

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД  
(ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. СУТНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ, РОЗВИТКУ  
ПОЖЕЖ І ПОЖЕЖОГАСІННЯ).

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності  
192 – Будівництво і цивільна інженерія  
Галузі знань – 19 Архітектура і будівництво

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри харчових технологій  
та екології  
Протокол № 4 від 18.04.24

Чернігів 2024

Пожежна безпека будівель та споруд (Змістовий модуль 1. Сутність процесів горіння, розвитку пожеж і пожежогасіння). Конспект лекцій для ЗВО другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво і цивільна інженерія, галузі знань – 19 Архітектура і будівництво /Денисова Н.М. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 182 с.

Укладачі:

ДЕНИСОВА НАТАЛЯ МИКОЛАЇВНА,

кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск:

ЧЕЛЯБІЄВА ВІКТОРІЯ МИКОЛАЇВНА,

завідувач кафедри харчових технологій та екології,

кандидат технічних наук, доцент

Рецензент:

КОСТЕНКО ІГОР АНДРІЙОВИЧ, кандидат  
технічних наук, доцент кафедри харчових технологій  
та екології Національного університету  
«Чернігівська політехніка»

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	5
1 Актуальність проблематики пожежної безпеки в Україні	8
1.1 Основні термінологічні визначення	8
1.2 Світові приклади та статистична довідка щодо масштабів пожеж будівель та споруд в Україні	9
1.3 Характерні приклади різної стійкості будівель та споруд в умовах пожежі	11
1.4 Історія протипожежної справи в Україні	21
2 Забезпечення пожежної безпеки будівель та споруд в Україні	22
2.1 Нормативне та законодавче забезпечення пожежної безпеки будівель та споруд в Україні	22
2.2 Нагляд та контроль за пожежною безпекою об'єктів захисту	43
3 Пожежна безпека об'єктів господарювання	48
3.1 Організація пожежної безпеки на об'єктах господарювання	48
3.2 Задачі пожежної профілактики об'єктів та шляхи їх вирішення	54
3.3 небезпечні фактори пожеж	57
4 Загальні основи процесу горіння	62
4.1 Закономірності виникнення горіння	62
4.2 Матеріальний та енергетичний баланс процесу горіння	66
4.3 Самоспалахування та самозаймання речовин, матеріалів та горючих сумішей	72
5 Параметри пожежної безпеки речовин та матеріалів	79
5.1 Загальні параметри розвитку пожеж	79
5.2 Особливості розвитку пожеж	85
6 Основні властивості будівельних матеріалів та процесів що в них відбуваються	94
6.1 Поведінка будівельних матеріалів в умовах горіння	94

6.2 Вогнезахист будівельних матеріалів	111
6.3 Особливості застосування вогнегасних речовин	130
7 Вогнестійкість будівель, споруд та будівельних конструкцій	152
7.1 Теоретичні основи розрахунку вогнестійкості будівельних конструкцій	152
7.2 Розрахункові схеми визначення меж вогнестійкості будівельних конструкцій	171
Список літературних джерел	182

## ВСТУП

Щороку на земній кулі виникає майже 7 млн. пожеж, в середньому кожні 5 секунд у світі трапляється пожежа. Одночасно та безперервно у світі відбувається 500-600 пожеж. Кожного року внаслідок пожеж гине в середньому 65-70 тис. осіб, отримують опіки та травми більше 1 млн. осіб. Людство несе великі матеріальні втрати, що перевищують сотні мільярдів доларів.

Порівняно з країнами ближнього зарубіжжя, Україна займає одне з провідних місць за кількістю пожеж та негативних наслідків від них. Показник загибелі людей, у розрахунку на 1 млн. населення в Україні, перевищує європейські показники майже у 10 разів.

Вміння оцінювати та прогнозувати поведінку конструкцій та будівель при пожежі, проводити розрахунки міцності та стійкості будівель при огневому впливі, пропонувати ефективні способи підвищення стійкості об'єктів при пожежі є обов'язковим для фахівців: проектувальників, будівельників, працівників служб експлуатації.

Мета вивчення дисципліни – теоретична та практична підготовка фахівців будівельної галузі із забезпечення питань пожежної безпеки на різних стадіях проектування, будівництва, реконструкції і експлуатації об'єктів.

Завдання вивчення дисципліни полягає у вивченні та ефективному використанні організаційних та технічних засобів та заходів, спрямованих на запобігання пожежам, забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для успішного гасіння пожеж.

Предмет вивчення у дисципліні – законодавча і нормативно-правова база пожежної безпеки, системи забезпечення вибухопожежної безпеки об'єкта, способи та засоби гасіння пожеж.

Під час вивчення дисципліни здобувач вищої освіти має набути або розширити загальні (ЗК3, ЗК4, ЗК8) та спеціальні фахові (СК8, СК9, СК10) компетентності, передбачені освітньою програмою «Будівництво та цивільна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»:

ЗК 03. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації

ЗК 04. Здатність приймати обґрунтовані рішення

ЗК 08. Здатність вирішувати професійні завдання з урахуванням вимог цивільного захисту.

СК 08. Здатність інтегрувати знання з інших галузей для розв'язання складних задач у широких або мультидисциплінарних контекстах.

