

Технічні науки

УДК 614.841.45

Ніжник Вадим Васильович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідного центру
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту*

Нижник Вадим Васильевич

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
начальник научно-исследовательского центра
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты*

Nizhnyk Vadim

*Candidate of Technical Sciences, Senior Staff Scientist,
Head of Research Centre
The Ukrainian Civil Protection Research Institute*

Фещук Юрій Леонідович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту*

Фещук Юрий Леонидович

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты*

Feshchuk Yurii

*Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer
The Ukrainian Civil Protection Research Institute*

Поздєєв Сергій Валерійович

*доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
НУЦЗ України*

Поздеев Сергей Валерьевич

*доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля*

НУГЗ Украины

Pozdieiev Serhii

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Principal Research Officer
Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of
National University of Civil Protection of Ukraine*

Олійник Інна Яківна

ад'юнкт

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

НУЦЗ України

Олийник Инна Яковна

адъюнкт

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

НУГЗ Украины

Oliyuk Inna

Adjunct

*Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of
National University of Civil Protection of Ukraine*

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ ЧЕРЕЗ
ВІКОННИЙ ПРОРІЗ БУДИНКУ НА ЕЛЕМЕНТИ СУМІЖНИХ
ОБ'ЄКТІВ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЛИЯНИЯ ПОЖАРА ЧЕРЕЗ
ОКОННЫЙ ПРОЕМ ДОМА НА ЭЛЕМЕНТЫ СМЕЖНЫХ
ОБЪЕКТОВ**

SIMULATION OF THE THERMAL INFLUENCE OF THE FIRE THROUGH THE WINDOW SILL OF THE BUILDING ON THE ELEMENTS OF ADJACENT OBJECTS

***Анотація.** Розроблено математичну модель процесів теплового впливу пожежі через віконний проріз будинку на елементи суміжних об'єктів за методами газодинаміки та здійснено перевірку її адекватності у порівнянні з результатами проведених експериментальних досліджень. Отримані дані можуть використовуватися під час обґрунтування протипожежних відстаней між будинками та спорудами за рахунок математичної моделі теплообміну між об'єктами під час пожежі за методами газодинаміки, а також під час обґрунтування алгоритму створення математичної моделі.*

***Ключові слова:** протипожежна відстань, математична модель, модельне вогнище пожежі, температура.*

***Аннотация.** Разработана математическая модель процессов теплового воздействия пожара через оконный проем здания на элементы смежных объектов по методам газодинамики и осуществлена проверка ее адекватности в сравнении с результатами проведенных экспериментальных исследований. Полученные данные могут использоваться при обоснование противопожарных расстояний между зданиями и сооружениями за счет математической модели теплообмена между объектами во время пожара по методам газодинамики, а также во время обоснования алгоритма создания математической модели.*

***Ключевые слова:** противопожарное расстояние, математическая модель, модельный очаг пожара, температура.*

***Summary.** The mathematical model of the processes of thermal fire influence through the window opening of the building on the elements of*

adjacent objects by the methods of gas dynamics was developed and its adequacy was checked in comparison with the results of the conducted experimental researches. The obtained data can be used during the substantiation of fire distances between buildings and structures at the expense of mathematical model of heat exchange between objects during the fire by methods of gas dynamics, as well as during the substantiation of the algorithm for the creation of a mathematical model.

Key words: *fire distance, mathematical model, model fire of fire, temperature.*

Вступ. Останнім часом під час дослідження процесів теплопередачі значу увагу приділяють методам математичного моделювання. Деякі з цих методів розглянуто в роботах [1-7], де досліджено процеси теплової ефективності будинків, тепло масообміну під час пожеж, тепло та волого переносу у будівельних конструкціях тощо. Однак в даних роботах не розглянуто процеси теплопередачі як критерію визначення протипожежних відстаней між спорудами. Тому наукові дослідження присвячені створенню математичної моделі для обґрунтування величини протипожежної відстані між будинками та її перевірка є досить актуальними.

