guidance and related research - Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999 – 125 p.

27. W. Wen-hea, X. Zhi-shenga, S. Bao-jiang, Numerical simulation of fire thermal radiation field for large crude oil tank exposed to pool fire. *Procedia Eng.* 52, 395–400 (2013)

28. Chi Li-fa. Radiant Heat and Forecast of Tank Fires [J]. Fire Science and Technology. 1983,(2)11-16.

29. P Satrio, R Adityo, R Agung and YS Nugroho Experimental study of thermal radiation from jet flame IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105 (2017) 012085

30. Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість: ДСТУ Б В.1.1-2-97(ГОСТ 30402-96). – 28 с.

31. Ніжник В. В. Розвиток наукових основ оцінювання небезпеки поширювання пожежі на суміжні будівельні об'єкти : *дис. докт. техн. наук* : 21.06.02 / Ніжник Вадим Васильович – Харків, 2020. – 409 с.

32. ДСТУ Б В.1.1-10:2004. Видання. Захист від пожежі. Матеріали будівельні. Метод випробування на поширювання полум'я по вертикальних поверхнях у горизонтальному напрямку. [Чинний від 01.04.2005] Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ України, 2005.

33. ДСТУ Б В.2.7-70-98. (ГОСТ 30444-97) Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я. [Чинний від 01.04.2005] Вид. офіц. Київ:

34. СТБ 11.05.03-2010 Система стандартів пожежної безпеки. Пожежарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования. [Чинний від 01.04.2005] Вид. офіц. Київ :

35. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT) ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010, [Чинний від 01.07.2013] Мінрегіонбуду України від 27.12.2010 р. № 549 – 74 с. (Національний стандарт України).,

36. Технический кодекс установившейся практики ТКП 474-2013 (02300) «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» утвержден постановлением МЧС РФ от 29.01.2013 № 4.

37. Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги ГОСТ 12.1.004-91

38. Emil Carlsson, Report 5051 - External fire spread to adjoining buildings – A review of fire safety design guidance and related research - Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 1999 – 125 p

39. BR187 External fire spread: building separation and boundary distances. - Building Research Establishment Report, - ISBN 0 85125 465 9 – 44 p.

40. NFPA 80A, Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures - January 18, 2016 National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471. – 30 p.

41. ASTM E84 - 17a Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.

42. Руководство пользователя Pyrosim. Thunderhead Engineering, Перевод Firecat. 2019 – 178 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara>.

43. Pyrosim user manual. Thunderhead Engineering. 2019 – 188 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim>.

44. Приложение к приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. N 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» С изменениями и дополнениями от: 12 декабря 2011 № 749, 02.12.2015 № 632. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/document/4453391>.

45. Методика определения расчетных величин пожарного риска на промышленных объектах» (затвержденою наказом МНС Росії №404 від 10.07.2009). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara>.

46. Руководство пользователя. СИТИС: ВИМ 4.11. Редакция 1. ООО «СИТИС». 3533-41-РП-1, 2017. – 122 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sitis.ru/files/903a66201e50a989a899c58eba99979f>.

47. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – Москва: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

48. Руководство пользователя. СИТИС: Блок 4.11. Редакция 1. ООО «СИТИС». 3531-41-РП-1, 2017. – 116 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sitis.ru/files/bdc50bbca60a14072e81708df87ad385>.

49. CFAST – Consolidated model of fire growth and smoke transport. Technical reference guide. NIST Special Publication 1026. Version 6. Walter W.Jones., Richard D.Peacock., Glenn P.Forney., Paul A.Reneke. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. April, 2009 Revision. – 101 p.

50. Краткое руководство пользователя. СИТИС: Симлаб-Динамо. Редакция 1. / ООО «СИТИС». 3210-11-РП1, 2017. – 43 с.

51. Руководство пользователя. Fire integral model. FIM 1.1.0. 2015. – 22 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pyrosim.ru/download/FIM_manual.pdf

52. Smokeview, A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data. Volume I. User's Guide. NIST Special Publication 1017-1. Sixth Edition. Glenn P. Forney. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. November 01, 2017. – 212 p.