СК 09. Базові знання основних національних, європейських та міжнародних нормативно-правових актів у сфері будівництва

СК 10. Здатність використовувати знання й розуміння для оцінки загроз і ризиків у промисловому та цивільному будівництві

Під час вивчення дисципліни здобувач має досягти або вдосконалити програмні результати навчання (ПРН 13, 14), передбачені освітньою програмою:

ПРН 13. Здатність демонструвати знання та розуміння надійності будівельних систем.

ПРН 14. Оцінювати значущість результатів комплексної інженерної діяльності в галузі будівництва

У підсумку ЗВО повинні знати основні нормативні документи, що регламентують вимоги пожежної безпеки; небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані з пожежами; основні причини; пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів; суть процесів горіння, розвитку пожеж і пожежогасіння; пожежовибухонебезпечність об'єкта як функцію пожежонебезпечних властивостей матеріалів і речовин; систему попередження пожеж, її призначення, концептуальні засади системи попередження пожеж; систему протипожежного захисту, її призначення, суть і складові системи

протипожежного захисту, її призначення; систему протипожежного захисту як комплекс методів, заходів та засобів, направлених на обмеження розповсюдження та локалізації пожежі, виявлення пожежі, створення умов для ліквідації пожежі, захисту людей і матеріальних цінностей; засоби виявлення пожежі та сповіщення про пожежу, автоматичні системи пожежної сигналізації; стаціонарні засоби пожежогасіння, протипожежне водопостачання, устаткування пінного, газового та порошкового пожежогасіння; організацію і проведення евакуації людей, розміри, кількість, розміщення, виконання та утримання шляхів евакуації людей; улаштування і утримання протидимного захисту, засоби колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних і шкідливих факторів пожежі; засоби і заходи попередження розповсюдження пожежі, ступінь вогнестійкості будівель та споруд, межу вогнестійкості будівельних конструкцій, протипожежних споруд та їх елементів; улаштування протипожежних перешкод в будівлях, системах вентиляції, паливних і кабельних комунікаціях; пристрої обмеження витікання та розтікання рідин при пожежі; відстані між будівлями та спорудами; систему організаційно-технічних заходів, організацію вивчення питань пожежної безпеки працівниками, в тому числі посадовими особами.

# 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМАТИКИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

## 1.1 Основні термінологічні визначення

**Пожежа** - це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків.

**Пожежа** – позарегламентний процес знищення або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають інциденти, небезпечні для живих істот і довкілля.

**Пожежна небезпека** - можливість виникнення та (або) розвитку пожежі в будь-якій речовині, процесі, стані.

**Вогнестійкість конструкції** – час, протягом якого конструкція зберігає свої несучі і захисні функції в умовах комбінованої особливої дії робочого навантаження і високих температур пожежі.

**Система пожежної безпеки** – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежі та збиткам від неї.

**Пожежобезпека об'єкта** – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

З правової точки зору, термін "пожежна безпека" можна розглядати як стан захищеності особи, майна, об'єкта, населеного пункту, регіону, держави від пожеж.

**Категорія за вибухопожежної та пожежною небезпекою** (будинку, приміщення) – класифікаційна характеристика вибухопожежної та пожежної небезпеки будинку (приміщення), що визначається кількістю та пожежо-вибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що 0

знаходяться (обертаються) в них, з урахуванням особливостей технологічних процесів, розміщених у них виробництв.



**Стійкість об'єкта (будівлі та споруди)** – це властивість об'єкта захисту зберігати конструктивну цілісність та (або) функціональне призначення при впливі небезпечних факторів пожежі та вторинних проявів небезпечних факторів пожежі.

## 1.2 Світові приклади та статистична довідка щодо масштабів пожеж будівель та споруд в Україні

На межі ХХ-ХХІ ст. у всьому світі починає бурхливо розвиватися будівництво, в тому числі будівництво висотних, багатофункціональних, великопрогонових будівель і споруд, об'єктів різного призначення з різноманітними конструктивно-планувальними рішеннями, з широким застосуванням сучасних ефективних будівельних матеріалів. Проектуються, будуються, експлуатуються унікальні висотні будівлі, тунелі, палаци спорту, будівлі та споруди сучасних аеропортів, багато-функціональних торгово-розважальних комплексів тощо.

Пожежі, що найчастіше спостерігаються як надзвичайні ситуації, представляють велику небезпеку для будівель та споруд. Багато унікальних будівель та споруд – пам'ятники людської культури та архітектури, побудовані на десятиліття та століття, при пожежах отримували непоправні пошкодження або повністю руйнувалися протягом декількох десятків хвилин. Катастрофічний характер впливу пожеж на об'єкти сфери проживання людини визначається небезпечними факторами пожежі, вплив яких на будівлі та споруди призводить до пошкодження, руйнування, втрати стійкості об'єктів та загибелі людей.

Протягом існування та розвитку людської цивілізації велика увага приділялася забезпеченню стійкості будівель та споруд в умовах пожежі, тобто здатності цих об'єктів зберігати свою конструктивну цілісність і (або) своє функціональне призначення при впливі небезпечних факторів пожежі та вторинних проявах небезпечні фактори пожежі. Проблема забезпечення стійкості унікальних об'єктів, їх захисту від прогресуючого обвалення при небезпечних ситуаціях пожеж стала особливо актуальною після 11 вересня 2001

р., коли в Нью-Йорку внаслідок терористичного акту було зруйновано вежі Світового торгового центру.

