

Тема: «Чисельне дослідження пожежі, що виникає та поширюється у приладді внутрішнього простору електричної шафи в технічних приміщеннях АЕС»

Шифр: «Безпека електрообладнання»

ПЛАН

ВСТУП.....	3
Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРАХУНКУ ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У ВНУТРІШНЬОМУ ПРОСТОРИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ШАФИ АЕС..	5
1.1. Технічні властивості матеріалів, що застосовуються у електричній шафі.....	5
1.2. Основні критерії пожежної небезпеки електричної шафи у разі виникнення пожежі.....	8
1.3. Сценарій виникнення та розвитку пожежі у електричній шафі.....	10
Розділ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ШАФИ.....	11
2.1. Математичний апарат для реалізації обчислювального експерименту.....	11
2.2. Програмне забезпечення для проведення обчислювального експерименту..	18
3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ НА СТІНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ШАФИ ПРИ ВИНИКНЕННІ ПОЖЕЖІ У ЇЇ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОСТОРИ.....	21
ВИСНОВКИ.....	30
ЛІТЕРАТУРА.....	31

ВСТУП

Ризик виникнення та поширення пожежі унаслідок короткого замкнення є одним з найпоширенішим, що має бути врахований при визначенні пожежної небезпеки у виробничих приміщеннях атомних станцій. Так у 2017 році в Україні зареєстровано 83 116 пожеж. За період, що аналізується, спостерігається збільшення кількості пожеж на 12,0 %, прямих матеріальних збитків на 25,3 %, побічних – на 64,4 %, кількість людей, загиблих унаслідок пожеж, зменшилась на 2,8 %, травмованих на пожежах збільшилась на 9,1 %, на 17,0 % збільшилась кількість знищених та пошкоджених будівель і споруд. Отже забезпечення пожежної безпеки є невід’ємною складовою державної політики в Україні.

У разі виникнення короткого замкнення у обладнанні електричних шаф, їх огороження має унеможливити поширення полум’я у приміщення, де вони встановлюються. Критеріями, що визначають поширення пожежі за простір електричної шафи, визначені настанням граничних станів втрати теплоізолювальної здатності та цілісності огорожувальних будівельних конструкцій згідно із ДБН В.1.1.7:2016. За прийнятими положеннями розрахунку встановлюється, що якщо протягом розвитку та загасання пожежі у просторі електричної шафи граничні стани втрати цілісності та теплоізолювальної здатності не настають, це означає що поширення пожежі за простір електричної шафи не відбувається.

Метою даної роботи є визначення небезпеки поширення полум’я за межі простору електричної шафи АЕС при виникненні у неї пожежі унаслідок короткого замкнення.

З огляду на складність вартість електричних шаф об’єкту, їх вогневі випробування є неефективним, оскільки розуміють виготовлення по два зразки із дотриманням всіх технологій. Це означає, що розрахункова оцінка граничних станів даного обладнання є єдиним прийнятним підходом щодо вирішення поставленої задачі. З огляду на це при визначенні моменту настання граничних станів використовується розрахунковий метод, заснований на застосуванні сучасного теоретичного підходу та програмного забезпечення. Чисельне

дослідження пожежі, що виникає та поширюється у приладді внутрішнього простору електричної шафи в технічних приміщеннях АЕС проводиться за допомогою польового методу у відповідності до вимог [2].

Для оцінки пожежної небезпеки електричної шафи крім вимог стандартів використовуються положення, що містяться у довідниковій та навчально-довідниковій літературі, що стосується даного питання, визнаних вітчизняних та закордонних авторів.

Для досягнення поставленої мети були сформовані наступні завдання:

1. Визначити теоретичні передумови розрахунку оцінки пожежної небезпеки у внутрішньому просторі електричної шафи АЕС.
2. Розробити сценарій виникнення та розвитку пожежі у електричній шафі.
3. Визначити програмне забезпечення для проведення обчислювального експерименту та описати математичний апарат для його реалізації.
4. Провести розрахунки для визначення температурних показників на стінках електричної шафи та у її внутрішньому просторі у результаті короткого замкнення.
5. Проаналізувати отримані дані у результаті обчислювального експерименту, з метою оцінювання пожежної небезпеки поширення полум'я у внутрішньому просторі електричної шафи АЕС.

Об'єкт роботи – процеси тепломасопереносу під час пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи АЕС.

Предмет роботи – температурний режим пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи АЕС.

Методи досліджень. Математичне моделювання процесів нестационарного теплообміну із застосуванням методу кінцевих елементів з використанням комп'ютерного комплексу Fire Dynamics Simulator 6.2.

Наукова новизна:

1. Отримано подальший розвиток застосування обчислювальних експериментів для моделювання процесів тепломасопереносу під час пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи АЕС.

2. Запропоновано методику розрахунку обчислювального експерименту з моделювання пожеж у внутрішньому просторі електричної шафи за допомогою використання законів нестационарного теплообміну засобами CFD-програм.

3. Досліджено температурний режим пожежі при горінні самозатухаючих перфорованих коробів ЕС S2560 у приладді внутрішнього простору електричної шафи АЕС.

Практичне значення отриманих результатів

1. Отримано графіки температурного режиму пожежі у різних зонах внутрішнього простору електричної шафи АЕС при горінні самозатухаючих перфорованих коробів ЕС S2560, що можуть бути використані для дослідження поширення пожежі за простір електричної шафи АЕС.

2. Запропоновано методика розрахунку обчислювального експерименту з моделювання пожеж у внутрішньому просторі електричної шафи АЕС.

Структура і обсяг роботи. Наукова робота складається зі вступу, двох розділів і загального висновку, списку використаних літературних джерел із 10 найменувань; містить 30 сторінок друкованого тексту, та 9 рисунків.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРАХУНКУ ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У ВНУТРІШНЬОМУ ПРОСТОРИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ШАФИ АЕС

1.1. Технічні властивості матеріалів, що застосовуються у електричній шафі.

Типові електричні шафи розмірами 608 мм x 800 мм x 1843,5 мм

розташовані у виробничій будівлі в приміщеннях за категорією «Д» за вибухопожежною та пожежною безпекою.

Електрична шафа складається з наступних матеріалів та покриттів, зокрема:

Матеріали:

Лист БТ-ПН-НО ГОСТ 19904-90/К350-5-///-Н-20 ДСТУ 2834-94 (S 1,0...2,0)

Коло Сталь 20 ГОСТ 2590-88

Лист ДПРПМ М1 ГОСТ 1173:2007 (S=3, S=5)

Лист АМг2.Н2 2,5 ГОСТ 21631-76

Текстоліт А в.с. ГОСТ 2910-74 (S 5, S 16):

- не токсичний, не вибухонебезпечний;
- температура займання + 358 °С;
- температура самозаймання + 500 °С;
- при виникненні пожежі використовують, розпилену воду, кошму, пісок, вуглекислі або порошкові вогнегасники.

Короба перфоровані: ЕС S2560, ЕС S4040, ЕС S4060, ECS4080 (ITAL-TECNO):

- твердий ПВХ, тяжко палаючий, самозатухаючий;
- термічна стійкість: від – 25 °С до + 60 °С.

Проводи Н05V-К, Н07V-К, Н07Z-К, (LAPP KABEL):

- не підтримають горіння;
- температурний діапазон: статично від – 40 °С до +105 °С.

Скло СБ-1 ГОСТ 78.11.002-1999:

- матеріал є пожежонебезпечним.

Скло органічне листове ТОСП 3,0 безбарвне прозоре ГОСТ 17622-72:

- матеріал є пожежонебезпечним;
- температура розм'якшення не нижче 92°С.

Покриття:

Н9, Ц12.хр , Ц 12.хр.бцв, Хим. Окс., ГОСТ 9.306-85; RAL1003, RAL3020, RAL5002, RAL6016, RAL7047, поліефірна порошкова фарба гарячої сушки BECKER (Англія):

- має гарну стійкість до механічних і хімічних навантажень;
- теплостійкість + 120 °С.

Допоміжні матеріали:

Припій Sn63/Pb37, Плівка Ф-430 сорт 1 0,1x30 ГОСТ 24222-80, матеріал: фторопласт-4:

- діапазон робочих температур від – 269°С до + 80 °С;
- хороша стійкість до розчинників і перепадів температури.

