

АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

І.Г. Дерев'янку, Ю.М. Сенчихін, А.Я. Шаршанов

**ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ
ПОЖЕЖІ**

Практичний посібник

Харків 2006

Рецензенти: С.Б. Харитонов - начальник управління рятувальних сил ГУ МНС України в Харківській області, полковник внутрішньої служби
О.В. Тарахно - начальник кафедри процесів горіння АЦЗ України, підполковник внутрішньої служби, кандидат технічних наук, доцент

Визначення та прогнозування небезпечних факторів пожежі: Практичний посібник / Дерев'яно І.Г., Сенчихін Ю.М., Шаршанов А.Я. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 68 с.

В практичному посібнику викладено методики визначення температурного режиму пожежі в огорожі аналітично-розрахунковим методом, графічно-аналітичним, з використанням комп'ютерного моделювання, визначення площини нейтральної зони при пожежі в приміщенні та визначення теплового опромінювання при пожежі на відкритому просторі як аналітичним методом так і за допомогою комп'ютерних програм. Представлено приклади розв'язання задач за даними методиками.

Для курсантів, студентів та слухачів навчальних закладів МНС України, практичних працівників пожежно-рятувальних підрозділів служби цивільного захисту МНС України, а також може бути корисним викладачам навчальних закладів МНС України.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ГЛАВА 1. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕМПЕРАТУРУ ПОЖЕЖІ	5
ГЛАВА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ	7
2.1 Методика визначення температурного режиму пожежі аналітично- розрахунковим методом.....	7
2.2 Приклад розв'язанні задач з визначенню температурного режиму в приміщенні розрахунком	13
2.2.1 Приклад №1- розрахунок температурного режиму пожежі при горінні рідини.....	13
2.2.2 Приклад №2 – розрахунок температурного режиму пожежі при горінні твердих горючих матеріалів	24
2.3 Методика визначення температурного режиму пожежі графічно- аналітичним методом	35
2.3.1 Методика визначення температурного режиму пожежі з використанням номограм.....	35
2.3.2 Приклад №3 – розрахунок температурного режиму пожежі з використанням номограм.....	37
ГЛАВА 3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	40
ГЛАВА 4. ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПОВІТРЯНОГО ОБМІНУ ПРИ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ.....	46
4.1 Методика визначення площі нейтральної зони при пожежі в приміщенні	46
4.2 Приклад №4 – визначення площі нейтральної зони при пожежі в приміщенні	48
ГЛАВА 5. ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПОЖЕЖІ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ.....	50
5.1 Методика визначення теплового опромінювання при пожежі на відкритому просторі	50
5.2 Приклад №5 – розрахунок теплового випромінювання та безпечних відстаней при пожежі на відкритому просторі	53
5.3 Розрахунок теплового випромінювання з використанням програмного продукту“А-radia2” “А-radia3”	56
ДОДАТКИ.....	59
ЛІТЕРАТУРА.....	68

ВСТУП

Як відомо, будь-яка пожежа супроводжується багатьма явищами і факторами, які впливають на розвиток пожеж та організацію бойових дій пожежно-рятувальних підрозділів МНС України.

Серед небезпечних факторів пожеж виділяються такі, як дія відкритого полум'я, підвищена температура, вплив продуктів горіння та багато інших, якими визначається можлива обстановка на пожежі. Усі відомі фактори і явища, що відбуваються на пожежі, залежать від оперативної тактичної характеристики об'єктів, горючого навантаження, тобто властивостей речовин і матеріалів. Оперативний склад пожежно-рятувальних підрозділів, що виступає у ролі керівника гасіння пожежі, повинен аналізувати та прогнозувати показники розвитку пожежі, особливо такі, як температурний режим та газообмін.

Дійсно, керівник гасіння пожежі під час розвідки, при визначенні вирішального напрямку бойових дій та розрахунку необхідної кількості сил і засобів на підставі знань та практичних навичок прогнозує, як пожежа розвиватиметься, на які площі, що сприяє її розвитку, куди направляти стволицивків, які засоби гасіння і захисту особового складу та техніки слід застосовувати. Тобто, щоб прийняти вірні рішення з організації гасіння пожежі, будь-який керівник, що прибув на пожежу, повинен вміти прогнозувати небезпечні фактори та дію різноманітних явищ, щоб забезпечити успіх гасіння пожежі, тобто виконання основного бойового завдання.

Даний посібник враховує відомі методики визначення температурного режиму та газообміну на пожежах і, зокрема, за допомогою особисто комп'ютерних програм, які можна використовувати безпосередньо під час здійснення бойових дій, а також при розробці оперативних документів, планів пожежогасіння, тактичних задумів для проведення тактичних навчань. Усе це надає можливість практичним працівникам, курсантам і слухачам навчальних закладів МНС вірно застосовувати аналітичні методики, номограми, комп'ютерні програми при вирішенні питань щодо підготовки та організації гасіння пожеж у різноманітних умовах та обстановці.

Методики та представлені програмні продукти з прогнозування небезпечних факторів пожежі рекомендовано використовувати курсантам та слухачам навчальних закладів МНС під час курсового та дипломного проєктування.

ГЛАВА 1. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕМПЕРАТУРУ ПОЖЕЖІ

Для вирішення питань із забезпечення пожежної безпеки, а також під час організації гасіння різноманітних пожеж необхідно вміти прогнозувати їх розвиток. Результати прогнозу безпосередньо впливають на процес прийняття рішень керівником гасіння пожежі. Прогнозування розвитку пожежі передбачає використання методів розрахунку параметрів, що характеризують процес горіння на пожежі.

Основні явища, що супроводжують пожежу, - це процеси горіння, газо- і теплообміну та інші. Вони змінюються в часі та просторі.

Процес горіння горючих речовин та матеріалів на пожежі представляє собою низку хімічних процесів та перетворень, що супроводжуються виділенням тепла, випромінюванням та утворенням великої кількості газоподібних продуктів горіння.

Одним з головних параметрів, що характеризує процес горіння, є *інтенсивність виділення тепла при пожежі*.

Інтенсивність виділення тепла - це величина, що дорівнює кількості тепла, що виділяється при пожежі за одиницю часу. Вона визначається масовою швидкістю вигорання речовин і матеріалів та їхньою теплоотою згорання. В загальному вигляді інтенсивність виділення тепла на пожежі можна визначити за формулою:

$$Q_n = \eta \cdot v_m \cdot S_{\text{пож}} \cdot Q_n^p, \quad (1)$$

де η - коефіцієнт повноти згорання; v_m - масова швидкість вигорання речовини, кг/(м²·с); $S_{\text{пож}}$ - площа пожежі, м²; Q_n^p - нижча робоча теплота згорання, кДж/кг.

Тепловиділення при пожежі сприяє її поширенню, викликає підвищення температури, деформацію конструкцій і т.п.

Основними умовами горіння є: наявність горючої речовини, надходження окислювача в зону хімічних реакцій і безперервне виділення тепла, необхідного для підтримки горіння. Основна частка енергії, що виділяється в ході хімічної реакції, витрачається на нагрів продуктів горіння та теплове випромінювання.

Температура - це ступінь нагріву речовини; у випадку горіння речовин та матеріалів температурою горіння вважається ступінь нагріву продуктів горіння. В загальному вигляді температура горіння визначається за формулою:

$$T_{\text{гор}} = \frac{Q_n}{C_p \cdot v_{n.z.}} + 273. \quad (2)$$

Температура горіння речовин та матеріалів є досить специфічним показником, який впливає на вибір вогнегасних засобів, прийомів та способів гасіння пожежі. Температура горіння є вирішальним фактором, від якого залежить температура пожежі.

Виходячи з умов розвитку пожеж, визначають температуру пожежі в огороженні та на відкритому просторі. Температура пожежі на відкритому просторі - це температура в зоні горіння (температура полум'я). Під температурою пожежі в огороженні розуміють середньооб'ємну температуру газового середовища в приміщенні.

Тепловий вплив на конструкції може призвести до їх руйнування, обвалення та загибелі людей. Температурний режим пожежі впливає на працездатність організму людини, що обумовлює організацію роботи особового складу підрозділів з гасіння пожеж. На практиці проводять прогнозування можливого температурного режиму пожежі на підставі особистого досвіду або розрахунком.

Середньооб'ємна температура в приміщенні є функцією адіабатичної температури горіння, площі пожежі та масової швидкості вигорання речовини, часу розвитку пожежі та умов теплообміну між зоною горіння та будівельними конструкціями приміщення.

Середньооб'ємну температуру пожежі можна визначити з використанням розрахункової методики, спеціальної номограми та за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення.

ГЛАВА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

2.1 Методика визначення температурного режиму пожежі аналітично-розрахунковим методом

В основі розрахунку температури пожежі в огороженні - визначення умов теплового балансу процесу тепловиділення на пожежі, процесу нагріву продуктів згоряння та теплопередачі випромінюванням в бік конструкцій, що огорожують приміщення.

Середньооб'ємна температура пожежі в огороженні визначається як добуток адиабатичної температури горіння T_{ad} на безрозмірний коефіцієнт, який враховує втрати тепла на нагрівання конструкцій, що огорожують, і втрати тепла теплопровідністю:

$$T_{\tau} = \Theta T_{ad} . \quad (3)$$

Безрозмірний коефіцієнт Θ визначається як відношення критерію Больцмана - Bo до критерію Нуссельта - Nu .

Критерій Больцмана Bo характеризує частку тепла, що передається продуктами горіння поверхням, що приймають тепловий потік у процесі променистого теплообміну. Критерій Нуссельта Nu характеризує співвідношення між теплом, переданим конвекцією, і теплопровідністю:

$$\Theta = \frac{0.7 Bo^{0.17}}{Nu^{0.01}} . \quad (4)$$

З огляду на, те що процес відведення тепла теплопровідність конструкцій, що приймають тепловий потік, на початковому етапі пожежі незначний, умову (4) приймають як:

$$\Theta = 0,66 Bo^{0.17} . \quad (5)$$

Виходячи з цього середньооб'ємна температура середовища в приміщенні при пожежі в будь-який момент часу визначається за формулою:

$$T_{пож} = 0,66 T_{ad} \left(\frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot \nu_m \cdot C_p \cdot \nu_{n2}}{60 \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_{нр} \cdot S_{огр} \cdot T_{ad}^3} \right)^{0.17} , \quad (6)$$

де $S_{пож}$ - площа горіння, м²; σ_0 - постійна Больцмана, $5,76 \cdot 10^{11}$ кВт/(м²·К); $S_{огр}$ - загальна площа огорожуючих конструкцій, м²; η -

коефіцієнт повноти горіння; v_m - масова швидкість вигорання, кг/(м²·хв); v_{nz} - питомий об'єм продуктів горіння, необхідний для повного згорання, м³/кг; $\epsilon_{пр}$ - приведений ступінь чорноти; C_p - теплоємність продуктів горіння, кДж/(м³·К).

У спрощеному вигляді вираз (7) буде таким:

$$T_{пож} = 18,1 \cdot T_{ад} \left(\frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot v_m \cdot C_p \cdot v_{nz}}{\epsilon_{пр} \cdot S_{озр} \cdot T_{ад}^3} \right)^{0,17} . \quad (7)$$

Розрахунок температурного режиму пожежі в огороженні здійснюється методом поступового наближення за наступною методикою:

1. Визначаються параметри, що характеризують особливості горіння речовини та розвитку пожежі:

- u_m – масова швидкість вигорання, кг/(м²·хв);
- Q_n^p - нижча робоча теплота згорання речовини, кДж/кг;
- $v_{n,z}^0$ - питомий теоретичний об'єм продуктів згорання для горючої речовини, м³/кг;
- $v_{n,-}^0$ - питома теоретична витрата повітря для повного згорання речовини, м³/кг;
- η - коефіцієнт хімічного недопалу речовини;
- v_l - лінійна швидкість поширення горіння, м/хв.

2. Визначення параметрів розвитку пожежі на встановлений час її розвитку: $R_{пож}(t)$ - радіус розвитку пожежі; геометрична форма розвитку пожежі; $S_{пож}(t)$ - площа пожежі.

3. Визначається загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{прит}$.

При визначенні площі отворів, крізь які здійснюється повітрообмін у приміщенні, вважається, що повністю розкриваються отвори, що потрапили в зону горіння, або при підвищенні середньооб'ємної температури вище 250⁰С. Повітрообмін може відбуватися за двома основними схемами.

Перша схема повітрообміну, при якій повітряний обмін здійснюється крізь один отвір або отвори однакового розміру, що розташовані на одному рівні; при цьому третина площі отвору $S_{прит}$, що знаходиться у нижній частині, працює на всмоктування свіжого повітря, а остання частина отвору - на викид продуктів горіння з приміщення:

$$S_{прит} = \frac{S_{отв}}{3} , \quad (8)$$

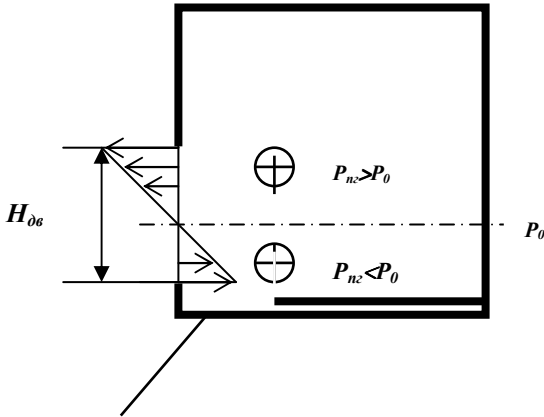


Рис. 2.1. Перша схема повітряного обміну

При розташуванні отворів на різних рівнях (наприклад, відкриті двері та світлові ліхтарі або димові люки в приміщеннях) відбувається повітрообмін за другою схемою. При цьому на всмоктування працюють отвори, що знаходяться у нижній частині приміщення, а світлові ліхтарі та димові люки працюють на викид продуктів горіння з приміщення.

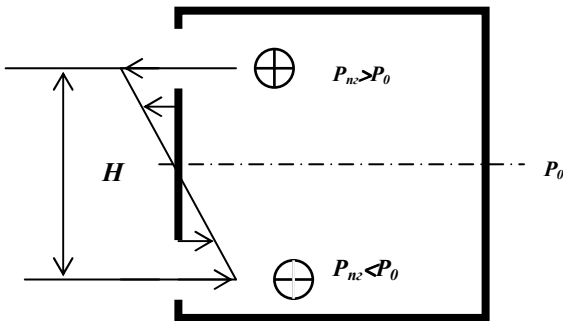


Рис.2.2. Друга схема повітряного обміну

4. Визначається коефіцієнт надлишку повітря з використанням номограми

Коефіцієнт надлишку повітря можна визначити за номограмою (рис.2.3) в залежності від питомої теоретичної витрати повітря, площі притоку, площі пожежі та загальної площі приміщення.

4.1. Визначається номер кривої для визначення коефіцієнта надлишку повітря за співвідношенням площі притоку $S_{прит}$ та площі пожежі $S_{пож(ж)}$.

Таблиця 2.1

$S_{прит}/S_{пож(ж)}$		Номер кривої
до 1/24	до 0,042	крива № 1
від 1/24 до 1/18	від 0,042 до 0,056	крива № 2
від 1/18 до 1/10	від 0,056 до 0,1	крива № 3
від 1/10 до 1/6	від 0,1 до 0,167	крива № 4
від 1/6 до 1/4	від 0,167 до 0,25	крива № 5
від 1/4 до 1/3	від 0,25 до 0,33	крива № 6

4.2. Визначається тип кривої за значенням відношення площі пожежі $S_{пож(ж)}$ та площі підлоги приміщення $S_{підл}$.

Таблиця 2.2

$S_{пож(ж)}/S_{підл}$		Тип кривої
до 1/4	до 0,25	пунктирна крива -----
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива _____

4.3. Визначається коефіцієнт надлишку повітря за номограмою наступним порядком:

- від осі v_n^0 - питомої теоретичної витраті повітря проводиться перпендикуляр до перетинання з визначеною кривою;
- отримана позначка переноситься на ось α_n коефіцієнта надлишку повітря; це значення і показує надлишок повітря при розвитку пожежі в приміщенні.

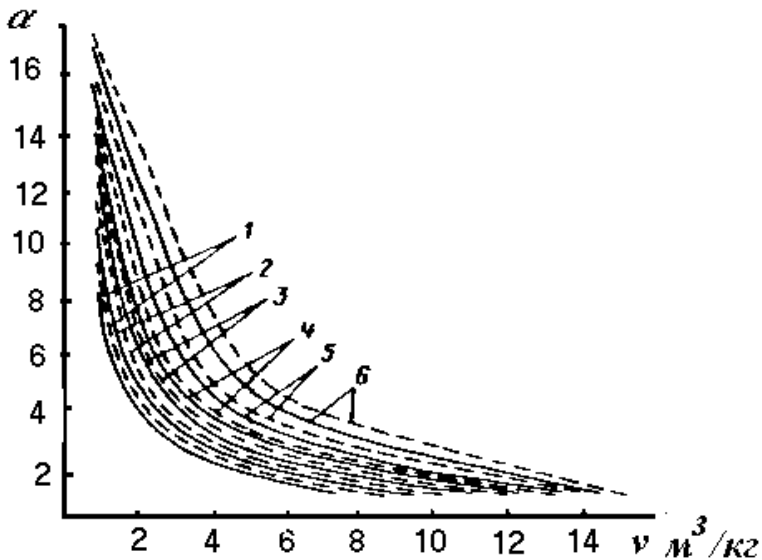


Рис. 2.3. Номограма для визначення коефіцієнта надлишку повітря

5. Проводиться розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння в залежності від умов повітряного обміну:

$$v_{n.z.i} = v_{n.z.}^0 + v_n^0(\alpha_{n.i} - 1) . \quad (9)$$

6. Визначається масова швидкість вигорання речовини. Масова швидкість вигорання залежить від часу розвитку пожежі та визначається за формулою:

$$u_{mi} = u_m^0 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{\tau_i}{30}} \right) , \quad (10)$$

де τ_i - час розвитку пожежі, хв.

7. Визначається об'ємна теплоємність середовища в приміщенні.

Питома об'ємна теплоємність середовища залежить від складу продуктів горіння та їх температури. Для визначення питомої теплоємності продуктів горіння необхідно попередньо задатися температурою пожежі у першому наближенні t_i на обраний час її розвитку.

Температура пожежі у першому наближенні вибирається виходячи з досвіду роботи.

Питома об'ємна теплоємність продуктів горіння визначається за формулою:

$$C_{pi} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + \alpha_{n,i}} \right) \frac{(t_i + 273)}{1000} . \quad (11)$$

8. Визначається приведений ступінь чорноти системи “полум`я-поверхня будівельних конструкцій” за формулою:

$$\epsilon_{np,i} = \frac{1}{1 + 0,0022 t_i} . \quad (12)$$

9. Визначається повна поверхня теплообміну. Повна поверхня конструкцій $S_{огор}$ визначається як сума поверхні стін, підлоги і стелі. Площу конструкцій, що огороджують приміщення, можна визначити за формулою:

$$S_{огор} = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h), \quad (13)$$

де a, b, h - довжина, ширина і висота приміщення, м.

10. Визначається адиабатична температура горіння. Адиабатичну температуру горіння можна розрахувати за формулою:

$$T_{ад,i} = \frac{\eta \cdot Q_n^p}{C_{p,i} \cdot \nu_{n,i}} + 273 . \quad (14)$$

11. Визначається середньооб'ємна температура в приміщенні на встановлений час розвитку пожежі. Середньооб'ємну температуру середовища в приміщенні визначають за формулою (7).

Задача з визначення середньооб'ємної температури пожежі вирішується методом поступового наближення, тому після визначення середньооб'ємної температури пожежі на заданий момент розвитку $t_{пож,i}$ ($^{\circ}C$) необхідно порівняти отримані результати з попередньо заданими значеннями температури t_i .

Якщо обране значення відрізняється від розрахованого більш ніж на 10 відсотків, то проводять повторний розрахунок. При цьому отримане значення середньооб'ємної температури пожежі $t_{пож,i}$ приймають як температуру середовища для визначення теплоємності і приведеного ступеня чорноти полум`я.

12. Проводиться визначення температури в заданій точці приміщення.

12.1. Визначаються координати точок обраних місць визначення температури пожежі x_i та y_i . Початок відліку приймається від геометричного центру (осередку) пожежі.

12.2. Визначається температура в заданих точках виміру за формулою:

$$T_{x,y,i} = T_{\text{пож},i} \left(0,8 + 0,2 \frac{y_i}{y_0} \right) \left(1,33 - \frac{x_i}{2x_i + x_0} \right), \quad (15)$$

де x_0 і y_0 - умовні координати, взяті як половина висоти приміщення і половина відстані від центру пожежі до огорожуючих конструкцій. При розвитку пожежі в центрі приміщення $y_0 = 0,5 \text{ h}$, а $x_0 = 0,25 \text{ l}$.

2.2 Приклад розв'язання задач з визначенню температурного режиму в приміщенні розрахунком

2.2.1 Приклад №1- розрахунок температурного режиму пожежі при горінні рідини.

Умови:

Визначити температурний режим пожежі, температуру над осередком пожежі та у центрі дверного отвору при пожежі в насосній станції з перекачування темних нафтопродуктів на 3, 7, 12 та 20 хвилині її розвитку. Розміри будівлі 24·18·9 м., 3 віконних прорізи розмірами 0,7·2 м та дверний проріз розмірами 2·4 м. Відбувається горіння мазуту в прямку розмірами 4·3 м. Розташування осередку пожежі та отворів показано на плані (рис.2.4).

Рішення:

1. Визначаємо параметри, що характеризують особливості горіння мазуту:

- масова швидкість вигорання $u_m = 2,10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
- нижча робоча теплота згорання мазуту $Q_{n,p} = 39800 \text{ кДж}/\text{кг}$;
- питома теоретична витрата повітря $v_{n,0}^0 = 11,30 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- питомий теоретичний об'єм продуктів згорання $v_{n,z}^0 = 11,86 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- коефіцієнт хімічного недопалу мазуту $\eta = 0,85$.

Лінійну швидкість поширення горіння по поверхні мазуту не визначаємо, виходячи з умов, що вся поверхня його буде охоплена горінням з самого початку пожежі, а площу розливу рідини обмежено площею прямоку.

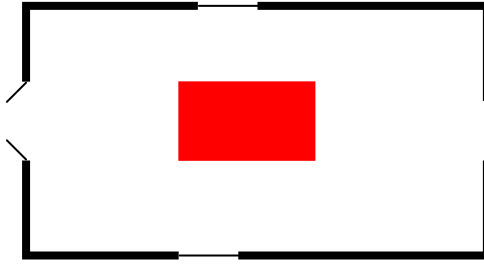


Рис.2.4. Схема розвитку пожежі в приміщенні насосної

2. Визначаємо параметри розвитку пожежі на третій хвилині її розвитку.
Протягом часу розвитку пожежі площа пожежі буде постійною, оскільки вона обмежена площею прямоку:

$$S_{\text{пож}} = a \cdot b = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на третій хвилині розвитку пожежі.

Виходячи з умов розвитку пожежі, приймаємо, що на третій хвилині розвитку повітрообмін здійснюється через відкриті двері.

$$S_{\text{отв.1}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ м}^2.$$

Повітрообмін відбувається за першою схемою, тому приймаємо:

$$S_{\text{прит.1}} = \frac{S_{\text{отв}}}{3} = \frac{8}{3} = 2,7 \text{ м}^2 .$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит.1}}}{S_{\text{пож}}} = \frac{2,7}{12} = 0,225 \text{ або } \frac{1}{4,5} .$$

Таблиця 2.3

$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож.1}}$		Номер кривої
від 1/4 до 1/3	від 0,25 до 0,33	крива № 6

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{пож}}{S_{нідл}} = \frac{12}{24 \cdot 18} = \frac{12}{432} = 0,028 \text{ або } \frac{1}{36}.$$

Таблиця 2.4

$S_{пож,1}/S_{нідл}$		Тип кривої
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива

4.3. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за номограмою:

$$\alpha_{n1} = 2.$$

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$\begin{aligned} v_{n.z.1} &= v_{n.z.}^0 + v_n^0 (\alpha_{n.1} - 1) = \\ &= 11,86 + 11,30 * (2 - 1) = 23,16 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned}$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання мазуту на час розвитку пожежі:

$$u_{m1} = u_m^0 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{\tau_1}{30}} \right) = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{3}{30}} \right) = 1,09 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на певний час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температури пожежі у першому наближенні рівним $t_1 = 80^\circ \text{C}$. Тоді:

$$\begin{aligned} C_{p1} &= 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + \alpha_{n.1}} \right) \frac{(t_1 + 273)}{1000} = \\ &= 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(80 + 273)}{1000} = 1,308 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К}) \end{aligned}$$

8. Визначаємо приведенний ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{np.1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot t_1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 80} = 0,85.$$

9. Визначаємо повну площу поверхні конструкцій $S_{озор}$ будівлі насосної:

$$S_{озор} = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h) = 2(24 \cdot 18 + 24 \cdot 9 + 18 \cdot 9) = 1620 \text{ м}^2.$$

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння мазуту за визначених умов:

$$T_{ад.1} = \frac{\eta \cdot Q_{н}^p}{C_{p1} \cdot v_{н.з.1}} + 273 = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,308 \cdot 23,16} + 273 = 1389,8 \text{ К}.$$

11. Визначаємо середньооб'ємну температуру в приміщенні на третю хвилину розвитку пожежі:

$$T_{пож.1} = 18,1 \cdot T_{ад.1} \left(\frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot u_{т.і} \cdot C_{p.і} \cdot v_{н.з.і}}{\epsilon_{нр.і} \cdot S_{озор} \cdot T_{ад.і}^3} \right)^{0,17} =$$

$$= 18,1 \cdot 1389,8 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,09 \cdot 1,308 \cdot 23,16}{0,85 \cdot 1620 \cdot 1389,8^3} \right)^{0,17} = 494,1 \text{ К}$$

$$t_{пож.1} = T_{пож.1} - 273 = 494,1 - 273 = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_1 = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ більше ніж на 10% відрізняється від отриманого значення $t_{пож.1} = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. тому проводимо повторний розрахунок середньооб'ємної температури пожежі. При цьому отримане значення середньооб'ємної температури пожежі $t_{пож.1}$ приймаємо як температуру середовища для визначення теплоємності і приведенного ступеня чорноти полум'я.

Проводимо повторний розрахунок температури пожежі на третій хвилині розвитку пожежі.

1. Визначаємо параметри розвитку пожежі на третій хвилині її розвитку.

Площа пожежі складає $S_{пож} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря: $S_{отв} = 8 \text{ м}^2$; $S_{нрпм} = 2,7 \text{ м}^2$.

3. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{н1} = 2$.

4. Питомий фактичний об'єм продуктів горіння $v_{н.з.1} = 23,16 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Масова швидкість вигорання мазуту $u_{м1} = 1,09 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$.

6. Теплоємності середовища.

Температура пожежі у першому наближенні $t_1 = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Теплоємність середовища:

$$C_{p1} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(221,1 + 273)}{1000} = 1,331 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{пр.1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 221,1} = 0,67.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій складає $S_{озор} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад.1} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,331 \cdot 23,16} + 273 = 1371,2 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{пож.1} = 18,1 \cdot 1371,2 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,09 \cdot 1,331 \cdot 23,16}{0,67 \cdot 1620 \cdot 1371,2^3} \right)^{0,17} = 512,5 \text{ К}$$

$$t_{пож.1} = T_{пож.1} - 273 = 512,5 - 273 = 239,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_1 = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_1 - t_{пож.1}}{t_1} = 100 \cdot \frac{221,1 - 239,5}{221,1} = -9,82\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10% його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у певних точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Координати точок обраних місць визначення температури пожежі.

Таблиця 2.5

Місце визначення температури	Координата x_i	Координата y_i
над осередком пожежі	$x_1 = 0 \text{ м}$	$y_1 = 9 \text{ м}$
у центрі дверного отвору	$x_2 = 12 \text{ м}$	$y_2 = 2 \text{ м}$

11.2. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = T_{\text{нож.1}} \left(0,8 + 0,2 \frac{y_1}{y_0} \right) \left(1,33 - \frac{x_1}{2x_1 + x_0} \right) =$$

$$= 512,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 817,2 \text{ K}$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 817,2 - 273 = 544,2^{\circ} \text{C}.$$

11.3. Визначасмо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x_2, y_2} = 512,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 382,1 \text{ K},$$

$$t_{x_2, y_2} = T_{x_2, y_2} - 273 = 382,1 - 273 = 109,1^{\circ} \text{C}.$$

Розраховуємо температуру пожежі на сьомій хвилині розвитку пожежі.

1. Визначаємо параметри розвитку пожежі на сьомій хвилині її розвитку.

Площу пожежі обмежено площею прямоку, тому $S_{\text{нож}} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$.

Виходячи з того, що температура на даний час може перевищити критичне значення температури для віконного скла (250°C), вважаємо, що всі вікна будуть розруйновані, а повітрообмін буде відбуватися через двері та вікна. Загальна схема повітрообміну залишиться без змін:

$$S_{\text{отв.2}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} + n_{\text{вік}} \cdot a_{\text{вік}} \cdot h_{\text{вік}} = 2 \cdot 4 + 3 \cdot 0,7 \cdot 2 = 12,2 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{прит.2}} = \frac{S_{\text{отв.2}}}{3} = \frac{12,2}{3} = 4,03 \text{ м}^2.$$

3. Проводимо визначення коефіцієнта надлишку повітря.

3.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит}}}{S_{\text{нож}}} = \frac{4,03}{12} = 0,33 \text{ або } \frac{1}{3}.$$

Таблиця 2.6

$S_{\text{прит}}/S_{\text{нож.1}}$		Номер кривої
від 1/4 до 1/3	від 0,25 до 0,33	крива № 6

3.2. Визначаємо тип кривої. Співвідношення $S_{пож,1} / S_{нід,1}$ не змінилося, тому тип кривої – суцільна.

3.3. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за номограмою - $\alpha_{н2} = 2$.

4. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{н,2} = 11,86 + 11,30 \cdot (2 - 1) = 23,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

5. Визначаємо масову швидкість вигорання мазуту на сьомій хв. розвитку пожежі:

$$u_{m2} = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{7}{30}} \right) = 1,34 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

6. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища.