Вивчення, розробка методів та засобів для вирішення цієї проблеми в даний час складають частину сучасного інноваційного розвитку нашої держави.

Вміння оцінювати та прогнозувати поведінку конструкцій та будівель при пожежі, проводити розрахунки міцності та стійкості будівель при огневому впливі, пропонувати ефективні способи підвищення стійкості об'єктів при пожежі є обов'язковим для фахівців: проектувальників, будівельників, працівників служб експлуатації.



а)



б)



в)

Рисунок 1.1 – Втрата несучої здатності будівельних конструкцій внаслідок пожежі: а - металеві, б – дерев'яні, в - залізобетонні конструкції.

Різні будівлі та споруди по-різному поведуться при пожежах. Одні з них добре опираються небезпечним факторам пожежі та при дії пожежі зберігають свою конструктивну цілісність і функціональне призначення протягом часу, достатнього для евакуації, порятунку людей, ліквідації пожежі та її наслідків. Інші будівлі та споруди при пожежах швидко втрачають свою конструктивну цілісність (аж до прогресуючого обвалення), втрачають здатність виконувати своє функціональне призначення що веде до тяжких людських жертв і величезних матеріальних збитків.

Проблема забезпечення достатньої цілісності та відповідності функціональному призначенню будівель та споруд в умовах пожежі є однією з найважливіших та найскладніших проблем у галузі пожежної безпеки.

В результаті виникла потреба у спеціальному показнику, за допомогою якого фахівці могли б проводити оцінку властивості об'єкта тією чи іншою мірою протистояти небезпечним факторам пожежі.

В даний час як такий показник використовується стійкість будівель і споруд під час пожежі.

### 1.3 Характерні приклади різної стійкості будівель та споруд в умовах пожежі

Найвідоміша пожежа в всесвітній історії відома як «Велика Римська пожежа» у 64 році н. е. На сьогодні відомо багато версій виникнення пожежі від спланованої акції імператора Рима Нейрона до підпалу міста християнами. Але достовірно відомо, що пожежа полихала п'ять днів і знищила десять з чотирнадцяти районів Рима. Полум'я швидко розповсюджувалось по вузьким вулицям Рима, в яких утворювалась додаткова тяга, це не залишало будь-яких шансів на порятунок жителів міста. Достовірно не відомо про кількість загиблих в пожежі. За деякими оцінками, вважається, що загинуло понад 40% жителів міста. Фактично центральна частина міста була знищена вщент.

Велика лондонська пожежа в 1666 році є значно більше інформації, вважається найбільшим катастрофічним явищем Лондона. Пожежа тривала чотири дні, вщент згоріло 13200 будинків. Хоча вважається, що Велика Лондонська пожежа зробила і добру справу, позбавивши місто від трущоб, які кишіли чумою та її носіями пацюками.

Маштабна пожежа в Чикаго наприкінці осені 1871 р. привела до знищення майже всього міста. Згоріло понад 17 тисяч будівель. Вогняна стихія розповсюджувалась занадто повільно, тому кількість жертв відносно не велика - біля 300 жителів. Але, подальша люта зима привела до значної загибелі погорільців, які залишились без даху над головою.

У 1923 році в м. Токіо, за наслідками землетрусу сталась потужна пожежа. Сильний вітер розносив вогняні смерчі з великою швидкістю на значні відстані. Тільки на одній центральній площі Токіо від чадного газу отруїлось більше 40 тисяч мешканців міста. За офіційними даними внаслідок землетрусу та катастрофічної пожежі загинуло понад 174 тисячі жителів і більш ніж 500 тисяч зникло безвісті. Місто Токіо було повністю зруйновано.

Пожежа в 22-х поверховій будівлі готелю в Сеулі (Південна Корея). 25 грудня 1971 року став найбільшим з усіх пожеж у готелях підвищеної поверховості (рис.1.2 а). Пожежа почалася на кухні кафетерію на другому поверсі будівлі. За нейлонових завіс на вікнах, синтетичних килимах, через сходові клітки та шахти ліфтів вогонь з надзвичайною швидкістю став поширюватися на верхні поверхи, перетворюючи будівлю в палаючий смолоскип. Відбулося обвалення конструкцій сходових кліток і перекриттів на декількох поверхах. З 296 чоловік, що знаходилися в готелі в момент виникнення пожежі, загинуло 164 і 58 осіб отримали опіки і отруєння димом. У гасінні цієї пожежі брали участь пожежні команди, поліцейські та армійські частини.

Пожежа в 32-поверховому хмарочосі (Мадрид, Іспанія, 2005 рік) (рис.1.2 б). Відсутність нормально функціонуючої СПЗ висотної будівлі (даний 32-х поверховий будинок в Мадриді (Іспанія) знаходився на ремонті, тому система протипожежного захисту будівлі не функціонувала) і призвело до того, що пожежа, що почалася на верхніх поверхах будівлі, без перешкод перекинувся на всю будівлю і фактично привела у стан, який не підлягав відновленню. Пожежа повністю знищила 32-х поверховий хмарочос "Віндзор", висотою 106 м. Займання сталось на 21 поверсі із-за замкнення електропроводки. Незважаючи на всі зусилля з локалізації пожежі, вона продовжувалась більше двадцяти годин і згасла після того, як повністю вигоріла вся будівля, обвалився фасад та бокові стіни, див. рис. 1.2б. Від будівлі лишився тільки несучий каркас. Із-за впливу високих температур на конструкції несучого каркасу, будівля відновленню не

підлягала і була демонтована.