Спіралі пластикові (KW 6, KW12) (LAPP KABEL):

- діапазон робочих температур від – 40 °С до + 120 °С.

Трубка ізоляційна VM 81035 (ITAL-TECNO):

- матеріал – самозатухаючий ПВХ.

Стрічка ЛЭТСАР БП-0,2 I гр. тип X ТУ3-8.103171-80, стрічка електроізоляційна, термостійка, самозлипаюча, гумова радіаційної вулканізації:

- робоча температура від – 50 °С до + 250 °С;
- температура плавлення + 225 °С;
- не утворює токсичні і пожежовибухонебезпечні з'єднання в присутності інших речовин і зовнішніх чинників, з водою не реагує.

Трубки ізоляційні: (VM SNB 012; VM SNB 016; VM SNB 024; VM SNB 032; VM SNB 048; VM SNB 064; VM SNB 095; VM SNB 158):

- матеріал – самозатухаючий ПВХ.
- температурний діапазон від – 55 °С до +135 °С;

Трубки термоусадочні білі (PHZ20024BN9, PHZ20032BN9, PHZ20048BN9, PHZ20064BN9, PHZ20095BN9, PHZ20127BN9, PHZ20197BN9) (PARTEX):

- робоча температура від – 55 °С до + 125 °С;
- матеріал – поліолефіни, самозатухаючий згідно ASTM D2671;
- температура плавлення + 200 °С.

Стрічка бандажна плоска А-А 52081-С-3 18DZ чорний поліестер (GUDEBROD):

- діапазон робочих температур від – 55 °С до + 121°С.

Пластикові стяжки, колір білий (INSTALL), матеріал – високоміцний нейлон:

- температурний діапазон від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура навколишнього середовища при монтажі від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура плавлення $+256\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наконечники кабельні АНІ з ізоляцією (LAPP KABEL), матеріал: мідь, поліпропілен:

- постійне навантаження: від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- тимчасове навантаження $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наконечники ВМ (ВМ):

- матеріал – луджена мідь;
- ізоляція – самозатухаючий ПВХ.

Пожежну навантагу складають:

- матеріали: коробка перфоровані: ЕС S2560, ЕС S4040, ЕС S4060, ECS4080 (ITAL TECNO);

- покриття: Н9, Ц12.хр , Ц 12.хр.бцв, Хим. Окс., ГОСТ 9.306-85; RAL1003, RAL3020, RAL5002, RAL6016, RAL7047, поліефірна порошкова фарба гарячої сушки BECKER (Англія);

- допоміжні матеріали: Припій Sn63/Pb37, Плівка Ф-430 сорт 1 0,1x30 ГОСТ 24222-80, матеріал: фторопласт-4;

- стрічка бандажна плоска А-А 52081-С-3 18DZ чорний поліестер (GUDEBROD);

- наконечники кабельні АНІ з ізоляцією (LAPP KABEL), матеріал: мідь, поліпропілен;

Будівля оснащена такими системами протипожежного захисту:

- система оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей 3 типу;

- газова автоматична система пожежогасіння;

- автоматична система пожежної сигналізації, із димовими пожежними сповіщувачами;

- система димовидалення із природним спонуканням. Клапани

димовидалення розташовані в покрівлі будівлі;

- система блискавкозахисту.

1.2. Основні критерії пожежної небезпеки електричної шафи у разі виникнення пожежі

Для визначення здатності перешкоджати поширенню полум'я у разі виникнення пожежі у електричній шафі через її огороження використовуються критерії настання граничного стану втрати теплоізолювальної здатності та цілісності. Якщо протягом часу розвитку пожежі у електричній шафі втрати теплоізолювальної здатності та/або цілісності не відбувається, це значить, що пожежна безпека даної шафи є забезпеченою.

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4-98*, ДБН В.1.1-7-2016, ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2:2012 критерій теплоізолювальної здатності вважається забезпеченим, коли підвищення середньої температури по всій необігрівній поверхні обмежене 140 °С, а підвищення максимальної температури у будь-якій точці поверхні не перевищує 180 °С. Тому будемо вважати, коли температура на необігрівній поверхні досягає температури 140 °С настає граничний стан втрати теплоізолювальної здатності. Якщо весь час виникнення, розвитку та загасання пожежі у огороженні електричної шафи стан втрати теплоізолювальної здатності не настає, це означає що за теплоізолювальною здатністю воно забезпечує пожежну безпеку даної електричної шафи.

Втрата цілісності настає у той час, коли утворюються наскрізні отвори або тріщини у огороженні електричної шафи, через які можуть поширюватись продукти горіння, полум'я і т.п. Стан втрати цілісності контролюється за трьома ознаками: загоряння або тління зі свіченням ватного тампона, що піднесений до необігрівної поверхні зразка в місця тріщин на відстань від 20 мм до 30 мм протягом проміжку часу не менше ніж 30 с; виникнення тріщини,

через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести в піч щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на відстань не менше 150 мм; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 25 мм; полум'я на необігрівній поверхні зразка спостерігається протягом проміжку часу не менше ніж 10 с.

У випадку металевих стінок електричної шафи при обмеженні температур за вимогами щодо настання граничного стану теплоізолювальної здатності для огороження шафи вимога щодо цілісності має виконуватися автоматично, оскільки такі температури не приводять до виникнення вказаних дефектів у стінках. Таким чином, будемо вважати, якщо критерій теплоізолювальної здатності для огороження електричної шафи протягом часу виникнення, розвитку та загасання пожежі у даній електричній шафі забезпечений, то огороження шафи унеможливилює поширення пожежі за її простір.

Для визначення температури на стінках шафи при виникненні пожежі у неї має бути застосований польовий метод, реалізований у програмному забезпеченні Fire Dynamics Simulator (FDS), розроблений Національним інститутом стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology - NIST).

1.3. Сценарій виникнення та розвитку пожежі у електричній шафі

Пожежа виникає в нижній частині електричної шафи у розподільчому коробі унаслідок короткого замкнення (область короткого замкнення має форму куба 5 мм×5 мм×5 мм, та позначена червоним кольором на рис.1.1.

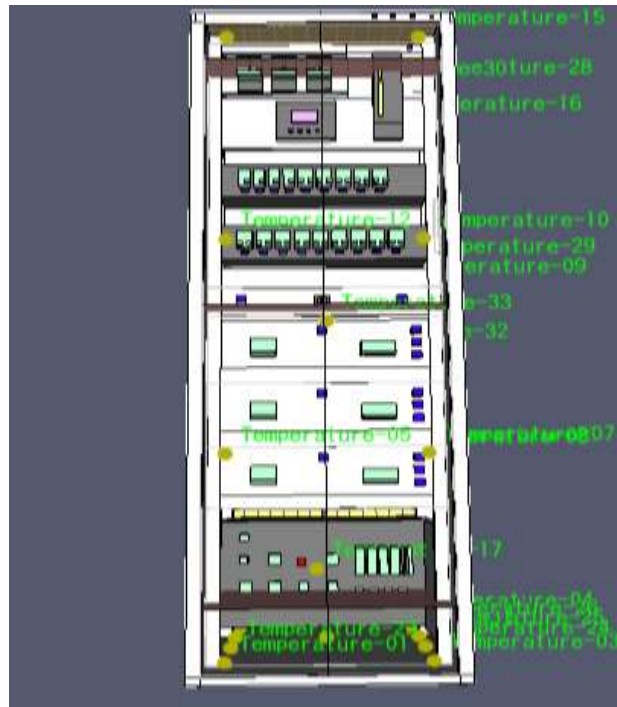


Рис. 1.1. Конструктивна схема електричної шафи з позначенням області короткого замкнення у її нижній частині (позначена червоним кольором)

2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ШАФИ

2.1. Математичний апарат для реалізації обчислювального експерименту

Для опису тепломасопереносу під час пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи доцільно використовувати польові моделі повної системи рівнянь Нав'є – Стокса. Математичний апарат, закладений у систему рівнянь повної системи рівнянь Нав'є – Стокса описано у [9].

У звичайному вигляді система рівнянь Нав'є – Стокса складається з двох рівнянь:

- рівняння руху,
- рівняння нерозривності.