Мета роботи. Розроблення математичної моделі процесів теплового впливу пожежі через віконний проріз будинку на елементи суміжних об'єктів за методами газодинаміки та її перевірка. Для досягнення зазначеної мети поставлені та вирішені такі задачі:

- на основі програмного комплексу FDS поетапно створено математичну модель теплообміну під час пожежі класу А в споруді з негорючим фасадом на елементи суміжних об'єктів;
- проведено експериментальні дослідження теплового впливу факела модельного вогнища пожежі класу А на елементи суміжних об'єктів;

- здійснено перевірку адекватності розробленої математичної моделі.

Математичне моделювання процесів теплового впливу факелу пожежі на елементи суміжних об'єктів за методами газодинаміки та експериментальні дослідження проводилися згідно із методикою [8].

При створенні математичної моделі задано умову, що пожежа, яка є осередком теплового випромінювання, обмежена негорючими будівельними конструкціями, а опромінювання сусіднього будинку відбувається через віконний проріз.

Математична модель теплообміну створювалася у декілька етапів.

На першому етапі моделювання, створено графічну основу, яка відображає ситуативне розташування об'єктів, які досліджуються, на площині. Загальний вигляд математичної моделі та досліджуваного зразка зображено на рис. 1.

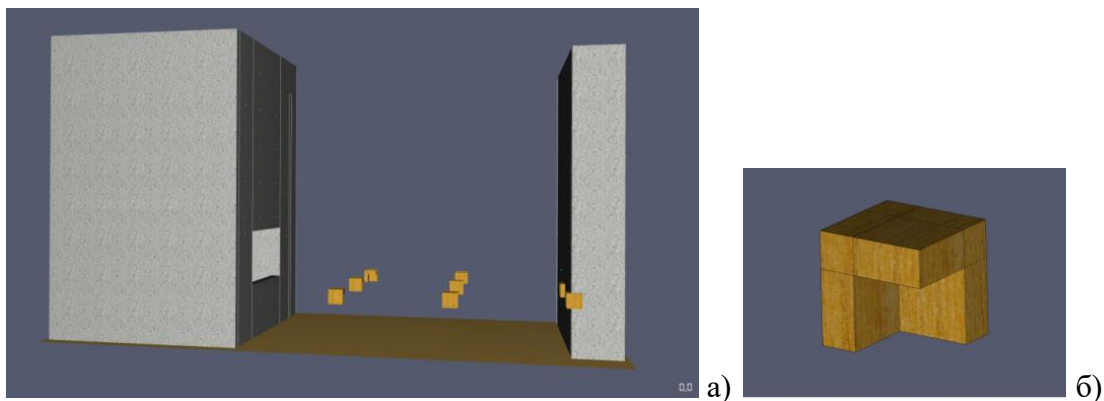


Рис. 1. Математична модель: а) загальний вигляд, б) зразка

Наступним етапом створення математичної моделі є створення розрахункової сітки в системі якої проводитимуться розрахунки. Для досягнення оптимальної точності розрахунку прийнято використовувати комірки з кроком в 0,1 м та з одним розміром по всім трьом напрямкам (x, y, z).

Під час вибору розміру розрахункових сіток керувалися такими критеріями як: роздільна здатність поля потоку, роздільна здатність

геометрії, а її обґрунтування проводилося із використанням методу дитохомії. Спроектowana сітка зображена на рис. 2.

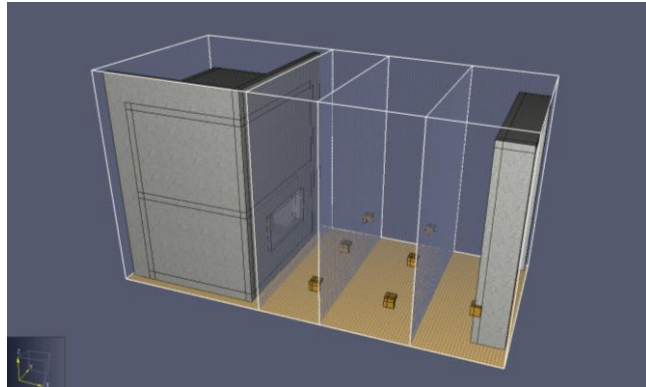


Рис. 2. Вигляд розрахункової сітки математичної моделі

Наступним етапом моделювання є створення об'єктів у відповідному масштабі. Основою всієї геометрії в FDS є перешкоди. Для кожного об'єкту в моделі присвоєно необхідну для нього поверхню.