53. Руководство пользователя. Firerisk 2.75. 2019. – 73 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pyrosim.ru/download/FireRisk_manual.pdf

54. ANSYS Fluent Tutorial Guide. ANSYS Inc. Southpointe 2600 ANSYS Drive Canonsburg, PA 15317. Release 18.0. January, 2017. – 1034 p.

55. ANSYS Fluent User's Guide. ANSYS Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317. Release 15.0. November, 2013. – 2620 p.

56. PHOENICS overview. CHAM Technical report: TR 001 [Електроний ресурс] . Офіційний веб-портал Concentration, Heat & Momentum Limited (CHAM) – Режим доступу: http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_docs/tr001/tr001.htm#what.

57. Перминов В.А., Шатохин А.А. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса при пожарах с использованием программного обеспечения PHOENICS . *Вестник науки Сибири*. – № 1 (11). 2014. – С. 34-39.

58. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. – Чинний від 2020.01.01. – Київ: ДП УкрНДНЦ, 2019. – 165 с. – (Національний стандарт України).

59. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 86 с.

60. Fire Dynamics Simulator. User's Guide. NIST Special Publication 1019. Sixth Edition. Kevin McGrattan., Simo Hostikka., Randall McDermott., Jason Floyd., Marcos Vanella., Craig Weinschenk., Kristopher Overholt. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. November 01, 2017. – 339 p.

61. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара. Математическая модель. Fire Dynamics Simulator (FDS) Версия 6. / ООО «СИТИС». TP-5078, 2013. – 104 с.

62. CCM User Guide. CD-adapco. Star-CD Version 4.02. CD-adapco, 2006. – 406 p.

63. Ройтман В.М., Серков Б.Б., Шевкуненко Ю.Г., Сивенков А.Б., Баринаева Е.Л., Приступок Д.Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. *Учебник под общей редакцией В.М. Ройтмана*. – 2-е изд. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 366 с.

64. Горшков В.И. Самовозгорание веществ и материалов. В.И. Горшков. – М.: ВНИИПО. – 2003. – С. 446.
65. Волосухин В.А. Строительные конструкции. Волосухин В.А., Евтушенко С.И., Меркулова Т.Н. – М.: Феникс, 2013. – 554 с.
66. Пушкаренко А.С., Васильченко О.В.. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур: *Навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]* Харків: АПБУ. – 2001. – 166 с.
67. Зенков Н.И. Строительные материалы и поведение их в условиях пожара: Учебник [для слушателей вузов по специальности «Инженер противопожарной техники и безопасности»] Н.И. Зенков. – М.: Высш. инж. пожар.-техн. школа МВД СССР. – 1974. – 176 с.
68. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 590 с.
69. Романенко П. Н. Теплопередача в пожарном деле. Романенко П. Н., Бубырь Н. Ф., Башкирцев М. П. – М. : Научно-исследовательский и редакционно-издательский отдел, 1969. – 425 с.
70. Основы пожарной теплофизики. Башкирцев М. П. [и др.]. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Стройиздат, 1984. – 200 с. : ил.
71. Цой П. В. Методы расчета задач тепломассопереноса / Цой П.В. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – С.43-58.
72. Новак С.В., Нефедченко Л.М., Абрамов О.О. Методи випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість. – Київ: Пожінформтехніка, 2010. – 132 с.
73. Борисова А.С. Тищенко Е. А., Абрамов Ю. А. Влияние изменения температуры окружающей среды на результаты испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. *Проблемы пожарной безопасности*. 2015. Вып. 37. С. 32-35.
74. Барановский А.С., Леончук П.А., Зуев С.А. Оценка противопожарных расстояний между объектами различного назначения. *Пожарная безопасность*. – 2019 – № 2. – 95 – 99.

75. Борисова А.С., Таран Є.О., Пустовіт М.О., Аналіз застосування роботизованих систем для гасіння пожеж. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»* – Черкаси. – 2017. – С. 142 – 144.

76. J. Quintiere. A Perspective on Compartment Fire Growth. *Combustion Science and Technology*, 39:11–54, 1984.

77. Желяк В.І. Дослідження адекватності методів розрахунку теплового потоку випромінювання від палаючого штабеля з деревиною. *Пожежна безпека: теорія і практика*. 2013. №13. С.28 – 31.

78. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека (ISO 831: 1975) ДСТУ Б В. 1.1-4-98*. [Чинний від 1998-10-28.] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 20 с. – (Національний стандарт України).

79. Будівельні матеріали. матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість. ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94). [Чинний від 1996-09-01]. –К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1995. –32 с. –(Національний стандарт України).

80. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. ДБН В.1.2-7:2008 [Чинний від 2008-10-01]. – К. Мінрегіонбуд України, 2019. – 31 с. – (Державні будівельні норми України).

81. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги ДСТУ Б В.1.1-4-98* [Чинний від 01.01.2006] Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України від 28.10.98 № 247 – 42 с.

82. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016. –[Чинний від 2017-06-01]. –К.: Держбуд України, 2017. –39 с. – (Державні будівельні норми України).

83. Термометрія. Терміни та визначення ДСТУ 3518-97, [Чинний від 01.01.1998] Технічний комітет зі стандартизації ТК 65 «Прилади промислового контролю і регулювання»

84. Межгосударственный стандарт. материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности. ГОСТ 7076-99.

85. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою ДСТУ Б В.1.1-36:2016, [Чинний від 01.01.2017] Мінрегіонбуду України від 15.06.2016 р. № 158 – 31 с. (Національний стандарт України).

86. Українська мала енциклопедія : 16 кн. : у 8 т. проф. Є. Онацький. — Накладом Адміністрації УАПЦ в Аргентині. — Буенос-Айрес, 1958. — Т. 1, кн. II : Літери В — Г. — С. 180-182. — 1000 екз.

87. Walter J. Saucier (2003). Principles of Meteorological Analysis. Courier Dover Publications. ISBN 9780486495415.

88. Бофорта шкала. Універсальний словник-енциклопедія. — 4-те вид. — К. : Тека, 2006.

89. Сайт Українського гідрометеорологічного центру [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://meteo.ua/ua/vocabulary/shkala-boforta-539>.

90. Інформаційний сервер погоди Українського гідрометеорологічного центру [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/

91. Борисова А.С., Ніжник В.В. Обґрунтування критерію швидкості та напрямку вітру як передумови поширювання пожежі на сусідні об'єкти. *Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»*. – 2020 Том 4 № 2. – С. 42–47.

92. Борисова А.С., Ніжник В.В. Використання спрощеного розрахункового методу для дослідження вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку. *Міжнародна науково-практична*

конференція «Korszerű műszerek és algoritmusai tapasztalati és elméleti tudományos kutatási» - Будапешт, HUN – 2020. С.71.

93. D.A. Anderson, J.C. Tannehill, and R.H. Pletcher. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. Hemisphere Publishing Corporation, Philadelphia, Pennsylvania, 1984.

94. P. Humphreys. Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method. – Oxford university press. – 2004.

95. Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide. K. McGrattan [et al.] NIST Special Publication 1019-5. 2009. – 176.

96. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model. K. McGrattan [et al.] NIST Special Publication 1018-5. 2009 – 94 p.

97. ООО «СИТИС». TP-5078. Перевод технической документации к программе Fire Dynamics Simulator (FDS) Версия 6. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара. Математическая модель.

98. Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. NUREG 1824, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2007.

99. Борисова А.С., Ніжник В.В. Методика експериментальних досліджень залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. – 2020. – №2. – С. 200–203. (раздел 3)

100. Борисова А.С. Ніжник В.В., Фещук Ю.Л. Розроблення методики експериментальних досліджень щодо визначення значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин та матеріалів. *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»* – Черкаси. – 2020. – С. 184 – 185.

101. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України. Затверджені наказом МНС України від 07.05.2007 № 312, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 20 лютого 2012 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0241-12>.

102. Борисова А.С., Ніжник В.В., Серета Д.В. Експериментальні дослідження тривалості займання матеріалів залежно від поверхневої густини теплового потоку та в умовах вітрового впливу. *Науковий вісник УкрНДІЦЗ*. – Київ, 2020. №1(1). – С. 81 – 88.