Температура пожежі у першому наближенні $t_2 = 250^\circ \text{C}$.

Теплоємності середовища:

$$C_{p2} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(250 + 273)}{1000} = 1,34 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{пр,2} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 250} = 0,65.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій складає $S_{озор} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад,2} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,34 \cdot 23,16} + 273 = 1363,1 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{пож,2} = 18,1 \cdot 1363,1 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,34 \cdot 1,34 \cdot 23,16}{0,65 \cdot 1620 \cdot 1363,1^3} \right)^{0,17} = 532,7 \text{ К},$$

$$t_{пож,2} = T_{пож,2} - 273 = 532,7 - 273 = 259,7^\circ \text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_2 = 250$ °C. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_2 - t_{ном2}}{t_2} = 100 \cdot \frac{250 - 259,7}{250} = -3,88\% .$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у визначених точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 532,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 849,6 \text{ K} ,$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 849,6 - 273 = 576,6 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

11.2. Визначасмо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x_2, y_2} = 532,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 397,2 \text{ K} ,$$

$$t_{x_2, y_2} = T_{x_2, y_2} - 273 = 397,2 - 273 = 124,2 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Розрахунок температури пожежі на дванадцятій хвилині розвитку пожежі.

1. Площа пожежі на дванадцятій хвилині її розвитку дорівнює $S_{ном} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{прит}$:

$$S_{отв3} = 12,2 \text{ м}^2 ;$$

$$S_{прит3} = 4,03 \text{ м}^2 .$$

3. Коефіцієнт надлишку повітря залишається без змін - $\alpha_{н3} = 2$.

4. Питомий фактичний об'єму продуктів горіння залишається без змін $v_{н.2.3} = 23,16 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Визначасмо масову швидкість вигорання мазуту на цей час розвитку пожежі:

$$u_{м3} = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{12}{30}} \right) = 1,56 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв}) .$$

6. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища. Температура пожежі у першому наближенні $t_3 = 270^\circ\text{C}$. Теплоємність середовища

$$C_{p3} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(270 + 273)}{1000} = 1,34 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\varepsilon_{np.3} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 270} = 0,63.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій $S_{oop} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад.3} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,34 \cdot 23,16} + 273 = 1363,1 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{нож.3} = 18,1 \cdot 1363,1 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,56 \cdot 1,34 \cdot 23,16}{0,63 \cdot 1620 \cdot 1363,1^3} \right)^{0,17} = 549,3 \text{ К},$$

$$t_{нож.3} = T_{нож.3} - 273 = 549,5 - 273 = 276,5^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_3 = 270^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_3 - t_{нож.3}}{t_3} = 100 \cdot \frac{270 - 273,5}{270} = -1,29\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10% його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у визначених точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 549,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 916,3 \text{ К},$$

$$t_{x1,y1} = T_{x1,y1} - 273 = 916,3 - 273 = 643,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

11.3. Визначаємо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x2,y2} = 549,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 409,6 \text{ K},$$

$$t_{x2,y2} = T_{x2,y2} - 273 = 409 - 273 = 136,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахунок температури пожежі на двадцятій хвилині розвитку пожежі.

1. Площа пожежі на двадцятій хвилині її розвитку дорівнює $S_{\text{пожеж}} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$:

$$\begin{aligned} S_{\text{отв}4} &= 12,2 \text{ м}^2; \\ S_{\text{прит}4} &= 4,03 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

3. Коефіцієнт надлишку повітря залишається без змін - $\alpha_{n4} = 2$.

4. Питомий фактичний об'єм продуктів горіння залишається без змін: $v_{n.з.4} = 23,16 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Визначаємо масову швидкість вигорання мазуту на цій час розвитку пожежі:

$$u_{m4} = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{20}{30}} \right) = 1,83 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

6. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища.

Температура пожежі у першому наближенні $t_4 = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Теплоємність середовища

$$C_{p4} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(300 + 273)}{1000} = 1,37 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\varepsilon_{np.4} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 300} = 0,60.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій $S_{\text{зовн}} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад.4} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,37 \cdot 23,16} + 273 = 1339,2 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{позж.4} = 18,1 \cdot 1339,2 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,83 \cdot 1,37 \cdot 23,16}{0,60 \cdot 1620 \cdot 1339,2^3} \right)^{0,17} = 565,7 \text{ К},$$

$$t_{позж.4} = T_{позж.4} - 273 = 565,7 - 273 = 292,7^{\circ} \text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_4 = 300^{\circ} \text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попереднього прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_4 - t_{позж.4}}{t_4} = 100 \cdot \frac{300 - 292,7}{300} = 2,43\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури в визначених точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Визначаємо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 565,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 943,3 \text{ К},$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 943,3 - 273 = 670,3^{\circ} \text{C}.$$

11.2. Визначаємо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x_2, y_2} = 565,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 421,7 \text{ К},$$

$$t_{x_2, y_2} = T_{x_2, y_2} - 273 = 421,7 - 273 = 148,7^{\circ} \text{C}.$$

Результати розрахунку температурного режиму зводимо до таблиці та проводимо будову графіка зміни температурного режиму пожежі.

Зведена таблиця розрахунку температурного режиму

Час розвитку пожежі	Адіабатична температура пожежі	Середньооб'ємна температура пожежі	Температура в точці x_1, y_1	Температура в точці x_2, y_2
3-я хвил.	1371,2	512,5	817,2	382,1
7-а хвил.	1363,1	532,7	849,6	397,2
12-а хвил.	1363,1	549,5	916,3	409,6
20-а хвил.	1339,2	565,7	943,3	421,7

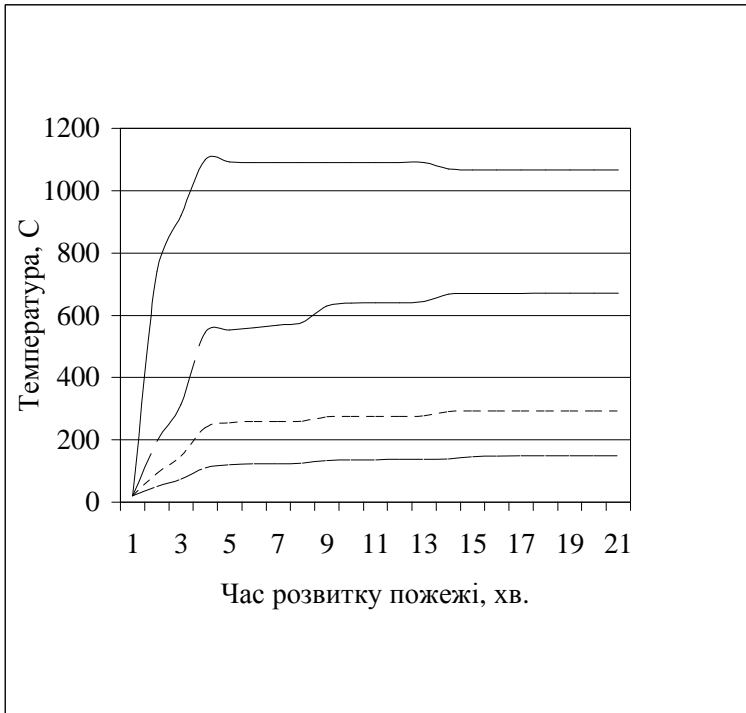


Рис. 2.5 - Графік зміни температурного режиму пожежі

2.2.2. Приклад №2 – розрахунок температурного режиму пожежі при горінні твердих горючих матеріалів.

Умови:

Визначити температурний режим пожежі, температуру на рівні колосників на висоті 24 м над осередком пожежі при пожежі на планшеті сценічної частини театру на п'ятій, п'ятнадцятій та двадцятій хвилині з

моменту її виникнення. Розміри сценічної частини 48·34·28 м, порталний отвір закрито протипожежною завісою, постійно відкриті два дверних прорізи розмірами 1,8·2 м. Димові локи у кількості 4 штуки розміром 3·3 м відкривають на дванадцятій хвилині розвитку пожежі. Розташування прорізів відображено на плані.

Рішення:

1. Визначасмо параметри, що характеризують особливості горіння.

Приймаємо, що основний матеріал - це деревина у виробках:

- масова швидкість вигорання $u_m^0 = 1,11 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
- нижча робоча теплота згорання деревини $Q_n^p = 13800 \text{ кДж}/\text{кг}$;
- питома теоретична витрата повітря $v_n^0 = 4,20 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- питомий теоретичний об'єм продуктів згорання $v_{n.z}^0 = 4,86 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- коефіцієнт хімічного недопалу деревини $\eta = 0,97$.
- u_l - лінійна швидкість поширення горіння від 1,0 до 2,0 м/хв ,

приймаємо середнє значення $u_l = (1,0+2,0)/2 = 1,5 \text{ м}/\text{хв}$.

2. Розраховуємо площу пожежі на п'ятій хвилині її розвитку.

2.1 Радіус розвитку пожежі на п'ятій хвилині:

$$R_l = 0,5 \cdot u_l \cdot \tau_p = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 5 = 3,75 \approx 3,8 \text{ м}.$$

За результатами розрахунку будуємо план розвитку пожежі в сценічній частині театру.

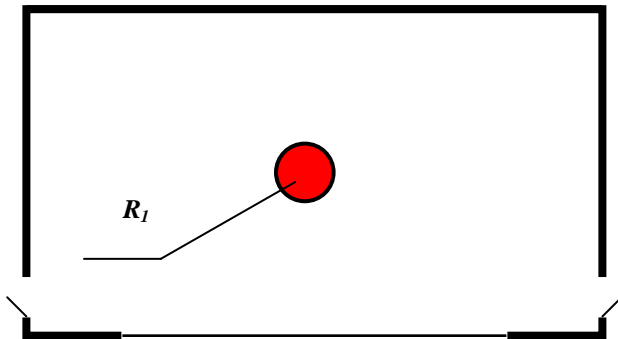


Рис. 2.6. План розвитку пожежі на п'ятій хвилині

Фронт полум'я не дійшов до стін, тому приймаємо кругову розрахункову форму розвитку пожежі.

2.2. Площа пожежі на п'ятій хвилині:

$$S_{\text{пож } 1} = \pi R_1^2 = 3,14 \cdot 3,8^2 = 45,4 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на п'ятій хвилині розвитку пожежі.

Виходячи з умов розвитку пожежі, приймаємо, що на п'ятій хвилині розвитку повітрообмін здійснюється через відкриті двері, (рис. 2.6).

$$S_{\text{отв.1}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 2,2 = 7,92 \text{ м}^2.$$

Повітрообмін відбувається за першою схемою, тому приймаємо:

$$S_{\text{прит.1}} = \frac{S_{\text{отв}}}{3} = \frac{7,92}{3} = 2,64 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит}}}{S_{\text{пож}}} = \frac{2,64}{45,4} = 0,0058 \text{ або } \frac{1}{17,2},$$

Таблиця 2.8

$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож.1}}$		Номер кривої
від 1/18 до 1/10	від 0,056 до 0,1	крива № 3

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{\text{пож.1}}}{S_{\text{підл}}} = \frac{45,4}{48 \cdot 34} = \frac{45,4}{1632} = 0,028 \text{ або } \frac{1}{36}.$$

Таблиця 2.9

$S_{\text{пож.1}}/S_{\text{підл}}$		Тип кривої
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива

4.3. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря по номограмі - $\alpha_{\text{пл}} = 2,5$.

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{n.z.1} = v_{n.z.}^0 + v_n^0 (\alpha_{n.1} - 1) =$$

$$= 4,8 + 4,20 \cdot (2,5 - 1) = 11,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання деревини на визначений час розвитку пожежі:

$$u_{m1} = u_m^0 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{\tau_1}{30}} \right) = 1,11 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{5}{30}} \right) = 0,65 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на визначений час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температури пожежі у першому наближенні рівним $t_1 = 80^\circ \text{C}$. Тоді:

$$C_{p1} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + \alpha_{n.1}} \right) \frac{(t_1 + 273)}{1000} =$$

$$1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2,5} \right) \frac{(80 + 273)}{1000} = 1,306 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К})$$

8. Визначаємо приведенний ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{np.1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot t_1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 80} = 0,85.$$

9. Визначаємо повну площу поверхні конструкцій $S_{озор}$ будівлі сценічної частини:

$$S_{озор} = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h) = 2(48 \cdot 34 + 48 \cdot 28 + 34 \cdot 28) = 7856 \text{ м}^2.$$

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння деревини за визначених умов:

$$T_{ад.1} = \frac{\eta \cdot Q_n^p}{C_{p1} \cdot v_{n.z.1}} + 273 = \frac{0,97 \cdot 13800}{1,306 \cdot 11,16} + 273 = 1191,4 \text{ К}.$$

11. Визначаємо середньооб'ємну температуру в приміщенні на п'яту хвилину розвитку пожежі:

$$T_{\text{пож.1}} = 18,1 \cdot T_{\text{ад.1}} \left(\frac{\eta \cdot S_{\text{пож}} \cdot u_{\text{м.і}} \cdot C_{\text{р.і}} \cdot v_{\text{н.з.і}}}{\epsilon_{\text{пр.і}} \cdot S_{\text{озор}} \cdot T_{\text{ад.і}}^3} \right)^{0,17} =$$

$$= 18,1 \cdot 1191,4 \left(\frac{0,97 \cdot 45,4 \cdot 0,65 \cdot 1,306 \cdot 11,16}{0,85 \cdot 7856 \cdot 1191,4^3} \right)^{0,17} = 360,3 \text{ K},$$

$$t_{\text{пож.1}} = T_{\text{пож.1}} - 273 = 360,3 - 273 = 87,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_1 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_1 - t_{\text{пож.1}}}{t_1} = 100 \cdot \frac{80 - 87,9}{80} = 9,87\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури в визначених точках.

11. Проводимо визначення температури у заданих точках приміщення.

11.1. Координати точок обраних місць визначення температури пожежі.

Таблиця 2.10

Місце визначення температури	Координата x_i	Координата y_i
умовні координати	$x_0 = 12 \text{ м}$	$y_0 = 14 \text{ м}$
над осередком пожежі	$x_1 = 0 \text{ м}$	$y_1 = 24 \text{ м}$

11.2. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = T_{\text{пож.1}} \left(0,8 + 0,2 \frac{y_1}{y_0} \right) \left(1,33 - \frac{x_1}{2x_1 + x_0} \right) =$$

$$= 360,3 \left(0,8 + 0,2 \frac{24}{14} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 12} \right) = 547,7 \text{ K}$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 547,7 - 273 = 274,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначення температурного режиму пожежі на п'ятнадцятій хвилині її розвитку.

1. Розрахуємо площу пожежі на п'ятнадцятій хвилині її розвитку.

Радіус розвитку пожежі на п'ятнадцятій хвилині:

$$R_2 = 0,5 \cdot u_1 \cdot 10 + u_1 (\tau_p - 10) = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot (15 - 10) = 15 \text{ м}.$$

Фронт полум'я не дійшов до стін, тому приймаємо розрахункову форму розвитку пожежі - кругову.

За результатами розрахунку будемо план розвитку пожежі в сценічній частині театру.

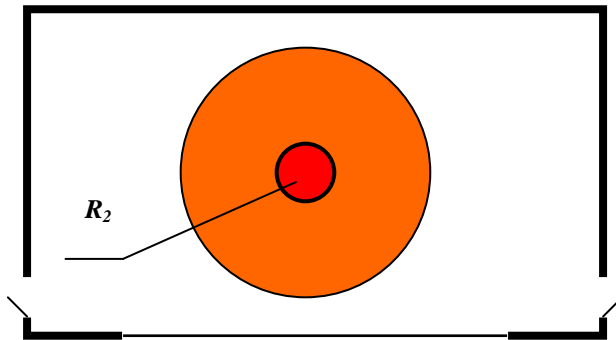


Рис. 2.7. План розвитку пожежі на п'ятнадцятій хвилині

2. Площа пожежі на п'ятнадцятій хвилині

$$S_{\text{пож.2}} = \pi R_2^2 = 3,14 * 15^2 = 706,9 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на п'ятнадцятій хвилині розвитку пожежі.

Загальна площа відкритих отворів та схема повітряного обміну на п'ятнадцятій хвилині пожежі не змінюється тому:

$$\begin{aligned} S_{\text{отв.2}} &= 7,92 \text{ м}^2; \\ S_{\text{прит.2}} &= 2,64 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит.2}}}{S_{\text{пож.2}}} = \frac{2,64}{706,9} = 0,0004 \text{ або } \frac{1}{267,8}.$$

Таблиця 2.11

$S_{\text{прит.1}}/S_{\text{пож.1}}$		Номер кривої
до 1/24	до 0,042	крива № 1

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{\text{пож.2}}}{S_{\text{нідл}}} = \frac{706,9}{1632} = 0,43 \text{ або } \frac{1}{2,3}.$$

Таблиця 2.12

$S_{\text{пож.1}}/S_{\text{нідл}}$		Тип кривої
менше 1/4	менше 0,25	суцільна крива

4.3. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{n2} = 1,8$.

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{n,2} = 4,8 + 4,20 * (1,8 - 1) = 8,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання деревини наданий час розвитку пожежі:

$$u_{m2} = 1,11 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{15}{30}} \right) = 0,88 \text{ кг/ (м}^2 \cdot \text{хв)}.$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на визначений час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температуру пожежі у першому наближенні рівним $t_2 = 400^\circ\text{C}$. Тоді:

$$C_{p2} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 1,8} \right) \frac{(400 + 273)}{1000} = 1,363 \text{ кДж/ (м}^3 \cdot \text{К)}.$$

8. Визначаємо приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{np,2} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 400} = 0,53.$$

9. Площа поверхні конструкцій будівлі $S_{\text{озор}} = 7856 \text{ м}^2$.

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння деревини за визначених умов:

$$T_{\text{ад.2}} = \frac{0,97 \cdot 13800}{1,363 \cdot 8,16} + 273 = 1476,5 \text{ К}.$$

11. Визначасмо середньооб'ємну температуру в приміщенні на п'ятнадцятій хвилині розвитку пожежі:

$$T_{\text{пож.2}} = 18,1 \cdot 1476,5 \left(\frac{0,97 \cdot 706,9 \cdot 0,88 \cdot 1,363 \cdot 8,16}{0,53 \cdot 7856 \cdot 1476,5^3} \right)^{0,17} = 701,2 \text{ K},$$

$$t_{\text{пож.2}} = T_{\text{пож.2}} - 273 = 701,2 - 273 = 428,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_2 = 400 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_2 - t_{\text{пож.2}}}{t_2} = 100 \cdot \frac{160 - 428,2}{400} = -7,05\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у визначених точках.

11. Визначасмо температуру в заданій точці x_l, y_l :

$$T_{x_l, y_l} = 701,2 \left(0,8 + 0,2 \frac{24}{14} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 12} \right) = 1065,9 \text{ K},$$

$$t_{x_l, y_l} = T_{x_l, y_l} - 273 = 1065,9 - 273 = 792,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначення температурного режиму пожежі на двадцятій хвилині її розвитку

1. Розраховуємо площу пожежі на двадцятій хвилині її розвитку.

2.1 Радіус розвитку пожежі на двадцятій хвилині:

$$R_3 = 0,5 \cdot u_l \cdot 10 + u_l (\tau_p - 10) = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot (20 - 10) = 22,5 \text{ м}.$$

Фронт полум'я дійшов до стін, тому розрахункова форма розвитку пожежі – прямокутна.

За результатами розрахунку будуюмо план розвитку пожежі в сценічній частині театру:

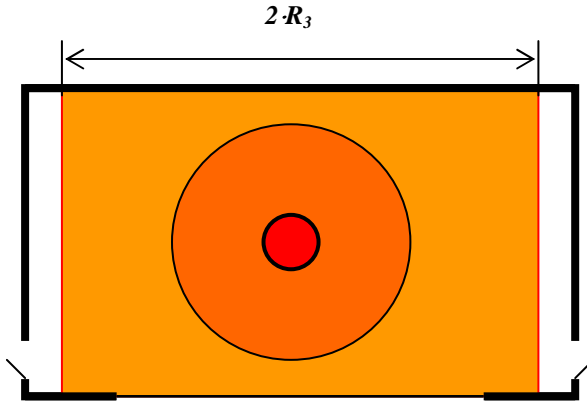


Рис.2.8 - План розвитку пожежі на двадцятій хвилині

2.2. Площа пожежі на двадцятій хвилині:

$$S_{\text{пож.з}} = 2 \cdot R_3 \cdot a = 2 \cdot 22,5 \cdot 34 = 1530 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на двадцятій хвилині розвитку пожежі.

За умовами задачі після двадцятій хвилини пожежі відкриваються димові люки - в цьому випадку схема повітряного обміну змінюється на другу (рис. 2.2).

Загальна площа відкритих димових люків складає $S_{\text{отв}} = 4 \cdot 3 \cdot 3 = 36 \text{ м}^2$. Двері працюють на приплив повітря, тому $S_{\text{прит.з}} = 7,92 \text{ м}^2$.

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит.з}}}{S_{\text{пож.з}}} = \frac{7,92}{1530} = 0,0005 \text{ або } \frac{1}{193,2}.$$

Таблиця 2.13

$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож.з}}$		Номер кривої
до 1/24	до 0,042	крива № 1

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{\text{пож.з}}}{S_{\text{підл}}} = \frac{1530}{1632} = 0,94 \text{ або } \frac{1}{1,1}.$$

$S_{пож,3}/S_{відл}$		Тип кривої
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива _____

4.3. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{n3} = 1,8$.

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{n,23} = 4,8 + 4,20 \cdot (1,8 - 1) = 8,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання деревини на даний час розвитку пожежі:

$$u_{m3} = 1,11 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{20}{30}} \right) = 0,97 \text{ кг/ (м}^2 \cdot \text{хв)}.$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на визначений час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температури пожежі у першому наближенні рівним $t_3 = 600^\circ\text{C}$. Тоді:

$$C_{p3} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 1,8} \right) \frac{(600 + 273)}{1000} = 1,397 \text{ кДж/ (м}^3 \cdot \text{К)}.$$

8. Визначаємо приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{пр.3} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 600} = 0,43.$$

9. Площа поверхні конструкцій будівлі $S_{озор} = 7856 \text{ м}^2$.

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння деревини за визначених умов:

$$T_{ад.3} = \frac{0,97 \cdot 13800}{1,397 \cdot 8,16} + 273 = 1447,3 \text{ К}.$$

11. Визначаємо середньооб'ємну температуру в приміщенні на двадцять хвилину розвитку пожежі:

$$T_{\text{пож.3}} = 18,1 \cdot 1447,3 \left(\frac{0,97 \cdot 1530 \cdot 0,97 \cdot 1,397 \cdot 8,16}{0,43 \cdot 7856 \cdot 1447,3^3} \right)^{0,17} = 839,6 \text{ K},$$

$$t_{\text{пож.2}} = T_{\text{пож.2}} - 273 = 839,6 - 273 = 564,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_3 = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_3 - t_{\text{пож.3}}}{t_3} = 100 \cdot \frac{600 - 564,6}{600} = 5,9\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури в визначених точках.

11. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 839,6 \left(0,8 + 0,2 \frac{24}{14} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 12} \right) = 1276,3 \text{ K},$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 1276,3 - 273 = 1003,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результати розрахунку температурного режиму в сценічній частині театру зводимо до таблиці та будуємо графік зміни температурного режиму пожежі.

Таблиця 2.15

Зведена таблиця розрахунку температурного режиму

Час розвитку пожежі	Адіабатична температура пожежі	Середньооб'ємна температура пожежі	Температура в точці x_1, y_1
5 – а хвил	1191,4	360,3	547,7
15–а хвил	1476,5	701,2	1065,9
20–а хвил	1447,3	839,6	1276,3

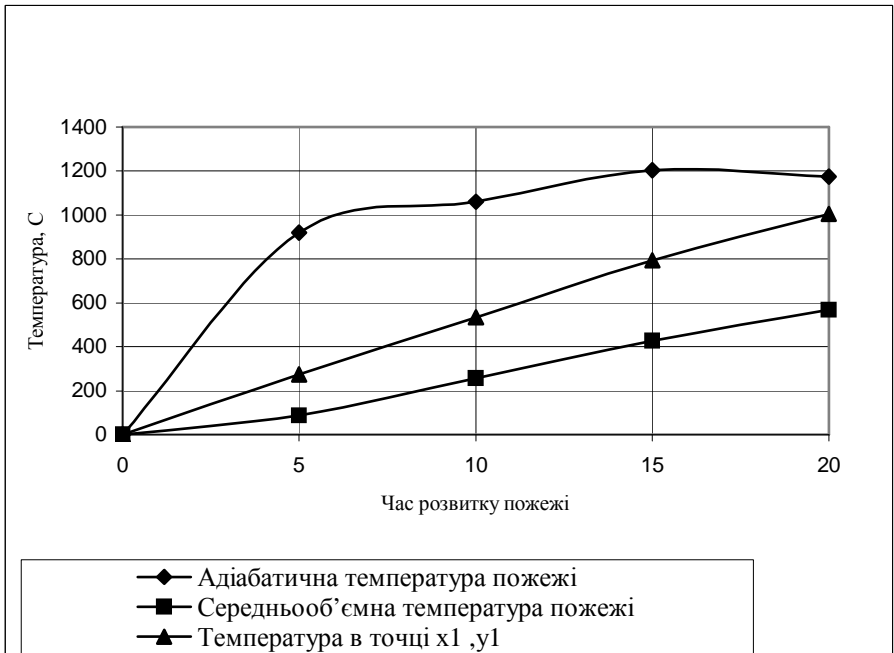


Рис. 2.9. Графік зміни температурного режиму пожежі

2.3 Методика визначення температурного режиму пожежі графічно-аналітичним методом

2.3.1 Методика визначення температурного режиму пожежі з використанням номограм.

Визначення температурного режиму пожежі можна проводити і з використанням номограм. Для цього необхідно провести розрахунки в наступному порядку:

1. Визначаються параметри, що характеризують особливості горіння речовини та розвитку пожежі: u_m – масова швидкість вигорання; Q_n^p – нижча робоча теплота згорання речовини; $v_{n,z}^0$ – питомий теоретичний об'єм продуктів згорання для горючої речовини; v_n^0 – питома теоретична витрата повітря для повного згорання речовини; η – коефіцієнт хімічного недопалу речовини; v_l – лінійна швидкість поширення горіння.

2. Визначення параметрів розвитку пожежі на встановлений час її розвитку: $R_{пож}(t)$ – радіус розвитку пожежі; форма розвитку пожежі; $S_{пож}(t)$ – площа пожежі.

3. Визначається загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{прит}$.

4. Визначається коефіцієнт надлишку повітря.

5. Визначається повна поверхня теплообміну $S_{огор}$
6. Проводиться розрахунок густини теплового потоку пожежі за формулою:

$$q = \frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot Q_n^p \cdot u_m^0}{60 S_{огор}} \quad (16)$$

Отримані результати для зручності використання краще занести до таблиці.

7. Користуючись номограмою (Рис.2.10), за отриманим значенням теплового потоку, коефіцієнта надлишку повітря визначається середньооб'ємна температура пожежі у визначений час розвитку пожежі.

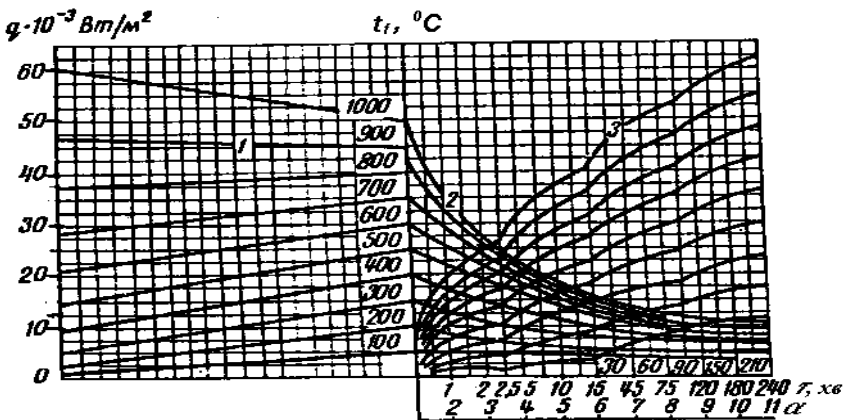


Рис. 2.10. Номограма для визначення середньооб'ємної температури

Визначення середньооб'ємної температури проводиться в такому порядку.

На лівій осі координат знаходиться позначка густини теплового потоку пожежі і проводиться пряма на ось температур. Далі еквідистантно, на однаковому віддаленні від найближчої кривої надлишку повітря $t = f(\alpha_n)$ опускаємося до перетинання з перпендикуляром, відновленим із точки, що відповідає коефіцієнту надлишку повітря α_n . З отриманої точки паралельно осі абсцис переміщаємося до перпендикуляра, відновленого з точки, що відповідає тридцятій хвилині розвитку пожежі. Потім еквідистантно від найближчої кривої часу розвитку пожежі $t = f(\tau_n)$ переміщаємося до перпендикуляра, відновленого з точки, що позначає відповідний час розвитку пожежі. Якщо час розвитку пожежі менше тридцяти хвилин, то переміщення буде вниз і вліво, якщо більше - то вгору і вправо.

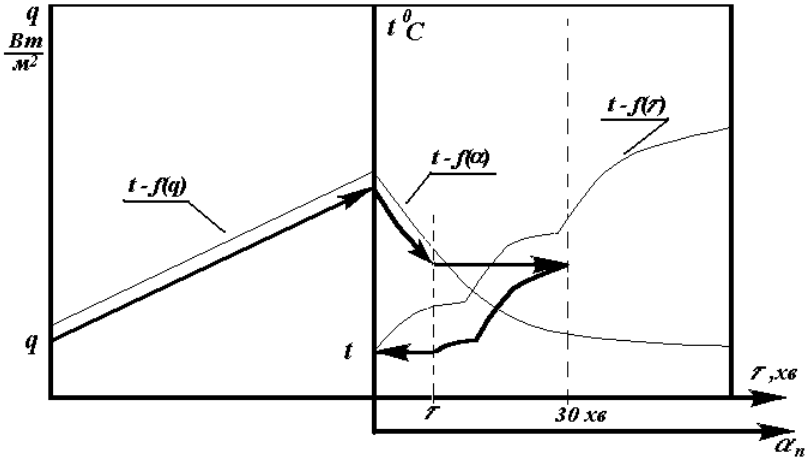


Рис. 2.11. Порядок визначення температури пожежі за номограмою

Отримане значення від точки перетинання кривої з перпендикуляром із точки, що відповідає часу розвитку пожежі, переносимо паралельно осі абсцис на вісь температур і визначаємо температуру пожежі в градусах Цельсія.