У векторному вигляді для нестисливої рідини їх записують у такий спосіб:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho V) = 0, \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V) + \nabla[\rho V \otimes V] = -\nabla p + \nabla\left[(\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T)\right] + S, \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla(\rho V h) = \nabla\left[\left(\frac{\lambda}{c_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t}\right)\nabla h\right] + Q_{rad}, \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \nabla(\rho V Y_k) = \nabla\left[\left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right)\nabla Y_k\right] + Q_k, \quad (2.4)$$

де t – час; ρ – густина; V – вектор відносної швидкості; p – відносний тиск; μ – молекулярна динамічна в'язкість; μ_t – турбулентна динамічна в'язкість; λ – коефіцієнт теплопровідності суміші; Pr_t – турбулентне число Прандтля; Sc – число Шмідта; Sc_t – турбулентне число Шмідта; Y_k – концентрація k -го компонента реакції горіння.

Статичну ентальпію h суміші визначають за виразом:

$$h = h_0 + \int_{T_0}^T c_p dT + \sum_k Y_k H_k \quad (2.5)$$

де T – температура; h_0 – початкова ентальпія за температури T_0 ; $c_p = \sum_k Y_k c_{p,k}$ – теплоємність суміші за постійного тиску; H_k – теплота утворення k -го компонента.

Початковий член рівняння (1.2) S визначають за виразом:

$$S = (\rho - \rho_{hyd})g + \rho B, \quad (2.6)$$

де ρ_{hyd} – гідростатична густина; g – вектор гравітаційних сил; B – вектор сил обертання (центробіжної та Коріоліса), що обраховують за формулою:

$$B = -2\omega \times V, \quad (2.7)$$

де ω – вектор кутової швидкості.

Для визначення турбулентної в'язкості застосовують різні варіанти, пов'язані зі способами визначення опосередкованих і флуктуаційних складників величин, що входять до рівняння Нав'є – Стокса. Ці способи визначення турбулентної динамічної в'язкості називають моделями турбулентності. Найбільше поширення має стандартна k-ε модель турбулентності [10]. Згідно з цією моделлю, динамічну турбулентну в'язкість визначають за виразом:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (2.8)$$

де $C_\mu = 0,09$ – сталий коефіцієнт; ε – швидкість дисипації турбулентної енергії; k – турбулентна енергія.

Для визначення величин ε і k використовують рівняння, які доповнюють систему рівнянь Нав'є – Стокса, що мають вигляд:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon, \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V \varepsilon) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 f_1 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (2.10)$$

де G – величина, яку визначають за виразом:

$$G = D_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j}, \quad (2.11)$$

де величину D_{ij} визначають як

$$D_{ij} = S_{ij} - \frac{2}{3} \left(\nabla \cdot \mathbf{V} + \frac{\rho k}{\mu_t} \right) \delta_{ij}, \quad (2.12)$$

Величину δ_{ij} , яка входить до рівняння (1.2), визначають як:

$$S_{ij} = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i}. \quad (2.13)$$

Інші параметри, що входять до рівняння (1.11) і (1.12), є постійними.

Для замикання системи рівнянь (1.1) – (1.4) використовують рівняння стану ідеального газу. Для суміші газів його записують у вигляді:

$$p = \rho R_0 T \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad (2.14)$$

де R_0 – універсальна газова стала; M_k – молярна маса k -го компонента.

Рівняння, що описують горіння у двофазному потоці повітря й часток рідкого палива.

Горіння представляє узагальнена хімічна вуглеводнева формула $C_x H_y O_z$ ($C_6 H_6 O$). Теплоту згорання рідкого палива визначають за такою формулою:

$$\text{LHV}_{\text{liq.fuel}} = h_{\text{liq.fuel}}^0 - h_{\text{CO}_2}^0 \frac{44x}{12x + y + 16z} - h_{\text{H}_2\text{O}}^0 \frac{9y}{12x + y + 16z}, \quad (2.15)$$

де $h_{\text{lic. fuel}}^0$, $h_{\text{CO}_2}^0$, $h_{\text{H}_2\text{O}}^0$ – теплоти утворення, вуглекислого газу й води; x , y , z – стехіометричні коефіцієнти для гасу, що дорівнюють відповідно 6, 6 і 0.

Газова фаза являє собою суміш із п'яти газів, тому основна система (1.1) – (1.4) доповнена ще п'ятьма рівняннями для кожного зі складників суміші газів: легких $C_x H_y O_z$, O_2 , N_2 , H_2O і CO_2 , що мають вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \nabla(\rho V Y_k) = \nabla \left(\left(\rho D_i + \frac{\mu_i}{Sc_t} \right) \nabla Y_k \right) + Q_i^P + Q_i^{chem}, \quad (2.16)$$

де вихідний член Q_i^{chem} дорівнює швидкості бруто-реакції газофазного горіння для першого рівняння летких, для інших – рівний нулю.

Вихідні члени компонентів суміші для основних рівнянь системи (1.1) – (1.4) визначені за виразами:

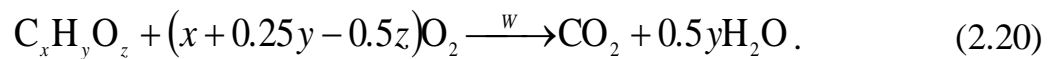
$$Q_i^P = \sum_j (m_{i,in} - m_{i,out})_j \frac{N_{pj}}{\Omega_{cell}}, \quad (2.17)$$

$$\bar{Q}_{mom}^P = \sum_j \frac{\pi r_p^2}{2} C_{Dj} \rho_g |V_g - V_p| (V_g - V_p)_j \frac{N_{pj}}{\Omega_{cell}}, \quad (2.18)$$

$$Q_{enth}^P = \sum_j (m_{i,in} h_{i,in} - m_{i,out} h_{i,out})_j \frac{N_{pj}}{\Omega_{cell}}, \quad (2.19)$$

де індекс i стосується газового компонента, а індекс j – відповідної траєкторії частки; N_{pj} – число часток, що пролітають за секунду по траєкторії; Ω_{cell} – об'єм розрахункового осередку; C_{Dj} – коефіцієнт опору часток, що летять по траєкторії; ρ_g – щільність газової фази; r_p – радіус частки.

Модель горіння визначають й витратами палива, окисника і продуктів згорання. Кількісні співвідношення визначені за узагальненим хімічним рівнянням [10]:



Швидкість реакції W визначають за стехіометричним коефіцієнтом:

$$i_{chem} = \frac{32(x + 0.25y - 0.5z)}{12x + y + 16z}. \quad (2.21)$$

Для обліку променистого теплообміну в газовому середовищі та взаємного теплообміну між середовищем і частками, а також твердим матеріалом доцільно використовувати дифузійну модель випромінювання газу (P1) [10]. Ця модель побудована на припущенні, що оптичне середовище ізотропне, процес радіаційного теплопереносу описаний рівнянням:

$$\nabla \left(\frac{1}{\alpha + \beta} \nabla E_r \right) + 3(\alpha E_b - \alpha E_r) = 0, \quad (2.22)$$

де E_r – щільність енергії випромінювання; E_b – рівноважна щільність енергії випромінювання, що визначають за рівнянням:

$$\alpha E_b = \alpha_m E_{b,m} + \alpha_p E_{b,p}, \quad (2.23)$$

α – інтегральний за спектром коефіцієнт поглинання:

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_p, \quad (2.24)$$

β – інтегральний за спектром коефіцієнт розсіювання:

$$\beta = \beta_m + \beta_p. \quad (2.25)$$

У рівняннях (1.22) – (1.25) використовувані величини мають такі позначення:

– α_m , α_p – коефіцієнти поглинання відповідно до газового середовища й часток;

– β_m , β_p – коефіцієнти розсіювання відповідно до газового середовища й часток;

– $E_{b,m}$, $E_{b,p}$ – рівноважна щільність енергії випромінювання для газової фази та фази часток розсіювання відповідно до газового середовища й часток.