а)

б)

Рисунок 1.2 – Наслідки пожеж: а - пожежа в 22-поверховій будівлі готелю (Сеул, 1971 р.), б - 32-х поверховій будівлі (Мадрид. Іспанія, 2005 р.).

21 лютого 2015 року загорівся один з найвищих житлових хмарочосів у світі – так званий «Смолоскип», (англ. «The Torch») м. Дубаї, ОАЕ (рис.1.3).



Рисунок 1.3 - Пожежа хмарочосу «Смолоскип», м. Дубаї.

Дубайський «Смолоскип», розташований в елітному кварталі острова Джумейра, був збудований в 2011 році. Висота 79-ти поверхової будівлі становить 336 метрів, 676 квартир. Вартість будівництва склала понад 180 млн. доларів. Займання сталося на 50-му поверсі. На місце пожежі оперативно прибули рятувальники, мешканці будинку було терміново евакуйовані. Із-за сильного вітру полум'я швидко поширилось по стінам фасаду і досягло 70-го поверху, див. рис.1.3. Щоб подолати полум'я десяти пожежним розрахункам

знадобилося три години. За наслідками пожежі ні один мешканець будівлі не постраждав. Лицювання фасаду будівлі зазнало значних пошкоджень.

Влітку 2015 року, внаслідок порушення технології проведення зварних робіт, зайнялась одна з веж недобудованого 22-х поверхового житлового комплексу «Гагарін-Плаза», м. Одеса (рис.1.4). Пожежа почалась на верхніх поверхах: загорілась обшивка стін, вогонь стрімко поширився до першого поверху. Аби лише локалізувати вогонь у будинку знадобилося п'ять годин. У новобудові не було пожежних гідрантів, а пожежні драбини не дотягувались навіть до п'ятнадцятого поверху. Під час гасіння вогню постраждали двоє пожежних. Внаслідок пожежі згоріло 80% фасаду. Розповсюдження пожежі сталось із-за невідповідності будівлі державним архітектурно-будівельним нормам - відсутність пожежного водопроводу, пожежних гідрантів, систем пожежної сигналізації та пожежогасіння.



Рисунок 1.4 - Пожежа вежі хмарочоса «Гагарін-Плаза», м. Одеса.

Окремою трагічною сторінкою є теракт в Нью-Йорку (2001 рік). В результаті цієї атаки були серйозно пошкоджені або повністю зруйновані в центрі 10 будівель, загинули 2 792 особи.

Світовий торговий центр (ВТЦ) у Нью-Йорку представляв із семи будівель у південній частині Манхеттена (рис. 5). Загальна площа комплексу ВТЦ – 115 га. Щодня у будинках знаходилися 50 тис. службовців та близько 100 тис. відвідувачів. Будівництво Світового торгового центру в Нью-Йорку було розпочато у 1966 р. Офіційне відкриття центру відбулося у квітні 1974 р.

Архітектурною домінантою комплексу ВТЦ були дві 110-поверхові вежі, проти яких і були спрямовані атаки терористів 11 вересня 2001 р. У цих вежах розміщувалися як орендарі приміщень близько 500 фірм із різних країн світу.

Башти ВТЦ були схожими, але не ідентичними. Північна вежа(ВТЦ-1) була на 6 футів вище Південної (ВТЦ-2), крім того, на ній була встановлена 360-футова антена для теле- та радіотрансляцій. У внутрішньому стовбурі веж знаходилися 99 ліфтів, 3 сходи та 16 ескалаторів.

Внутрішній ствол вежі ВТЦ-1 був орієнтований зі сходу на захід, а внутрішній ствол вежі ВТЦ-2 - з півночі на південь. Ці обставини відіграли істотну роль у розвитку подій 11 вересня 2001 р.

Висота веж складала 415 і 417 м. На плані кожна вежа мала форму квадрата із стороною 63,5 м. Конструктивна схема веж ВТЦ включала дві, пов'язаних між собою, просторових конструктивних системи: зовнішньої оболонки та внутрішнього стовбура.

Зовнішні оболонки веж ВТЦ являли собою жорсткі просторові ґрати, утворені металевими колонами прямокутного перерізу та сталевими обв'язувальними балками. Ці обв'язувальні балки скріплювали колони зовнішньої оболонки на рівні підвіконь по периметру кожного поверху. У цілому зовнішні оболонки обох веж утворювали жорсткі "труби", зафіксовані на фундаментах.

Центральний стовбур (ядро) веж ВТЦ був утворений зі 47 металічних колон різної форми перерізу.

Конструкція перекриття являла собою просторову систему з металевих балок-ферм, пов'язаних допоміжними балками. Допоміжні балки підтримували профільований настил, на який було укладено плиту з легкого бетону товщиною 100 мм.

Вогнестійкість металевих конструкцій веж забезпечувалася облицюванням вермикулітовими плитами товщиною приблизно 3-4,5 см, з напиленням ефективних вогнезахисних складів, а також використанням на поверхнях перекриттів підвісних стель з регламентованою вогнестійкістю.