103. Інструкція з проведення міжлабораторних порівняльних випробувань у сфері пожежної безпеки. – УкрНІЦЗ. – Київ. – 2007.

104. Борисова А.С., Ніжник В.В. Дослідження вітрового впливу на поверхневу густину теплового потоку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність на транспорті» – Харків. – 2020. – С.152-153.

105. Борисова А.С., Ніжник В.В. Обґрунтування довідкових даних прогнозування теплового впливу пожежі з урахуванням вітрового впливу. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки»* – Київ. – 2020. – С. 63-64.

106. Борисова А.С., Пустовіт М.О., Таран Є.О. Аналіз застосування роботизованих систем для гасіння пожеж. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»* – Черкаси. – 2017. – С. 142 – 144.

107. Борисова А.С., Ніжник В.В. Виявлення залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку. *Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України*

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». – 2020 Том 4 № 1. – С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2020.4.1>.

108. Ніжник В.В., Фещук Ю.Л. Розрахунковий табличний метод визначення межі вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням. *Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*. – Черкаси. – 2018. – С. 245 – 249.

109. Нижник В.В., Фещук Ю.Л., Поздеев С.В., Методология прогнозирования пределов огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой. *Международный научный журнал "Интернаука"*. – 2018. – № 14. – с. 74 – 81.

110. Поздеев С. В. Некора О.В., Поздеев А.В. Методика определения режимов нагрева бетонных образцов, моделирующих состояние элементов строительных конструкций при пожаре. *Проблемы пожарной безопасности*. – Х. : АГЗУ, 2006. – Вып. 19. – С. 111 – 116.

111. Милованов А. Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. А.Ф. Милованов. – М. : Стройиздат, 1998. – 304 с.

112. Борисова А. С. Дослідження вітрового впливу на величину критичної поверхневої густини теплового потоку із використанням газогідродинамічної моделі. *Міжнародний науковий журнал "Интернаука"*. — 2020. — №16. – С. 48 – 51. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-16-6419> (Видання індексується бібліометричними платформами: Ulrichsweb Global Serials Directory; Google Scholar; Open Academic Journals Index, Polish Scholarly Bibliography).

113. Borysova A.S. Nignyk V.V., Pozdeev S.V., Yakovchuk R.S. Substantiation of the correction factor for the influence of wind speed to assess the spread of fire to neighboring buildings. *The scientific heritage ISSN 9215 — 0365*. — VOL 1, No 55(55) (2020) P 7-10, Budapest, Hungary.

ДОДАТОК А**Акти впровадження результатів дисертаційної роботи**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. начальника Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
д-р наук з державного управління

« 21 » червня 2020 року
Петро ВОЛЯНСЬКИЙ

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Борисової Анни Сергіївни за темою: «Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – «Пожежна безпека»

Складено комісією:

голова комісії – заступник начальника ІДУ НД ЦЗ (з навчальної роботи) канд. техн. наук, доцент СРЕМЕНКО Сергій Анатолійович.

Члени комісії:

начальник науково-організаційного відділу ІДУ НД ЦЗ д-р техн. наук, ст. наук, співроб. ЗАПОЛЬСЬКИЙ Леонід Леонідович

начальник відділу техногенної безпеки науково-дослідного центру цивільного захисту ІДУ НД ЦЗ канд. техн. наук СЛУЦЬКА Оксана Михайлівна.

Комісія перевірила і цим Актом засвідчує, що результати дисертаційної роботи Борисової Анни Сергіївни за темою: «Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу» впроваджено шляхом реалізації в навчальному процесі для проведення занять при викладанні дисциплін: «Пожежна профілактика в населених пунктах», «Методологія та організація наукових досліджень», а також в рамках проведення навчання посадових осіб з питань пожежної безпеки.

Впровадження результатів дисертаційної роботи дозволило підвищити ефективність і якість навчального процесу та актуальність матеріалу, що стосується аспектів розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду у зв'язку із захистом дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії).