Перераховані величини визначають за формулами:

$$E_{b,m} = \sigma T_m^4, \quad (2.26)$$

$$\alpha_p E_{b,p} = \frac{1}{\Omega_{cell}} \sigma \varepsilon_p \sum_j \pi r_j^2 N_j T_{pj}^4, \quad (2.27)$$

$$\alpha_p = \frac{1}{\Omega_{cell}} \varepsilon_p \sum_j \pi r_j^2 N_j, \quad (2.28)$$

$$\beta_p = \frac{1}{\Omega_{cell}} (2 - \varepsilon_p) \sum_j \pi r_j^2 N_j, \quad (2.29)$$

де σ – стала Стефана – Больцмана; T_{pj} – температура j – тої частки; N_j – кількість часток у комірці; ε_p – ступінь чорноти часток.

Вихідний член у рівнянні (1.10) визначають за рівністю:

$$Q_{rad} = -4cn^2(E_b - E_r), \quad (2.30)$$

де n – коефіцієнт заломлення середовища.

Методи чисельного розв'язання базових рівнянь моделі теплообміну у внутрішньому просторі електричної шафи. Базові рівняння системи Нав'є – Стокса для цього процесу можна записати в такому узагальненому вигляді [10]:

– рівняння дифузного типу:

$$\frac{\partial}{\partial t}(TS \cdot f) = \frac{1}{PS} \nabla(DS \cdot \nabla f) + SST, \quad (2.31)$$

– рівняння дифузно-конвекційного типу:

$$\frac{\partial}{\partial t}(TS \cdot f) + \nabla(CC \cdot Vf) = \frac{1}{PC} \nabla(DC \cdot \nabla f) + SST, \quad (2.32)$$

де узагальнені величини TC (Time Coefficient), CC (Convective Coefficient), PC (Prediffusion Coefficient) і DC (Diffusion Coefficient) визначають коефіцієнти рівняння за відповідних похідних, а величина SST (Scalar Source Term) задає вихідний член.

Для інтеграції узагальнених рівнянь (1.32) і (1.32), їх апроксимують для області, що дискретизує, за допомогою адаптивної локально подрібненої сітки. Апроксимовані для дискретної області узагальнені рівняння в ході реалізації неявної розрахункової схеми мають вигляд:

$$\frac{(TC \cdot f)^{n+1} - (TC \cdot f)^n}{\tau} = \frac{1}{TC} \nabla_h (DC \cdot \nabla_h f^{n+1}) + SST \quad (2.33),$$

$$\frac{(TC \cdot f)^{n+1} - (TC \cdot f)^n}{\tau} \nabla^{(k,s)} (CC \cdot Vf^{n+1}) = \frac{1}{PC} \nabla_h (DC \cdot \nabla_h f^{n+1}) + SST \quad (2.34),$$

де t – часовий крок; $TC \cdot f$ – різницева апроксимація конвективного оператора, при цьому $k = 1$ (1-й порядок точності), а $s = 0$ (невраховане перенесення через ребра й вершини осередку); $\nabla_h (DC \cdot \nabla_h f^{n+1})$ – різницева апроксимація дифузійного оператора.

Отже, наявні математичні моделі та їх чисельна реалізація дають змогу точно й ефективно змодельовати процес виникнення пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи.

2.2. Програмне забезпечення для проведення обчислювального експерименту

Отже, у розділі 2.1. для розрахунку небезпечних факторів пожежі застосований математичний апарат у програмному комплексі Fire Dynamics Simulator (FDS). Використана інтегрована система Pyrosim. Pyrosim - це

користувацький інтерфейс для програми FDS. Польова модель FDS може передбачати поширення диму, температури та інших небезпечних факторів під час пожежі. Результати моделювання використовуються для забезпечення безпеки будинків при проектуванні, визначення безпеки існуючих будинків, реконструкції пожеж при розслідуваннях, і допомоги в тренуваннях пожежних.

FDS - потужний інструмент для моделювання пожежі, розроблений Національним інститутом стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology - NIST). FDS моделює сценарії пожежі з використанням обчислювальної гідродинаміки (CFD), оптимізованої для низькошвидкісних температурно-залежних потоків. Такий підхід виявляється дуже гнучким, і може бути застосований до різних пожеж, починаючи від горіння в печах і до пожеж на нафтових танкерах. Також за допомогою FDS може бути виконане моделювання, що не включає горіння, наприклад, робота вентиляції в будинках.

Описана в цьому документі комп'ютерна Програма FDS (Fire Dynamics Simulator) реалізує обчислювальну гідродинамічну модель (CFD) тепломасопереносу при горінні. FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурно-залежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму й теплопередачі при пожежі. Smokeview - це спеціальна програма візуалізації, яка застосовується для відображення результатів моделювання FDS. На сьогоднішній день приблизно половина модулів моделі служить для проектування систем керування димом і вивчення активації спринклерів і детекторів. Інша половина служить для відновлення картини пожежі в житлових і промислових приміщеннях. Основною метою FDS протягом розвитку цієї системи був розв'язок прикладних завдань пожежної безпеки і у той же час забезпечення засобами для вивчення фундаментальних процесів при пожежі.

FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурозалежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму й теплопередачі при пожежі. Основним алгоритмом є певна схема методу предиктора - коректора другого порядку точності по координатах і часу.

Турбулентність виконується за допомогою моделі Смагоринського "Масштабне моделювання вихрів" (LES). Пряме чисельне моделювання (DNS) можна виконувати, якщо закладена в основі розрахункова сітка досить точна. Масштабне моделювання вихрів - режим роботи за умовчанням.

У більшості випадків в FDS застосовується одноступінчаста хімічна реакція, результати якого передаються через двохпараметричну модель частки в суміші (mixture fraction model). "Частки в суміші" у даному змісті - це скалярна величина, яка надає масову частку одного або більш компонентів газу в даній крапці потоку. За умованням розраховуються два компоненти суміші: масова частка незгорілого палива й масова частка згорілого палива (тобто продуктів згоряння). Двоступінчаста хімічна реакція із трьохпараметричним розкладанням частки в суміші розкладається на одноступінчасті реакції - окиснення палива до монооксиду вуглецю й окиснення монооксида до діоксиду. Три компоненти в цьому випадку - незгоріле паливо, маса палива, яка завершила перший крок реакції й маса палива, яка завершила другий крок реакції. Масова концентрація всіх основних реагентів і продуктів може бути отримана за допомогою "співвідношення стану". Також можна використовувати багатокрокову реакцію з кінцевою швидкістю протікання.

Променистий теплообмін включений у модель за допомогою розв'язку рівняння переносу випромінювання для сірого газу й, для деяких обмежених випадків, з використанням широкодіапазонної моделі. Рівняння вирішується за допомогою методу, аналогічного методу контрольних об'ємів для конвективного переносу (FVM). При використанні приблизно 100 дискретних кутів обчислення променистого теплообміну займає приблизно 20 % загального часу завантаження центрального процесора, невелика витрата задана рівнем складності променистого теплообміну. Коефіцієнти поглинання сажею й димом обчислені за допомогою вузькополосної моделі RADCAL. Краплі рідини можуть поглинати й розсіювати теплове випромінювання. Коефіцієнти поглинання й розсіювання засновані на теорії Мі.

Геометрія FDS вирішує основні рівняння на прямокутній сітці. Перешкоди

зобов'язано бути прямокутними, щоб задовольняти сітці.

На всіх твердих поверхнях задаються теплові граничні умови, плюс дані про горючість матеріалу. Тепло- і масоперенос із поверхні й назад розраховується за допомогою емпіричних співвідношень, хоча при виконанні прямого чисельного Розрахункова модель FDS і програма для візуалізації Smokeview тісно вбудовані в Pyrosim.

Pyrosim дозволяє інтерактивно вводити вихідні дані й перевіряти правильність вихідного формату файлу для FDS. Крім того, Pyrosim надає зручні інструменти створення геометрії в 2D і 3 D-Режимах, наприклад, діагональні стіни, підкладки для полегшення малювання, угруповання об'єктів, гнучке настроювання відображення, а також копіювання й модифікація об'єктів. Версія Pyrosim, що використана у даній роботі, підтримує версію FDS 6.

3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ НА СТІНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ШАФИ ПРИ ВИНИКНЕННІ ПОЖЕЖІ У ЇЇ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОСТОРИ

Чисельне дослідження пожежі, що виникає та поширюється у приладді внутрішнього простору електричної шафи в технічних приміщеннях Запорізькій АЕС проводиться у відповідності до вимог [2].