Перший викрадений терористами літак (Боїнг-767) врізався у Північну вежі о 8 год 45 хв на рівні 94–98 поверхів. Такий самий літак врізався в Південну вежу о 9 год 03 хв на рівні 78-82 поверхів.

Обидві висотні башти безпосередньо після жахливого удару 180-тонних літаків, що рухались на швидкості близько 800 км/год, , незважаючи на руйнування декількох десятків несучих конструкцій (рис. 1.5) вистояли.

Пробивши зовнішню оболонку веж, уламки літаків проникли всередину будівель ВТЦ. У зону удару, усередині веж ВТЦ, потрапило авіа паливо із зруйнованих паливних баків літаків. Як наслідок цього, у зоні удару літака, усередині веж сталися вибухи суміші авіапалива, що випарувалося, з повітрям. Це призвело до додаткового руйнування та пошкодження ряду огорожуючих та несучих конструкцій веж.

Завдяки пошкодженню остекління та пробоїнам у зовнішній оболонці веж після удару літака, велика кількість вибухонебезпечної суміші палива з повітрям була викинута і згоріла у навколишньому середовищі у вигляді гігантських «вогненних шарів» (див. рис.1.5). Це знизило надлишковий тиск вибуху всередині будівлі до рівня безпечного для основних несучих конструкцій будівлі, що знову утримало вежі від прогресуючого обвалення.

Через значну кількість горючих матеріалів у приміщеннях офісів, розміщених у вежах ВТЦ (пожежне навантаження – 40 кг/м<sup>2</sup> в еквіваленті деревини), в зоні удару літака та наступного вибуху у середині будівель ВТЦ виникають пожежі (рис. 1.6).

Специфіка пожежі в умовах, що розглядаються, полягала в тому, що:

- пожежа розвивалася в завалах зруйнованих та пошкоджених конструкцій, предметів та речей, які перебували в офісах до виникнення НС;

- вплив високих температур пожежі відбувався на вцілілі після удару та вибуху перевантажені конструкції, які сприйняли на себе додаткові навантаження від зруйнованих конструкцій;

- під час удару літаків по несучих конструкціях будівель та наступного вибуху сталося пошкодження вогнезахисту на частині металевих конструкцій.



Незважаючи на це, вежі ВТЦ продовжували чинити опір удару, вибуху та пожежі протягом кількох десятків хвилин. Башта ВТЦ-2 чинила опір особливим комбінованим впливам 56 хв, а ВТЦ-1 - 1 год 43 хв, тільки після цієї будівлі почали втрачати свою стійкість - почалося прогресуюче обвалення веж (рис. 6).

Саме ця разюча стійкість будівель ВТЦ в умовах комбінованих особливих впливів типу «удар – вибух – пожежа» дозволила евакуюватися і врятуватися десяткам тисяч людей, які перебували в атакованих будинках або в безпосередній близькості від них.



Рисунок 1.5 - Башти ВТЦ продовжують чинити опір прогресуючій руйнації після удару літака, вибуху палива і пожежі, що почалася в зоні удару і вибуху.



Рисунок 1.6 - Початок втрати стійкості (прогресуючого обвалення) башти ВТЦ-2.

Причиною настільки серйозних наслідків цих пожеж з'явилася застаріла система протипожежного захисту будівлі та її незадовільний стан. Саме це не дозволило організувати своєчасне гасіння пожежі, евакуацію та рятування людей із зони пожежі.

Загалом на Землі щорічно реєструється близько 7 млн. пожеж, при яких гине приблизно 70 тис. чоловік. Згідно з прогнозами, зробленими на підставі даних пожежної статистики, у світі протягом року на пожежах може загинути 225 тис. чоловік, 2 млн. 250 тис. осіб - отримати травми, 4,5 млн. - важкі опікові травми.

Щодня в Україні в середньому виникає 147 пожеж, унаслідок яких гине 5 та отримує травми 3 людей, вогнем знищується 54 будівлі і споруди та 10 одиниць техніки. Щоденні матеріальні втрати від пожеж становлять 11 млн 349 тис. грн.

Основними причинами виникнення пожеж є: необережне поводження з вогнем; порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок; порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації печей теплогенеруючих агрегатів та установок; порушення технологій виробництва та правил експлуатації транспортних засобів; пустощі дітей з вогнем; несправність виробничого обладнання, порушення технологічного процесу виробництва. У 2022-23 році через російські обстріли в Україні зросла кількість пожеж на промислових підприємствах. Наразі пожежі у житловому секторі становлять приблизно 40% від усіх інших. «Основна причина пожеж – необережне поводження з вогнем. Це, зокрема, і перевантаження електромереж, внаслідок чого пожежі виникають від короткого замикання».

За місцем виникнення пожеж:

- пожежі у житловому секторі – до 40 %;
- пожежі в природному середовищі (екосистема) – до 45 %;
- на виробництві – до 1,0 %;
- об'єкти з масовим перебув. людей – до 1,0 %;
- об'єкти торгівлі та складські приміщення – до 1,0 %;

- об'єкти будівництва та реконструкції – 0,5 – 0,9 %;
- сільськогосподарські об'єкти – до 0,1 %.

До основних наслідків пожеж відносять (рис.1.7) економічні, соціальні, економічні.