2.3.2. Приклад №3 – розрахунок температурного режиму пожежі з використанням номограми.

Умови:

У центрі приміщення насосної станції розмірами 18·12·3 м відбувається горіння мазуту в лотку розмірами 2·2 м.

Повітрообмін здійснюється через відкритий дверний проріз розмірами 2 на 2,5 м. Визначити, користаючись номограмою, середньооб'ємну температуру пожежі на п'ятій та п'ятнадцятій хвилинах розвитку пожежі.

Рішення:

1. Визначаємо параметри, що характеризують особливості горіння мазуту:

- масова швидкість вигорання $u_m = 2,10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
- нижча робоча теплота згорання мазуту $Q_n^p = 39800 \text{ кДж}/\text{кг}$;
- питома теоретична витрата повітря $v_{n.}^0 = 11,30 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- питомий теоретичний об'єм продуктів згорання $v_{n.з.}^0 = 11,86 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- коефіцієнт хімічного недопалу мазуту $\eta = 0,85$.

Лінійну швидкість поширення горіння по поверхні мазути не визначаємо, виходячи з умов, що вся його поверхня буде охоплена горінням з самого початку пожежі, а площу розливу рідини обмежено площею прямоку.

2. Визначаємо параметри розвитку пожежі в приміщенні.

Протягом часу розвитку пожежі площа пожежі буде постійною, оскільки вона обмежена площею прямоку:

$$S_{\text{пож}} = a \cdot b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$

$$S_{\text{отв.1}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{прит.1}} = \frac{S_{\text{отв}}}{3} = \frac{5}{3} = 1,67 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за номограмою.

Площа підлоги приміщення:

$$S_{\text{підл}} = a \cdot b = 18 \cdot 14 = 216 \text{ м}^2.$$

Для зручності всі необхідні дані зносимо до таблиці

Таблиця 2.16

Час, хв	$S_{\text{пож}}(\text{м}^2)$	$S_{\text{прит}}$	$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож}}(\text{м}^2)$	$S_{\text{пож}}(\text{м}^2)/S_{\text{підл}}$	α_n
5-а	4	1,67	1,67:4=0,418	4:216=0,0185	1,9
15-а	4	1,67	1,67:4=0,418	4:216=0,0185	1,9

Для п'ятої хвилини розвитку пожежі виходить крива 6 переривчастого виду. Тому значення коефіцієнта надлишку повітря приймається рівним 1,9.

Для п'ятнадцятої хвилини розвитку пожежі значення коефіцієнта надлишку повітря не змінилося, тому що площа горіння і повітрообмін залишилися незмінними.

5. Розраховуємо густину теплового потоку, що попадає на одиницю площі поверхні конструкцій:

$$q = \frac{0,87 \cdot 4 \cdot 39800 \cdot 2,1}{60 \cdot (2 \cdot (18 \cdot 12 + 18 \cdot 3 + 12 \cdot 3))} = 7,92 \text{ кВт/м}^2.$$

6. Користуючись номограмою, за отриманим значенням густини теплового потоку, коефіцієнта надлишку повітря визначаємо середньооб'ємну температуру пожежі на п'ятій та п'ятнадцятій хвилинах.

Температура на п'ятій хвилині розвитку пожежі складає 270°C .

На п'ятнадцятій хвилині розвитку пожежі складає 310°C .

На підставі отриманих даних зі зміни температури як у цілому в приміщенні, так і в окремих його точках можна робити практичні висновки про поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі, час спрацьовування датчиків систем пожежної автоматики й інші практичні висновки. Розрахунок температурного режиму пожежі в огороженні може бути основою при прогнозуванні умов розвитку пожежі і розробці тактичного задуму при проведенні практичних занять пожежних підрозділів на об'єктах. Використовуючи результати розрахунку середньооб'ємної температури, можна визначити положення зони рівних тисків при повітрообміні.

ГЛАВА 3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У сучасних умовах актуальна задача розробки економічно оптимальних і ефективних протипожежних заходів здійснюється за допомогою прогнозу динаміки небезпечних факторів пожежі, що не можливо без математичного моделювання процесу розвитку пожежі.

В ході моделювання, в залежності від доцільності використовують три класи моделей: інтегральні, зонні та польові (диференціальні). Моделі різняться ступенем повноти опису, причому найпростішою з них є інтегральна модель.

Саме на інтегральну модель спирається матеріал другої глави посібника

В рівняннях інтегральної моделі пожежі функціями, що потрібно визначити є середньооб'ємні параметри газового середовища (температура, густина і концентрації компонент газового середовища, оптична густина), а незалежною перемінною є час. Крім цих перемінних, рівняння містять цілий ряд інших фізичних величин, конкретний вид яких встановлюється шляхом додання даних з теорії конвекційного і променистого теплообміну, теорії аерації, теорії горіння.

Комп'ютерна програма *A-start* що моделює динаміку небезпечних факторів пожежі, створених у програмному середовищі Matlab-6 в рамках інтегральної моделі.

Дану програму можна використовувати у тому випадку, коли відбувається повітрообмін між приміщенням та зовнішнім середовищем через дверні та віконні отвори, що розташовані на різних рівнях. Крім того, в повітрообміні може брати участь примусова вентиляція приміщення.

Програма дозволяє врахувати роботу системи об'ємного пожежогасіння інертними газами (азотом, вуглекислим газом або аргонном). Вимкнення системи гасіння може бути як ручним, так і автоматичним.

Осередок пожежі задається функціональною залежністю від часу площі пожежі та теплофізичними характеристиками горючої речовини.

На виході програма видає користувачеві графіки залежності від часу:

1. середньооб'ємної концентрації (масових часток) компонент газового середовища у приміщенні;
2. середньооб'ємної температури середовища;
3. швидкості вигорання горючої речовини.

Робота програми починається з введення команди „*start*” у командному вікні середовища Matlab. Як результат, якщо програма визначення небезпечні фактори пожежі встановлена на комп'ютері, з'являється головне вікно програми (рис.3.1).

У даному вікні встановлюється час розглядання і здійснюється перехід до двох допоміжних вікон, який ініціюється натисненням кнопок „*Помещение и газообмен*” та „*Очаг пожара и газовое тушение*”. З цього ж вікна після вводу всіх вихідних даних натисненням кнопки „*Поехали*” запускається розрахункова частина програми.

Натиснення на кнопку „*Помещение и газообмен*” приводить до переходу у відповідне вікно (рис.3.2). У цьому вікні відбувається введення:

1. температури повітря поза приміщенням та у приміщенні перед пожежею;
2. об’ємної витрати проточної та витяжної примусової вентиляції;
3. розмірів (A - довжина, B - ширина та H - висота приміщення);

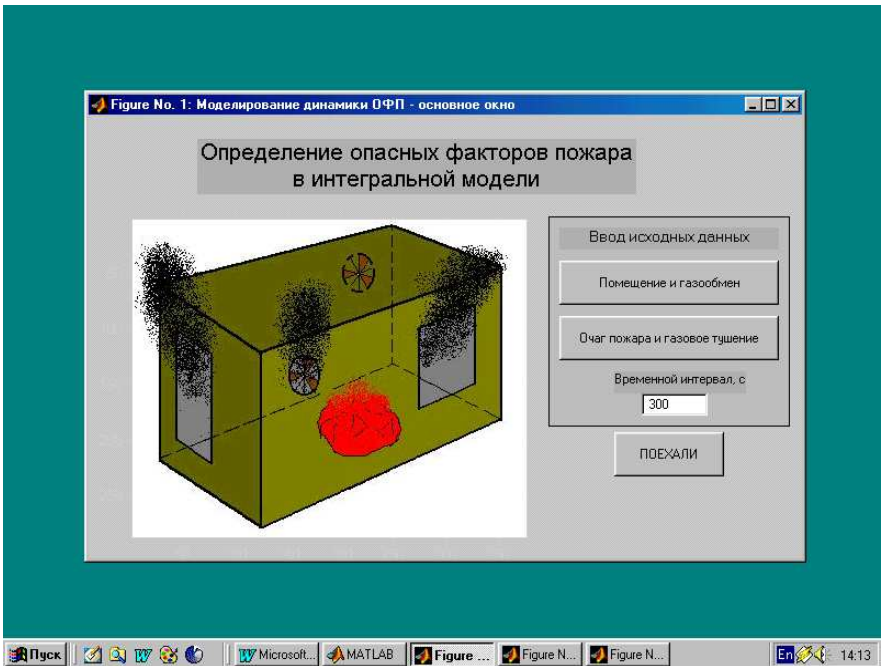


Рис. 3.1. Основне вікно програми

4. параметрів двох рівнів отворів (c – відстань від підлоги до нижнього краю даного рівня, h – висота отвору, b – загальна ширина отворів даного рівня).

З цього ж вікна натиснення на кнопку „*Возврат к основному окну*” можна повернутися до основного вікна програми.

Натиснення на кнопку „*Очаг пожара и газовое тушение*” основного вікна програми приводить до переходу у відповідне вікно (рис. 3.3), де вводяться три групи параметрів.

Параметри пального:

1. питома теплота згоряння, кДж/кг;
2. питома швидкість вигорання, кг/(м²·с);
3. коефіцієнт повноти згоряння;
4. маса кисню, що поглинається при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;

5. маса вуглекислого газу, яка виділяється при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;
6. маса оксиду вуглецю, яка виділяється при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;
7. маса водяної пари, яка виділяється при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;
8. загальна маса пального.

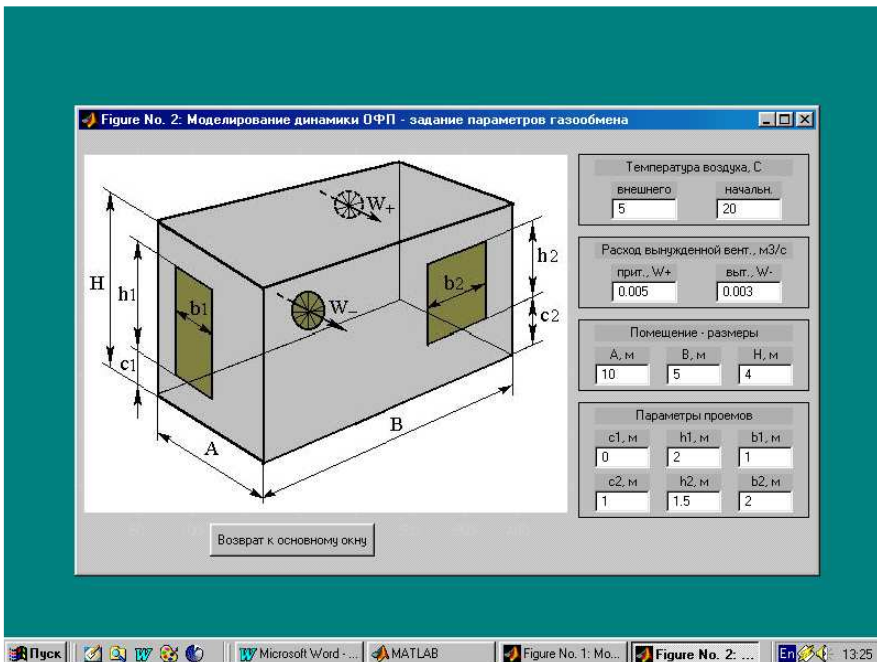


Рис. 3.2. Вікно введення параметрів газообміну

Три параметри програми, що задають площу пожежі: 1) F_0 , m^2 ; 2) F_1 , m^2/c , 3) F_2 , m^2/c^2 , вимагають апроксимації залежності площі горіння $F_{зop}$ від часу τ у виді

$$F_{зop}(\tau) = F_0 + F_1 \tau + F_2 \tau^2, m^2. \quad (17)$$

В даній програмі передбачено обмеження площі горіння площею підлоги, тобто $F_{зop}(\tau) \leq A \cdot B$.

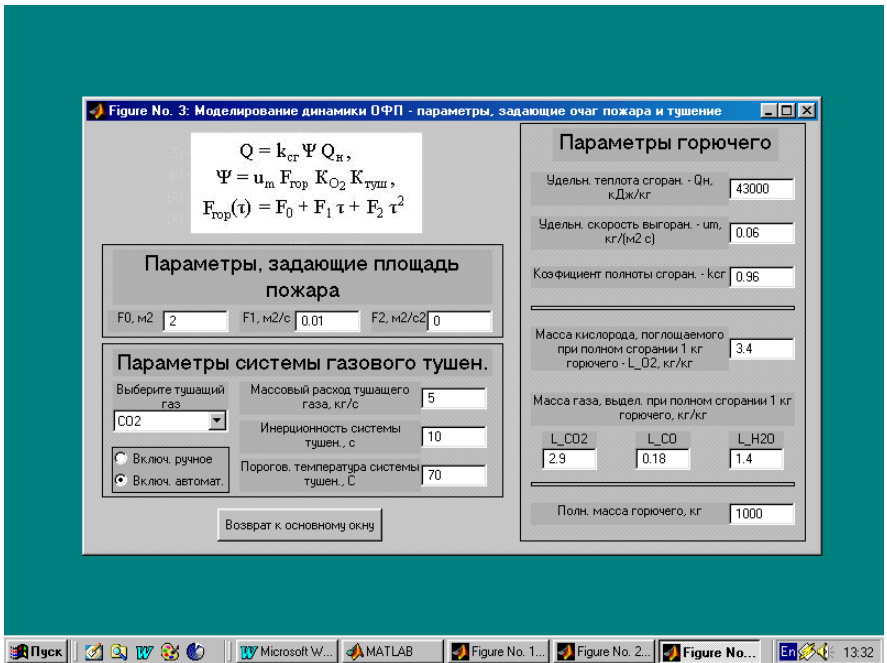


Рис. 3.3. Вікно введення параметрів осередку пожежі та системи гасіння пожежі

Крім того, у даному вікні задаються параметри системи газового гасіння.

Перш за все здійснюється вибір інертного газу (CO_2 , N_2 , Ar , *газа нет*) (якщо обирається опція „*газа нет*”, то система гасіння не розглядається).

Далі вибирається (із „*Включение ручное*” або „*Включение автоматической*”) режим вмикання системи гасіння. В обох цих випадках користувачем задається масова витрата вогнегасного газу, кг/с.

У разі вибору ручного вмикання задається момент включення, с, а у разі вибору автоматичного включення задаються інші два параметри:

1. інерційність системи гасіння, с;
2. температурний поріг спрацьовування системи гасіння, °С.

Після введення всіх даних повернення до основного вікна програми можна здійснити натискуванням на кнопку „*Возврат к основному окну*”.

Після вводу всіх вихідних даних натискуванням на кнопку „*Поехали*” основного вікна програми запускається розрахункова частина. Характерний час її роботи – декілька хвилин, протягом яких до програми краще не звертатися.

Після закінчення розрахунків на екран монітора виводяться додатково три вікна (рис. 3.4 -3.6).

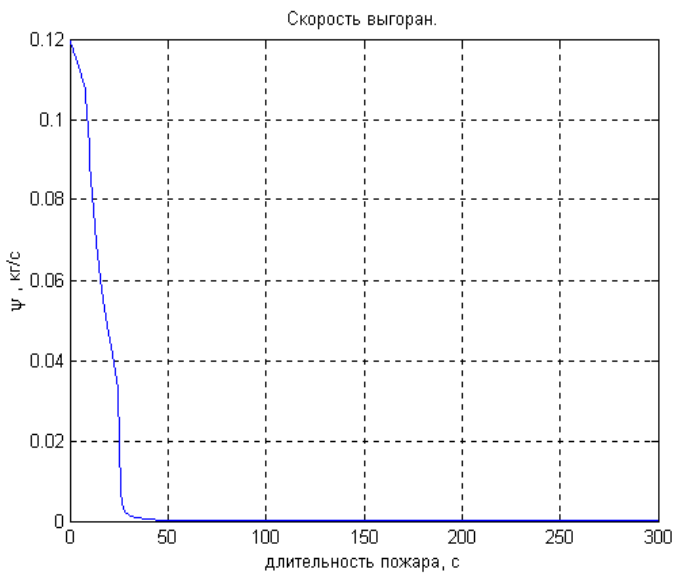


Рис. 3.4. Графік залежності швидкості вигорання від часу

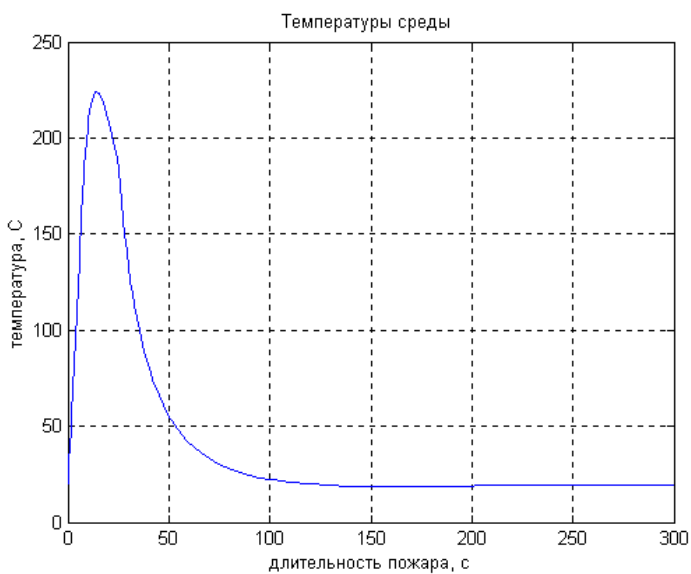


Рис. 3.5. Графік залежності середньооб'ємної температури середовища від часу

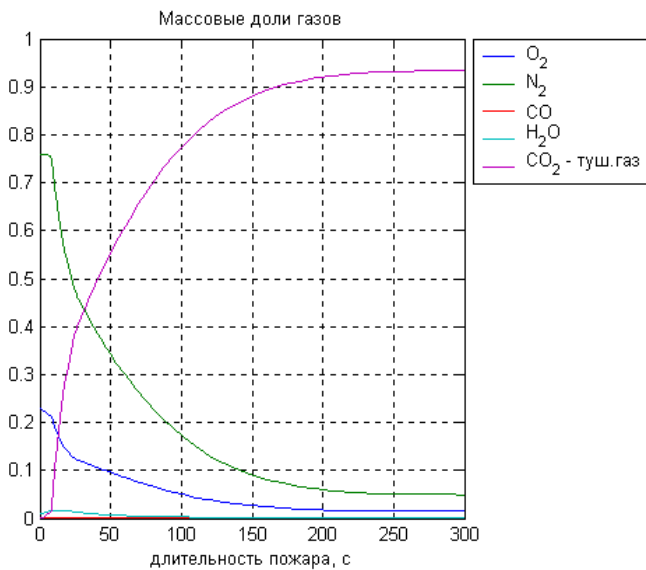


Рис. 3.6. Графік залежності середньооб'ємних масових часток компонент газового середовища від часу

ГЛАВА 4. ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПОВІТРЯНОГО ОБМІНУ ПРИ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

4.1 Методика визначення площини нейтральної зони при пожежі в приміщенні

Температура газів при пожежі істотно змінюється за об'ємом приміщення: вона вище середньооб'ємної над зоною горіння і нижче - в нижній зоні на відстані від вогнища горіння.

При пожежі в приміщеннях можна виділити зони з підвищеною температурою, де вона дорівнює або вище середньооб'ємної температури пожежі, і зону зі зниженою температурою, де вона дорівнює температурі навколишнього середовища.

Між зоною з високою температурою (зона високого тиску) $P_{nz} > P_0$ і зоною з низькою температурою (зона розрядження) $P_{nz} < P_0$ утворюється зона рівних тисків, де тиск продуктів горіння дорівнює атмосферному $P_{nz} = P_0$.

Положення зони рівних тисків визначається областю приміщення, заповненого свіжим повітрям, де робота особового складу може здійснюватися без використання індивідуальних засобів захисту органів дихання.

Повітрообмін може здійснюватися через один або кілька прорізів, що знаходяться на одному рівні, або через декілька прорізів які розташовані на різних рівнях. У першому випадку приплив свіжого повітря відбувається в нижній частині прорізу, а видалення продуктів горіння - в його верхній частині. Зона рівних тисків проходить безпосередньо по перетину прорізу.

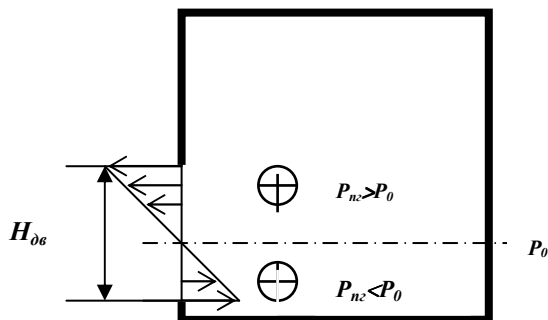


Рис. 4.1. Схема повітрообміну при пожежі в приміщенні

Розрахункова формула для визначення положення зони рівних тисків (нейтральної зони) має вид:

$$h_{н.з.} = \frac{H}{1 + 3 \sqrt{\frac{T_{нз}}{T_0}}}, \quad (18)$$

де H - повна висота прорізу, через який здійснюється повітрообмін, м;
 $T_{нз}$ - температура продуктів горіння (середньооб'ємна температура пожежі), К;
 T_0 - температура повітря, К.

У тих випадках, коли повітрообмін здійснюється через декілька прорізів, розташованих на різних рівнях, ті прорізи, що потрапили до зони розрядження, працюють на приплив повітря, а ті з них, що потрапили до зони високого тиску, працюють на викид продуктів горіння. Зона рівних тисків при цьому буде розташована між центрами прорізів. Висота нейтральної зони при цьому буде залежати від різниці температур, площі припливного і витяжного прорізів, геометричного місця розташування прорізів.

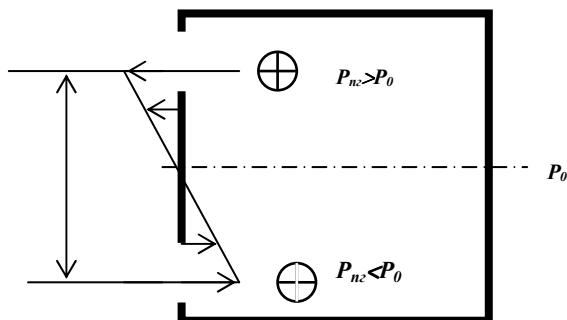


Рис. 4.2. Схема повітрообміну через два прорізи при пожежі в приміщенні

Висота нейтральної зони при цьому визначається за формулою:

$$h_{н.з.} = \frac{H}{\left(\frac{S_{прим}}{S_{вих}}\right)^2 \frac{T_{нз}}{T_0} + 1} + 0,5h_{прим}, \quad (19)$$

де $S_{прим}$ - площа прорізів, що працюють на приплив, м²; $S_{вих}$ - площа прорізів, що працюють на викид продуктів горіння, м²; H - відстань між центрами припливних і витяжних прорізів, м; $h_{прим}$ - висота прорізу, що працює на приплив від підлоги приміщення, м.

У тих випадках, коли повітрообмін здійснюється через декілька однакових отворів, розташованих на одному рівні, площа їх підсумовується.

Визначення висоти нейтральної зони здійснюється в наступним чином.

1. Визначається схема повітрообміну та розрахункова формула для визначення висоти нейтральної зони. Якщо повітрообмін протікає через один отвір, тоді розраховують висоту нейтральної зони за формулою (18). При повітрообміні через два отвори, розташовані на різних рівнях, розрахунок продовжують за наступною методикою.

2. Визначають площу припливних і витяжних прорізів.

3. Визначають відстань між центрами припливних і витяжних отворів.

4. Визначають висоту нейтральної зони за формулою (19).

4.2 Приклад №4 – визначення площини нейтральної зони при пожежі в приміщенні

Визначити висоту нейтральної зони, при пожежі у сценічній частині театру розмірами 18·10·20 метрів на п'ятій хвилині розвитку пожежі, якщо середньооб'ємна температура дорівнює 250 °С, а повітрообмін здійснюється через відкриті двері розміром 1,2·2,2 м; на десятій хвилині, якщо середньооб'ємна температура дорівнює 320 °С, а повітрообмін здійснюється через відкриті двері і димовий люк розмірами 4,0·1,8 метри, розташований в верхній частині приміщення. Початкова температура повітря дорівнює 15 °С.

Розв'язування задачі:

1. Визначаємо висоту нейтральної зони на п'ятій хвилині розвитку пожежі, вважаючи, що повітрообмін здійснюється через один проріз:

$$h_{н.з.} = \frac{2,2}{1 + \sqrt[3]{\frac{(250 + 273)}{(15 + 273)}}} = 0,99 \text{ м.}$$

Визначаємо висоту нейтральної зони на десятій хвилині розвитку пожежі.

У даному випадку повітрообмін відбувається за другою схемою повітрообміну з припливом повітря через двері та викидом продуктів згоряння через димовий люк.

2. Площа припливного і витяжного прорізу.

Площа припливного прорізу:

$$S_{прит} = a_{дв} \cdot h_{дв} = 1,2 \cdot 2,2 = 2,64 \text{ м}^2.$$

Площа витяжного прорізу:

$$S_{вих} = a_{люк} \cdot h_{люк} = 4,0 \cdot 1,8 = 7,2 \text{ м}^2.$$

3. Відстань між центрами прорізів:

$$H = 20 - \frac{2,2 + 1,8}{2} = 18 \text{ м .}$$

4. Визначаємо висоту нейтральної зони:

$$h_{н.з.} = \frac{18}{\left(\frac{2,64}{7,2}\right)^2 \frac{(320 + 273)}{(15 + 273)} + 1} + 0,5 \cdot 2,2 = 6,74 \text{ м .}$$

ГЛАВА 5. ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПОЖЕЖІ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ

5.1 Методика визначення теплового опромінювання при пожежі на відкритому просторі

Горіння на пожежі супроводжується виділенням великої кількості тепла, значна частина якого передається тепловим випромінюванням.

При відкритому горінні будівель і споруд, відкритих складів горючих речовин у твердому стані, вогнебезпечних рідин передача тепла від факелу в напрямку інших об'єктів являє собою небезпеку виникнення в них пожежі та вибуху. Випромінювання факелу на пожежі істотно ускладнює дії пожежних підрозділів, що беруть участь у гасінні пожежі.

Максимальна кількість тепла від факелу випромінюється по нормалі від його геометричного центру. В такому випадку щільність випромінювання визначається рівнянням:

$$q_{max} = \varepsilon_{36} \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (20)$$

де T_1 - температура факелу в залежності від виду матеріалу, що горить, К; T_2 - температура поверхні, що опромінюється факелом (технологічного обладнання, пожежної техніки, бойового одягу та шкіри особового складу), К; ε_{36} - зведений ступінь чорноти системи.

Зведений ступінь чорноти системи ε_{36} залежить від ступеня чорноти полум'я ε_1 та ступеня чорноти поверхні, що опромінюється ε_2 та визначається за формулою:

$$\varepsilon_{36} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2. \quad (21)$$

Кількість тепла, що випромінюється факелом у напрямку суміжних споруджень, обладнання, особового складу та техніки визначається згідно з законів теплообміну випромінюванням між двома тілами, довільно орієнтованими в просторі. В реальних умовах тепловипромінювання щільність теплового потоку визначається умовами опромінювання і залежить від середнього коефіцієнта опромінювання ψ_{2-1} :

$$q'_{1-2} = q_{max} \cdot \psi_{2-1}, \quad (22)$$

ψ_{2-1} - середній коефіцієнт опромінювання тіла.

При розв'язанні задачі з визначення мінімально достатньої відстані від факелу полум'я використовують базову схему опромінювання та базовий коефіцієнт опромінювання ψ_{2-1} .

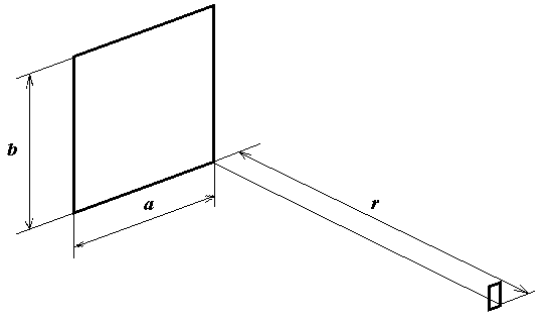


Рис. 5.1. Схема базової моделі опромінювання

Базовий коефіцієнт опромінювання ψ'_{2-1} розраховують за формулою:

$$\psi'_{2-1} = \frac{1}{360} \cdot \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \cdot \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \cdot \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right]; \quad (23)$$

при цьому кут для визначення \arctg визначається в градусах.

За значення a можна прийняти радіус факелу R_ϕ , а за значення b - висоту факелу H_ϕ .

Тепловий потік що потрапляє на об'єкт розташований на поверхні ґрунту безпосередньо перед центром факелу, складає половину від максимального значення $q'_{1-2} = 0,5 \cdot q_{max}$, а середній коефіцієнт опромінювання приймають рівним $\psi_{2-1} = 0,5$.