Моделювання горіння створювалось в три етапи: створення реакції горіння в газовій фазі, створення поверхні типу «пальник», створення об'єкту з присвоюванням йому створеної поверхні.

Для створення пожежного навантаження у вогневій камері встановлено вогневе навантаження у вигляді штабеля брусків із деревини. Для моделювання пожежного навантаження у вигляді штабелю брусків деревини використовувалась тверда перешкода з поверхнею «Штабель деревини; хвойний і листяний ліс» з типом поверхні «багатошаровий». Параметри пожежного навантаження штабеля брусків, що закладені в математичній моделі наведено в таблиці 1.

Виділення газу: вуглекислий (CO_2) 1,57000 кг/кг; чадний (CO) 0,02400 кг/кг; хлористий водень (HCl) 0,00000.

Таблиця 1

Параметри пожежного навантаження для деревини

№	Параметр	Одиниці вимірювання
1	Питоме тепловиділення складає	200
2	Нижня теплота згоряння	13800,0
3	Лінійна швидкість полум'я	0,0585
4	Питома масова швидкість вигорання	0,01450
5	Димоутворювальна здатність	57,00
6	Споживання кисню	1,1500
7	Температура займання	250

Для підпалювання штабелю застосовуються два дека з дизельним паливом. Для моделювання дек використовувалась тверда перешкода і на її межі задавалася гранична умова VENT з поверхнею «Дизельне паливо, солярка» і типом поверхні «пальник». Параметри дизельного палива, що закладені в математичну модель наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри пожежного навантаження для дизельного палива

№	Параметр	Одиниці вимірювання
1	Питоме тепловиділення складає	1907
2	Нижня теплота згоряння	45400,0
3	Лінійна швидкість полум'я	0,4
4	Питома масова швидкість вигорання	0,042
5	Димоутворювальна здатність	620,10
6	Споживання кисню	3,3680
7	Температура займання	112

Виділення газу: вуглекислий (CO_2) 3,16300 кг/кг; чадний (CO) 0,12200 кг/кг; хлористий водень (HCl) 0,00000.

На рис. 3 наведено вигляд математичної моделі із пожежним навантаженням.

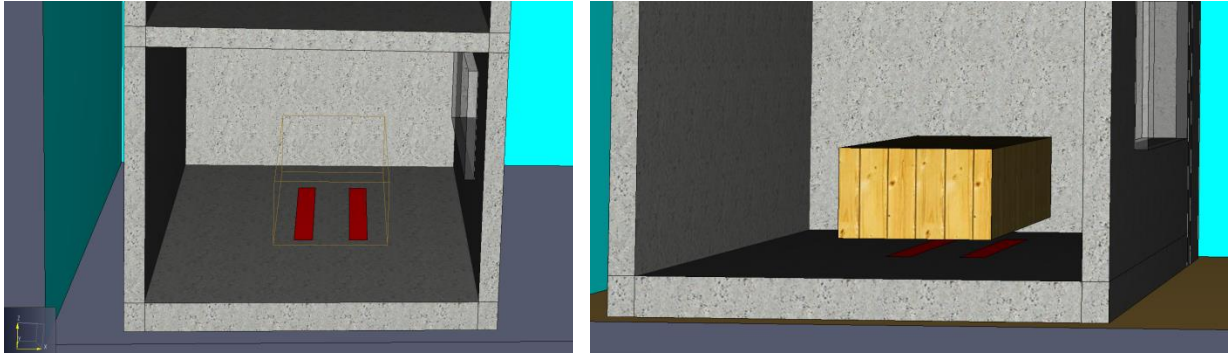


Рис. 3. Вигляд математичної моделі із пожежним навантаженням

Для моделювання зв'язку з атмосферою використовувалась гранична умова VENT розташована на зовнішніх межах розрахункових сіток із заданою поверхнею OPEN, дана поверхня являє собою пасивний отвір в навколишнє середовище.

При моделюванні поверхонь, виконаних з теплопровідного матеріалу або палива задано матеріали, що описують теплові властивості та піролітичну поведінку.

Параметри матеріалів які використовувались для моделювання зазначено в таблиці 3.