Таким чином, вивчення статистики пожеж та їх наслідків переконує нас у тому, що забезпечення ефективного протипожежного захисту об'єктів, безпеки людей під час пожеж стає все актуальнішим не тільки з точки зору економічних, але й соціальних та екологічних проблем. Держава з кожним роком має виділяти для цих цілей все значніші кошти, що направляються, перш за все, на виконання різних профілактичних заходів та утримання пожежної охорони.

Фінансові, трудові та матеріальні витрати зростають пропорційно збиткам від пожеж і є обтяжливими. Відповідно необхідний постійний пошук нових, більш ефективних шляхів вирішення цієї проблеми.

Значна роль у галузі пожежної безпеки належить науковим дослідженням.

До пріоритетних напрямів наукових досліджень з проблем пожежної безпеки в нашій країні належать:

- вивчення й аналіз оперативної обстановки по пожежах в Україні, дослідження пожеж, причин і умов їх виникнення, ефективності використання наявних засобів та методів боротьби з вогнем та розробка на цій основі державних заходів в галузі пожежної безпеки;

- дослідження проблем нормативного та правового забезпечення пожежної безпеки;

- створення та впровадження вогнегасних та вогнезахисних речовин;

- розробка та модернізація технічних засобів пожежогасіння;

- розробка заходів з протипожежного захисту об'єктів народногосподарського комплексу України;

- удосконалення організаційно-правових основ діяльності служби пожежної охорони;

- розробка систем управління пожежною безпекою об'єктів, галузей і всієї країни;

- створення державної системи випробувальних центрів, організація сертифікаційних випробувань.

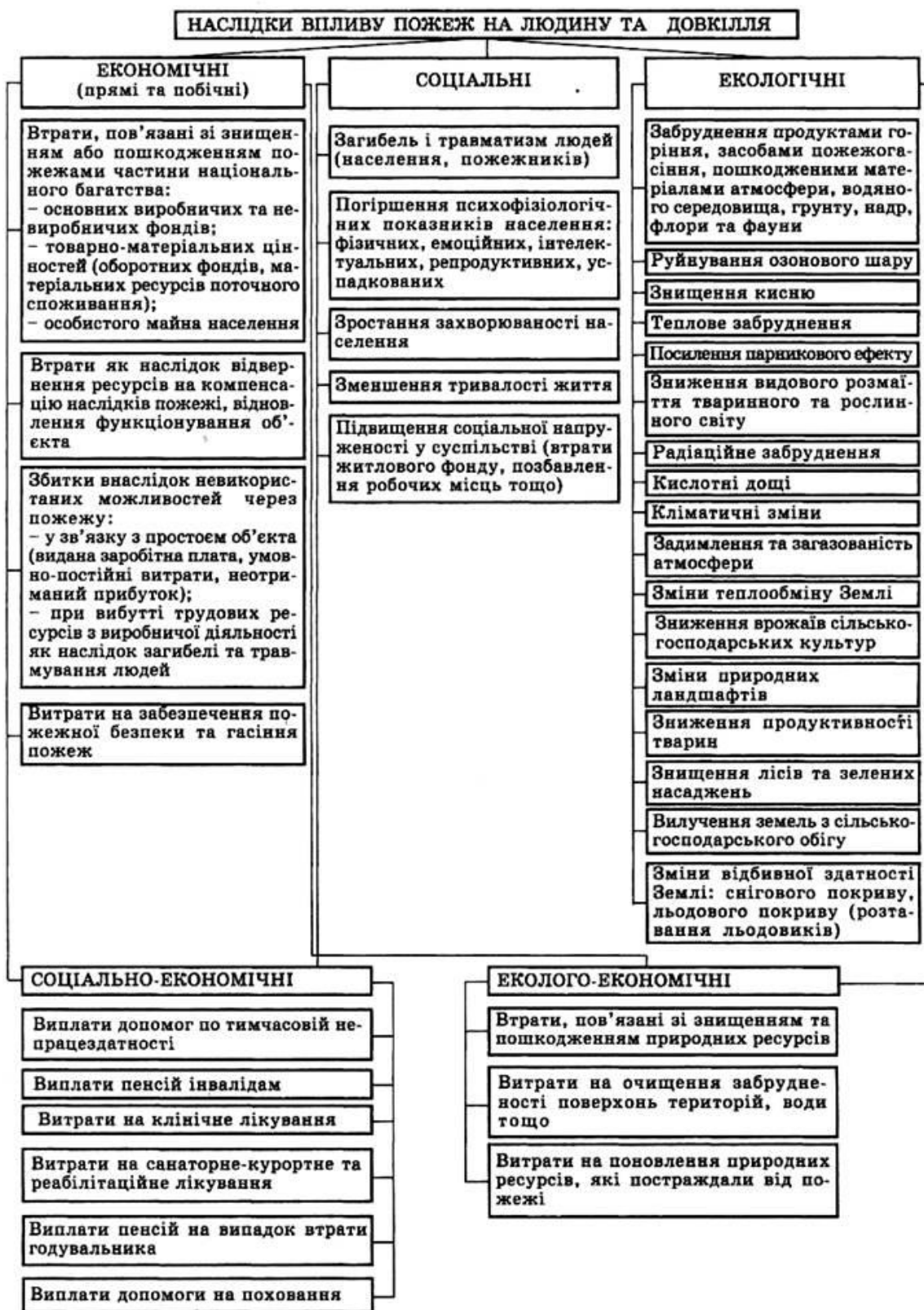


Рисунок 1.7- Наслідки пожеж для економіки України.