На рис. 3.1. приведена модель згідно із якої проводиться моделювання часу досягнення небезпечними факторами пожежі гранично допустимих значень для поширення полум'я у внутрішній простір приміщення у результаті пожежі, що виникає та поширюється у приладді внутрішнього простору електричної шафи.

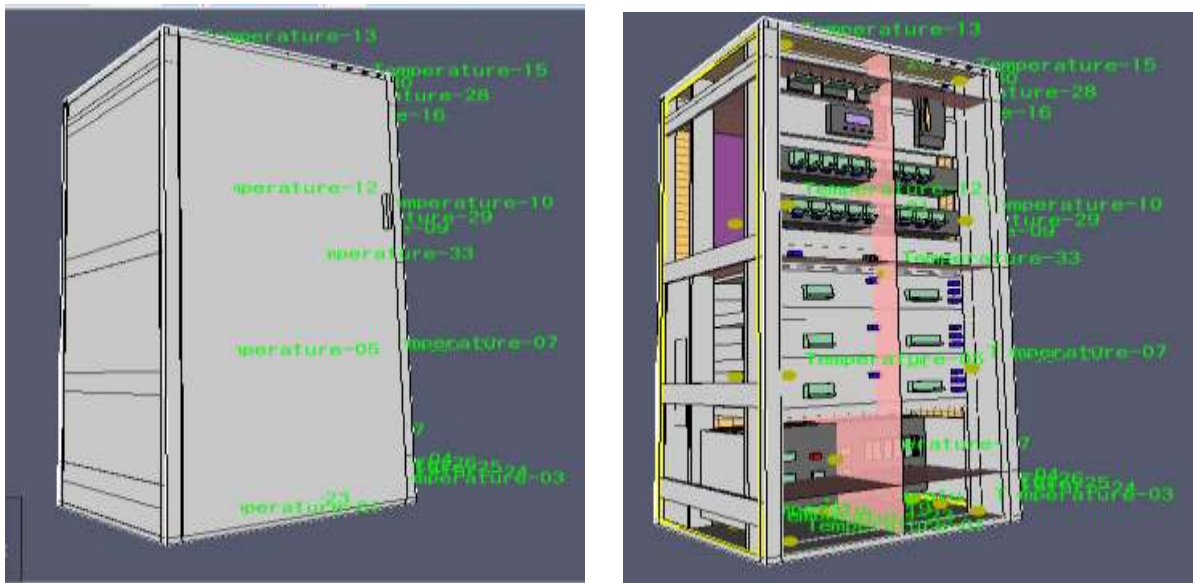


Рис. 3.1. Модель згідно із якої проводиться моделювання з визначення гранично допустимих значень для поширення полум'я у внутрішній простір приміщення у результаті пожежі. Temperature 01-33 місця контролю температури.

За результатами моделювання встановлено, що такий небезпечний чинник пожежі як температура не досягає критичних значень. Значення температури отримані на кожній секунді дослідження у 33 точках внутрішнього приміщення електричної шафи. Дослідження проводилось на протязі 30 хв.

Найбільш максимальне підвищення температури спостерігаються у точках 5, 7, 12, 17, 20, 32, відповідно рис. 2.2. Вказані точки розташовані в середній частини шафи, а точка 17, розташована безпосередньо біля короткого замкнення, в нижній частині шафи (див. рис. 1.1.).

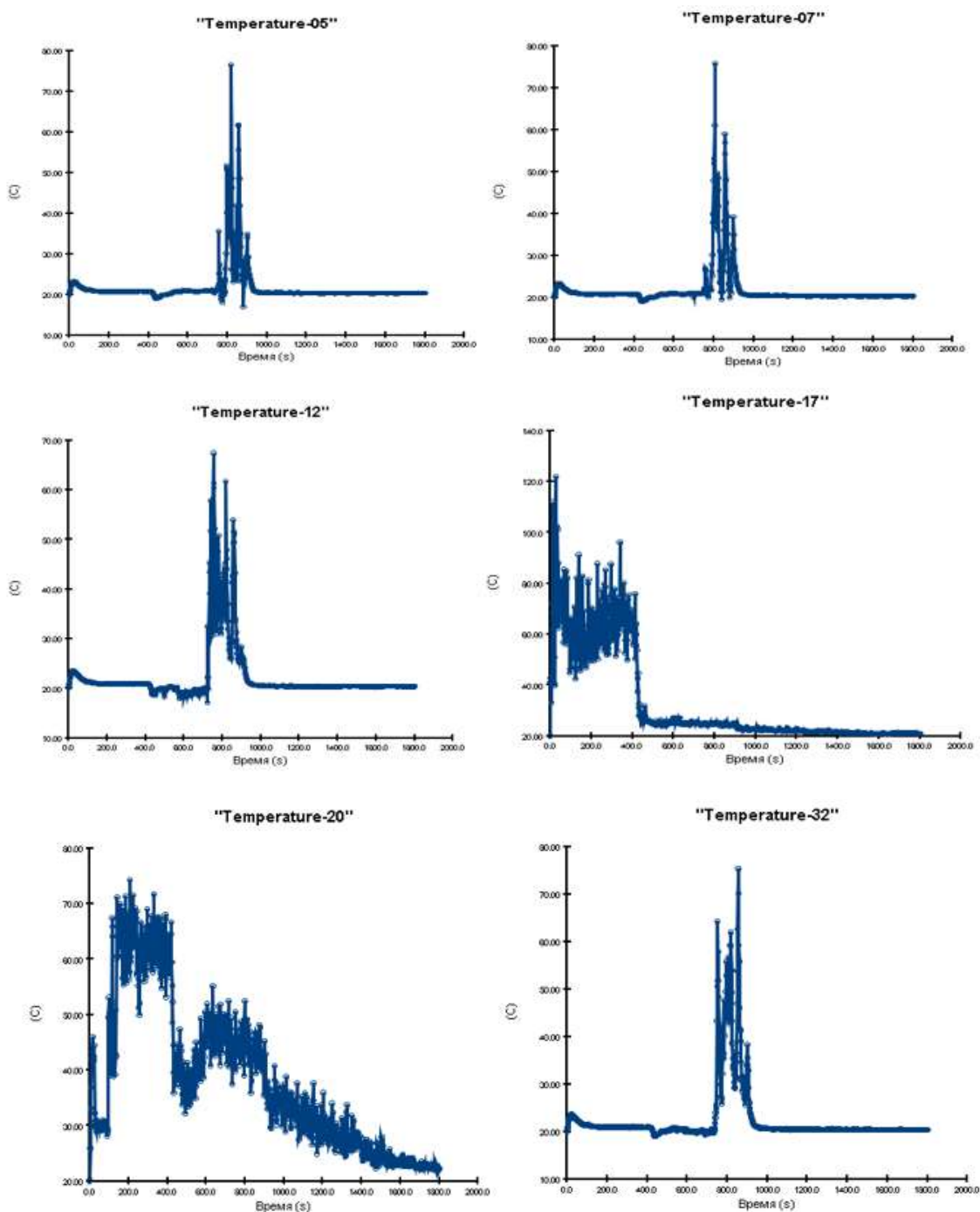


Рис. 3.2. Залежність зміни температури від часу умовної пожежі в точках 5, 7, 12, 17, 20, 32. (див. рис. 3.1.).

На рис. 3.3. - 3.6. представлений розподіл температури у просторі електричної шафи у різні моменти часу після виникнення умовної пожежі.