В тому випадку, коли поверхня, що опромінюється (технологічне обладнання, пожежна техніка та особовий склад), розташована на одному рівні з факелом, середній коефіцієнт опромінювання ψ_{2-1} визначається як два базових коефіцієнти опромінювання ψ'_{2-1} :

$$\psi_{2-1} = 2 \cdot \psi'_{2-1}. \quad (24)$$

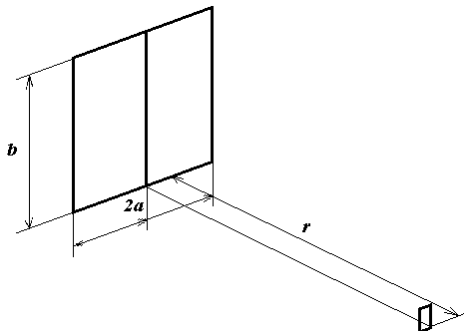


Рис. 5.2. Схема фактичної моделі опромінювання на пожежі

При горінні рідини в резервуарі висотою H_p ; середній коефіцієнт опромінювання ψ_{2-1} визначається як різниця коефіцієнтів опромінювання від повного контуру резервуара з факелом над ним та самого контуру резервуара

$$\psi_{2-1} = 2 \cdot [\psi'_{2-1}(a, H) - \psi'_{2-1}(a, h_p)]. \quad (25)$$

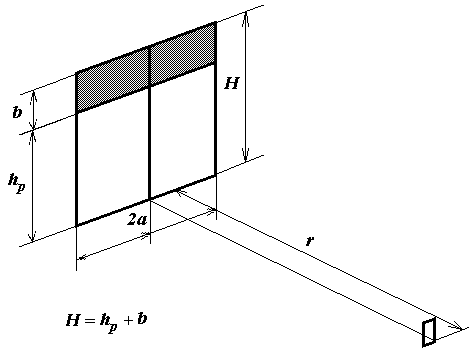


Рис. 5.3. Схема фактичної моделі опромінювання на пожежі в резервуарі

Для визначення безпечної відстані від факелу необхідно провести порівняння максимального теплового потоку від факелу q_{max} з критичним тепловим потоком $q_{кр}$, що є мінімальним небезпечним значенням питомого теплового потоку:

$$\beta q_{max} \leq q_{кр}, \quad (26)$$

де β - коефіцієнт безпеки.

Критичний тепловий потік $q_{кр}$ залежить від матеріалу, що опромінюється, ступеня захисту особового складу та часу опромінювання.

При пошуку безпечної відстані умову безпеки можна визначити рівнянням:

$$\psi'_{2-1}(r_{кр}) = \psi'_{кр}, \quad (27)$$

$$\psi'_{кр} = \frac{q_{кр}}{2 \cdot q_{max}}. \quad (28)$$

При відносно великій відстані до факелу межу з визначеним ступенем опромінювання можна визначити за формулою:

$$r_{кр} = \sqrt{\frac{b \cdot a}{\pi \cdot \psi'_{кр}}}. \quad (29)$$

Форма зони горіння над поверхнею рідини, що розлилася, або над резервуаром постійно міняється, але для визначення характеристик горіння її можна прийняти у вигляді циліндра з діаметром, рівним діаметру резервуара, і висотою H_ϕ .

При горінні горючої рідини в резервуарі площа пожежі обмежується площею резервуара. Висота полум'я залежить від діаметра резервуара і роду горючої рідини. Відомо, що при горінні продукту в резервуарі розмірами від 2 до 23 метрів висота факела полум'я пропорційна діаметру резервуара і для різних рідин вона визначається як:

- для бензину $H_\phi = 1,5 d$;
- для дизельного палива $H_\phi = 1d$;
- для етилового спирту $H_{\phi,л} = 0,8 d$.

При горінні рідини, що розлилася, ефективний діаметр зони горіння визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (30)$$

де F - площа розливу рідини, м²;

Висота факелу полум'я H_ϕ за формулою Томсона:

$$H_\phi = 3,46d \left(\frac{v_m}{\rho \sqrt{dg}} \right)^{0.61}, \quad (31)$$

де d - ефективний діаметр протоки, м²; v - масова швидкість вигорання рідини, кг/(м² хв.); ρ - густина повітря, кг/м³, приймається рівною 1,205 кг/м³; g - прискорення вільного падіння, 9,81 м/с².

Тривалість вигорання рідини в обвалуванні залежить від роду горючої рідини і пористості ґрунту. На основі дослідних даних відомо, що для дизельного палива час вигорання визначається:

- на поверхні бетону 16,8 хв.;
- на асфальтній поверхні 24,7 хв.;
- на ґрунті 27,3 хв.

Така закономірність зберігається і для інших видів нафтопродуктів.

5.2 Приклад №5 – розрахунок теплового випромінювання та безпечних відстаней при пожежі на відкритому просторі

Умови:

Визначити величину теплового потоку між факелом полум'я нафти, що горить в обвалуванні розмірами 36·36 м, та особовим складом підрозділу,

який розташовано на відстані 50 м від краю обвалування. На підставі розрахунку надати рекомендації щодо заходів захисту особового складу від теплового випромінювання.

Рішення:

1. З довідників визначаємо параметри горіння нафти та особливостей теплообміну між поверхнею полум'я та бойовим одягом особового складу:

- масова швидкість вигорання $v_m = 1,20$ кг/(м²·хв.);

- теплота згорання $Q_n' = 41900$ кДж/кг;

Температура полум'я $T_1 = 1373$ К;

- ступінь чорноти полум'я $\epsilon_1 = 0,85$;

- допустима температура поверхні тіла $T_2 = 333$ К;

- ступінь чорноти поверхні бойового одягу $\epsilon_2 = 0,9$;

- критичний тепловий потік для $q_{кр} = 4200$ Вт/м².

2. Визначаємо ефективний діаметр зони горіння:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 36 \cdot 36}{3,14}} = 40,6 \text{ м}.$$

3. Визначаємо висоту факелу полум'я:

$$H_\phi = 3,46d \left(\frac{v_m}{\rho \sqrt{dg}} \right)^{0,61} = 3,46 \cdot 40,6 \left(\frac{1,20}{1,205 \sqrt{40,6 \cdot 9,81}} \right)^{0,61} = 22,6 \text{ м}.$$

4. Розрахуємо зведену ступінь чорноти системи “полум'я-поверхня”:

$$\epsilon_{36} = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 = 0,85 \cdot 0,9 = 0,765.$$

5. Визначимо значення максимального теплового потоку:

$$q_{max} = \epsilon_{36} \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \\ = 0,765 \cdot 5,77 \cdot \left[\left(\frac{1373}{100} \right)^4 - \left(\frac{333}{100} \right)^4 \right] = 156207,3 \text{ Вт/м}^2.$$

6. Визначимо значення теплового потоку від факелу на поверхню ґрунту (на краю обвалування):

$$q'_{max} = 0,5 \cdot q_{max} = 0,5 \cdot 156207,3 = 78103,7 \text{ Вт/м}^2.$$

7. Розрахуємо базовий коефіцієнт опромінювання:

$$a = \frac{d}{2} = \frac{40,6}{2} = 20,3 \text{ м}, \quad b = H_{\phi} = 22,6 \text{ м}.$$

$$\begin{aligned} \psi'_{2-1} &= \frac{1}{360} \left[\frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} + \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{r^2 + a^2}} \right] = \\ &= \frac{1}{360} \left[\frac{22,6}{\sqrt{22,6^2 + 50^2}} \arctg \frac{20,3}{\sqrt{22,6^2 + 50^2}} + \frac{20,3}{\sqrt{20,3^2 + 50^2}} \arctg \frac{22,6}{\sqrt{20,3^2 + 50^2}} \right] = 0,0522. \end{aligned}$$

8. Визначимо повний коефіцієнт опромінювання особового складу від факелу:

$$\psi_{2-1} = 2 \cdot \psi'_{2-1} = 2 \cdot 0,0522 = 0,1044.$$

9. Визначимо тепловий потік, що випромінюється факелом у напрямку особового складу:

$$q_{1-2} = \psi_{2-1} \cdot q_{\max} = 0,1044 \cdot 156207,3 = 16308,1 \text{ Вт/м}^2.$$

10. Визначасмо критичний коефіцієнт опромінювання $\psi'_{\text{кр}}$ за умов, що коефіцієнт безпеки β дорівнює одиниці:

$$\psi'_{\text{кр}} = \frac{q_{\text{кр}}}{2 \cdot \beta \cdot q_{\max}} = \frac{4200}{2 \cdot 156207,3} = 0,0134.$$

11. Визначасмо граничну відстань за тепловим випромінюванням для особового складу в бойовому одязі:

$$r_{\text{зп}} = \sqrt{\frac{b \cdot a}{\pi \cdot \psi'_{\text{кр}}}} = \sqrt{\frac{22,6 \cdot 20,3}{3,14 \cdot 0,0134}} = 104,2 \text{ м}.$$

Висновок: на відстані 50 метрів тепловий потік від факелу буде складати $16308,1 \text{ Вт/м}^2$, що перевищує критичну щільність опромінювання для обраного виду захисту особового складу. Для забезпечення роботи особового складу необхідно розташувати його на відстані не менше **104,2** метра або забезпечити особовий склад тепловідбивними костюмами з одночасним захистом струменями води або водяних завіс.

5.3 Розрахунок теплового випромінювання з використанням програмного продукту “A-radia2” “A-radia3”

Для проведення розрахунків при курсовому та дипломному проектуванні можна скористатися програмним забезпеченням “A-radia2” для розрахунку теплового випромінювання при пожежі горючої рідини, що розлита на поверхню, та “A-radia3” – для розрахунку теплового випромінювання при пожежі горючої рідини в резервуарі. Представлений програмний продукт розроблено в середовищі “PASCAL”, що може бути використано як в середовищі MS-DOS, так і в середовищі Windows. При розрахунку враховуються такі фактори, як масова швидкість рідини, теплота та температура згоряння, висота резервуара, ступінь захисту особового складу від теплового випромінювання та інше.

Робота програми з розрахунку теплового випромінювання при пожежі горючої рідини в резервуарі починається з включення командного файлу A-radia3.exe з командного вікна оболонки MS-DOS або з провідника Windows. Як результат, з’являється головне вікно програми (рис.5.4).

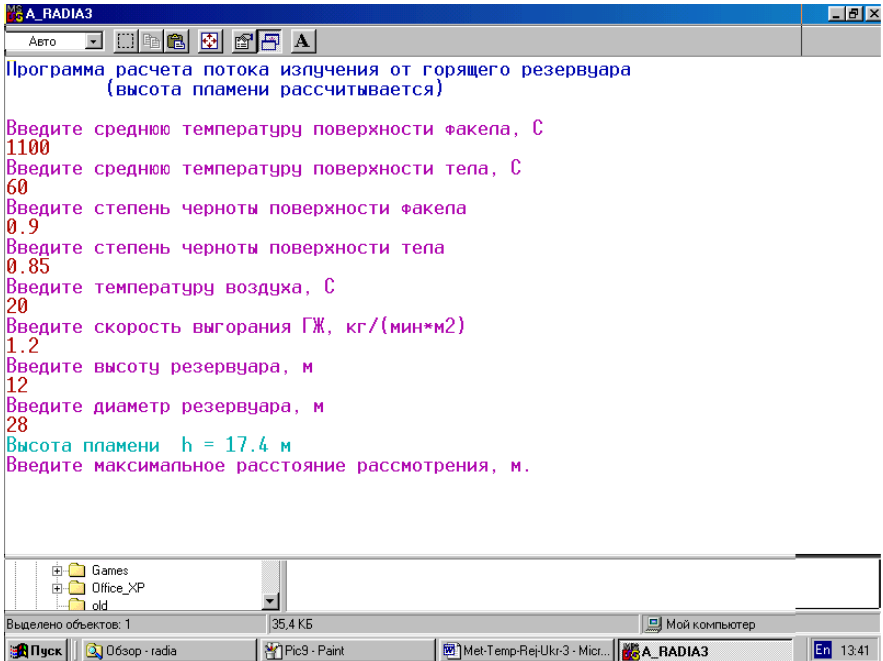


Рис. 5.4. Головне вікно програми

В представленому вікні вводяться основні дані про умови розвитку пожежі та про умови теплового випромінювання, на які потрібно відповісти:

1. Середня температура поверхні факелу, $^{\circ}\text{C}$;
2. Середня температура поверхні тіла, $^{\circ}\text{C}$;
3. Ступінь чорноти поверхні факелу;
4. Ступінь чорноти поверхні тіла;
5. Середня температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;
6. Швидкість вигорання горючої рідини, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
7. Висота резервуара, м;
8. Діаметр резервуара, м.

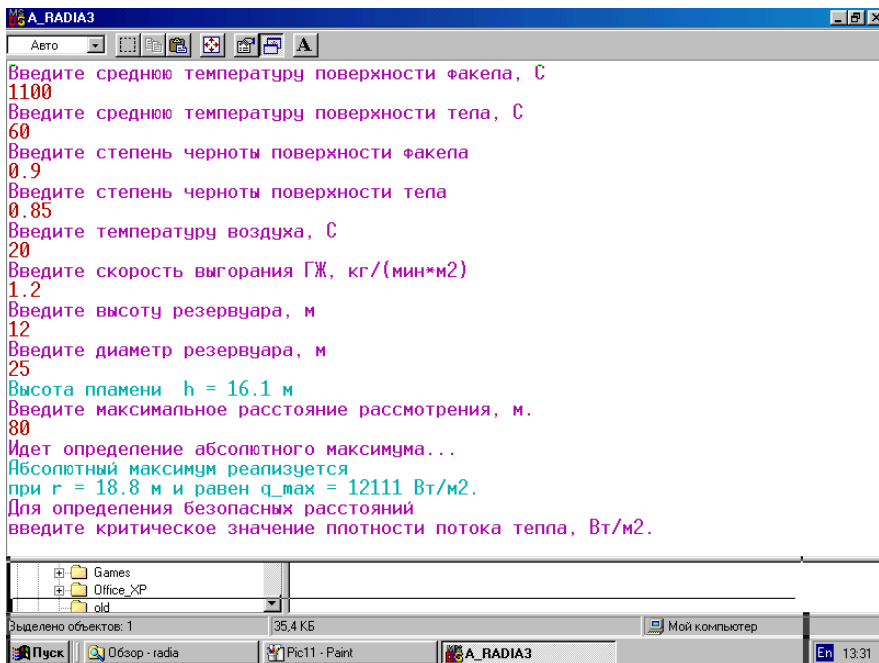


Рис. 5.5. Головне вікно програми

Висота полум'я розраховується автоматично, при цьому у вікні з'являється повідомлення:

Высота пламени $h =$ м.

Надалі знов виводиться запитання, на яке необхідно дати відповідь: "Уведіть максимальну відстань розгляду, м". Після введення максимальної відстані, на якій розглядається теплове випромінювання, з'являється повідомлення (рис.5.5):

Идет определение абсолютного максимума.

Абсолютный максимум реализуется

при $r = 19.6$ м и равен $q_{\text{max}} = 10221$ Вт/м².

Після видачі повідомлення знов виводиться запитання:

Для определения безопасных расстояний введите критическое значение плотности потока тепла, Вт/м².

Для введення значення щільності необхідно вибрати необхідний ступінь захисту особового складу від теплового випромінювання та відповідну щільність потоку. При цьому необхідно вводити значення в Вт.

В результаті проведення остаточних розрахунків з'являється повідомлення:

Идет определение безопасных расстояний.

1 $r_{кр1} = 9.9$ м

2 $r_{кр2} = 38.9$ м

Отримані значення вказують відстань, ближче до якої або далі від якої щільність теплового випромінювання не перевищує граничних позначок.

Для отримання графічного відображення результатів розрахунку необхідно з клавіатури ввести "Enter", після чого на монітор буде виведено графік розподілу теплового випромінювання в залежності від відстані від резервуара (рис. 5.6).

При пересуванні маніпулятором "миша" в правому верхньому куту відображається відстань та фактичне значення теплового випромінювання.

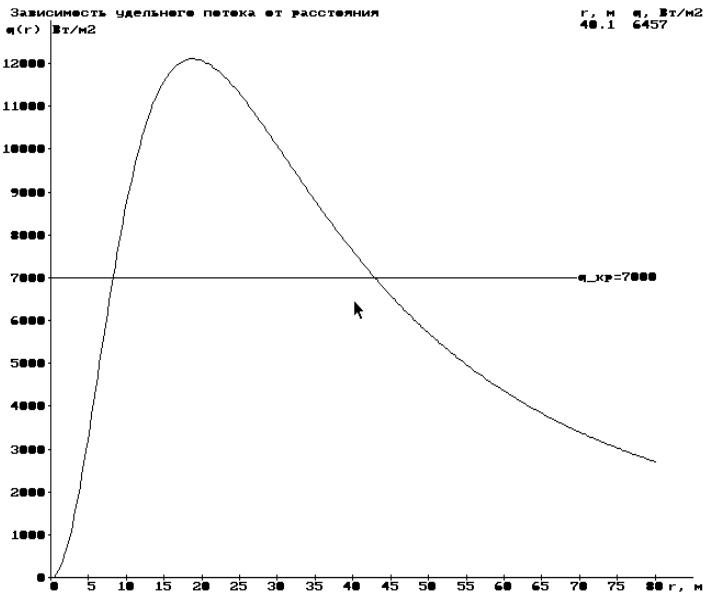


Рис. 5.6. Результаты - график распределения теплового излучения

ДОДАТКИ

Додаток 1

Витрата повітря та питомий об'єм продуктів згоряння при горінні деяких речовин та матеріалів за нормальних умов

Горюча речовина, матеріал	Витрата повітря для повного згоряння, v_n^0 , кг/м ³	Питомий об'єм продуктів згоряння, $v_{n.z}^0$, кг/м ³	Коефіцієнт повноти згоряння (хімічного недопалу)
1	2	3	4
Акрилова кислота	4,44	5,08	0,97
Аміак	4,70	5,68	0,97
Амілацетат	7,80	8,56	0,93
Аміловий спирт	9,10	10,00	0,93
Анілін	8,90	9,34	0,93
Ацетилен	10,25	10,70	0,85
Ацетон	7,35	8,14	0,93
Бавовна та вироби з неї	3,95	4,64	0,97
Бензин	11,60	12,35	0,85
Бензол	10,25	10,70	0,85
Бітум	9,45	10,39	0,93
Бутан	11,94	12,91	0,85
Бутилацетат	7,35	8,14	0,93
Бутиловий спирт	8,64	9,52	0,93
Водень	26,60	32,20	0,85
Гас	11,36	12,29	0,85
Гексан	11,79	12,71	0,85
Гліцерин	4,06	4,90	0,97
Деревина при вологості, %			
10	4,20	4,96	0,97
20	3,74	4,42	0,97
30	3,54	3,99	0,97
Дизельне пальне	11,50	11,95	0,93
Діетиловий ефір	8,65	9,55	0,93
Капролактам	7,76	8,54	0,93
Каучук природний	10,00	10,75	0,90
Каучук синтетичний СК	10,16	10,82	0,85
Кіноплівка			
з нітроцелюлози	3,62	4,32	0,97

1	2	3	4
з триацетату	4,34	4,97	0,97
Мазут	11,30	11,86	0,85
Метан	13,32	14,72	0,85
Метиловий спирт	4,99	6,06	0,85
Нафта	11,80	11,86	0,85
Папір	3,95	4,64	0,97
Пентан	11,85	12,78	0,85
Поліпропілен	11,42	12,22	0,85
Полістирол	10,25	10,68	0,85
Поліуретан	6,00	6,55	0,93
Скипидар	10,96	11,63	0,85
Стирол	11,85	10,68	0,85
Толуол	10,46	11,94	0,85
Торф при вологості, %			
10	5,01	5,66	0,93
20	4,54	5,14	0,97
30	3,96	4,62	0,97
Бавовна та вироби з неї	3,95	4,64	0,97
Етиловий спирт	6,95	7,94	0,93
Етиленгліколь	4,16	5,06	0,97

**Потрібний захист та граничний час перебування людей у зонах
теплового опромінювання**

Щільність теплового опромінювання, Вт/м²	Граничний час перебування людей, хв.	Потрібний захист особового складу	Ступінь теплового впливу на шкіряний покрив людини
3000	не обмежується	без захисту	більшові відчуття відсутні
4200	не обмежується	у бойовому одязі та в касці з захисним склом	нестерпні більшові відчуття через 20 с
7000	5	у бойовому одязі та в касці з захисним склом	нестерпні більшові відчуття виникають миттєво
8500	5	у бойовому одязі, що змоченому водою, та в касці з захисним склом	опіки через 20 с
10500	5	у бойовому одязі та в касці з захисним склом під захистом водяних струменів або водяних завіс	миттєві опіки
14000	5	в тепловідбивних костюмах під захистом водяних струменів або водяних завіс	миттєві опіки
85000	1	в тепловідбивних костюмах з засобами індивідуального захисту під захистом водяних струменів, або водяних завіс	миттєві опіки

**Лінійна швидкість поширення горіння при пожежах
на різних об'єктах, м/хв.**

Будівлі, споруди, речовини та матеріали	Швидкість	
	<i>min</i>	<i>max</i>
1	2	3
Адміністративні будівлі	1,0	1,5
Бібліотеки, книгосховища, архівосховища	0,5	1,0
Деревообробні підприємства:		
- лісопилільні цехи (будівлі I; II; III ступеня вогнестійкості)	1,0	3,0
- те ж, будівлі IV і V ступеня вогнестійкості	2,0	5,0
- сушарки	2,0	2,5
- заготівельні цехи	1,0	1,5
- виробництва фанери	0,8	1,5
- приміщення інших цехів	0,8	1,0
Житлові будинки	0,5	0,8
Коридори і галереї	4,0	5,0
Кабельні спорудження (горіння кабелів)	0,8	1,1
Лісові масиви (швидкість вітру 7...10 м/с і вологість 40 %):		
- сосняк сфагновий		до 1,4
- сосняк - зеленомошник (ягідник)		14,2
- сосняк - бор-біломошник		18,9
- ялиник - долгомошник і зеленомошник		4,2
Рослинність, лісова підстилка, підріст деревостою при верхівкових пожежах і швидкості вітру, м/с:		
- 8 ÷ 9		42
- 10 ÷ 12		83
Те ж, по крайці на флангах і в тилу при швидкості вітру, м/с;		
- 8 ÷ 9	4	7
- 10 ÷ 12	8	14
Музеї і виставки	1,0	1,5
Об'єкти транспорту:		
- гаражі, трамвайні і тролейбусні депо	0,5	1,0
- ремонтні зали ангарів	1,0	1,5
Морські і річкові судна:		
- спалення надбудова при внутрішній пожежі	1,2	2,7
- те ж, при зовнішній пожежі	2,0	6,0
- внутрішні пожежі за наявності синтетичної обробки і відкритих прорізів	1,0	2,0
Пінополіуретан	0,7	0,9
Підприємства текстильної промисловості:		

1	2	3
- приміщення текстильного виробництва	0,5	1,0
- те ж, за наявності на конструкціях шару пилу	1,0	2,0
- волокнисті матеріали в розпушеному стані	7,0	8,0
- спаленні покриття цехів великої площі	1,7	3,2
- спаленні конструкції дахів і горищ	1,5	2,0
- льоноволокна	3,0	5,6
- текстильні вироби	0,3	0,4
- папір в рулонах	0,2	0,3
Гумотехнічні вироби у будівлях	0,4	1,0
Гумотехнічні вироби (штабелі на відкритій площадці)	1,0	1,2
Каучук	0,6	1,0
Лісопиломатеріали:		
- круглого лісу в штабелях	0,4	1,0
- пиломатеріалів (дощок) у штабелях при вологості, %:		
до 16	4,0	
16-18	2,3	
18-20	1,6	
20-30	1,2	
більше 30	1,0	
- куп балансової деревини при вологості, %		
до 40	0,6	1,0
більше 40	0,15	0,2
Сушильні відділення кожзаводів	1,5	2,2
Сільські населені пункти:		
- житлова зона при щільній забудові будинками V ступеня вогнестійкості при сухій погоді і сильному вітрі	20	25
- солом'яні дахи будинків	2,0	4,0
- підстилка у тваринницьких приміщеннях	1,5	4,0
Театри і Палаці культури (сцени)	1,0	3,0
Торгові підприємства, склади і бази товарно-матеріальних цінностей	0,5	1,2
Друкарні	0,5	0,8
Фрезерний торф (на нулях видобутку) при швидкості вітру, м/с:		
10 -14	8,0	10
18 - 20	18	20
Торф в штабелях	0,8	1,0
Холодильники	0,5	0,7
Школи, лікувальні установи:		
- будинки I і II ступеня вогнестійкості	0,6	1,0
- III і IV	2,0	3,0

**Середня швидкість вигорання деяких твердих матеріалів, нижча
теплота згоряння їх і теплота пожежі (без впливу вітру)**

Горючий матеріал	Швидкість вигорання, кг/(м ² ·хв.)	Теплота	
		згоряння, кДж/кг	пожежі, кДж/(м ² ·хв.)
1	2	3	4
Папір розпушений	0,636	13400	8300
Волокно штапельне розпушене	0,54	13800	7209
Деревина у виробках (вологість 8-10%)	1,11	13800	14790
Деревина в штабелях (пилотеріали висотою шару 4-8 м, при щільності укладання 0,2-0,3 і вологості 12-14 %)	6,40	16600	13809
Карболітові вироби	0,33	24900	8390
Каучук:			
- синтетичний	0,72	49200	24600
- натуральний	1,08	42390	36 298
Книги на стелажах	0,438	13 499	5709
Органічне скло	1,14	25109	25790
Пінополіуретан	0,90	24309	20 39
Полістирол	1,14	39099	37890
Поліпропілен (у виробках)	0,87	45699	27399
Поліетилен (у виробках)	0,62	47100	24800
Гумотехнічні вироби	0,90	33500	27 100
Торфоплити у штабелях (вологість 9 ÷ 12 %)	0,318	-	-
Торф у караванах (вологість 40%)	0,24	11 300	2600
Фенопласти	0,48	-	-
Бавовна розпушена	0,318	15 700	4800

**Середня швидкість вигорання деяких рідин у резервуарах. Нижча
теплота згорання і теплота пожежі (без впливу вітру)**

Горючі рідини	Швидкість			Теплота	
	вигорання,		прогріву шару, см/хв	згорання, кДж/кг	пожежі, кДж/(м ² ·хв.)
	кг/(м ² ·хв.)	см/хв			
Аміловий спирт	1,05	0,13		39000	38100
Ацетон	2,832	0,33		20000	52700
Бензин	2,93	0,50	1,20	41900	105000
Бензол	2,298	0,50		40900	79200
Бутилів спирт	0,81	0,11		36200	27300
Гасн	2,298	0,40		43500	85000
Дизельне паливо	3,30	0,33		43000	120600
Діетиловий ефір	3,60	0,50	0,57	33500	112000
Етиловий спирт	1,80	0,25		27200	45500
Мазут	2,10	0,17	0,50	39800	67700
Метиловий спирт	0,96	0,12	0,55	22700	21200
Нафта	1,20	0,23	0,50	41900	42800
Сіровуглерод	2,22	0,17		14100	26600
Толуол	2,298	0,33		41000	80100

Орієнтовна температура пожежі при горінні різноманітних матеріалів

Горючі матеріали	Пожежне навантаження, кг/м ²	Температура пожежі, °С
Папір розпушений	25	370
Те ж саме	50	510
Деревина соснова в огороженні	25	830
Те ж саме	50	900
Те ж саме	100	1000
на відкритій місцевості у штабелях	600	1300
Карболітові вироби	25	530
Те ж саме	50	640
Кам'яний вугіль, брикети		До 1200
Калій металевий		700
Каучук натуральний	50	1200
Магній, електрон		До 2000
Натрій металевий		660
Органічне скло	28	1105
Полістирол	25	1100
Те ж саме	50	1350
Текстоліт	25	700
Те ж саме	50	850
Бавовна розпушена	50	310

Температура полум'я при горінні деяких речовин і матеріалів

Речовина і матеріал	Температура полум'я, °С
Ацетилен (в кісні)	3100 - 3300
Ацетилен (в повітрі)	2150...2200
Водень	2130
Газонафтовий фонтан в резервуарах	до 1100
Деревина	700 - 1000
Електрон, магній	Біля 3000
Метан	1950
Нафта і нафтопродукти	1100 - 1300
Парафін	1430
Сіра	1820
Сірковуглець	2195
Спирт	900 - 1200
Стеарин	640 - 940
Терміт	3000
Торф	770 - 790
Целулоїд	1100 - 1300

ЛІТЕРАТУРА

1. Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н. Термогазодинамика пожаров в помещениях. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
2. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров. Пер. с английского.: – М.: Стройиздат, 1990. – 421 с.
3. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М.: Академия ГСП МВД России, 2000. – 118 с.
4. McGrattan, K.B. and G.P. Forney. „Fire Dynamics Simulator: User's Guide.” NISTIR 6469. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2000.
5. Рябова І.Б., Сайчук І.В., Шаршанов А.Я. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі. – Харків: АПУ, 2002. – 352 с.
6. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288с.
7. Деревянко И.Г., Сенчихин Ю.Н. Расчет температурного режима и газообмена при пожаре в ограждении. Методические указания для курсантов учебных заведений МВД Украины. – Харьков: ХИПБ, 1996. – 21 с.
8. Романенко И.М., Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. – М.: ВИПТШ МВС СРСР, 1977. – 415 с.
9. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
9. Задачник по термодинамике и теплопередаче в пожарном деле. Под редакцией к.т.н. доцента М.П. Башкирцева. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1979. – 318 с.

<http://nuczu.edu.ua/>

АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

І.Г. Дерев'янку, Ю.М. Сенчихін, А.Я. Шаршанов

**ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ
ПОЖЕЖІ**

Практичний посібник

Харків 2006

Рецензенти: С.Б. Харитонов - начальник управління рятувальних сил ГУ МНС України в Харківській області, полковник внутрішньої служби
О.В. Тарахно - начальник кафедри процесів горіння АЦЗ України, підполковник внутрішньої служби, кандидат технічних наук, доцент

Визначення та прогнозування небезпечних факторів пожежі: Практичний посібник / Дерев'яно І.Г., Сенчихін Ю.М., Шаршанов А.Я. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 68 с.

В практичному посібнику викладено методики визначення температурного режиму пожежі в огорожі аналітично-розрахунковим методом, графічно-аналітичним, з використанням комп'ютерного моделювання, визначення площини нейтральної зони при пожежі в приміщенні та визначення теплового опромінювання при пожежі на відкритому просторі як аналітичним методом так і за допомогою комп'ютерних програм. Представлено приклади розв'язання задач за даними методиками.