#### 1.4 Історія протипожежної справи в Україні

Деякі історичні дати та факти становлення пожежної справи в Україні:

1832 р. – заснування в м. Києві постійного штату пожежної частини поліції;

1841 р. – створення Київської пожежної охорони.

1853 р. – поява першого пожежного поршневого насоса з паровим двигуном;

1870 р. – улаштування в м. Києві та в інших великих містах України перших пожежних гідрантів;

1896 р. – заснування в м. Києві добровільного пожежного товариства;

1921 р. – відкриття в м. Харкові курсів пожежних техніків;

1923 р. – створення в м. Києві курсів пожежних інструкторів-техніків;

1925 р. – заснування в м. Одесі пожежно-технічної школи;

1932 р. – відкриття Запорізького пожежного технікуму;

1941 р. – формування полку з працівників пожежної охорони в м. Києві;

1957 р. – утворення добровільного пожежного товариства України;

1977 р. – відкриття павільйону «Протипожежний захист» на ВДНГ УРСР;

1986 р. – героїчна робота пожежників України щодо ліквідації аварії на Чорнобильській АЕС та її наслідків;

1992 р. – створення Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки МВС України;

17 грудня 1993 р. – прийняття Верховною Радою України Закону України «Про пожежну безпеку»;

2 січня 1995 р. – видання Указу Президента України «Про День працівників пожежної охорони», яким встановлено професійне свято – День працівників пожежної охорони, що відзначається щорічно 29 січня.

27 січня 2003 року Указ «Про заходи щодо вдосконалення державного управління у сфері пожежної безпеки і захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій», яким органи і підрозділи Державної пожежної охорони виводилися зі складу МВС та передавалися до складу Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків

Чорнобильської катастрофи з метою створення єдиної служби для максимально ефективного виконання завдань щодо попередження пожеж, техногенних аварій, катастроф та інших стихійних лих.

У грудні 2010 року Міністерство з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи було реорганізовано у Міністерство надзвичайних ситуацій України.

24 грудня 2012 року Указом Президента України № 726/2012 Міністерство надзвичайних ситуацій України і Державна інспекція техногенної безпеки України були реорганізовані в єдину Державну службу України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України).

25 квітня 2014 року Кабінетом Міністрів України видано Постанову № 120 «Питання координації і напрямків Державної служби з надзвичайних ситуацій», яка встановлює, що діяльність ДСНС України спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра внутрішніх справ України.

## 2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД В УКРАЇНІ

### 2.1 Нормативне та законодавче забезпечення.

Законодавча та нормативна база з питань пожежної безпеки ґрунтується на **Конституції України**. Стаття 3. Людина, її життя і здоров'я, честь і гідність, недоторканність і безпека визнаються в Україні найвищою соціальною цінністю.

- **Кодекс цивільного захисту України** регулює відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, реагуванням на них, функціонуванням єдиної державної системи цивільного захисту, та визначає повноваження органів державної влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, органів місцевого

самоврядування, права та обов'язки громадян України, іноземців та осіб без громадянства, підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності.

**Стаття 2.** Пожежа - неконтрольований процес знищування або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для істот та навколишнього природного середовища;

Пожежна безпека - відсутність неприпустимого ризику виникнення і розвитку пожеж та пов'язаної з ними можливості завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю;

**Стаття 55.** Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Діяльність із забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб і працівників підприємств, установ та організацій. Зазначена вимога відображається у трудових договорах (контрактах), статутах та положеннях.

Забезпечення пожежної безпеки покладається на власника (власників) земельної ділянки та іншого об'єкта нерухомого майна або наймачів (орендарів) земельної ділянки та іншого об'єкта нерухомого майна, якщо це обумовлено договором найму (оренди), а також на керівника (керівників) суб'єкта господарювання.

Обов'язок із забезпечення пожежної безпеки під час проектування та забудови населених пунктів, будівництва будівель і споруд покладається на уповноважені органи містобудування та архітектури, замовників, забудовників, проектувальників та будівельні організації.

Обов'язок із забезпечення пожежної безпеки в жилих приміщеннях державного, комунального, громадського житлового фонду, фонду житлово-будівельних кооперативів покладається на квартиронаймачів і власників квартир, а в жилих приміщеннях приватного житлового фонду та інших спорудах, приватних житлових будинках садибного типу, дачних і садових будинках з господарськими спорудами та будівлями - на їх власників або наймачів, якщо це обумовлено договором найму.

**Стаття 57.** Дотримання вимог пожежної безпеки під час проектування, будівництва та реконструкції об'єктів виробничого та іншого призначення

1. Виробничі, жилі, інші будівлі та споруди, обладнання, транспортні засоби, що вводяться в дію чи експлуатацію після завершення будівництва, реконструкції або технічного переоснащення, а також технологічні процеси та продукція повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів з пожежної безпеки.