Таблиця 3

Параметри матеріалів для моделі

№	Матеріал	Густина, кг/м ³	Питома теплоємність кДж/(кг·К)	Провідність, Вт/(м·К)
1	Бетон	2280,0	1,04	1,8
2	Гіпс	930,0	1,09	0,17
3	Деревина (сосна)	640,0	2,85	0,14

Поверхні використовуються для задавання властивостей твердих властивостей твердих об'єктів та вентиляційних отворів в моделі FDS.

Для проведення моделювання створено поверхні (перешкод) для стін та перекриттів, підлоги, пожежного навантаження у вигляді штабелю брусків деревини, дек з дизельним паливом та зразків (таблиця 4).

Параметри створених поверхонь перешкод закладених в модель

№	Поверхня перешкоди	Товщина, м	Складовий матеріал	Властивості поверхні	Початкова температура °С
1	Стіна	0,2	0,25 гіпс / 0,75 бетон	задня поверхня відкрита	температура навколишнього середовища
2	Підлога	0,3	0,08 гіпс / 0,92 бетон	задня поверхня ізольована	
3	Штабель брусків	0,04	1,0 сосна	задня поверхня відкрита	
4	Зразок	0,05	1,0 сосна	задня поверхня ізольована	

Для вимірювання температури безпосередньо на зразках, використовувались вимірювачі в твердій фазі. Схема розташування яких зображена на рис. 4.

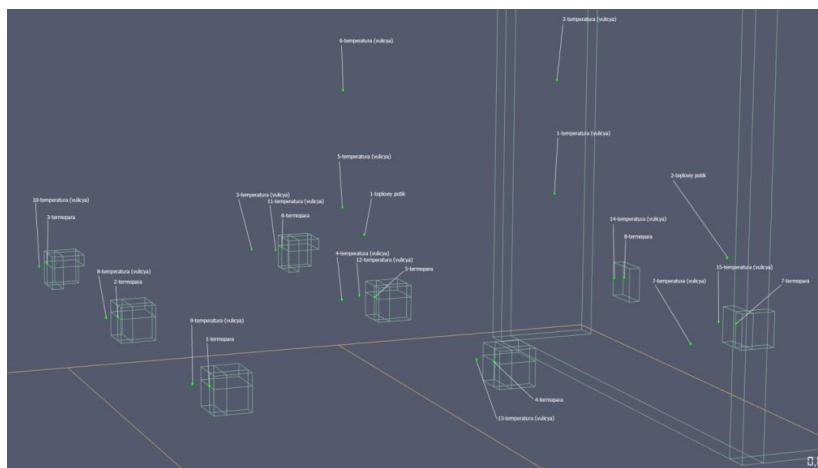


Рис. 4. Розташування датчиків у математичній моделі досліджуваних зразків

Датчик являє собою контрольну точку вимірювання температури. Для більшої інформативності та розширення властивостей датчиків використано статистику середнього значення температури у вогневій камері (рис. 5), ці дані також представлені на графіках разом з даними вимірювачів.

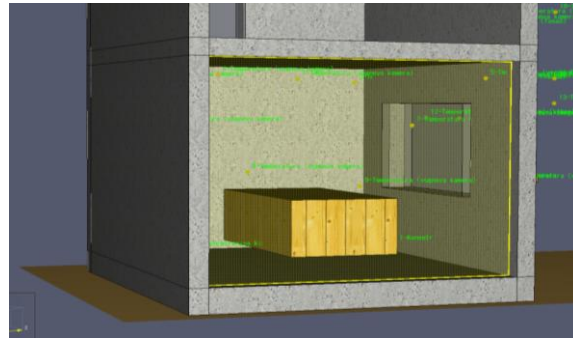


Рис. 5. Межі вимірювання середніх статистичних даних у вогневій камері

Заключним етапом розрахунку є програмування загальних параметрів, а саме необхідну тривалість моделювання, параметри навколишнього середовища, визначення граничних величин, які необхідно додатково визначити під час розрахунку.

Відповідно до [8], тривалість експериментальних досліджень складає 30 хвилин. Таким чином загальний час моделювання задано 1800 секунд.

Динаміка розвитку пожежі, а також візуалізація температури з відображенням температурних полів зображено на рис. 6.