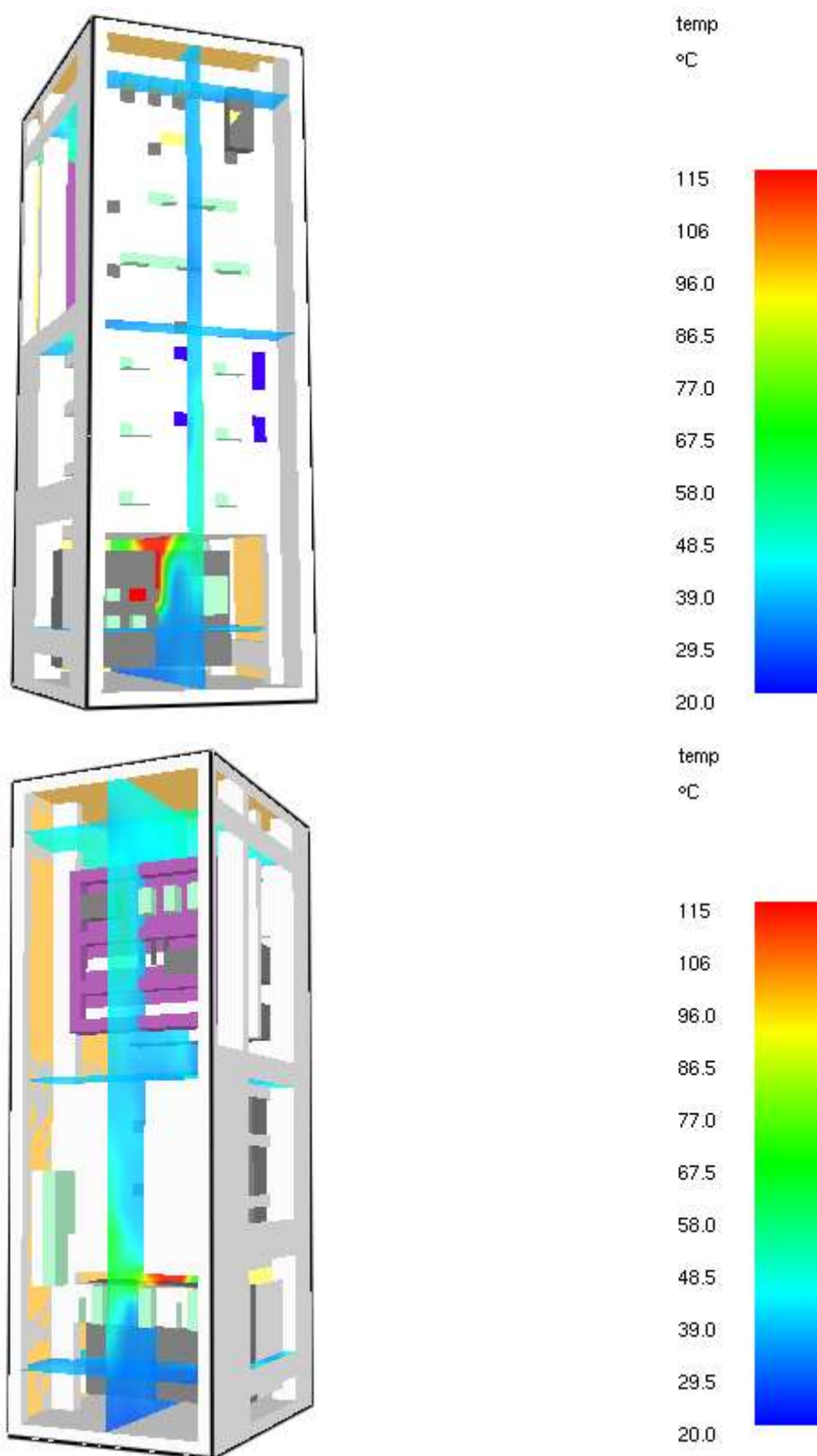


Рис. 3.3. Розподіл температури у просторі електричної шафи на 50 секунд після виникнення умовної пожежі.

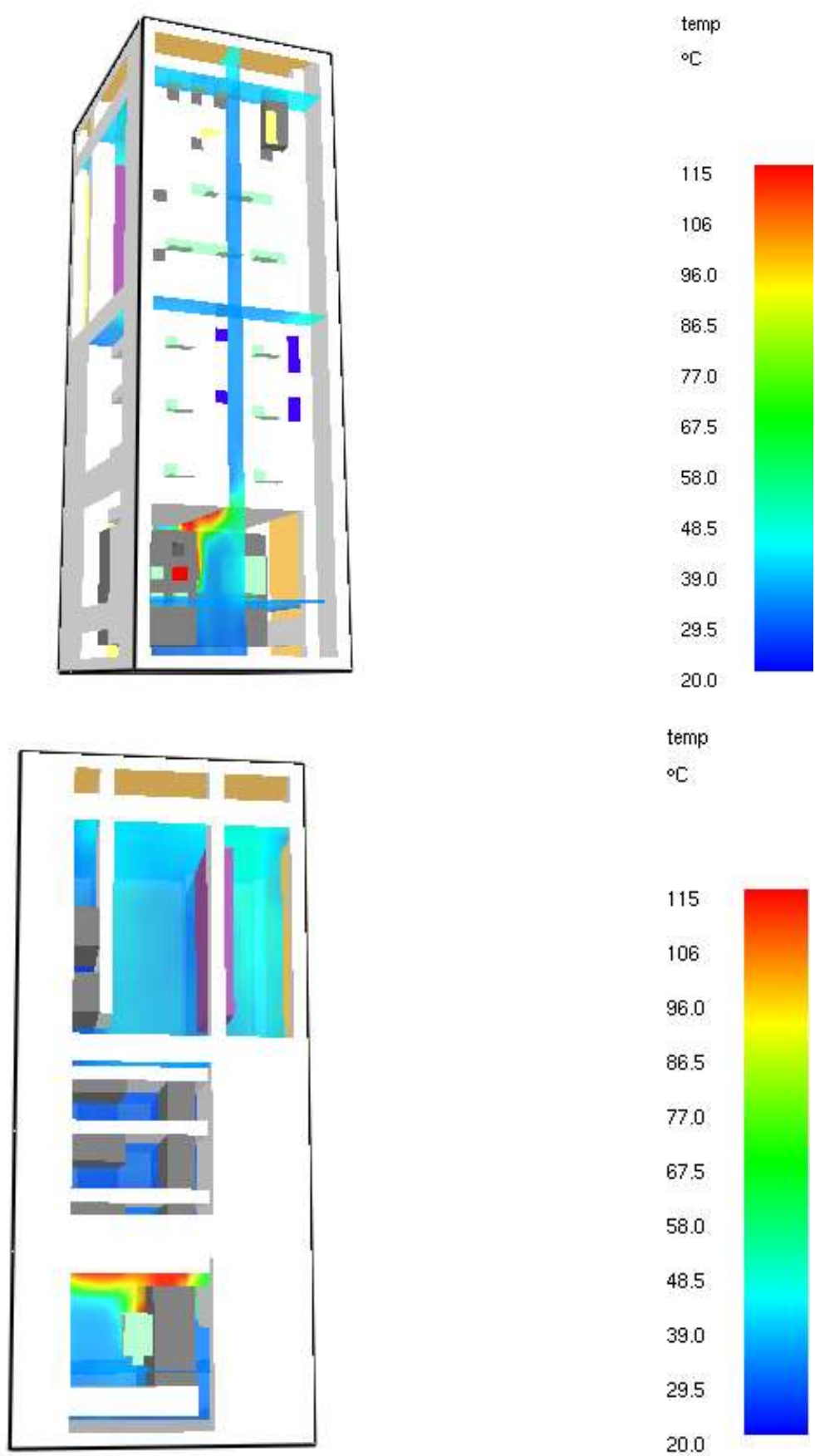


Рис. 3.4. Розподіл температури у просторі електричної шафи на 300 секунді після виникнення умовної пожежі.