Для курсантів, студентів та слухачів навчальних закладів МНС України, практичних працівників пожежно-рятувальних підрозділів служби цивільного захисту МНС України, а також може бути корисним викладачам навчальних закладів МНС України.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ГЛАВА 1. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕМПЕРАТУРУ ПОЖЕЖІ	5
ГЛАВА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ	7
2.1 Методика визначення температурного режиму пожежі аналітично- розрахунковим методом.....	7
2.2 Приклад розв'язанні задач з визначенню температурного режиму в приміщенні розрахунком	13
2.2.1 Приклад №1- розрахунок температурного режиму пожежі при горінні рідини.....	13
2.2.2 Приклад №2 – розрахунок температурного режиму пожежі при горінні твердих горючих матеріалів	24
2.3 Методика визначення температурного режиму пожежі графічно- аналітичним методом	35
2.3.1 Методика визначення температурного режиму пожежі з використанням номограм.....	35
2.3.2 Приклад №3 – розрахунок температурного режиму пожежі з використанням номограм.....	37
ГЛАВА 3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	40
ГЛАВА 4. ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПОВІТРЯНОГО ОБМІНУ ПРИ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ.....	46
4.1 Методика визначення площі нейтральної зони при пожежі в приміщенні	46
4.2 Приклад №4 – визначення площі нейтральної зони при пожежі в приміщенні	48
ГЛАВА 5. ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПОЖЕЖІ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ.....	50
5.1 Методика визначення теплового опромінювання при пожежі на відкритому просторі	50
5.2 Приклад №5 – розрахунок теплового випромінювання та безпечних відстаней при пожежі на відкритому просторі	53
5.3 Розрахунок теплового випромінювання з використанням програмного продукту“А-radia2” “А-radia3”	56
ДОДАТКИ.....	59
ЛІТЕРАТУРА.....	68

ВСТУП

Як відомо, будь-яка пожежа супроводжується багатьма явищами і факторами, які впливають на розвиток пожеж та організацію бойових дій пожежно-рятувальних підрозділів МНС України.

Серед небезпечних факторів пожеж виділяються такі, як дія відкритого полум'я, підвищена температура, вплив продуктів горіння та багато інших, якими визначається можлива обстановка на пожежі. Усі відомі фактори і явища, що відбуваються на пожежі, залежать від оперативної тактичної характеристики об'єктів, горючого навантаження, тобто властивостей речовин і матеріалів. Оперативний склад пожежно-рятувальних підрозділів, що виступає у ролі керівника гасіння пожежі, повинен аналізувати та прогнозувати показники розвитку пожежі, особливо такі, як температурний режим та газообмін.

Дійсно, керівник гасіння пожежі під час розвідки, при визначенні вирішального напрямку бойових дій та розрахунку необхідної кількості сил і засобів на підставі знань та практичних навичок прогнозує, як пожежа розвиватиметься, на які площі, що сприяє її розвитку, куди направляти стволицивків, які засоби гасіння і захисту особового складу та техніки слід застосовувати. Тобто, щоб прийняти вірні рішення з організації гасіння пожежі, будь-який керівник, що прибув на пожежу, повинен вміти прогнозувати небезпечні фактори та дію різноманітних явищ, щоб забезпечити успіх гасіння пожежі, тобто виконання основного бойового завдання.

Даний посібник враховує відомі методики визначення температурного режиму та газообміну на пожежах і, зокрема, за допомогою особисто комп'ютерних програм, які можна використовувати безпосередньо під час здійснення бойових дій, а також при розробці оперативних документів, планів пожежогасіння, тактичних задумів для проведення тактичних навчань. Усе це надає можливість практичним працівникам, курсантам і слухачам навчальних закладів МНС вірно застосовувати аналітичні методики, номограми, комп'ютерні програми при вирішенні питань щодо підготовки та організації гасіння пожеж у різноманітних умовах та обстановці.

Методики та представлені програмні продукти з прогнозування небезпечних факторів пожежі рекомендовано використовувати курсантам та слухачам навчальних закладів МНС під час курсового та дипломного проєктування.

ГЛАВА 1. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕМПЕРАТУРУ ПОЖЕЖІ

Для вирішення питань із забезпечення пожежної безпеки, а також під час організації гасіння різноманітних пожеж необхідно вміти прогнозувати їх розвиток. Результати прогнозу безпосередньо впливають на процес прийняття рішень керівником гасіння пожежі. Прогнозування розвитку пожежі передбачає використання методів розрахунку параметрів, що характеризують процес горіння на пожежі.

Основні явища, що супроводжують пожежу, - це процеси горіння, газо- і теплообміну та інші. Вони змінюються в часі та просторі.

Процес горіння горючих речовин та матеріалів на пожежі представляє собою низку хімічних процесів та перетворень, що супроводжуються виділенням тепла, випромінюванням та утворенням великої кількості газоподібних продуктів горіння.

Одним з головних параметрів, що характеризує процес горіння, є *інтенсивність виділення тепла при пожежі*.

Інтенсивність виділення тепла - це величина, що дорівнює кількості тепла, що виділяється при пожежі за одиницю часу. Вона визначається масовою швидкістю вигорання речовин і матеріалів та їхньою теплоотою згорання. В загальному вигляді інтенсивність виділення тепла на пожежі можна визначити за формулою:

$$Q_n = \eta \cdot v_m \cdot S_{\text{пож}} \cdot Q_n^p, \quad (1)$$

де η - коефіцієнт повноти згорання; v_m - масова швидкість вигорання речовини, кг/(м²·с); $S_{\text{пож}}$ - площа пожежі, м²; Q_n^p - нижча робоча теплота згорання, кДж/кг.

Тепловиділення при пожежі сприяє її поширенню, викликає підвищення температури, деформацію конструкцій і т.п.

Основними умовами горіння є: наявність горючої речовини, надходження окислювача в зону хімічних реакцій і безперервне виділення тепла, необхідного для підтримки горіння. Основна частка енергії, що виділяється в ході хімічної реакції, витрачається на нагрів продуктів горіння та теплове випромінювання.

Температура - це ступінь нагріву речовини; у випадку горіння речовин та матеріалів температурою горіння вважається ступінь нагріву продуктів горіння. В загальному вигляді температура горіння визначається за формулою:

$$T_{\text{гор}} = \frac{Q_n}{C_p \cdot v_{n.z.}} + 273. \quad (2)$$

Температура горіння речовин та матеріалів є досить специфічним показником, який впливає на вибір вогнегасних засобів, прийомів та способів гасіння пожежі. Температура горіння є вирішальним фактором, від якого залежить температура пожежі.

Виходячи з умов розвитку пожеж, визначають температуру пожежі в огороженні та на відкритому просторі. Температура пожежі на відкритому просторі - це температура в зоні горіння (температура полум'я). Під температурою пожежі в огороженні розуміють середньооб'ємну температуру газового середовища в приміщенні.

Тепловий вплив на конструкції може призвести до їх руйнування, обвалення та загибелі людей. Температурний режим пожежі впливає на працездатність організму людини, що обумовлює організацію роботи особового складу підрозділів з гасіння пожеж. На практиці проводять прогнозування можливого температурного режиму пожежі на підставі особистого досвіду або розрахунком.

Середньооб'ємна температура в приміщенні є функцією адіабатичної температури горіння, площі пожежі та масової швидкості вигорання речовини, часу розвитку пожежі та умов теплообміну між зоною горіння та будівельними конструкціями приміщення.

Середньооб'ємну температуру пожежі можна визначити з використанням розрахункової методики, спеціальної номограми та за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення.

ГЛАВА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

2.1 Методика визначення температурного режиму пожежі аналітично-розрахунковим методом

В основі розрахунку температури пожежі в огороженні - визначення умов теплового балансу процесу тепловиділення на пожежі, процесу нагріву продуктів згоряння та теплопередачі випромінюванням в бік конструкцій, що огорожують приміщення.

Середньооб'ємна температура пожежі в огороженні визначається як добуток адіабатичної температури горіння T_{ad} на безрозмірний коефіцієнт, який враховує втрати тепла на нагрівання конструкцій, що огорожують, і втрати тепла теплопровідністю:

$$T_{\tau} = \Theta T_{ad} . \quad (3)$$

Безрозмірний коефіцієнт Θ визначається як відношення критерію Больцмана - Bo до критерію Нуссельта - Nu .

Критерій Больцмана Bo характеризує частку тепла, що передається продуктами горіння поверхням, що приймають тепловий потік у процесі променистого теплообміну. Критерій Нуссельта Nu характеризує співвідношення між теплом, переданим конвекцією, і теплопровідністю:

$$\Theta = \frac{0.7 Bo^{0.17}}{Nu^{0.01}} . \quad (4)$$

З огляду на, те що процес відведення тепла теплопровідність конструкцій, що приймають тепловий потік, на початковому етапі пожежі незначний, умову (4) приймають як:

$$\Theta = 0,66 Bo^{0.17} . \quad (5)$$

Виходячи з цього середньооб'ємна температура середовища в приміщенні при пожежі в будь-який момент часу визначається за формулою:

$$T_{пож} = 0,66 T_{ad} \left(\frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot \nu_m \cdot C_p \cdot \nu_{n2}}{60 \cdot \sigma_0 \cdot \epsilon_{нр} \cdot S_{огр} \cdot T_{ad}^3} \right)^{0.17} , \quad (6)$$

де $S_{пож}$ - площа горіння, м²; σ_0 - постійна Больцмана, $5,76 \cdot 10^{11}$ кВт/(м²·К); $S_{огр}$ - загальна площа огорожуючих конструкцій, м²; η -

коефіцієнт повноти горіння; v_m - масова швидкість вигорання, кг/(м²·хв); v_{nz} - питомий об'єм продуктів горіння, необхідний для повного згорання, м³/кг; $\epsilon_{пр}$ - приведений ступінь чорноти; C_p - теплоємність продуктів горіння, кДж/(м³·К).

У спрощеному вигляді вираз (7) буде таким:

$$T_{пож} = 18,1 \cdot T_{ад} \left(\frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot v_m \cdot C_p \cdot v_{nz}}{\epsilon_{пр} \cdot S_{озр} \cdot T_{ад}^3} \right)^{0,17} . \quad (7)$$

Розрахунок температурного режиму пожежі в огороженні здійснюється методом поступового наближення за наступною методикою:

1. Визначаються параметри, що характеризують особливості горіння речовини та розвитку пожежі:

- u_m – масова швидкість вигорання, кг/(м²·хв);
- Q_n^p - нижча робоча теплота згорання речовини, кДж/кг;
- $v_{n,z}^0$ - питомий теоретичний об'єм продуктів згорання для горючої речовини, м³/кг;
- $v_{n,-}^0$ - питома теоретична витрата повітря для повного згорання речовини, м³/кг;
- η - коефіцієнт хімічного недопалу речовини;
- v_l - лінійна швидкість поширення горіння, м/хв.

2. Визначення параметрів розвитку пожежі на встановлений час її розвитку: $R_{пож}(t)$ - радіус розвитку пожежі; геометрична форма розвитку пожежі; $S_{пож}(t)$ - площа пожежі.

3. Визначається загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{прит}$.

При визначенні площі отворів, крізь які здійснюється повітрообмін у приміщенні, вважається, що повністю розкриваються отвори, що потрапили в зону горіння, або при підвищенні середньооб'ємної температури вище 250⁰С. Повітрообмін може відбуватися за двома основними схемами.

Перша схема повітрообміну, при якій повітряний обмін здійснюється крізь один отвір або отвори однакового розміру, що розташовані на одному рівні; при цьому третина площі отвору $S_{прит}$, що знаходиться у нижній частині, працює на всмоктування свіжого повітря, а остання частина отвору - на викид продуктів горіння з приміщення:

$$S_{прит} = \frac{S_{отв}}{3} , \quad (8)$$

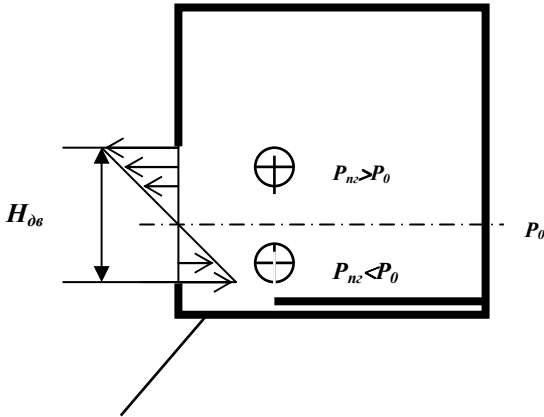


Рис. 2.1. Перша схема повітряного обміну

При розташуванні отворів на різних рівнях (наприклад, відкриті двері та світлові ліхтарі або димові люки в приміщеннях) відбувається повітрообмін за другою схемою. При цьому на всмоктування працюють отвори, що знаходяться у нижній частині приміщення, а світлові ліхтарі та димові люки працюють на викид продуктів горіння з приміщення.

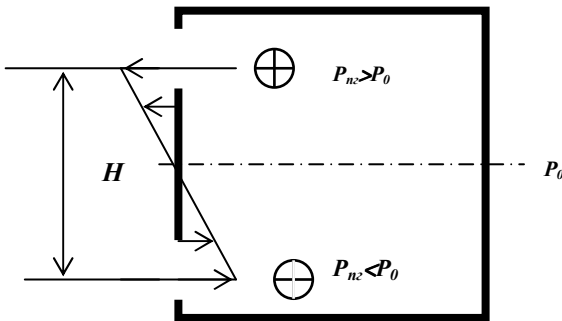


Рис.2.2. Друга схема повітряного обміну

4. Визначається коефіцієнт надлишку повітря з використанням номограми

Коефіцієнт надлишку повітря можна визначити за номограмою (рис.2.3) в залежності від питомої теоретичної витрати повітря, площі притоку, площі пожежі та загальної площі приміщення.

4.1. Визначається номер кривої для визначення коефіцієнта надлишку повітря за співвідношенням площі притоку $S_{прит}$ та площі пожежі $S_{пож(ж)}$.

Таблиця 2.1

$S_{прит}/S_{пож(ж)}$		Номер кривої
до 1/24	до 0,042	крива № 1
від 1/24 до 1/18	від 0,042 до 0,056	крива № 2
від 1/18 до 1/10	від 0,056 до 0,1	крива № 3
від 1/10 до 1/6	від 0,1 до 0,167	крива № 4
від 1/6 до 1/4	від 0,167 до 0,25	крива № 5
від 1/4 до 1/3	від 0,25 до 0,33	крива № 6

4.2. Визначається тип кривої за значенням відношення площі пожежі $S_{пож(ж)}$ та площі підлоги приміщення $S_{підл}$.

Таблиця 2.2

$S_{пож(ж)}/S_{підл}$		Тип кривої
до 1/4	до 0,25	пунктирна крива -----
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива _____

4.3. Визначається коефіцієнт надлишку повітря за номограмою наступним порядком:

- від осі v_n^0 - питомої теоретичної витраті повітря проводиться перпендикуляр до перетинання з визначеною кривою;
- отримана позначка переноситься на ось α_n коефіцієнта надлишку повітря; це значення і показує надлишок повітря при розвитку пожежі в приміщенні.

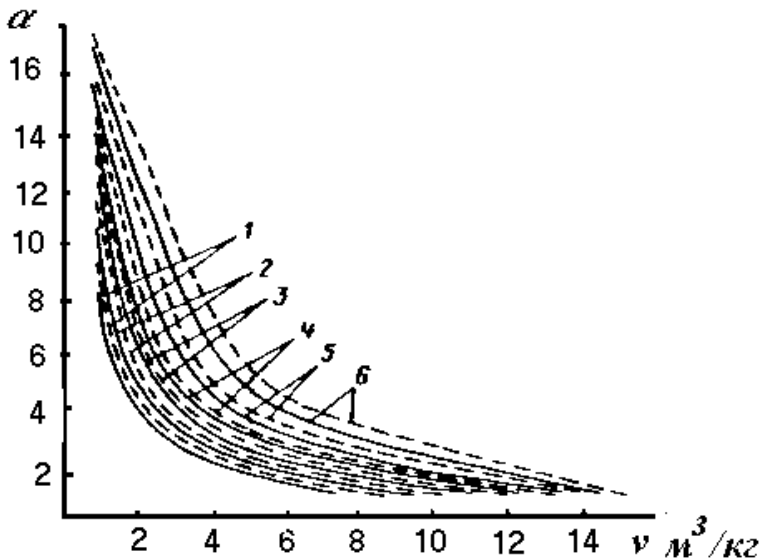


Рис. 2.3. Номограма для визначення коефіцієнта надлишку повітря

5. Проводиться розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння в залежності від умов повітряного обміну:

$$v_{n.z.i} = v_{n.z.}^0 + v_n^0(\alpha_{n.i} - 1) . \quad (9)$$

6. Визначається масова швидкість вигорання речовини. Масова швидкість вигорання залежить від часу розвитку пожежі та визначається за формулою:

$$u_{mi} = u_m^0 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{\tau_i}{30}} \right) , \quad (10)$$

де τ_i - час розвитку пожежі, хв.

7. Визначається об'ємна теплоємність середовища в приміщенні.

Питома об'ємна теплоємність середовища залежить від складу продуктів горіння та їх температури. Для визначення питомої теплоємності продуктів горіння необхідно попередньо задатися температурою пожежі у першому наближенні t_i на обраний час її розвитку.

Температура пожежі у першому наближенні вибирається виходячи з досвіду роботи.

Питома об'ємна теплоємність продуктів горіння визначається за формулою:

$$C_{pi} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + \alpha_{n,i}} \right) \frac{(t_i + 273)}{1000} . \quad (11)$$

8. Визначається приведений ступінь чорноти системи “полум`я-поверхня будівельних конструкцій” за формулою:

$$\epsilon_{np,i} = \frac{1}{1 + 0,0022 t_i} . \quad (12)$$

9. Визначається повна поверхня теплообміну. Повна поверхня конструкцій $S_{огор}$ визначається як сума поверхні стін, підлоги і стелі. Площу конструкцій, що огорожують приміщення, можна визначити за формулою:

$$S_{огор} = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h), \quad (13)$$

де a, b, h - довжина, ширина і висота приміщення, м.

10. Визначається адиабатична температура горіння. Адиабатичну температуру горіння можна розрахувати за формулою:

$$T_{ад,i} = \frac{\eta \cdot Q_n^p}{C_{p,i} \cdot \nu_{n,i}} + 273 . \quad (14)$$

11. Визначається середньооб'ємна температура в приміщенні на встановлений час розвитку пожежі. Середньооб'ємну температуру середовища в приміщенні визначають за формулою (7).

Задача з визначення середньооб'ємної температури пожежі вирішується методом поступового наближення, тому після визначення середньооб'ємної температури пожежі на заданий момент розвитку $t_{пож,i}$ ($^{\circ}C$) необхідно порівняти отримані результати з попередньо заданими значеннями температури t_i .

Якщо обране значення відрізняється від розрахованого більш ніж на 10 відсотків, то проводять повторний розрахунок. При цьому отримане значення середньооб'ємної температури пожежі $t_{пож,i}$ приймають як температуру середовища для визначення теплоємності і приведенного ступеня чорноти полум`я.

12. Проводиться визначення температури в заданій точці приміщення.

12.1. Визначаються координати точок обраних місць визначення температури пожежі x_i та y_i . Початок відліку приймається від геометричного центру (осередку) пожежі.

12.2. Визначається температура в заданих точках виміру за формулою:

$$T_{x,y,i} = T_{\text{пож},i} \left(0,8 + 0,2 \frac{y_i}{y_0} \right) \left(1,33 - \frac{x_i}{2x_i + x_0} \right), \quad (15)$$

де x_0 і y_0 - умовні координати, взяті як половина висоти приміщення і половина відстані від центру пожежі до огорожуючих конструкцій. При розвитку пожежі в центрі приміщення $y_0 = 0,5 \text{ h}$, а $x_0 = 0,25 \text{ l}$.

2.2 Приклад розв'язання задач з визначенню температурного режиму в приміщенні розрахунком

2.2.1 Приклад №1- розрахунок температурного режиму пожежі при горінні рідини.

Умови:

Визначити температурний режим пожежі, температуру над осередком пожежі та у центрі дверного отвору при пожежі в насосній станції з перекачування темних нафтопродуктів на 3, 7, 12 та 20 хвилині її розвитку. Розміри будівлі 24·18·9 м., 3 віконних прорізи розмірами 0,7·2 м та дверний проріз розмірами 2·4 м. Відбувається горіння мазуту в прямку розмірами 4·3 м. Розташування осередку пожежі та отворів показано на плані (рис.2.4).

Рішення:

1. Визначаємо параметри, що характеризують особливості горіння мазуту:

- масова швидкість вигорання $u_m = 2,10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
- нижча робоча теплота згорання мазуту $Q_{n,p} = 39800 \text{ кДж}/\text{кг}$;
- питома теоретична витрата повітря $v_{n,0}^0 = 11,30 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- питомий теоретичний об'єм продуктів згорання $v_{n,z}^0 = 11,86 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- коефіцієнт хімічного недопалу мазуту $\eta = 0,85$.

Лінійну швидкість поширення горіння по поверхні мазуту не визначаємо, виходячи з умов, що вся поверхня його буде охоплена горінням з самого початку пожежі, а площу розливу рідини обмежено площею прямоку.

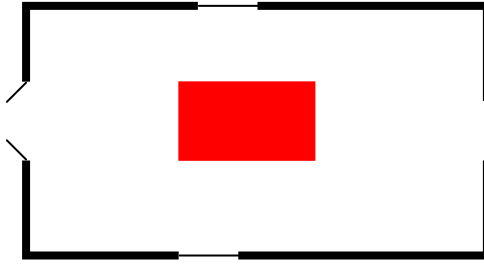


Рис.2.4. Схема розвитку пожежі в приміщенні насосної

2. Визначаємо параметри розвитку пожежі на третій хвилині її розвитку. Протягом часу розвитку пожежі площа пожежі буде постійною, оскільки вона обмежена площею прямоку:

$$S_{\text{пож}} = a \cdot b = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на третій хвилині розвитку пожежі.

Виходячи з умов розвитку пожежі, приймаємо, що на третій хвилині розвитку повітрообмін здійснюється через відкриті двері.

$$S_{\text{отв.1}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ м}^2.$$

Повітрообмін відбувається за першою схемою, тому приймаємо:

$$S_{\text{прит.1}} = \frac{S_{\text{отв}}}{3} = \frac{8}{3} = 2,7 \text{ м}^2 .$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит.1}}}{S_{\text{пож}}} = \frac{2,7}{12} = 0,225 \text{ або } \frac{1}{4,5} .$$

Таблиця 2.3

$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож.1}}$		Номер кривої
від 1/4 до 1/3	від 0,25 до 0,33	крива № 6

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{пож}}{S_{нідл}} = \frac{12}{24 \cdot 18} = \frac{12}{432} = 0,028 \text{ або } \frac{1}{36}.$$

Таблиця 2.4

$S_{пож,1}/S_{нідл}$		Тип кривої
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива

4.3. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за номограмою:

$$\alpha_{n1} = 2.$$

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$\begin{aligned} v_{n.z.1} &= v_{n.z.}^0 + v_n^0 (\alpha_{n.1} - 1) = \\ &= 11,86 + 11,30 * (2 - 1) = 23,16 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned}$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання мазуту на час розвитку пожежі:

$$u_{m1} = u_m^0 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{\tau_1}{30}} \right) = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{3}{30}} \right) = 1,09 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на певний час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температури пожежі у першому наближенні рівним $t_1 = 80^\circ \text{C}$. Тоді:

$$\begin{aligned} C_{p1} &= 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + \alpha_{n.1}} \right) \frac{(t_1 + 273)}{1000} = \\ &= 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(80 + 273)}{1000} = 1,308 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К}) \end{aligned}$$

8. Визначаємо приведенний ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{np.1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot t_1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 80} = 0,85.$$

9. Визначаємо повну площу поверхні конструкцій $S_{озор}$ будівлі насосної:

$$S_{озор} = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h) = 2(24 \cdot 18 + 24 \cdot 9 + 18 \cdot 9) = 1620 \text{ м}^2.$$

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння мазуту за визначених умов:

$$T_{ад.1} = \frac{\eta \cdot Q_{н}^p}{C_{p1} \cdot v_{н.г.1}} + 273 = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,308 \cdot 23,16} + 273 = 1389,8 \text{ К}.$$

11. Визначаємо середньооб'ємну температуру в приміщенні на третю хвилину розвитку пожежі:

$$T_{пож.1} = 18,1 \cdot T_{ад.1} \left(\frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot u_{т.г} \cdot C_{p.г} \cdot v_{н.г.г}}{\epsilon_{нр.г} \cdot S_{озор} \cdot T_{ад.г}^3} \right)^{0,17} =$$

$$= 18,1 \cdot 1389,8 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,09 \cdot 1,308 \cdot 23,16}{0,85 \cdot 1620 \cdot 1389,8^3} \right)^{0,17} = 494,1 \text{ К}$$

$$t_{пож.1} = T_{пож.1} - 273 = 494,1 - 273 = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_f = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ більше ніж на 10% відрізняється від отриманого значення $t_{пож.1} = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. тому проводимо повторний розрахунок середньооб'ємної температури пожежі. При цьому отримане значення середньооб'ємної температури пожежі $t_{пож.1}$ приймаємо як температуру середовища для визначення теплоємності і приведенного ступеня чорноти полум'я.

Проводимо повторний розрахунок температури пожежі на третій хвилині розвитку пожежі.

1. Визначаємо параметри розвитку пожежі на третій хвилині її розвитку.

Площа пожежі складає $S_{пож} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря: $S_{отв} = 8 \text{ м}^2$; $S_{нрпм} = 2,7 \text{ м}^2$.

3. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{н1} = 2$.

4. Питомий фактичний об'єм продуктів горіння $v_{н.г.1} = 23,16 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Масова швидкість вигорання мазуту $u_{м1} = 1,09 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$.

6. Теплоємності середовища.

Температура пожежі у першому наближенні $t_f = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Теплоємність середовища:

$$C_{p1} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(221,1 + 273)}{1000} = 1,331 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{пр.1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 221,1} = 0,67.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій складає $S_{озор} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад.1} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,331 \cdot 23,16} + 273 = 1371,2 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{пож.1} = 18,1 \cdot 1371,2 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,09 \cdot 1,331 \cdot 23,16}{0,67 \cdot 1620 \cdot 1371,2^3} \right)^{0,17} = 512,5 \text{ К}$$

$$t_{пож.1} = T_{пож.1} - 273 = 512,5 - 273 = 239,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_1 = 221,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_1 - t_{пож.1}}{t_1} = 100 \cdot \frac{221,1 - 239,5}{221,1} = -9,82\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10% його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у певних точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Координати точок обраних місць визначення температури пожежі.

Таблиця 2.5

Місце визначення температури	Координата x_i	Координата y_i
над осередком пожежі	$x_1 = 0 \text{ м}$	$y_1 = 9 \text{ м}$
у центрі дверного отвору	$x_2 = 12 \text{ м}$	$y_2 = 2 \text{ м}$

11.2. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = T_{\text{нож.1}} \left(0,8 + 0,2 \frac{y_1}{y_0} \right) \left(1,33 - \frac{x_1}{2x_1 + x_0} \right) =$$

$$= 512,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 817,2 \text{ K}$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 817,2 - 273 = 544,2^{\circ} \text{C}.$$

11.3. Визначасмо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x_2, y_2} = 512,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 382,1 \text{ K},$$

$$t_{x_2, y_2} = T_{x_2, y_2} - 273 = 382,1 - 273 = 109,1^{\circ} \text{C}.$$

Розраховуємо температуру пожежі на сьомій хвилині розвитку пожежі.

1. Визначаємо параметри розвитку пожежі на сьомій хвилині її розвитку.

Площу пожежі обмежено площею прямоку, тому $S_{\text{нож}} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{\text{оте}}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$.

Виходячи з того, що температура на даний час може перевищити критичне значення температури для віконного скла (250°C), вважаємо, що всі вікна будуть розруйновані, а повітрообмін буде відбуватися через двері та вікна. Загальна схема повітрообміну залишиться без змін:

$$S_{\text{оте.2}} = a_{\text{де}} \cdot h_{\text{де}} + n_{\text{вік}} \cdot a_{\text{вік}} \cdot h_{\text{вік}} = 2 \cdot 4 + 3 \cdot 0,7 \cdot 2 = 12,2 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{прит.2}} = \frac{S_{\text{оте.2}}}{3} = \frac{12,2}{3} = 4,03 \text{ м}^2.$$

3. Проводимо визначення коефіцієнта надлишку повітря.

3.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит}}}{S_{\text{нож}}} = \frac{4,03}{12} = 0,33 \text{ або } \frac{1}{3}.$$

Таблиця 2.6

$S_{\text{прит}}/S_{\text{нож.1}}$		Номер кривої
від 1/4 до 1/3	від 0,25 до 0,33	крива № 6

3.2. Визначаємо тип кривої. Співвідношення $S_{пож,1} / S_{нід,1}$ не змінилося, тому тип кривої – суцільна.

3.3. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за номограмою - $\alpha_{н2} = 2$.

4. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{н,2} = 11,86 + 11,30 \cdot (2 - 1) = 23,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

5. Визначаємо масову швидкість вигорання мазу на сьомій хв. розвитку пожежі:

$$u_{m,2} = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{7}{30}} \right) = 1,34 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

6. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища.

Температура пожежі у першому наближенні $t_2 = 250^\circ \text{C}$.

Теплоємності середовища:

$$C_{p,2} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(250 + 273)}{1000} = 1,34 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{пр,2} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 250} = 0,65.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій складає $S_{озор} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазу:

$$T_{ад,2} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,34 \cdot 23,16} + 273 = 1363,1 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{пож,2} = 18,1 \cdot 1363,1 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,34 \cdot 1,34 \cdot 23,16}{0,65 \cdot 1620 \cdot 1363,1^3} \right)^{0,17} = 532,7 \text{ К},$$

$$t_{пож,2} = T_{пож,2} - 273 = 532,7 - 273 = 259,7^\circ \text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_2 = 250$ °C. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_2 - t_{ном2}}{t_2} = 100 \cdot \frac{250 - 259,7}{250} = -3,88\% .$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у визначених точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 532,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 849,6 \text{ K} ,$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 849,6 - 273 = 576,6 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

11.2. Визначасмо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x_2, y_2} = 532,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 397,2 \text{ K} ,$$

$$t_{x_2, y_2} = T_{x_2, y_2} - 273 = 397,2 - 273 = 124,2 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Розрахунок температури пожежі на дванадцятій хвилині розвитку пожежі.