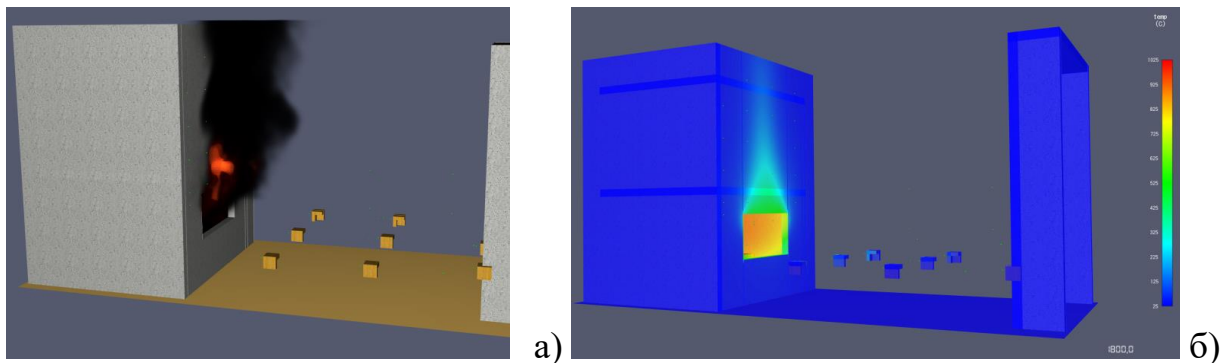


Рис. 6. Модель: а) розвитку пожежі, б) температури конструкції через 1800 с

На рис. 7 показано параметри температури на вимірювачах продовж часу моделювання в об'ємі вогневої камери.

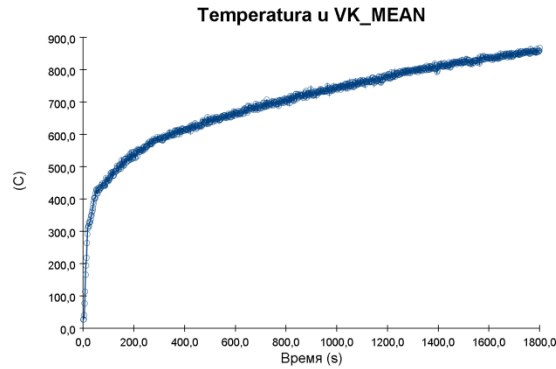


Рис. 7. Залежність температури повітря від часу в об'ємі вогневої камери

Отримані результати математичного моделювання температури на досліджувальних зразках порівняно з результатами експерименту проведеного згідно [8] в одній системі координат для термопар Т2, Т5, Т8 (див. рис. 4). Результати порівняння зображено на рис. 8.

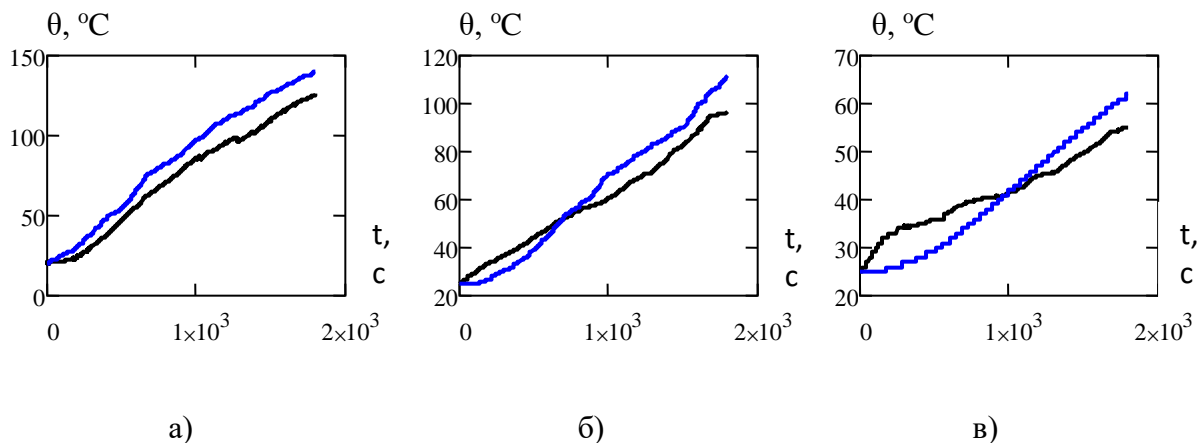


Рис. 8. Порівняння математичного моделювання з результатами експериментальних досліджень: синій колір – моделювання, чорний колір – експеримент