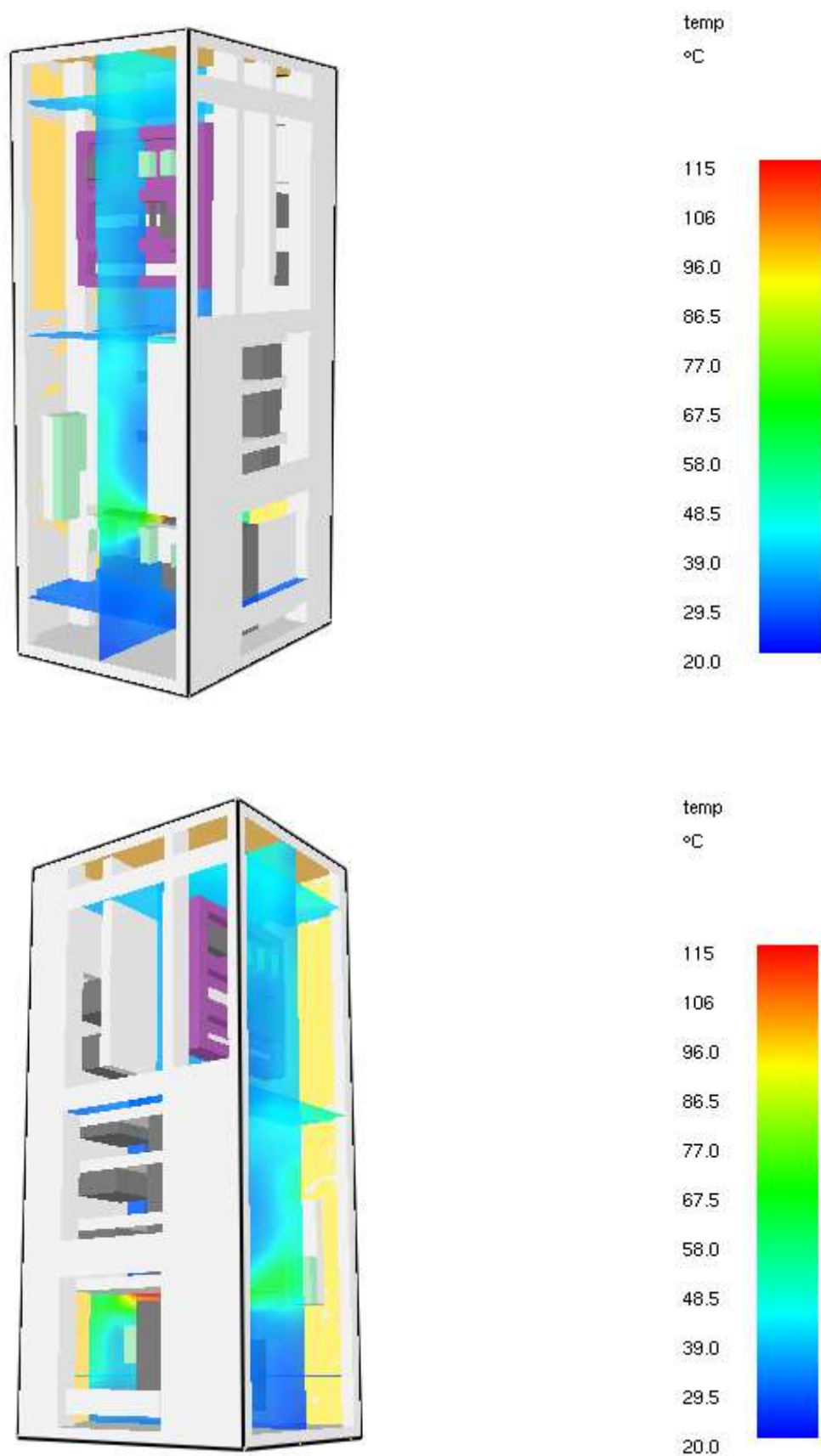


Рис. 3.5. Розподіл температури у просторі електричної шафи на 500 секунд після виникнення умовної пожежі.

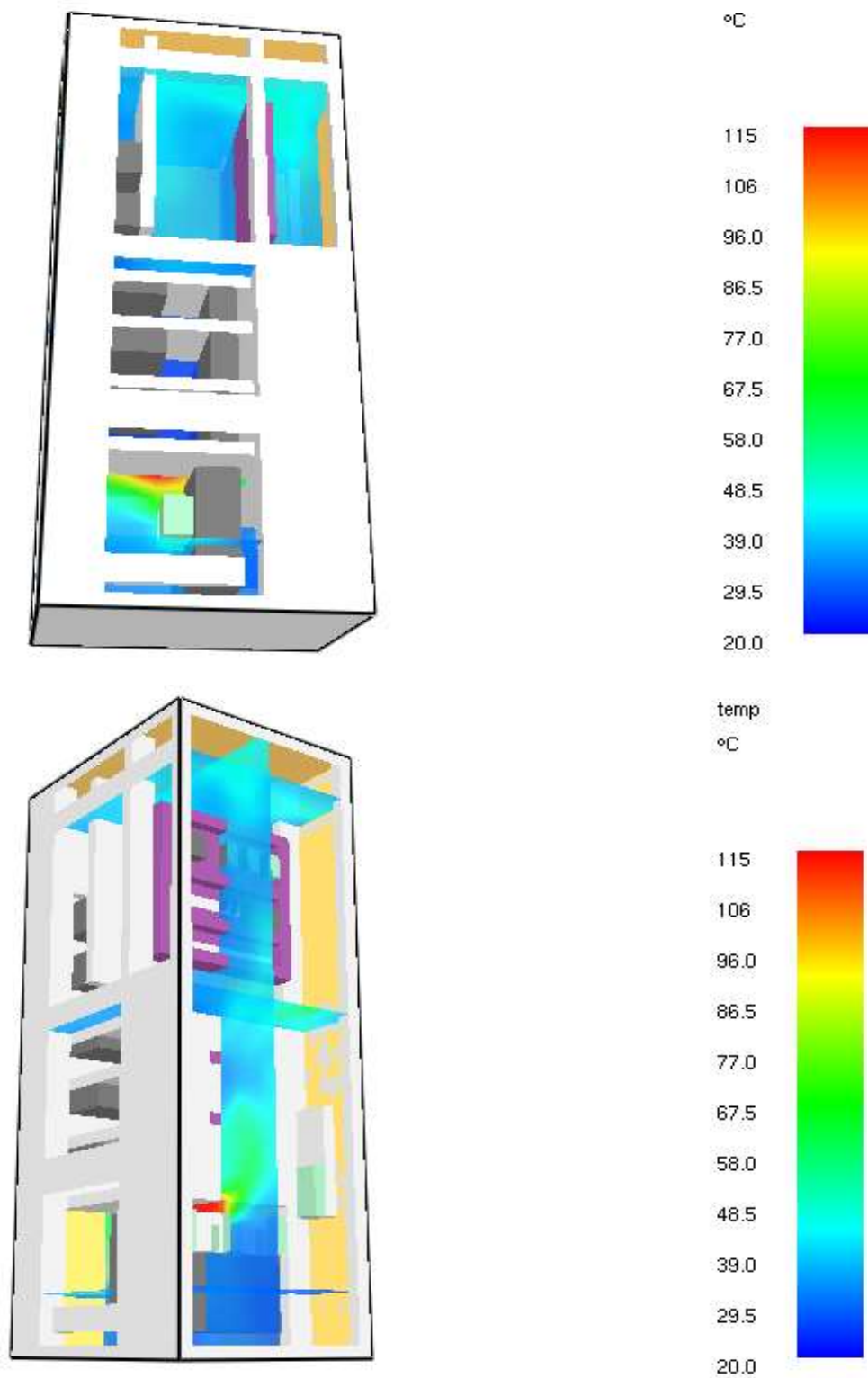


Рис. 3.6. Розподіл температури у просторі електричної шафи на 800 секунд після виникнення умовної пожежі.

Встановлено, що у разі виникнення умовної пожежі внутрішній простір електричної шафи заповнюється димом та витісняє кисень з повітря, чим

ускладняє процес горіння.