1. Площа пожежі на дванадцятій хвилині її розвитку дорівнює $S_{ном} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{прит}$:

$$S_{отв3} = 12,2 \text{ м}^2 ;$$

$$S_{прит3} = 4,03 \text{ м}^2 .$$

3. Коефіцієнт надлишку повітря залишається без змін - $\alpha_{н3} = 2$.

4. Питомий фактичний об'єму продуктів горіння залишається без змін $v_{н.2.3} = 23,16 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Визначасмо масову швидкість вигорання мазуту на цей час розвитку пожежі:

$$u_{m3} = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{12}{30}} \right) = 1,56 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв}) .$$

6. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища. Температура пожежі у першому наближенні $t_3 = 270^\circ\text{C}$. Теплоємність середовища

$$C_{p3} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(270 + 273)}{1000} = 1,34 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\varepsilon_{np.3} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 270} = 0,63.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій $S_{oop} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад.3} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,34 \cdot 23,16} + 273 = 1363,1 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{нож.3} = 18,1 \cdot 1363,1 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,56 \cdot 1,34 \cdot 23,16}{0,63 \cdot 1620 \cdot 1363,1^3} \right)^{0,17} = 549,3 \text{ К},$$

$$t_{нож.3} = T_{нож.3} - 273 = 549,5 - 273 = 276,5^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_3 = 270^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_3 - t_{нож.3}}{t_3} = 100 \cdot \frac{270 - 273,5}{270} = -1,29\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10% його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у визначених точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 549,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 916,3 \text{ К},$$

$$t_{x1,y1} = T_{x1,y1} - 273 = 916,3 - 273 = 643,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

11.3. Визначаємо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x2,y2} = 549,5 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 409,6 \text{ K},$$

$$t_{x2,y2} = T_{x2,y2} - 273 = 409 - 273 = 136,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахунок температури пожежі на двадцятій хвилині розвитку пожежі.

1. Площа пожежі на двадцятій хвилині її розвитку дорівнює $S_{\text{пожеж}} = 12 \text{ м}^2$.

2. Загальна площа відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$:

$$\begin{aligned} S_{\text{отв}4} &= 12,2 \text{ м}^2; \\ S_{\text{прит}4} &= 4,03 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

3. Коефіцієнт надлишку повітря залишається без змін - $\alpha_{n4} = 2$.

4. Питомий фактичний об'єм продуктів горіння залишається без змін: $v_{n.з.4} = 23,16 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Визначаємо масову швидкість вигорання мазуту на цій час розвитку пожежі:

$$u_{m4} = 2,10 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{20}{30}} \right) = 1,83 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

6. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища.

Температура пожежі у першому наближенні $t_4 = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Теплоємність середовища

$$C_{p4} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2} \right) \frac{(300 + 273)}{1000} = 1,37 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K}).$$

7. Приведений ступінь чорноти системи:

$$\varepsilon_{np.4} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 300} = 0,60.$$

8. Повна площа поверхні конструкцій $S_{\text{зовн}} = 1620 \text{ м}^2$.

9. Адіабатична температура горіння мазуту:

$$T_{ад.4} = \frac{0,85 \cdot 39800}{1,37 \cdot 23,16} + 273 = 1339,2 \text{ К}.$$

10. Середньооб'ємна температура в приміщенні:

$$T_{позж.4} = 18,1 \cdot 1339,2 \left(\frac{0,85 \cdot 12 \cdot 1,83 \cdot 1,37 \cdot 23,16}{0,60 \cdot 1620 \cdot 1339,2^3} \right)^{0,17} = 565,7 \text{ К},$$

$$t_{позж.4} = T_{позж.4} - 273 = 565,7 - 273 = 292,7^{\circ} \text{С}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_4 = 300^{\circ} \text{С}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попереднього прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_4 - t_{позж.4}}{t_4} = 100 \cdot \frac{300 - 292,7}{300} = 2,43\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури в визначених точках.

11. Проводимо визначення температури в заданих точках приміщення.

11.1. Визначаємо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 565,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{9}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 6} \right) = 943,3 \text{ К},$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 943,3 - 273 = 670,3^{\circ} \text{С}.$$

11.2. Визначаємо температуру в заданій точці x_2, y_2 :

$$T_{x_2, y_2} = 565,7 \left(0,8 + 0,2 \frac{2}{4,5} \right) \left(1,33 - \frac{12}{2 \cdot 12 + 6} \right) = 421,7 \text{ К},$$

$$t_{x_2, y_2} = T_{x_2, y_2} - 273 = 421,7 - 273 = 148,7^{\circ} \text{С}.$$

Результати розрахунку температурного режиму зводимо до таблиці та проводимо будову графіка зміни температурного режиму пожежі.

Зведена таблиця розрахунку температурного режиму

Час розвитку пожежі	Адіабатична температура пожежі	Середньооб'ємна температура пожежі	Температура в точці x_1, y_1	Температура в точці x_2, y_2
3-я хвил.	1371,2	512,5	817,2	382,1
7-а хвил.	1363,1	532,7	849,6	397,2
12-а хвил.	1363,1	549,5	916,3	409,6
20-а хвил.	1339,2	565,7	943,3	421,7

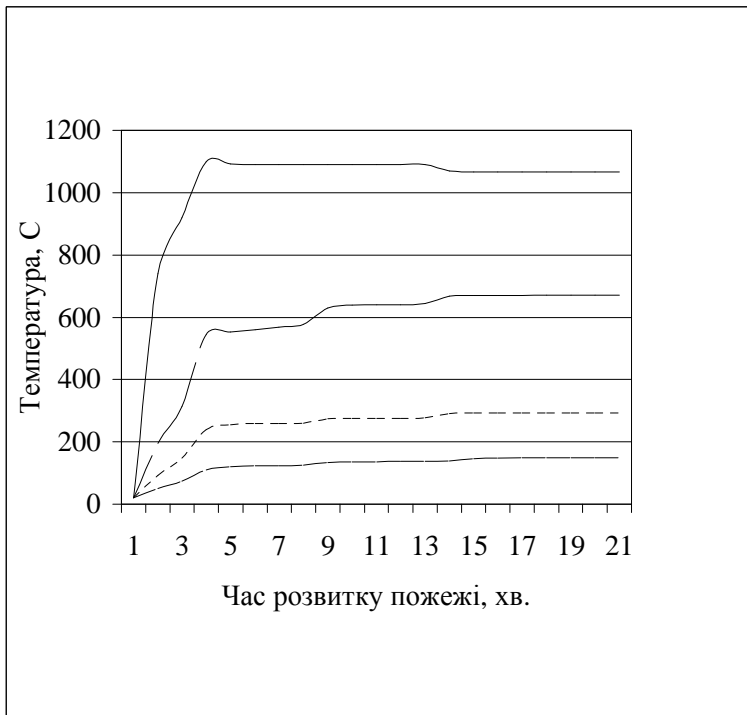


Рис. 2.5 - Графік зміни температурного режиму пожежі

2.2.2. Приклад №2 – розрахунок температурного режиму пожежі при горінні твердих горючих матеріалів.

Умови:

Визначити температурний режим пожежі, температуру на рівні колосників на висоті 24 м над осередком пожежі при пожежі на планшеті сценічної частини театру на п'ятій, п'ятнадцятій та двадцятій хвилинах з

моменту її виникнення. Розміри сценічної частини 48·34·28 м, порталний отвір закрито протипожежною завісою, постійно відкриті два дверних прорізи розмірами 1,8·2 м. Димові локи у кількості 4 штуки розміром 3·3 м відкривають на дванадцятій хвилині розвитку пожежі. Розташування прорізів відображено на плані.

Рішення:

1. Визначасмо параметри, що характеризують особливості горіння.

Приймаємо, що основний матеріал - це деревина у виробках:

- масова швидкість вигорання $u_m^0 = 1,11 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
- нижча робоча теплота згорання деревини $Q_n^P = 13800 \text{ кДж}/\text{кг}$;
- питома теоретична витрата повітря $v_n^0 = 4,20 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- питомий теоретичний об'єм продуктів згорання $v_{n.z}^0 = 4,86 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- коефіцієнт хімічного недопалу деревини $\eta = 0,97$.
- u_l - лінійна швидкість поширення горіння від 1,0 до 2,0 м/хв ,

приймаємо середнє значення $u_l = (1,0+2,0)/2 = 1,5 \text{ м}/\text{хв}$.

2. Розраховуємо площу пожежі на п'ятій хвилині її розвитку.

2.1 Радіус розвитку пожежі на п'ятій хвилині:

$$R_l = 0,5 \cdot u_l \cdot \tau_p = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 5 = 3,75 \approx 3,8 \text{ м}.$$

За результатами розрахунку будуюмо план розвитку пожежі в сценічній частині театру.

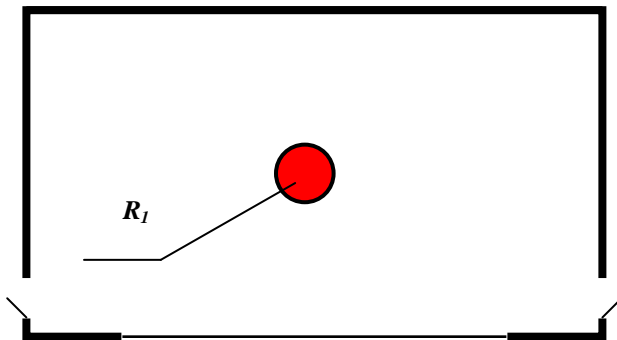


Рис. 2.6. План розвитку пожежі на п'ятій хвилині

Фронт полум'я не дійшов до стін, тому приймаємо кругову розрахункову форму розвитку пожежі.

2.2. Площа пожежі на п'ятій хвилині:

$$S_{\text{пож } 1} = \pi R_1^2 = 3,14 \cdot 3,8^2 = 45,4 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на п'ятій хвилині розвитку пожежі.

Виходячи з умов розвитку пожежі, приймаємо, що на п'ятій хвилині розвитку повітрообмін здійснюється через відкриті двері, (рис. 2.6).

$$S_{\text{отв.1}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} = 2 \cdot 1,8 \cdot 2,2 = 7,92 \text{ м}^2.$$

Повітрообмін відбувається за першою схемою, тому приймаємо:

$$S_{\text{прит.1}} = \frac{S_{\text{отв}}}{3} = \frac{7,92}{3} = 2,64 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит}}}{S_{\text{пож}}} = \frac{2,64}{45,4} = 0,0058 \text{ або } \frac{1}{17,2},$$

Таблиця 2.8

$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож.1}}$		Номер кривої
від 1/18 до 1/10	від 0,056 до 0,1	крива № 3

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{\text{пож.1}}}{S_{\text{підл}}} = \frac{45,4}{48 \cdot 34} = \frac{45,4}{1632} = 0,028 \text{ або } \frac{1}{36}.$$

Таблиця 2.9

$S_{\text{пож.1}}/S_{\text{підл}}$		Тип кривої
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива

4.3. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря по номограмі - $\alpha_{\text{пл}} = 2,5$.

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{n.z.1} = v_{n.z.}^0 + v_n^0 (\alpha_{n.1} - 1) =$$

$$= 4,8 + 4,20 \cdot (2,5 - 1) = 11,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання деревини на визначений час розвитку пожежі:

$$u_{m1} = u_m^0 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{\tau_1}{30}} \right) = 1,11 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{5}{30}} \right) = 0,65 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{хв}).$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на визначений час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температури пожежі у першому наближенні рівним $t_1 = 80^\circ \text{C}$. Тоді:

$$C_{p1} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + \alpha_{n.1}} \right) \frac{(t_1 + 273)}{1000} =$$

$$1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 2,5} \right) \frac{(80 + 273)}{1000} = 1,306 \text{ кДж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К})$$

8. Визначаємо приведенний ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{np.1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot t_1} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 80} = 0,85.$$

9. Визначаємо повну площу поверхні конструкцій $S_{озор}$ будівлі сценічної частини:

$$S_{озор} = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h) = 2(48 \cdot 34 + 48 \cdot 28 + 34 \cdot 28) = 7856 \text{ м}^2.$$

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння деревини за визначених умов:

$$T_{ад.1} = \frac{\eta \cdot Q_n^p}{C_{p1} \cdot v_{n.z.1}} + 273 = \frac{0,97 \cdot 13800}{1,306 \cdot 11,16} + 273 = 1191,4 \text{ К}.$$

11. Визначаємо середньооб'ємну температуру в приміщенні на п'яту хвилину розвитку пожежі:

$$T_{\text{пож.1}} = 18,1 \cdot T_{\text{ад.1}} \left(\frac{\eta \cdot S_{\text{пож}} \cdot u_{\text{м.і}} \cdot C_{\text{р.і}} \cdot v_{\text{н.з.і}}}{\epsilon_{\text{пр.і}} \cdot S_{\text{озор}} \cdot T_{\text{ад.і}}^3} \right)^{0,17} =$$

$$= 18,1 \cdot 1191,4 \left(\frac{0,97 \cdot 45,4 \cdot 0,65 \cdot 1,306 \cdot 11,16}{0,85 \cdot 7856 \cdot 1191,4^3} \right)^{0,17} = 360,3 \text{ K},$$

$$t_{\text{пож.1}} = T_{\text{пож.1}} - 273 = 360,3 - 273 = 87,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_1 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_1 - t_{\text{пож.1}}}{t_1} = 100 \cdot \frac{80 - 87,9}{80} = 9,87\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури в визначених точках.

11. Проводимо визначення температури у заданих точках приміщення.

11.1. Координати точок обраних місць визначення температури пожежі.

Таблиця 2.10

Місце визначення температури	Координата x_i	Координата y_i
умовні координати	$x_0 = 12 \text{ м}$	$y_0 = 14 \text{ м}$
над осередком пожежі	$x_1 = 0 \text{ м}$	$y_1 = 24 \text{ м}$

11.2. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = T_{\text{пож.1}} \left(0,8 + 0,2 \frac{y_1}{y_0} \right) \left(1,33 - \frac{x_1}{2x_1 + x_0} \right) =$$

$$= 360,3 \left(0,8 + 0,2 \frac{24}{14} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 12} \right) = 547,7 \text{ K}$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 547,7 - 273 = 274,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначення температурного режиму пожежі на п'ятнадцятій хвилині її розвитку.

1. Розрахуємо площу пожежі на п'ятнадцятій хвилині її розвитку.

Радіус розвитку пожежі на п'ятнадцятій хвилині:

$$R_2 = 0,5 \cdot u_1 \cdot 10 + u_1 (\tau_p - 10) = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot (15 - 10) = 15 \text{ м}.$$

Фронт полум'я не дійшов до стін, тому приймаємо розрахункову форму розвитку пожежі - кругову.

За результатами розрахунку будемо план розвитку пожежі в сценічній частині театру.

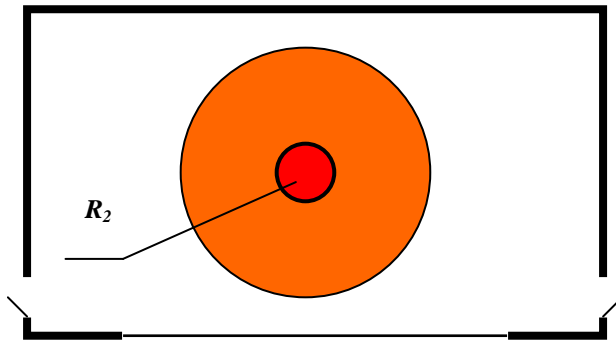


Рис. 2.7. План розвитку пожежі на п'ятнадцятій хвилині

2. Площа пожежі на п'ятнадцятій хвилині

$$S_{\text{пож.2}} = \pi R_2^2 = 3,14 * 15^2 = 706,9 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на п'ятнадцятій хвилині розвитку пожежі.

Загальна площа відкритих отворів та схема повітряного обміну на п'ятнадцятій хвилині пожежі не змінюється тому:

$$\begin{aligned} S_{\text{отв.2}} &= 7,92 \text{ м}^2; \\ S_{\text{прит.2}} &= 2,64 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит.2}}}{S_{\text{пож.2}}} = \frac{2,64}{706,9} = 0,0004 \text{ або } \frac{1}{267,8}.$$

Таблиця 2.11

$S_{\text{прит.1}}/S_{\text{пож.1}}$		Номер кривої
до 1/24	до 0,042	крива № 1

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{\text{пож.2}}}{S_{\text{нідл}}} = \frac{706,9}{1632} = 0,43 \text{ або } \frac{1}{2,3}.$$

Таблиця 2.12

$S_{\text{пож.1}}/S_{\text{нідл}}$		Тип кривої
менше 1/4	менше 0,25	суцільна крива

4.3. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{n2} = 1,8$.

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{n,2} = 4,8 + 4,20 * (1,8 - 1) = 8,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання деревини наданий час розвитку пожежі:

$$u_{m2} = 1,11 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{15}{30}} \right) = 0,88 \text{ кг/ (м}^2 \cdot \text{хв)}.$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на визначений час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температуру пожежі у першому наближенні рівним $t_2 = 400^\circ\text{C}$. Тоді:

$$C_{p2} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 1,8} \right) \frac{(400 + 273)}{1000} = 1,363 \text{ кДж/ (м}^3 \cdot \text{К)}.$$

8. Визначаємо приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{np,2} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 400} = 0,53.$$

9. Площа поверхні конструкцій будівлі $S_{\text{озор}} = 7856 \text{ м}^2$.

10. Проводимо розрахунок адіабатичної температури горіння деревини за визначених умов:

$$T_{\text{ад.2}} = \frac{0,97 \cdot 13800}{1,363 \cdot 8,16} + 273 = 1476,5 \text{ К}.$$

11. Визначасмо середньооб'ємну температуру в приміщенні на п'ятнадцятій хвилині розвитку пожежі:

$$T_{\text{пож.2}} = 18,1 \cdot 1476,5 \left(\frac{0,97 \cdot 706,9 \cdot 0,88 \cdot 1,363 \cdot 8,16}{0,53 \cdot 7856 \cdot 1476,5^3} \right)^{0,17} = 701,2 \text{ K},$$

$$t_{\text{пож.2}} = T_{\text{пож.2}} - 273 = 701,2 - 273 = 428,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_2 = 400 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_2 - t_{\text{пож.2}}}{t_2} = 100 \cdot \frac{160 - 428,2}{400} = -7,05\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури у визначених точках.

11. Визначасмо температуру в заданій точці x_l, y_l :

$$T_{x_l, y_l} = 701,2 \left(0,8 + 0,2 \frac{24}{14} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 12} \right) = 1065,9 \text{ K},$$

$$t_{x_l, y_l} = T_{x_l, y_l} - 273 = 1065,9 - 273 = 792,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначення температурного режиму пожежі на двадцятій хвилині її розвитку

1. Розраховуємо площу пожежі на двадцятій хвилині її розвитку.

2.1 Радіус розвитку пожежі на двадцятій хвилині:

$$R_3 = 0,5 \cdot u_l \cdot 10 + u_l (\tau_p - 10) = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot (20 - 10) = 22,5 \text{ м}.$$

Фронт полум'я дійшов до стін, тому розрахункова форма розвитку пожежі – прямокутна.

За результатами розрахунку будуюмо план розвитку пожежі в сценічній частині театру:

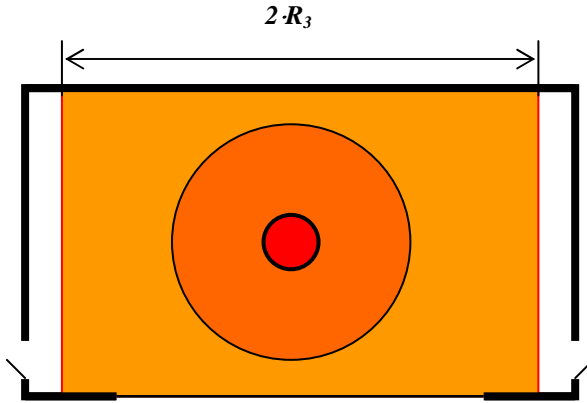


Рис.2.8 - План розвитку пожежі на двадцятій хвилині

2.2. Площа пожежі на двадцятій хвилині:

$$S_{\text{пож.з}} = 2 \cdot R_3 \cdot a = 2 \cdot 22,5 \cdot 34 = 1530 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$ на двадцятій хвилині розвитку пожежі.

За умовами задачі після двадцятій хвилини пожежі відкриваються димові люки - в цьому випадку схема повітряного обміну змінюється на другу (рис. 2.2).

Загальна площа відкритих димових люків складає $S_{\text{вих}} = 4 \cdot 3 \cdot 3 = 36 \text{ м}^2$. Двері працюють на приплив повітря, тому $S_{\text{прит.з}} = 7,92 \text{ м}^2$.

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря.

4.1. Визначаємо номер кривої:

$$\frac{S_{\text{прит.з}}}{S_{\text{пож.з}}} = \frac{7,92}{1530} = 0,0005 \text{ або } \frac{1}{193,2}.$$

Таблиця 2.13

$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож.з}}$		Номер кривої
до 1/24	до 0,042	крива № 1

4.2. Визначаємо тип кривої:

$$\frac{S_{\text{пож.з}}}{S_{\text{підл}}} = \frac{1530}{1632} = 0,94 \text{ або } \frac{1}{1,1}.$$

$S_{пож,3}/S_{відл}$		Тип кривої
від 1 до 1/4	від 1 до 0,25	суцільна крива _____

4.3. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{n3} = 1,8$.

5. Проводимо розрахунок питомого фактичного об'єму продуктів горіння:

$$v_{n,23} = 4,8 + 4,20 \cdot (1,8 - 1) = 8,16 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

6. Визначаємо масову швидкість вигорання деревини на даний час розвитку пожежі:

$$u_{m3} = 1,11 \left(0,3 + 0,7 \sqrt{\frac{20}{30}} \right) = 0,97 \text{ кг/ (м}^2 \cdot \text{хв)}.$$

7. Проводимо розрахунок об'ємної теплоємності середовища в приміщенні на визначений час розвитку пожежі.

Приймаємо значення температури пожежі у першому наближенні рівним $t_3 = 600^\circ\text{C}$. Тоді:

$$C_{p3} = 1,25 + \left(0,12 + \frac{0,1}{0,25 + 1,8} \right) \frac{(600 + 273)}{1000} = 1,397 \text{ кДж/ (м}^3 \cdot \text{К)}.$$

8. Визначаємо приведений ступінь чорноти системи:

$$\epsilon_{пр.3} = \frac{1}{1 + 0,0022 \cdot 600} = 0,43.$$

9. Площа поверхні конструкцій будівлі $S_{озор} = 7856 \text{ м}^2$.

10. Проводимо розрахунок адиабатичної температури горіння деревини за визначених умов:

$$T_{ад.3} = \frac{0,97 \cdot 13800}{1,397 \cdot 8,16} + 273 = 1447,3 \text{ К}.$$

11. Визначаємо середньооб'ємну температуру в приміщенні на двадцять хвилину розвитку пожежі:

$$T_{\text{пож.3}} = 18,1 \cdot 1447,3 \left(\frac{0,97 \cdot 1530 \cdot 0,97 \cdot 1,397 \cdot 8,16}{0,43 \cdot 7856 \cdot 1447,3^3} \right)^{0,17} = 839,6 \text{ K},$$

$$t_{\text{пож.2}} = T_{\text{пож.2}} - 273 = 839,6 - 273 = 564,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередньо задана температура пожежі $t_3 = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$. Отримане значення температури пожежі відрізняється від попередньо прийнятого на

$$\Delta t = 100 \cdot \frac{t_3 - t_{\text{пож.3}}}{t_3} = 100 \cdot \frac{600 - 564,6}{600} = 5,9\%.$$

Виходячи з того, що отримане значення температури пожежі відрізняється не більше ніж на 10%, його можна прийняти як остаточне значення та продовжувати розрахунок температури в визначених точках.

11. Визначасмо температуру в заданій точці x_1, y_1 :

$$T_{x_1, y_1} = 839,6 \left(0,8 + 0,2 \frac{24}{14} \right) \left(1,33 - \frac{0}{2 \cdot 0 + 12} \right) = 1276,3 \text{ K},$$

$$t_{x_1, y_1} = T_{x_1, y_1} - 273 = 1276,3 - 273 = 1003,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результати розрахунку температурного режиму в сценічній частині театру зводимо до таблиці та будуємо графік зміни температурного режиму пожежі.

Таблиця 2.15

Зведена таблиця розрахунку температурного режиму

Час розвитку пожежі	Адіабатична температура пожежі	Середньооб'ємна температура пожежі	Температура в точці x_1, y_1
5 – а хвил	1191,4	360,3	547,7
15–а хвил	1476,5	701,2	1065,9
20–а хвил	1447,3	839,6	1276,3

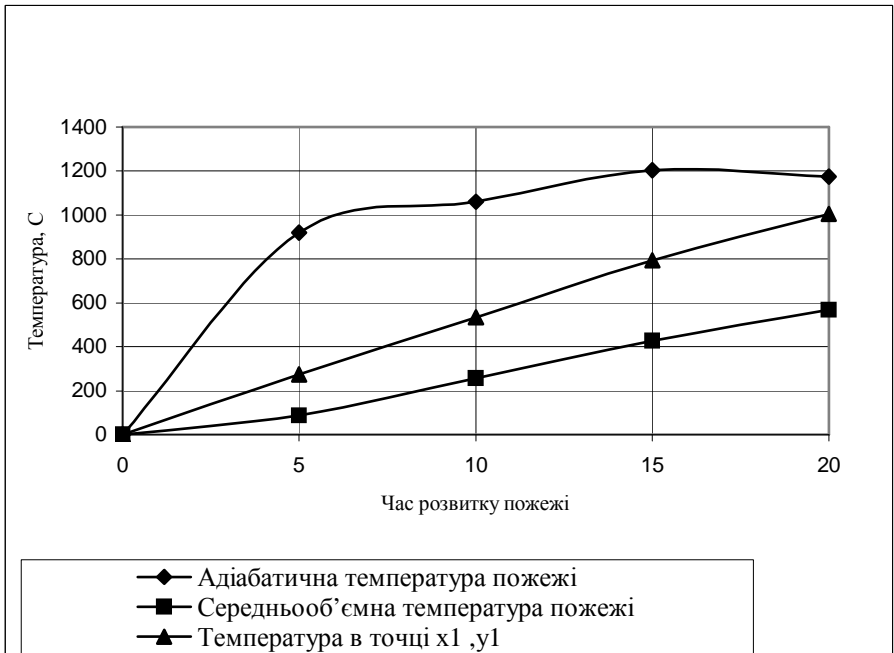


Рис. 2.9. Графік зміни температурного режиму пожежі

2.3 Методика визначення температурного режиму пожежі графічно-аналітичним методом

2.3.1 Методика визначення температурного режиму пожежі з використанням номограм.

Визначення температурного режиму пожежі можна проводити і з використанням номограм. Для цього необхідно провести розрахунки в наступному порядку:

1. Визначаються параметри, що характеризують особливості горіння речовини та розвитку пожежі: u_m – масова швидкість вигорання; Q_n^p – нижча робоча теплота згорання речовини; $v_{n,z}^0$ – питомий теоретичний об'єм продуктів згорання для горючої речовини; v_n^0 – питома теоретична витрата повітря для повного згорання речовини; η – коефіцієнт хімічного недопалу речовини; v_l – лінійна швидкість поширення горіння.

2. Визначення параметрів розвитку пожежі на встановлений час її розвитку: $R_{пож}(t)$ – радіус розвитку пожежі; форма розвитку пожежі; $S_{пож}(t)$ – площа пожежі.

3. Визначається загальна площа відкритих отворів $S_{отв}$ та площа отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{прит}$.

4. Визначається коефіцієнт надлишку повітря.

5. Визначається повна поверхня теплообміну $S_{огор}$
6. Проводиться розрахунок густини теплового потоку пожежі за формулою:

$$q = \frac{\eta \cdot S_{пож} \cdot Q_n^p \cdot u_m^0}{60 S_{огор}} \quad (16)$$

Отримані результати для зручності використання краще занести до таблиці.

7. Користуючись номограмою (Рис.2.10), за отриманим значенням теплового потоку, коефіцієнта надлишку повітря визначається середньооб'ємна температура пожежі у визначений час розвитку пожежі.

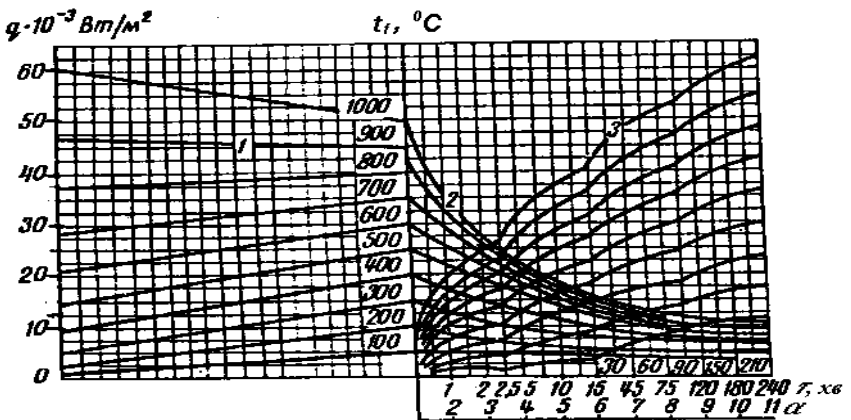


Рис. 2.10. Номограма для визначення середньооб'ємної температури

Визначення середньооб'ємної температури проводиться в такому порядку.

На лівій осі координат знаходиться позначка густини теплового потоку пожежі і проводиться пряма на ось температур. Далі еквідистантно, на однаковому віддаленні від найближчої кривої надлишку повітря $t = f(\alpha_n)$ опускаємося до перетинання з перпендикуляром, відновленим із точки, що відповідає коефіцієнту надлишку повітря α_n . З отриманої точки паралельно осі абсцис переміщаємося до перпендикуляра, відновленого з точки, що відповідає тридцятій хвилині розвитку пожежі. Потім еквідистантно від найближчої кривої часу розвитку пожежі $t = f(\tau_n)$ переміщаємося до перпендикуляра, відновленого з точки, що позначає відповідний час розвитку пожежі. Якщо час розвитку пожежі менше тридцяти хвилин, то переміщення буде вниз і вліво, якщо більше - то вгору і вправо.