Перевірку адекватності проведено за такими критеріями: абсолютне відхилення, відносне відхилення, середньоквадратичне відхилення та критерій Фішера. Результати перевірки адекватності розробленої математичної моделі приведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати перевірки адекватності розробленої математичної моделі

№ п/п	№ термопари	Абсолютне відхилення	Відносне відхилення	Середнє квадратичне відхилення	Значення критерію Фішера
1	T1	3.608	6.03	3.945	5.08
2	T2	11.516	16.854	12.238	1.51
3	T3	8.703	16.712	10.081	1.34
4.	T4	7.54	15.507	8.484	3.37
5	T5	6.762	11.492	7.545	1.77
6.	T6	2.871	5.382	3.284	1.05
7.	T7	8.815	15.125	10.137	2.56
8.	T8	4.465	11.269	4.979	4.63

Таким чином абсолютні відхилення між результатами математичного моделювання та усередненими експериментальними дослідженнями не перевищують 12 °С, що відсоткових показниках не перевищує 17 %, середньоквадратичні відхилення становлять в межах 4÷13 °С, що вказує на те, що дані математичного моделювання максимально наближені до усереднених даних експерименту. Максимальне значення критерію Фішера становить 5.08. Для рівня статистичної значущості 5 % та для кількості ступенів свободи $k_1=2$ та $k_2=4$ табличне значення критерію Фішера становить 6.94. Оскільки розрахункове значення критерію Фішера менше за табличне, то із статистичною ймовірністю 0,95 дані не заперечують нуль гіпотезі, тобто розбіжність між дисперсіями експериментальних досліджень та математичного моделювання можна вважати не суттєвою.

Висновки. На основі програмного комплексу FDS створено математичну модель теплообміну під час пожежі в будинку з негорючим фасадом та елементами суміжних об'єктів. Показано, що її рішення може реалізуватися в програмному комплексі FDS із прийнятною збіжністю в порівнянні із експериментальними дослідженнями. Визначено залежності

зміни температури від часу вогневої дії на зразки та віддалення від джерела теплової дії.

Здійснено перевірку адекватності створеної математичної моделі. Встановлено, що розрахункове значення критерію Фішера менше за табличне, тому із статистичною ймовірністю 0,95 дані не заперечують нуль гіпотезі, тобто розбіжність між дисперсіями експериментальних досліджень та математичного моделювання можна вважати не суттєвою. Це в свою чергу підтверджує адекватність математичної моделі.

Література

1. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
2. Нагорная А.Н. Математическое моделирование и исследование нестационарного теплового режима зданий: диссертация кандидата технических наук : 05.13.18 / Нагорная Анастасия Николаевна; [Место защиты: Юж.-Ур. гос. ун-т]. Челябинск, 2008.- 150 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-5/398.
3. Снегирёв А.Ю. Моделирование тепломассообмена и горения при пожаре : дисс. ... д-ра техн. наук : 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» / Александр Юрьевич Снегирёв ; Государственная служба гражданской авиации МТ РФ, Академия гражданской авиации. – СПб., 2004. – 270 с.
4. Olenick S. M. An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke / S. M. Olenick, D. J. Carpenter // Journal of Fire Protection Engineering. – 2003. – № 13. – S. 87–110.
5. Фомин С. Л. Моделирование тепло- и влагопереноса в железобетонных конструкциях при воздействии климатической,

- технологической и пожарной сред / С. Л. Фомин // Электронное моделирование. – 1999. – Т. 21. – № 4. – С. 28–32.
6. Егоров В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности : учебное пособие / В. И. Егоров. – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 77 с..
 7. Башкирцев М. П. Исследование температурного режима при пожарах в зданиях на моделях / М. П. Башкирцев, П. Н. Романенко, Н. А. Стрельчук // Труды Высшей школы МООП РСФСР. – М. : НИиРИО ВШ МООП РСФСР, 1966. – Вып. 13. – С. 33-53.
 8. Nizhnyk V. A Method of Experimental Studies of Heat Transfer Processes between Adjacent Facilities / S. Shchipets, O. Tarasenko, V. Kropyvnytskyi, B. Medvid // International Journal of Engineering & Technology. – 2018 – № 7 (4.3). – 288-292.