Голова комісії:

Сергій СРЕМЕНКО

Члени комісії:

Леонід ЗАПОЛЬСЬКИЙ

Оксана СЛУЦЬКА

ЗАТВЕРДЖУЮ

заступник директора Департаменту
запобігання надзвичайним ситуаціям

ЛФАНАСЬЄВ П.Г.

_____ 2020 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Борисової Анни Сергіївни

за темою «Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання
пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу»

Цей акт засвідчує, що результати дисертаційної роботи Борисової А.С. за темою «Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу» впроваджено шляхом розроблення проекту зміни до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення» із подальшим її прийняттям та практичною реалізацією.

Заступник начальника управління
– начальник відділу по роботі з
органами влади та стратегічними
об'єктами Департаменту запобігання
надзвичайним ситуаціям
канд. техн. наук

Є.А. ЛІНЧЕВЬСЬКИЙ

133

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ТОВ «ФЛАГМАН СИСТЕМ БЕЗПЕКИ»



Зінченко Т.А.

2020 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Борисової Анни Сергіївни

за темою «Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу»

Комісія в складі: голови комісії – головного інженера Куця Тараса Олександровича, членів комісії: інженера-проектувальника Сом А.В., інженера Євпака С.А., склали цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження Борисової А.С. апробовано та впроваджено у практичну діяльність ТОВ «ФЛАГМАН СИСТЕМ БЕЗПЕКИ» у сфері архітектури та інжинірингу.

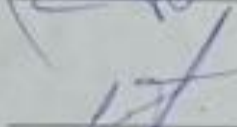
Голова комісії:

Куць Т.О.



Члени комісії:

Сом А.В.



Євпак С.А.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
Державного підприємства "Український
державний науково-дослідний інститут
проектування міст "ДІПРОМІСТО"
імені Ю.М.Білоконя



Іван Шпилевський
2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
Борисової Анни Сергіївни

за темою «Удосконалення розрахункового методу прогнозування поширювання
пожежі на сусідні об'єкти з урахуванням вітрового впливу»

Комісія у складі: в.о. начальника архітектурно-планувального управління – начальника відділу нормативного та методичного забезпечення містобудівного проектування Економов А.О. – голови комісії та членів комісії – ученого секретаря інституту, кандидата географічних наук Сивак О.О.; начальника науково-дослідного відділу, кандидата географічних наук Зеркаль М.В. склала цей акт, яким засвідчує, що результати дисертаційної роботи Борисової А.С., впроваджено у діяльність відділу нормативного та методичного забезпечення містобудівного проектування Українського державного науково-дослідного інституту проектування міст "ДІПРОМІСТО" імені Ю.М. Білоконя шляхом застосування запропонованого коефіцієнта вітрового впливу для оцінювання протипожежних відстаней під час розроблення нових будівельних норм.

Голова комісії:
Члени комісії:

А. О. Економов
О. О. Сивак
М. В. Зеркаль

ДОДАТОК Б

Проект зміни до ДСТУ 9058:2020 «Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення»

Зміна № 1

ДСТУ 9058:2020

Сторінка 1

Сторінок 1

Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Пожежна безпека та протипожежна техніка» (ТК 25)»
- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» від ____ 202__ р. № ____ з ____ - ____ - ____

У п. 5.1 формулу (1) викласти у новому вигляді:

$$R_1 = k_{\delta} \alpha \max \{R_1, R_2\}$$

де k_{δ} – коефіцієнт безпеки, приймають рівним 1,2;

α – коефіцієнт, що враховує вплив вітру, приймають рівним 1,2.

ДОДАТОК В

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Сучасний стан щодо визначення критичного значення поверхневої густини теплового потоку. *Геотехнічна механіка*. 2020. № 152 С. 99-106.

Особистий внесок: авторка здійснила аналіз сучасного стану щодо визначення критичної поверхневої густини теплового потоку.

2. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Методика експериментальних досліджень залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. 2020. №2 С. 200–203.

Особистий внесок: авторка розробила методика експериментальних досліджень визначення залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу.

3. **Борисова А.С., Ніжник В.В., Серета Д.В.** Експериментальні дослідження поверхневої густини теплового потоку в умовах вітрового впливу. *Науковий вісник УкрНДІЦЗ*. 2020. №1(9) С. 107 – 115.