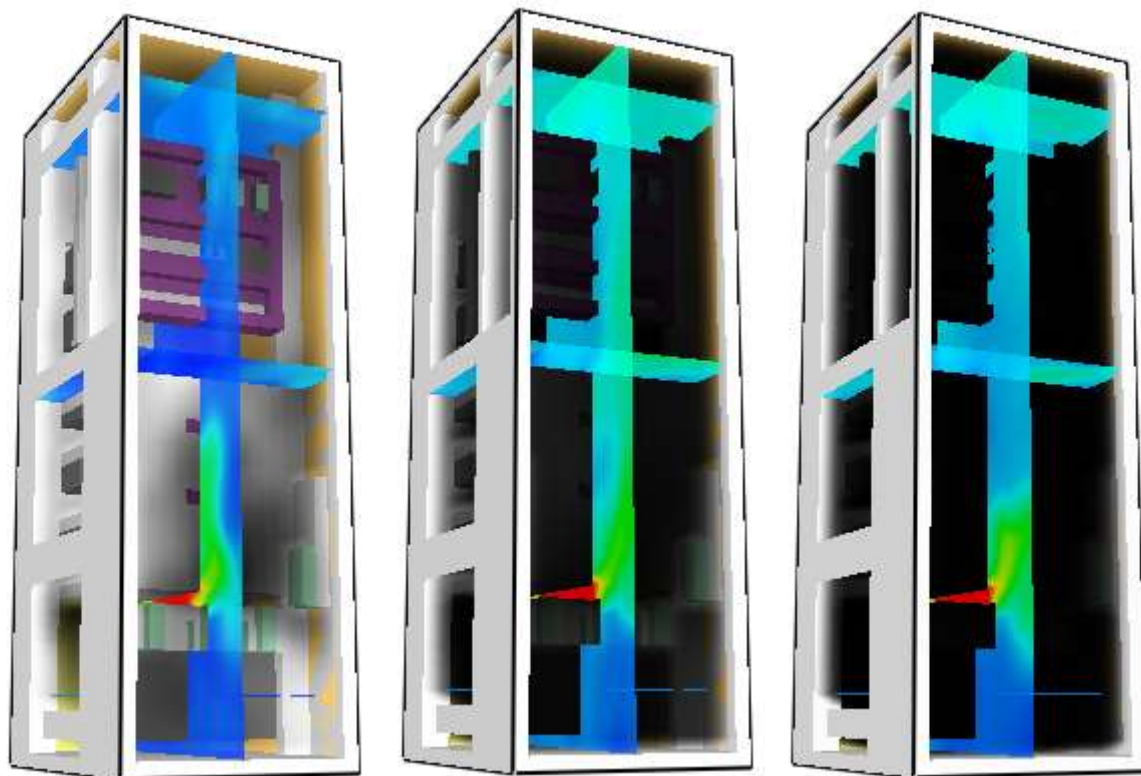


Рис. 3.7. Задимленість простору електричної шафи на 10, 50 та 100 секундах відповідно після виникнення умовної пожежі.

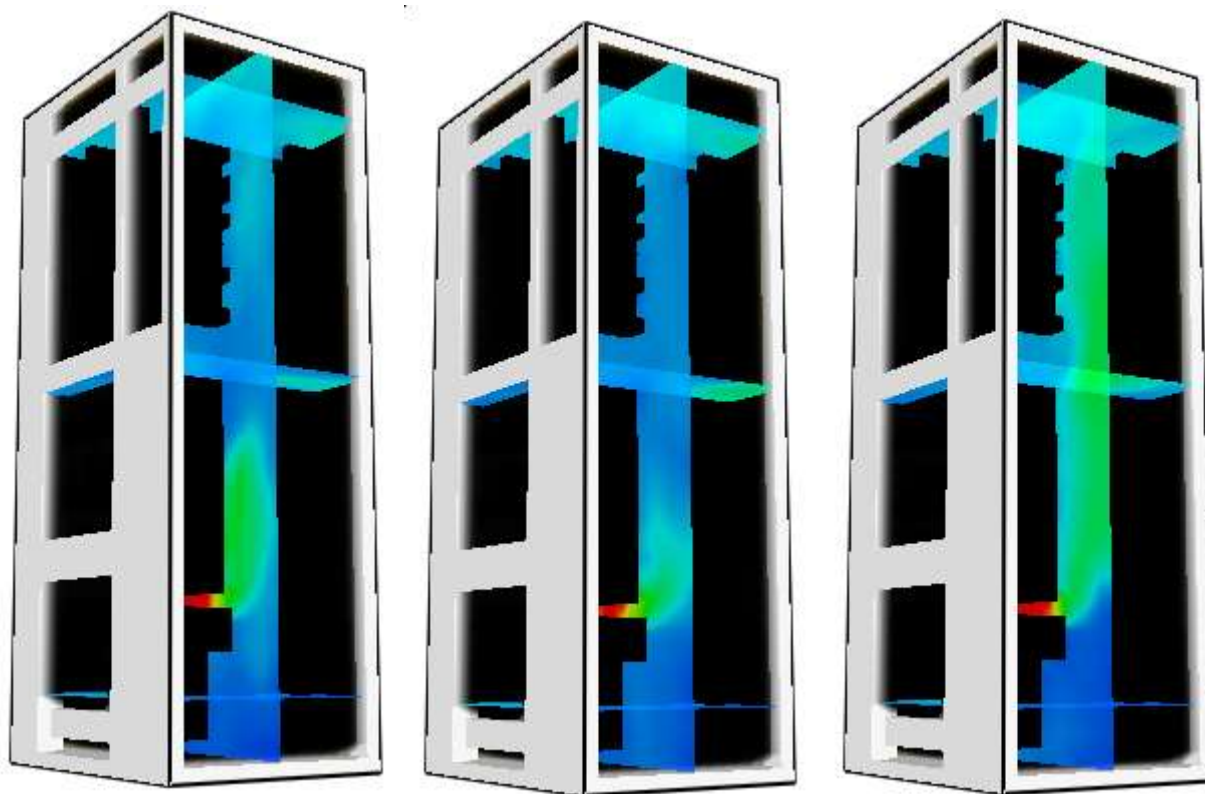


Рис. 3.8. Задимленість простору електричної шафи на 300, 500 та 800 секундах

відповідно після виникнення умовної пожежі.

Враховуючи незначне пожежне навантаження, а також зменшення концентрації кисню у внутрішньому просторі електричної шафи, після 900 секунди у точках найбільш максимального підвищення температур 5, 7, 12, 17, 20, 32 (рис. 2.2.) спостерігається суттєве зменшення температури.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз технічних властивостей матеріалів, що застосовуються у електричній шафі АЕС. Проаналізовані основні критерії пожежної небезпеки електричної шафи АЕС у разі виникнення пожежі. Визначені умови здатності перешкоджати поширенню полум'я у разі виникнення пожежі у електричній шафі через її огороження використовуючи критерії настання граничного стану втрати теплоізолювальної здатності та цілісності.

2. Розроблений сценарій виникнення та розвитку пожежі у електричній шафі. Пожежа виникає в нижній частині електричної шафи у розподільчому коробі унаслідок короткого замкнення, що має форму куба $5 \text{ мм} \times 5 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$.

3. Обрано програмне забезпечення та описано математичний апарат для реалізації обчислювального експерименту. Для розрахунку тепломасопереносу під час пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи доцільно використовувати польові моделі повної системи рівнянь Нав'є – Стокса, що реалізується у програмному комплексі Fire Dynamics Simulator (FDS).

4. Отримані дані на стінках електричної шафи при виникненні пожежі у її внутрішньому просторі, шляхом проведення обчислювального експерименту умовної пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи. Також, теоретично досліджені наслідки у результаті виникнення та розвитку пожежі у електричній шафі АЕС.

5. У результаті обчислювального експерименту встановлено, що під час умовної пожежі у внутрішньому просторі електричної шафи встановленої у приміщеннях АЕС середня температура поверхні приладу не перевищує 140°C , температура в довільній точці необігрівної поверхні шафи не перевищують

180 °С над початковою температурою. Таким чином, встановлено, що за цілісністю та теплоізолююваною здатністю, огороження шафи перешкоджає поширенню полум'я у внутрішній простір приміщення АЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.
2. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість.
3. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость.
4. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность общие требования.
5. Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов / В. В. Ошовский, Д. И. Охрименко, А. Ю. Сысоев // Наукові праці ДонНТУ. – Серія: Хімія і хімічна технологія. – 2010. – Вип. 15.
6. Порівняння нових та відомих методик розв'язку рівнянь Нав'є – Стокса в змінних вихор-функція течії в криволінійній неортогональній системі координат / А. В. Сохацький // Придніпровський науковий вісник. – Дніпропетровськ : Дніпропетровський державний університет. – 1996. – № 4.
7. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000.
8. ООО «СИГИС». TP-5078. Перевод технической документации к программе Fire Dynamics Simulator (FDS) Версия 6. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара. Математическая модель.
9. Методи математичного моделювання теплових процесів при випробуваннях на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій / С. О. Сідней, О. М. Нуянзін, С. В. Поздеев [та ін.] // Монографія. – Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015.
10. ТЕСИС, Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. / ТЕСИС // Руководство пользователя. - 2008.