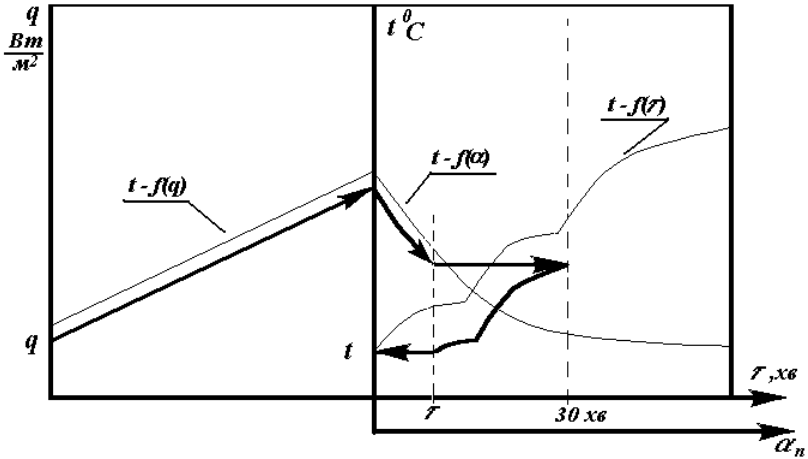


Рис. 2.11. Порядок визначення температури пожежі за номограмою

Отримане значення від точки перетинання кривої з перпендикуляром із точки, що відповідає часу розвитку пожежі, переносимо паралельно осі абсцис на вісь температур і визначаємо температуру пожежі в градусах Цельсія.

2.3.2. Приклад №3 – розрахунок температурного режиму пожежі з використанням номограми.

Умови:

У центрі приміщення насосної станції розмірами 18·12·3 м відбувається горіння мазуту в лотку розмірами 2·2 м.

Повітрообмін здійснюється через відкритий дверний проріз розмірами 2 на 2,5 м. Визначити, користаючись номограмою, середньооб'ємну температуру пожежі на п'ятій та п'ятнадцятій хвилинах розвитку пожежі.

Рішення:

1. Визначаємо параметри, що характеризують особливості горіння мазуту:

- масова швидкість вигорання $u_m = 2,10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
- нижча робоча теплота згорання мазуту $Q_n^p = 39800 \text{ кДж}/\text{кг}$;
- питома теоретична витрата повітря $v_{n.}^0 = 11,30 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- питомий теоретичний об'єм продуктів згорання $v_{n.з.}^0 = 11,86 \text{ м}^3/\text{кг}$;
- коефіцієнт хімічного недопалу мазуту $\eta = 0,85$.

Лінійну швидкість поширення горіння по поверхні мазути не визначаємо, виходячи з умов, що вся його поверхня буде охоплена горінням з самого початку пожежі, а площу розливу рідини обмежено площею прямоку.

2. Визначаємо параметри розвитку пожежі в приміщенні.

Протягом часу розвитку пожежі площа пожежі буде постійною, оскільки вона обмежена площею прямоку:

$$S_{\text{пож}} = a \cdot b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо загальну площу відкритих отворів $S_{\text{отв}}$ та площу отворів, що працюють на всмоктування повітря $S_{\text{прит}}$

$$S_{\text{отв.1}} = a_{\text{дв}} \cdot h_{\text{дв}} = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{прит.1}} = \frac{S_{\text{отв}}}{3} = \frac{5}{3} = 1,67 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за номограмою.

Площа підлоги приміщення:

$$S_{\text{підл}} = a \cdot b = 18 \cdot 14 = 216 \text{ м}^2.$$

Для зручності всі необхідні дані зносимо до таблиці

Таблиця 2.16

Час, хв	$S_{\text{пож}}(\text{м}^2)$	$S_{\text{прит}}$	$S_{\text{прит}}/S_{\text{пож}}(\text{м}^2)$	$S_{\text{пож}}(\text{м}^2)/S_{\text{підл}}$	α_n
5-а	4	1,67	1,67:4=0,418	4:216=0,0185	1,9
15-а	4	1,67	1,67:4=0,418	4:216=0,0185	1,9

Для п'ятої хвилини розвитку пожежі виходить крива 6 переривчастого виду. Тому значення коефіцієнта надлишку повітря приймається рівним 1,9.

Для п'ятнадцятої хвилини розвитку пожежі значення коефіцієнта надлишку повітря не змінилося, тому що площа горіння і повітрообмін залишилися незмінними.

5. Розраховуємо густину теплового потоку, що попадає на одиницю площі поверхні конструкцій:

$$q = \frac{0,87 \cdot 4 \cdot 39800 \cdot 2,1}{60 \cdot (2 \cdot (18 \cdot 12 + 18 \cdot 3 + 12 \cdot 3))} = 7,92 \text{ кВт/м}^2.$$

6. Користуючись номограмою, за отриманим значенням густини теплового потоку, коефіцієнта надлишку повітря визначаємо середньооб'ємну температуру пожежі на п'ятій та п'ятнадцятій хвилинах.

Температура на п'ятій хвилині розвитку пожежі складає 270°C .

На п'ятнадцятій хвилині розвитку пожежі складає 310°C .

На підставі отриманих даних зі зміни температури як у цілому в приміщенні, так і в окремих його точках можна робити практичні висновки про поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі, час спрацьовування датчиків систем пожежної автоматики й інші практичні висновки. Розрахунок температурного режиму пожежі в огороженні може бути основою при прогнозуванні умов розвитку пожежі і розробці тактичного задуму при проведенні практичних занять пожежних підрозділів на об'єктах. Використовуючи результати розрахунку середньооб'ємної температури, можна визначити положення зони рівних тисків при повітрообміні.

ГЛАВА 3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У сучасних умовах актуальна задача розробки економічно оптимальних і ефективних протипожежних заходів здійснюється за допомогою прогнозу динаміки небезпечних факторів пожежі, що не можливо без математичного моделювання процесу розвитку пожежі.

В ході моделювання, в залежності від доцільності використовують три класи моделей: інтегральні, зонні та польові (диференціальні). Моделі різняться ступенем повноти опису, причому найпростішою з них є інтегральна модель.

Саме на інтегральну модель спирається матеріал другої глави посібника

В рівняннях інтегральної моделі пожежі функціями, що потрібно визначити є середньооб'ємні параметри газового середовища (температура, густина і концентрації компонент газового середовища, оптична густина), а незалежною перемінною є час. Крім цих перемінних, рівняння містять цілий ряд інших фізичних величин, конкретний вид яких установлюється шляхом додання даних з теорії конвекційного і променистого теплообміну, теорії аерації, теорії горіння.

Комп'ютерна програма *A-start* що моделює динаміку небезпечних факторів пожежі, створених у програмному середовищі Matlab-6 в рамках інтегральної моделі.

Дану програму можна використовувати у тому випадку, коли відбувається повітрообмін між приміщенням та зовнішнім середовищем через дверні та віконні отвори, що розташовані на різних рівнях. Крім того, в повітрообміні може брати участь примусова вентиляція приміщення.

Програма дозволяє врахувати роботу системи об'ємного пожежогасіння інертними газами (азотом, вуглекислим газом або аргоном). Вимкнення системи гасіння може бути як ручним, так і автоматичним.

Осередок пожежі задається функціональною залежністю від часу площі пожежі та теплофізичними характеристиками горючої речовини.

На виході програма видає користувачеві графіки залежності від часу:

1. середньооб'ємної концентрації (масових часток) компонент газового середовища у приміщенні;
2. середньооб'ємної температури середовища;
3. швидкості вигорання горючої речовини.

Робота програми починається з введення команди „*start*” у командному вікні середовища Matlab. Як результат, якщо програма визначення небезпечні фактори пожежі встановлена на комп'ютері, з'являється головне вікно програми (рис.3.1).

У даному вікні встановлюється час розглядання і здійснюється перехід до двох допоміжних вікон, який ініціюється натисненням кнопок „*Помещение и газообмен*” та „*Очаг пожара и газовое тушение*”. З цього ж вікна після вводу всіх вихідних даних натисненням кнопки „*Поехали*” запускається розрахункова частина програми.

Натиснення на кнопку „*Помещение и газообмен*” приводить до переходу у відповідне вікно (рис.3.2). У цьому вікні відбувається введення:

1. температури повітря поза приміщенням та у приміщенні перед пожежею;
2. об'ємної витрати проточної та витяжної примусової вентиляції;
3. розмірів (A - довжина, B - ширина та H - висота приміщення);

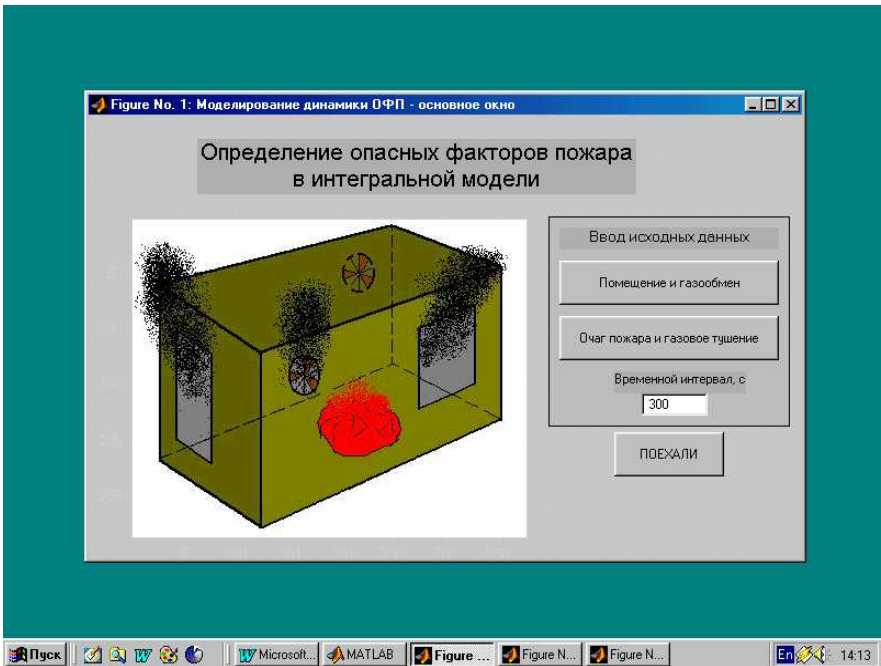


Рис. 3.1. Основне вікно програми

4. параметрів двох рівнів отворів (c – відстань від підлоги до нижнього краю даного рівня, h – висота отвору, b – загальна ширина отворів даного рівня).

З цього ж вікна натиснення на кнопку „*Возврат к основному окну*” можна повернутися до основного вікна програми.

Натиснення на кнопку „*Очаг пожара и газовое тушение*” основного вікна програми приводить до переходу у відповідне вікно (рис. 3.3), де вводяться три групи параметрів.

Параметри пального:

1. питома теплота згоряння, кДж/кг;
2. питома швидкість вигорання, кг/(м²·с);
3. коефіцієнт повноти згоряння;
4. маса кисню, що поглинається при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;

5. маса вуглекислого газу, яка виділяється при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;
6. маса оксиду вуглецю, яка виділяється при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;
7. маса водяної пари, яка виділяється при повному згорянні 1 кг пального, кг/кг;
8. загальна маса пального.

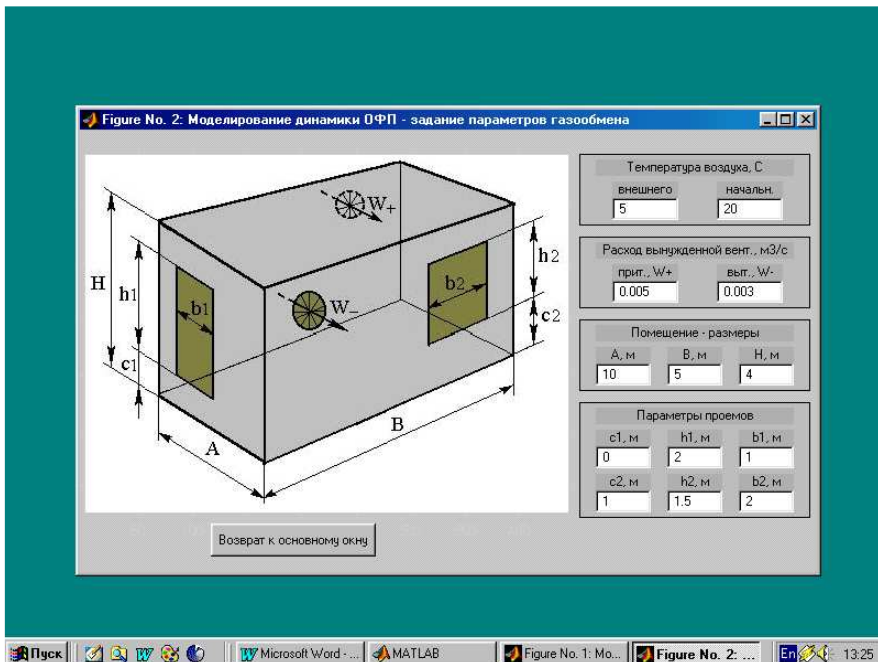


Рис. 3.2. Вікно введення параметрів газообміну

Три параметри програми, що задають площу пожежі: 1) F_0 , m^2 ; 2) F_1 , m^2/c , 3) F_2 , m^2/c^2 , вимагають апроксимації залежності площі горіння $F_{зop}$ від часу τ у виді

$$F_{зop}(\tau) = F_0 + F_1 \tau + F_2 \tau^2, m^2. \quad (17)$$

В даній програмі передбачено обмеження площі горіння площею підлоги, тобто $F_{зop}(\tau) \leq A \cdot B$.

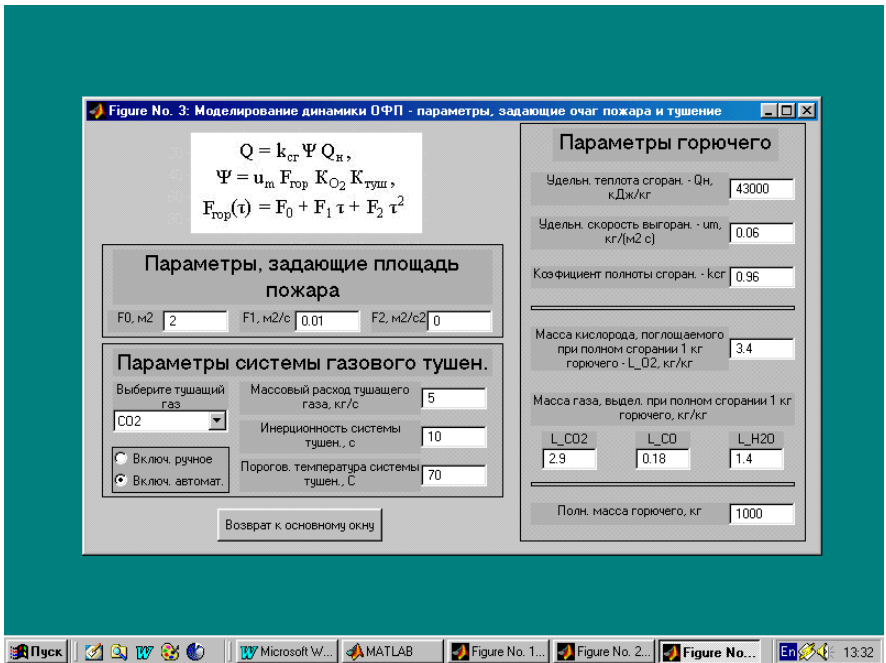


Рис. 3.3. Вікно введення параметрів осередку пожежі та системи гасіння пожежі

Крім того, у даному вікні задаються параметри системи газового гасіння.

Перш за все здійснюється вибір інертного газу (CO_2 , N_2 , Ar , *газа нет*) (якщо обирається опція „*газа нет*”, то система гасіння не розглядається).

Далі вибирається (із „*Включение ручное*” або „*Включение автоматической*”) режим вмикання системи гасіння. В обох цих випадках користувачем задається масова витрата вогнегасного газу, кг/с.

У разі вибору ручного вмикання задається момент включення, с, а у разі вибору автоматичного включення задаються інші два параметри:

1. інерційність системи гасіння, с;
2. температурний поріг спрацьовування системи гасіння, °С.

Після введення всіх даних повернення до основного вікна програми можна здійснити натискуванням на кнопку „*Возврат к основному окну*”.

Після вводу всіх вихідних даних натискуванням на кнопку „*Поехали*” основного вікна програми запускається розрахункова частина. Характерний час її роботи – декілька хвилин, протягом яких до програми краще не звертатися.

Після закінчення розрахунків на екран монітора виводяться додатково три вікна (рис. 3.4 -3.6).

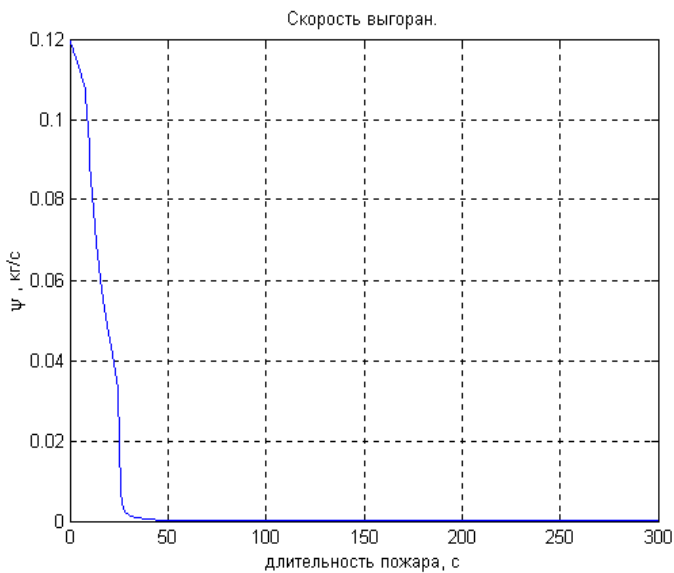


Рис. 3.4. Графік залежності швидкості вигорання від часу

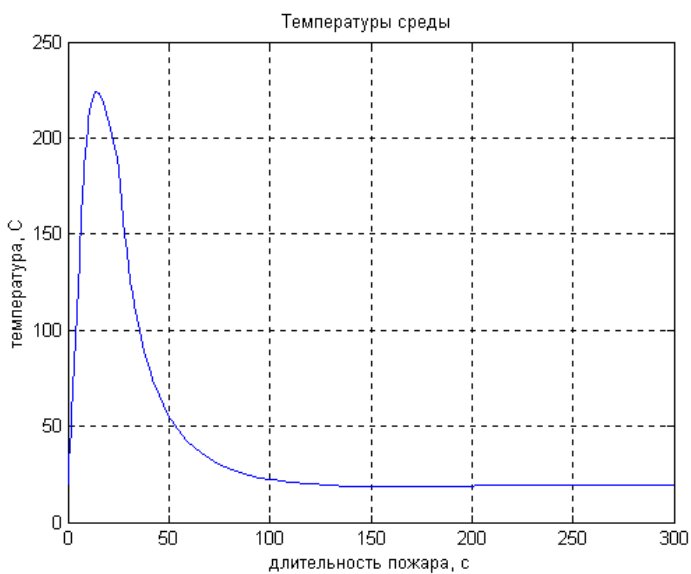


Рис. 3.5. Графік залежності середньооб'ємної температури середовища від часу

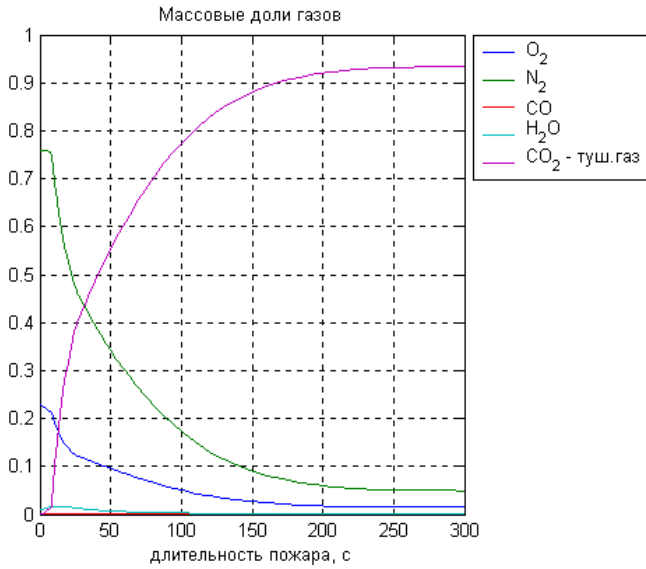


Рис. 3.6. Графік залежності середньооб'ємних масових часток компонент газового середовища від часу

ГЛАВА 4. ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПОВІТРЯНОГО ОБМІНУ ПРИ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

4.1 Методика визначення площини нейтральної зони при пожежі в приміщенні

Температура газів при пожежі істотно змінюється за об'ємом приміщення: вона вище середньооб'ємної над зоною горіння і нижче - в нижній зоні на відстані від вогнища горіння.

При пожежі в приміщеннях можна виділити зони з підвищеною температурою, де вона дорівнює або вище середньооб'ємної температури пожежі, і зону зі зниженою температурою, де вона дорівнює температурі навколишнього середовища.

Між зоною з високою температурою (зона високого тиску) $P_{nz} > P_0$ і зоною з низькою температурою (зона розрядження) $P_{nz} < P_0$ утворюється зона рівних тисків, де тиск продуктів горіння дорівнює атмосферному $P_{nz} = P_0$.

Положення зони рівних тисків визначається областю приміщення, заповненого свіжим повітрям, де робота особового складу може здійснюватися без використання індивідуальних засобів захисту органів дихання.

Повітрообмін може здійснюватися через один або кілька прорізів, що знаходяться на одному рівні, або через декілька прорізів які розташовані на різних рівнях. У першому випадку приплив свіжого повітря відбувається в нижній частині прорізу, а видалення продуктів горіння - в його верхній частині. Зона рівних тисків проходить безпосередньо по перетину прорізу.

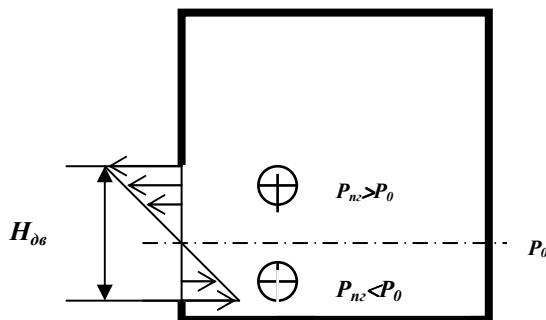


Рис. 4.1. Схема повітрообміну при пожежі в приміщенні

Розрахункова формула для визначення положення зони рівних тисків (нейтральної зони) має вид:

$$h_{н.з.} = \frac{H}{1 + 3 \sqrt{\frac{T_{нз}}{T_0}}}, \quad (18)$$

де H - повна висота прорізу, через який здійснюється повітрообмін, м;
 $T_{нз}$ - температура продуктів горіння (середньооб'ємна температура пожежі), К;
 T_0 - температура повітря, К.

У тих випадках, коли повітрообмін здійснюється через декілька прорізів, розташованих на різних рівнях, ті прорізи, що потрапили до зони розрядження, працюють на приплив повітря, а ті з них, що потрапили до зони високого тиску, працюють на викид продуктів горіння. Зона рівних тисків при цьому буде розташована між центрами прорізів. Висота нейтральної зони при цьому буде залежати від різниці температур, площі припливного і витяжного прорізів, геометричного місця розташування прорізів.

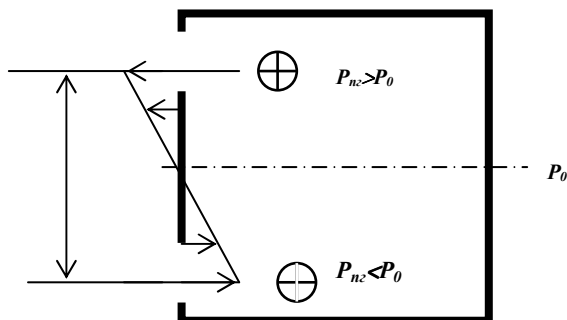


Рис. 4.2. Схема повітрообміну через два прорізи при пожежі в приміщенні

Висота нейтральної зони при цьому визначається за формулою:

$$h_{н.з.} = \frac{H}{\left(\frac{S_{прим}}{S_{вих}}\right)^2 \frac{T_{нз}}{T_0} + 1} + 0,5h_{прим}, \quad (19)$$

де $S_{прим}$ - площа прорізів, що працюють на приплив, м²; $S_{вих}$ - площа прорізів, що працюють на викид продуктів горіння, м²; H - відстань між центрами припливних і витяжних прорізів, м; $h_{прим}$ - висота прорізу, що працює на приплив від підлоги приміщення, м.

У тих випадках, коли повітрообмін здійснюється через декілька однакових отворів, розташованих на одному рівні, площа їх підсумовується.

Визначення висоти нейтральної зони здійснюється в наступним чином.

1. Визначається схема повітрообміну та розрахункова формула для визначення висоти нейтральної зони. Якщо повітрообмін протікає через один отвір, тоді розраховують висоту нейтральної зони за формулою (18). При повітрообміні через два отвори, розташовані на різних рівнях, розрахунок продовжують за наступною методикою.

2. Визначають площу припливних і витяжних прорізів.

3. Визначають відстань між центрами припливних і витяжних отворів.

4. Визначають висоту нейтральної зони за формулою (19).

4.2 Приклад №4 – визначення площини нейтральної зони при пожежі в приміщенні

Визначити висоту нейтральної зони, при пожежі у сценічній частині театру розмірами 18·10·20 метрів на п'ятій хвилині розвитку пожежі, якщо середньооб'ємна температура дорівнює 250 °С, а повітрообмін здійснюється через відкриті двері розміром 1,2·2,2 м; на десятій хвилині, якщо середньооб'ємна температура дорівнює 320 °С, а повітрообмін здійснюється через відкриті двері і димовий люк розмірами 4,0·1,8 метри, розташований в верхній частині приміщення. Початкова температура повітря дорівнює 15 °С.

Розв'язування задачі:

1. Визначаємо висоту нейтральної зони на п'ятій хвилині розвитку пожежі, вважаючи, що повітрообмін здійснюється через один проріз:

$$h_{н.з.} = \frac{2,2}{1 + \sqrt[3]{\frac{(250 + 273)}{(15 + 273)}}} = 0,99 \text{ м.}$$

Визначаємо висоту нейтральної зони на десятій хвилині розвитку пожежі.

У даному випадку повітрообмін відбувається за другою схемою повітрообміну з припливом повітря через двері та викидом продуктів згоряння через димовий люк.

2. Площа припливного і витяжного прорізу.

Площа припливного прорізу:

$$S_{прит} = a_{дв} \cdot h_{дв} = 1,2 \cdot 2,2 = 2,64 \text{ м}^2.$$

Площа витяжного прорізу:

$$S_{вих} = a_{люк} \cdot h_{люк} = 4,0 \cdot 1,8 = 7,2 \text{ м}^2.$$

3. Відстань між центрами прорізів:

$$H = 20 - \frac{2,2 + 1,8}{2} = 18 \text{ м .}$$

4. Визначаємо висоту нейтральної зони:

$$h_{н.з.} = \frac{18}{\left(\frac{2,64}{7,2}\right)^2 \frac{(320 + 273)}{(15 + 273)} + 1} + 0,5 \cdot 2,2 = 6,74 \text{ м .}$$

ГЛАВА 5. ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПОЖЕЖІ НА ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ

5.1 Методика визначення теплового опромінювання при пожежі на відкритому просторі

Горіння на пожежі супроводжується виділенням великої кількості тепла, значна частина якого передається тепловим випромінюванням.

При відкритому горінні будівель і споруд, відкритих складів горючих речовин у твердому стані, вогнебезпечних рідин передача тепла від факелу в напрямку інших об'єктів являє собою небезпеку виникнення в них пожежі та вибуху. Випромінювання факелу на пожежі істотно ускладнює дії пожежних підрозділів, що беруть участь у гасінні пожежі.

Максимальна кількість тепла від факелу випромінюється по нормалі від його геометричного центру. В такому випадку щільність випромінювання визначається рівнянням:

$$q_{max} = \varepsilon_{36} \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (20)$$

де T_1 - температура факелу в залежності від виду матеріалу, що горить, К; T_2 - температура поверхні, що опромінюється факелом (технологічного обладнання, пожежної техніки, бойового одягу та шкіри особового складу), К; ε_{36} - зведений ступінь чорноти системи.

Зведений ступінь чорноти системи ε_{36} залежить від ступеня чорноти полум'я ε_1 та ступеня чорноти поверхні, що опромінюється ε_2 та визначається за формулою:

$$\varepsilon_{36} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2. \quad (21)$$

Кількість тепла, що випромінюється факелом у напрямку суміжних споруджень, обладнання, особового складу та техніки визначається згідно з законів теплообміну випромінюванням між двома тілами, довільно орієнтованими в просторі. В реальних умовах тепловипромінювання щільність теплового потоку визначається умовами опромінювання і залежить від середнього коефіцієнта опромінювання ψ_{2-1} :

$$q'_{1-2} = q_{max} \cdot \psi_{2-1}, \quad (22)$$

ψ_{2-1} - середній коефіцієнт опромінювання тіла.

При розв'язанні задачі з визначення мінімально достатньої відстані від факелу полум'я використовують базову схему опромінювання та базовий коефіцієнт опромінювання ψ_{2-1} .

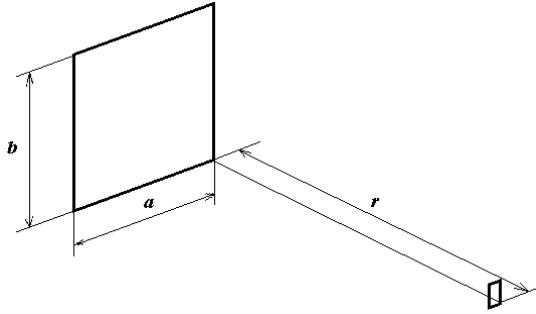


Рис. 5.1. Схема базової моделі опромінювання

Базовий коефіцієнт опромінювання ψ'_{2-1} розраховують за формулою:

$$\psi'_{2-1} = \frac{1}{360} \cdot \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \cdot \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \cdot \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right]; \quad (23)$$

при цьому кут для визначення \arctg визначається в градусах.