Особистий внесок: авторка провела експериментальні дослідження тривалості займання матеріалів залежно від поверхневої густини теплового потоку та в умовах вітрового впливу.

4. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Виявлення залежності вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку. *Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»*. 2020 Том 4 № 1 С. 48–55.

Особистий внесок: авторка науково обґрунтувала інформаційно довідкові дані щодо значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів залежно від вітрового впливу

5. **Борисова А.С. Тищенко Е. А., Абрамов Ю. А.** Влияние изменения температуры окружающей среды на результаты испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом. *Проблемы пожарной безопасности*. 2015. Вып. 37. С. 32-35.

Особистий внесок: авторка отримала математичну модель, що описує вплив зовнішньої температури на результати проведення об'єктових випробувань.

6. **Борисова А.С., Ніжник В.В.** Обґрунтування критерію швидкості та напрямку вітру як передумови поширювання пожежі на сусідні об'єкти. *Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»*. 2020 Том 4 № 2 С. 42–47.

Особистий внесок: авторка визначила середні значення швидкості вітру, при цьому обґрунтувала найбільш імовірні інтервали критерію вітрового впливу

Статті у міжнародних фахових виданнях

7. **Borysova A.S.**, Nignyk V.V., Pozdeev S.V., Yakovchuk R.S. Substantiation of the correction factor for the influence of wind speed to assess the spread of fire to neighboring buildings. *The scientific heritage ISSN 9215- 0365*. VOL 1, No 55(55) (2020) P 7-10, Budapest, Hungary.

Особистий внесок: авторка провела повний факторний експеримент, результатом якого стало визначення поправочного коефіцієнту вітрового впливу на процес поширювання пожежі на сусідні об'єкти в умовах вітрового впливу.

Опубліковано в інших виданнях:

8. **Борисова А. С.** Дослідження вітрового впливу на величину критичної поверхневої густини теплового потоку із використанням газогідродинамічної моделі. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"* 2020. №16. С. 48 – 51. (Видання індексується бібліометричними платформами: Ulrichsweb Global Serials Directory; Google Scholar; Open Academic Journals Index, Polish Scholarly Bibliography).

Особистий внесок: авторка

Матеріали науково-практичних конференцій

9. **Борисова А.С.**, Ніжник В.В., Фещук Ю.Л. Розроблення методики експериментальних досліджень щодо визначення значень критичної поверхневої густини теплового потоку для речовин та матеріалів. *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»* – Черкаси. 2020. С. 184 – 185. *Особистий внесок: авторка обґрунтувала доцільність розроблення методики експериментальних досліджень.*

10. **Борисова А.С.**, Ніжник В.В. Обґрунтування довідкових даних прогнозування теплового впливу пожежі з урахуванням вітрового впливу. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки»*. Київ. 2020. С. 63-64.

Особистий внесок: авторка запропонувала теоретичні підходи щодо оцінювання розрахунковими методами поширювання пожежі на сусідні об'єкти будівництва залежно від швидкості та напрямку вітру.

11. **Борисова А.С.**, Ніжник В.В. Дослідження вітрового впливу на поверхневу густину теплового потоку. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність на транспорті»* Харків. 2020. С.152-153.

Особистий внесок: авторка означила особливості вітрового впливу на поверхневу густину теплового потоку.

12. **Борисова А.С.**, Ніжник В.В. Використання спрощеного розрахункового методу для дослідження вітрового впливу на критичну поверхневу густину теплового потоку. *Міжнародна науково-практична*

конференція «*Korszerű műszerek és algoritmusai tapasztalati és elméleti tudományos kutatási*» - Будапешт, HUN 2020. С.71.

Особистий внесок: авторка проаналізувала спрощений розрахунковий метод для проведення досліджень.

13. **Борисова А.С.**, Пустовіт М.О., Таран Є.О. Аналіз застосування роботизованих систем для гасіння пожеж. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*. Черкаси 2017. С. 142 – 144.

Особистий внесок: авторка проаналізувала стан питання та обґрунтувала подальше використання роботизованих систем для гасіння пожеж.