За значення a можна прийняти радіус факелу R_ϕ , а за значення b - висоту факелу H_ϕ .

Тепловий потік що потрапляє на об'єкт розташований на поверхні ґрунту безпосередньо перед центром факелу, складає половину від максимального значення $q'_{1-2} = 0,5 \cdot q_{max}$, а середній коефіцієнт опромінювання приймають рівним $\psi_{2-1} = 0,5$.

В тому випадку, коли поверхня, що опромінюється (технологічне обладнання, пожежна техніка та особовий склад), розташована на одному рівні з факелом, середній коефіцієнт опромінювання ψ_{2-1} визначається як два базових коефіцієнти опромінювання ψ'_{2-1} :

$$\psi_{2-1} = 2 \cdot \psi'_{2-1}. \quad (24)$$

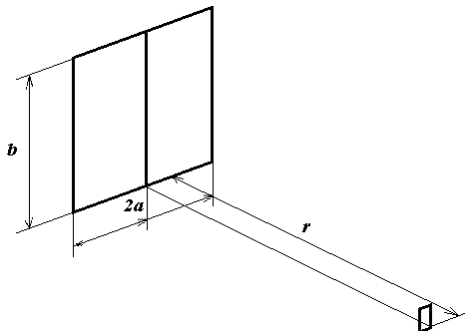


Рис. 5.2. Схема фактичної моделі опромінювання на пожежі

При горінні рідини в резервуарі висотою H_p ; середній коефіцієнт опромінювання ψ_{2-1} визначається як різниця коефіцієнтів опромінювання від повного контуру резервуара з факелом над ним та самого контуру резервуара

$$\psi_{2-1} = 2 \cdot [\psi'_{2-1}(a, H) - \psi'_{2-1}(a, h_p)]. \quad (25)$$

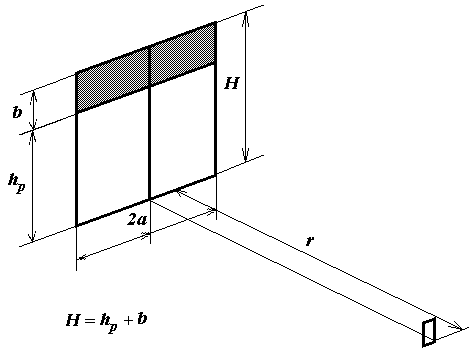


Рис. 5.3. Схема фактичної моделі опромінювання на пожежі в резервуарі

Для визначення безпечної відстані від факелу необхідно провести порівняння максимального теплового потоку від факелу q_{max} з критичним тепловим потоком $q_{кр}$, що є мінімальним небезпечним значенням питомого теплового потоку:

$$\beta q_{max} \leq q_{кр}, \quad (26)$$

де β - коефіцієнт безпеки.

Критичний тепловий потік $q_{кр}$ залежить від матеріалу, що опромінюється, ступеня захисту особового складу та часу опромінювання.

При пошуку безпечної відстані умову безпеки можна визначити рівнянням:

$$\psi'_{2-1}(r_{кр}) = \psi'_{кр}, \quad (27)$$

$$\psi'_{кр} = \frac{q_{кр}}{2 \cdot q_{max}}. \quad (28)$$

При відносно великій відстані до факелу межу з визначеним ступенем опромінювання можна визначити за формулою:

$$r_{кр} = \sqrt{\frac{b \cdot a}{\pi \cdot \psi'_{кр}}}. \quad (29)$$

Форма зони горіння над поверхнею рідини, що розлилася, або над резервуаром постійно міняється, але для визначення характеристик горіння її можна прийняти у вигляді циліндра з діаметром, рівним діаметру резервуара, і висотою H_ϕ .

При горінні горючої рідини в резервуарі площа пожежі обмежується площею резервуара. Висота полум'я залежить від діаметра резервуара і роду горючої рідини. Відомо, що при горінні продукту в резервуарі розмірами від 2 до 23 метрів висота факела полум'я пропорційна діаметру резервуара і для різних рідин вона визначається як:

- для бензину $H_\phi = 1,5 d$;
- для дизельного палива $H_\phi = 1d$;
- для етилового спирту $H_{\phi,л} = 0,8 d$.

При горінні рідини, що розлилася, ефективний діаметр зони горіння визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (30)$$

де F - площа розливу рідини, м²;

Висота факелу полум'я H_ϕ за формулою Томсона:

$$H_\phi = 3,46d \left(\frac{v_m}{\rho \sqrt{dg}} \right)^{0.61}, \quad (31)$$

де d - ефективний діаметр протоки, м²; v - масова швидкість вигорання рідини, кг/(м² хв.); ρ - густина повітря, кг/м³, приймається рівною 1,205 кг/м³; g - прискорення вільного падіння, 9,81 м/с².

Тривалість вигорання рідини в обвалуванні залежить від роду горючої рідини і пористості ґрунту. На основі дослідних даних відомо, що для дизельного палива час вигорання визначається:

- на поверхні бетону 16,8 хв.;
- на асфальтній поверхні 24,7 хв.;
- на ґрунті 27,3 хв.

Така закономірність зберігається і для інших видів нафтопродуктів.

5.2 Приклад №5 – розрахунок теплового випромінювання та безпечних відстаней при пожежі на відкритому просторі

Умови:

Визначити величину теплового потоку між факелом полум'я нафти, що горить в обвалуванні розмірами 36·36 м, та особовим складом підрозділу,

який розташовано на відстані 50 м від краю обвалування. На підставі розрахунку надати рекомендації щодо заходів захисту особового складу від теплового випромінювання.

Рішення:

1. З довідників визначаємо параметри горіння нафти та особливостей теплообміну між поверхнею полум'я та бойовим одягом особового складу:

- масова швидкість вигорання $v_m = 1,20$ кг/(м²·хв.);

- теплота згорання $Q_n' = 41900$ кДж/кг;

Температура полум'я $T_1 = 1373$ К;

- ступінь чорноти полум'я $\epsilon_1 = 0,85$;

- допустима температура поверхні тіла $T_2 = 333$ К;

- ступінь чорноти поверхні бойового одягу $\epsilon_2 = 0,9$;

- критичний тепловий потік для $q_{кр} = 4200$ Вт/м².

2. Визначаємо ефективний діаметр зони горіння:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 36 \cdot 36}{3,14}} = 40,6 \text{ м}.$$

3. Визначаємо висоту факелу полум'я:

$$H_\phi = 3,46d \left(\frac{v_m}{\rho \sqrt{dg}} \right)^{0,61} = 3,46 \cdot 40,6 \left(\frac{1,20}{1,205 \sqrt{40,6 \cdot 9,81}} \right)^{0,61} = 22,6 \text{ м}.$$

4. Розрахуємо зведену ступінь чорноти системи “полум'я-поверхня”:

$$\epsilon_{36} = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 = 0,85 \cdot 0,9 = 0,765.$$

5. Визначимо значення максимального теплового потоку:

$$q_{max} = \epsilon_{36} \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \\ = 0,765 \cdot 5,77 \cdot \left[\left(\frac{1373}{100} \right)^4 - \left(\frac{333}{100} \right)^4 \right] = 156207,3 \text{ Вт/м}^2.$$

6. Визначимо значення теплового потоку від факелу на поверхню ґрунту (на краю обвалування):

$$q'_{max} = 0,5 \cdot q_{max} = 0,5 \cdot 156207,3 = 78103,7 \text{ Вт/м}^2.$$

7. Розрахуємо базовий коефіцієнт опромінювання:

$$a = \frac{d}{2} = \frac{40,6}{2} = 20,3 \text{ м}, \quad b = H_{\phi} = 22,6 \text{ м}.$$

$$\begin{aligned} \psi'_{2-1} &= \frac{1}{360} \left[\frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} + \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{r^2 + a^2}} \right] = \\ &= \frac{1}{360} \left[\frac{22,6}{\sqrt{22,6^2 + 50^2}} \arctg \frac{20,3}{\sqrt{22,6^2 + 50^2}} + \frac{20,3}{\sqrt{20,3^2 + 50^2}} \arctg \frac{22,6}{\sqrt{20,3^2 + 50^2}} \right] = 0,0522. \end{aligned}$$

8. Визначимо повний коефіцієнт опромінювання особового складу від факелу:

$$\psi_{2-1} = 2 \cdot \psi'_{2-1} = 2 \cdot 0,0522 = 0,1044.$$

9. Визначимо тепловий потік, що випромінюється факелом у напрямку особового складу:

$$q_{1-2} = \psi_{2-1} \cdot q_{max} = 0,1044 \cdot 156207,3 = 16308,1 \text{ Вт/м}^2.$$

10. Визначасмо критичний коефіцієнт опромінювання $\psi'_{кр}$ за умов, що коефіцієнт безпеки β дорівнює одиниці:

$$\psi'_{кр} = \frac{q_{кр}}{2 \cdot \beta \cdot q_{max}} = \frac{4200}{2 \cdot 156207,3} = 0,0134.$$

11. Визначасмо граничну відстань за тепловим випромінюванням для особового складу в бойовому одязі:

$$r_{zp} = \sqrt{\frac{b \cdot a}{\pi \cdot \psi'_{кр}}} = \sqrt{\frac{22,6 \cdot 20,3}{3,14 \cdot 0,0134}} = 104,2 \text{ м}.$$

Висновок: на відстані 50 метрів тепловий потік від факелу буде складати $16308,1 \text{ Вт/м}^2$, що перевищує критичну щільність опромінювання для обраного виду захисту особового складу. Для забезпечення роботи особового складу необхідно розташувати його на відстані не менше **104,2** метра або забезпечити особовий склад тепловідбивними костюмами з одночасним захистом струменями води або водяних завіс.

5.3 Розрахунок теплового випромінювання з використанням програмного продукту “A-radia2” “A-radia3”

Для проведення розрахунків при курсовому та дипломному проектуванні можна скористатися програмним забезпеченням “A-radia2” для розрахунку теплового випромінювання при пожежі горючої рідини, що розлита на поверхню, та “A-radia3” – для розрахунку теплового випромінювання при пожежі горючої рідини в резервуарі. Представлений програмний продукт розроблено в середовищі “PASCAL”, що може бути використано як в середовищі MS-DOS, так і в середовищі Windows. При розрахунку враховуються такі фактори, як масова швидкість рідини, теплота та температура згоряння, висота резервуара, ступінь захисту особового складу від теплового випромінювання та інше.

Робота програми з розрахунку теплового випромінювання при пожежі горючої рідини в резервуарі починається з включення командного файлу A-radia3.exe з командного вікна оболонки MS-DOS або з провідника Windows. Як результат, з’являється головне вікно програми (рис.5.4).

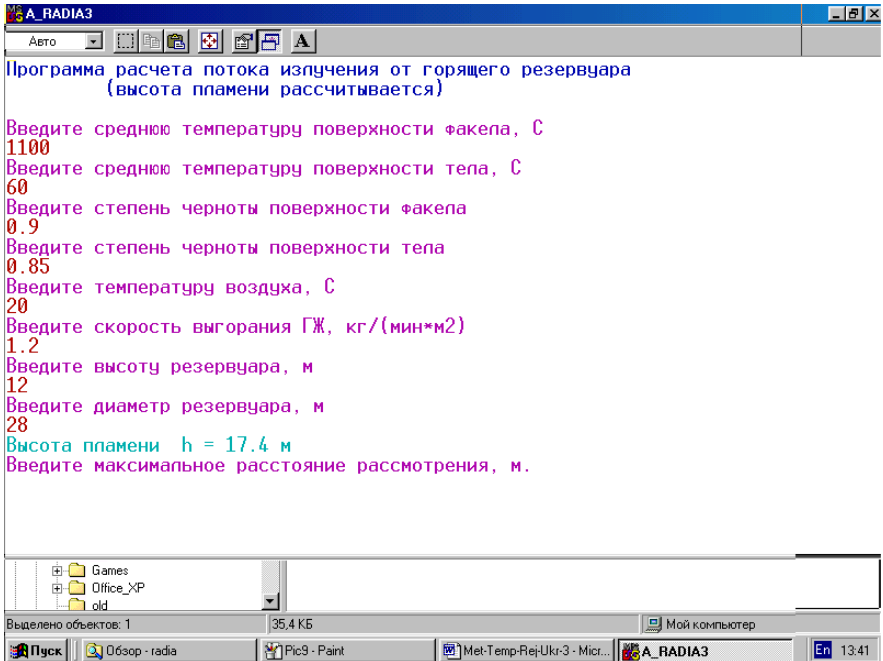


Рис. 5.4. Головне вікно програми

В представленому вікні вводяться основні дані про умови розвитку пожежі та про умови теплового випромінювання, на які потрібно відповісти:

1. Середня температура поверхні факелу, $^{\circ}\text{C}$;
2. Середня температура поверхні тіла, $^{\circ}\text{C}$;
3. Ступінь чорноти поверхні факелу;
4. Ступінь чорноти поверхні тіла;
5. Середня температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;
6. Швидкість вигорання горючої рідини, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
7. Висота резервуара, м;
8. Діаметр резервуара, м.

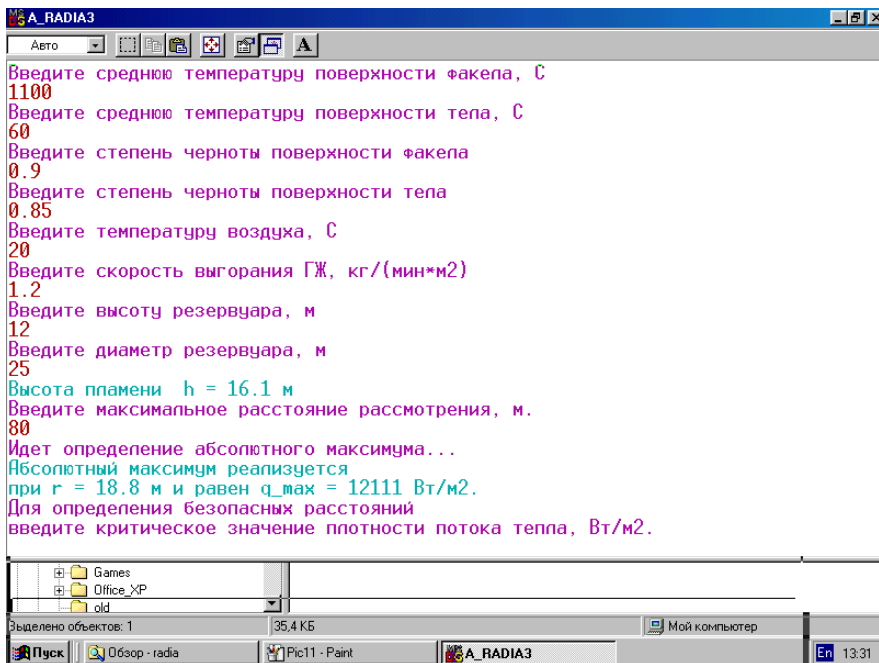


Рис. 5.5. Головне вікно програми

Висота полум'я розраховується автоматично, при цьому у вікні з'являється повідомлення:

Высота пламени $h =$ м.

Надалі знов виводиться запитання, на яке необхідно дати відповідь: "Уведіть максимальну відстань розгляду, м". Після введення максимальної відстані, на якій розглядається теплове випромінювання, з'являється повідомлення (рис.5.5):

Идет определение абсолютного максимума.

Абсолютный максимум реализуется

при $g = 19.6$ м и равен $q_{\text{max}} = 10221$ Вт/м².

Після видачі повідомлення знов виводиться запитання:

Для определения безопасных расстояний введите критическое значение плотности потока тепла, Вт/м².

Для введення значення щільності необхідно вибрати необхідний ступінь захисту особового складу від теплового випромінювання та відповідну щільність потоку. При цьому необхідно вводити значення в Вт.

В результаті проведення остаточних розрахунків з'являється повідомлення:

Идет определение безопасных расстояний.

1 $r_{кр1} = 9.9$ м

2 $r_{кр2} = 38.9$ м

Отримані значення вказують відстань, ближче до якої або далі від якої щільність теплового випромінювання не перевищує граничних позначок.

Для отримання графічного відображення результатів розрахунку необхідно з клавіатури ввести "Enter", після чого на монітор буде виведено графік розподілу теплового випромінювання в залежності від відстані від резервуара (рис. 5.6).

При пересуванні маніпулятором "миша" в правому верхньому куту відображається відстань та фактичне значення теплового випромінювання.

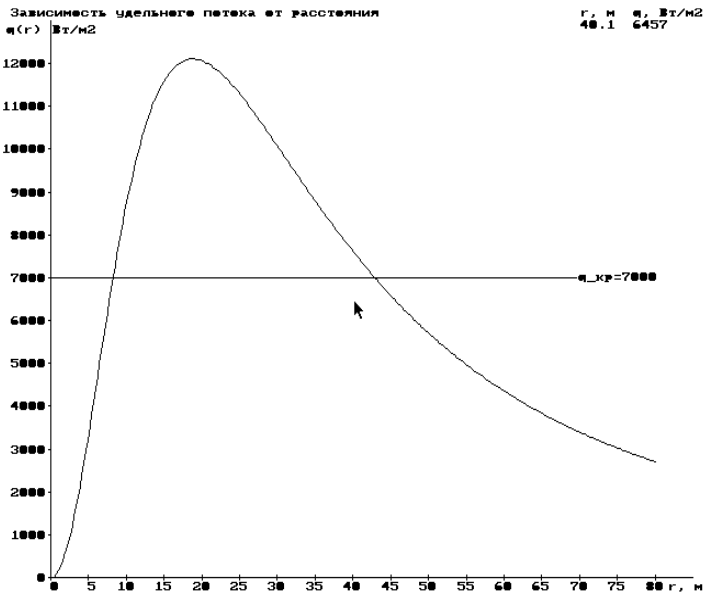


Рис. 5.6. Результаты - график распределения теплового излучения

ДОДАТКИ

Додаток 1

Витрата повітря та питомий об'єм продуктів згоряння при горінні деяких речовин та матеріалів за нормальних умов

Горюча речовина, матеріал	Витрата повітря для повного згоряння, v_n^0 , кг/м ³	Питомий об'єм продуктів згоряння, $v_{n.z}^0$, кг/м ³	Коефіцієнт повноти згоряння (хімічного недопалу)
1	2	3	4
Акрилова кислота	4,44	5,08	0,97
Аміак	4,70	5,68	0,97
Амілацетат	7,80	8,56	0,93
Аміловий спирт	9,10	10,00	0,93
Анілін	8,90	9,34	0,93
Ацетилен	10,25	10,70	0,85
Ацетон	7,35	8,14	0,93
Бавовна та вироби з неї	3,95	4,64	0,97
Бензин	11,60	12,35	0,85
Бензол	10,25	10,70	0,85
Бітум	9,45	10,39	0,93
Бутан	11,94	12,91	0,85
Бутилацетат	7,35	8,14	0,93
Бутиловий спирт	8,64	9,52	0,93
Водень	26,60	32,20	0,85
Гас	11,36	12,29	0,85
Гексан	11,79	12,71	0,85
Гліцерин	4,06	4,90	0,97
Деревина при вологості, %			
10	4,20	4,96	0,97
20	3,74	4,42	0,97
30	3,54	3,99	0,97
Дизельне пальне	11,50	11,95	0,93
Діетиловий ефір	8,65	9,55	0,93
Капролактам	7,76	8,54	0,93
Каучук природний	10,00	10,75	0,90
Каучук синтетичний СК	10,16	10,82	0,85
Кіноплівка			
з нітроцелюлози	3,62	4,32	0,97

1	2	3	4
з триацетату	4,34	4,97	0,97
Мазут	11,30	11,86	0,85
Метан	13,32	14,72	0,85
Метиловий спирт	4,99	6,06	0,85
Нафта	11,80	11,86	0,85
Папір	3,95	4,64	0,97
Пентан	11,85	12,78	0,85
Поліпропілен	11,42	12,22	0,85
Полістирол	10,25	10,68	0,85
Поліуретан	6,00	6,55	0,93
Скипидар	10,96	11,63	0,85
Стирол	11,85	10,68	0,85
Толуол	10,46	11,94	0,85
Торф при вологості, %			
10	5,01	5,66	0,93
20	4,54	5,14	0,97
30	3,96	4,62	0,97
Бавовна та вироби з неї	3,95	4,64	0,97
Етиловий спирт	6,95	7,94	0,93
Етиленгліколь	4,16	5,06	0,97

**Потрібний захист та граничний час перебування людей у зонах
теплового опромінювання**

Щільність теплового опромінювання, Вт/м²	Граничний час перебування людей, хв.	Потрібний захист особового складу	Ступінь теплового впливу на шкіряний покрив людини
3000	не обмежується	без захисту	більшові відчуття відсутні
4200	не обмежується	у бойовому одязі та в касці з захисним склом	нестерпні більшові відчуття через 20 с
7000	5	у бойовому одязі та в касці з захисним склом	нестерпні більшові відчуття виникають миттєво
8500	5	у бойовому одязі, що змоченому водою, та в касці з захисним склом	опіки через 20 с
10500	5	у бойовому одязі та в касці з захисним склом під захистом водяних струменів або водяних завіс	миттєві опіки
14000	5	в тепловідбивних костюмах під захистом водяних струменів або водяних завіс	миттєві опіки
85000	1	в тепловідбивних костюмах з засобами індивідуального захисту під захистом водяних струменів, або водяних завіс	миттєві опіки

**Лінійна швидкість поширення горіння при пожежах
на різних об'єктах, м/хв.**

Будівлі, споруди, речовини та матеріали	Швидкість	
	<i>min</i>	<i>max</i>
1	2	3
Адміністративні будівлі	1,0	1,5
Бібліотеки, книгосховища, архівосховища	0,5	1,0
Деревообробні підприємства:		
- лісопилльні цехи (будівлі I; II; III ступеня вогнестійкості)	1,0	3,0
- те ж, будівлі IV і V ступеня вогнестійкості	2,0	5,0
- сушарки	2,0	2,5
- заготівельні цехи	1,0	1,5
- виробництва фанери	0,8	1,5
- приміщення інших цехів	0,8	1,0
Житлові будинки	0,5	0,8
Коридори і галереї	4,0	5,0
Кабельні спорудження (горіння кабелів)	0,8	1,1
Лісові масиви (швидкість вітру 7...10 м/с і вологість 40 %):		
- сосняк сфагновий		до 1,4
- сосняк - зеленомошник (ягідник)		14,2
- сосняк - бор-беломошник		18,9
- ялиник - долгомошник і зеленомошник		4,2
Рослинність, лісова підстилка, підріст дровостою при верхівкових пожежах і швидкості вітру, м/с:		
- 8 ÷ 9		42
- 10 ÷ 12		83
Те ж, по крайці на флангах і в тилу при швидкості вітру, м/с;		
- 8 ÷ 9	4	7
- 10 ÷ 12	8	14
Музеї і виставки	1,0	1,5
Об'єкти транспорту:		
- гаражі, трамвайні і тролейбусні депо	0,5	1,0
- ремонтні зали ангарів	1,0	1,5
Морські і річкові судна:		
- спалення надбудова при внутрішній пожежі	1,2	2,7
- те ж, при зовнішній пожежі	2,0	6,0
- внутрішні пожежі за наявності синтетичної обробки і відкритих прорізів	1,0	2,0
Пінополіуретан	0,7	0,9
Підприємства текстильної промисловості:		

1	2	3
- приміщення текстильного виробництва	0,5	1,0
- те ж, за наявності на конструкціях шару пилу	1,0	2,0
- волокнисті матеріали в розпушеному стані	7,0	8,0
- спаленні покриття цехів великої площі	1,7	3,2
- спаленні конструкції дахів і горищ	1,5	2,0
- льоноволокна	3,0	5,6
- текстильні вироби	0,3	0,4
- папір в рулонах	0,2	0,3
Гумотехнічні вироби у будівлях	0,4	1,0
Гумотехнічні вироби (штабелі на відкритій площадці)	1,0	1,2
Каучук	0,6	1,0
Лісопиломатеріали:		
- круглого лісу в штабелях	0,4	1,0
- пиломатеріалів (дошок) у штабелях при вологості, %:		
до 16	4,0	
16-18	2,3	
18-20	1,6	
20-30	1,2	
більше 30	1,0	
- куп балансової деревини при вологості, %		
до 40	0,6	1,0
більше 40	0,15	0,2
Сушильні відділення кожзаводів	1,5	2,2
Сільські населені пункти:		
- житлова зона при щільній забудові будинками V ступеня вогнестійкості при сухій погоді і сильному вітрі	20	25
- солом'яні дахи будинків	2,0	4,0
- підстилка у тваринницьких приміщеннях	1,5	4,0
Театри і Палаці культури (сцени)	1,0	3,0
Торгові підприємства, склади і бази товарно-матеріальних цінностей	0,5	1,2
Друкарні	0,5	0,8
Фрезерний торф (на нулях видобутку) при швидкості вітру, м/с:		
10 -14	8,0	10
18 - 20	18	20
Торф в штабелях	0,8	1,0
Холодильники	0,5	0,7
Школи, лікувальні установи:		
- будинки I і II ступеня вогнестійкості	0,6	1,0
- III і IV	2,0	3,0

**Середня швидкість вигорання деяких твердих матеріалів, нижча
теплота згоряння їх і теплота пожежі (без впливу вітру)**

Горючий матеріал	Швидкість вигорання, кг/(м ² ·хв.)	Теплота	
		згоряння, кДж/кг	пожежі, кДж/(м ² ·хв.)
1	2	3	4
Папір розпушений	0,636	13400	8300
Волокно штапельне розпушене	0,54	13800	7209
Деревина у виробках (вологість 8-10%)	1,11	13800	14790
Деревина в штабелях (пилотеріали висотою шару 4-8 м, при щільності укладання 0,2-0,3 і вологості 12-14 %)	6,40	16600	13809
Карболітові вироби	0,33	24900	8390
Каучук:			
- синтетичний	0,72	49200	24600
- натуральний	1,08	42390	36 298
Книги на стелажах	0,438	13 499	5709
Органічне скло	1,14	25109	25790
Пінополіуретан	0,90	24309	20 39
Полістирол	1,14	39099	37890
Поліпропілен (у виробках)	0,87	45699	27399
Поліетилен (у виробках)	0,62	47100	24800
Гумотехнічні вироби	0,90	33500	27 100
Торфоплити у штабелях (вологість 9 ÷ 12 %)	0,318	-	-
Торф у караванах (вологість 40%)	0,24	11 300	2600
Фенопласти	0,48	-	-
Бавовна розпушена	0,318	15 700	4800

**Середня швидкість вигорання деяких рідин у резервуарах. Нижча
теплота згоряння і теплота пожежі (без впливу вітру)**

Горючі рідини	Швидкість			Теплота	
	вигорання,		прогріву шару, см/хв	згорання, кДж/кг	пожежі, кДж/(м ² ·хв.)
	кг/(м ² ·хв.)	см/хв			
Аміловий спирт	1,05	0,13		39000	38100
Ацетон	2,832	0,33		20000	52700
Бензин	2,93	0,50	1,20	41900	105000
Бензол	2,298	0,50		40900	79200
Бутилів спирт	0,81	0,11		36200	27300
Гасн	2,298	0,40		43500	85000
Дизельне паливо	3,30	0,33		43000	120600
Діетиловий ефір	3,60	0,50	0,57	33500	112000
Етиловий спирт	1,80	0,25		27200	45500
Мазут	2,10	0,17	0,50	39800	67700
Метиловий спирт	0,96	0,12	0,55	22700	21200
Нафта	1,20	0,23	0,50	41900	42800
Сіровуглерод	2,22	0,17		14100	26600
Толуол	2,298	0,33		41000	80100

Орієнтовна температура пожежі при горінні різноманітних матеріалів

Горючі матеріали	Пожежне навантаження, кг/м ²	Температура пожежі, °С
Папір розпушений	25	370
Те ж саме	50	510
Деревина соснова в огороженні	25	830
Те ж саме	50	900
Те ж саме	100	1000
на відкритій місцевості у штабелях	600	1300
Карболітові вироби	25	530
Те ж саме	50	640
Кам'яний вугіль, брикети		До 1200
Калій металевий		700
Каучук натуральний	50	1200
Магній, електрон		До 2000
Натрій металевий		660
Органічне скло	28	1105
Полістирол	25	1100
Те ж саме	50	1350
Текстоліт	25	700
Те ж саме	50	850
Бавовна розпушена	50	310

Температура полум'я при горінні деяких речовин і матеріалів

Речовина і матеріал	Температура полум'я, °С
Ацетилен (в кісні)	3100 - 3300
Ацетилен (в повітрі)	2150...2200
Водень	2130
Газонафтовий фонтан в резервуарах	до 1100
Деревина	700 - 1000
Електрон, магній	Біля 3000
Метан	1950
Нафта і нафтопродукти	1100 - 1300
Парафін	1430
Сіра	1820
Сірковуглець	2195
Спирт	900 - 1200
Стеарин	640 - 940
Терміт	3000
Торф	770 - 790
Целулоїд	1100 - 1300

ЛІТЕРАТУРА

1. Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н. Термогазодинамика пожаров в помещениях. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
2. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров. Пер. с английского.: – М.: Стройиздат, 1990. – 421 с.
3. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М.: Академия ГСП МВД России, 2000. – 118 с.
4. McGrattan, K.B. and G.P. Forney. „Fire Dynamics Simulator: User's Guide.” NISTIR 6469. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2000.
5. Рябова І.Б., Сайчук І.В., Шаршанов А.Я. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі. – Харків: АПУ, 2002. – 352 с.
6. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288с.
7. Деревянко И.Г., Сенчихин Ю.Н. Расчет температурного режима и газообмена при пожаре в ограждении. Методические указания для курсантов учебных заведений МВД Украины. – Харьков: ХИПБ, 1996. – 21 с.
8. Романенко И.М., Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. – М.: ВИПТШ МВС СРСР, 1977. – 415 с.
9. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
9. Задачник по термодинамике и теплопередаче в пожарном деле. Под редакцией к.т.н. доцента М.П. Башкирцева. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1979. – 318 с.

<http://nuczu.edu.ua/>