2. Початок роботи новоутворених підприємств, початок використання суб'єктом господарювання об'єктів нерухомості (будівель, споруд, приміщень або їх частин) здійснюється суб'єктом господарювання на підставі поданої декларації відповідності матеріально-технічної бази суб'єкта господарювання вимогам законодавства з питань пожежної безпеки (далі - декларація), а для суб'єктів господарювання з високим ступенем ризику - також за наявності позитивного висновку за результатами оцінки (експертизи) протипожежного стану підприємства, об'єкта чи приміщення (далі - оцінка протипожежного стану).

Оцінка протипожежного стану проводиться суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію.

Висновок за результатами оцінки протипожежного стану оформляється та надається суб'єктом господарювання, який проводив оцінку протипожежного стану.

Позитивний висновок за результатами оцінки протипожежного стану надається до початку роботи новоутворених підприємств, до початку використання суб'єктом господарювання об'єктів нерухомості, за відсутності фактів порушення правил пожежної безпеки та діє до реєстрації декларації.

3. Перелік суб'єктів господарювання з високим ступенем ризику визначається центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, за погодженням із центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну регуляторну політику, у сфері дозвільної системи і ліцензування господарської діяльності.



Критерій віднесення суб'єкта господарювання до високого, середнього та незначного ступеня ризику визначається Кабінетом Міністрів України.

### **- Закон України Про регулювання містобудівної діяльності**

Встановлює правові та організаційні основи містобудівної діяльності і спрямований на забезпечення сталого розвитку територій з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів.

Зміст управління у сфері містобудівної діяльності, державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду

1) планування територій на державному, регіональному та місцевому рівнях;

2) моніторингу стану розроблення та реалізації містобудівної документації на всіх рівнях;

3) визначення державних інтересів для їх врахування під час розроблення містобудівної документації;

4) проведення ліцензування і професійної атестації;

5) розроблення і затвердження будівельних норм, кошторисних норм, нормативів і правил, запровадження одночасної дії застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, приведених у відповідність до вимог Європейського Союзу;

6) контролю за дотриманням законодавства у сфері містобудівної діяльності, вимог будівельних норм і правил, положень містобудівної документації всіх рівнів, вихідних даних для проектування об'єктів містобудування, проектної документації;

7) надання (отримання, реєстрації), відмови у видачі чи анулювання (скасування) документів, що дають право на виконання підготовчих та будівельних робіт, прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів (крім анулювання (скасування) документів, що засвідчують прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів)

8) здійснення державного архітектурно-будівельного контролю щодо об'єктів, розташованих в межах та за межами населених пунктів, на території кількох адміністративно-територіальних одиниць

#### **- Закон України Про основи містобудування**

Визначає правові, економічні, соціальні та організаційні засади містобудівної діяльності в Україні і спрямований на формування повноцінного життєвого середовища, забезпечення при цьому охорони навколишнього природного оточення, раціонального природокористування та збереження культурної спадщини.

До органів, що здійснюють державне регулювання у сфері містобудування, відносять:

- Верховною Радою України,
- Кабінетом Міністрів України,
- Верховною Радою та Радою міністрів Автономної Республіки Крим,
- місцевими державними адміністраціями,
- органами місцевого самоврядування,
- центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері містобудування,
- центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері містобудування,
- центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику з питань державного архітектурно-будівельного контролю,
- іншими органами в порядку, встановленому законодавством.

#### **- Закон України про архітектурну діяльність**

Визначає правові та організаційні засади здійснення архітектурної діяльності і спрямований на формування сприятливого життєвого середовища, досягнення естетичної виразності, економічної доцільності і надійності будинків, споруд та їх комплексів

Для створення об'єкта архітектури виконується комплекс робіт, який включає:

- підготовку містобудівних умов та обмежень забудови земельної ділянки у випадках і порядку, передбачених законодавством;
- здійснення в необхідних випадках передпроектних робіт, а також заходів з охорони нововиявлених під час здійснення будівництва або зміни (у тому числі шляхом знесення) об'єктів містобудування, що відповідно до закону мають антропологічне, археологічне, естетичне, етнографічне, історичне, мистецьке, наукове чи художнє значення;
- пошук архітектурного рішення, розроблення, погодження у визначених законом випадках і затвердження проекту;
- виконання робочої документації для будівництва, а в разі виконання її або окремих її частин іншим виконавцем - здійснення авторського нагляду за таким виконанням;
- будівництво (нове будівництво, реконструкцію, реставрацію, капітальний ремонт) та знесення об'єкта архітектури, архітектурно-будівельний контроль, технічний та авторський нагляд під час здійснення будівництва або зміни (у тому числі шляхом знесення) об'єкта містобудування;
- прийняття спорудженого об'єкта в експлуатацію.

#### **- Закон України Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності**

Визначає правові та організаційні засади, основні принципи і порядок здійснення державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності, повноваження органів державного нагляду (контролю), їх посадових осіб і права, обов'язки та відповідальність суб'єктів господарювання під час здійснення державного нагляду (контролю).

Державний нагляд (контроль) здійснюється за принципами:

- пріоритетності безпеки у питаннях життя і здоров'я людини, функціонування і розвитку суспільства, середовища проживання і життєдіяльності перед будь-якими іншими інтересами і цілями у сфері господарської діяльності;

- підконтрольності і підзвітності органу державного нагляду (контролю) відповідним органам державної влади;
- рівності прав і законних інтересів усіх суб'єктів господарювання;
- гарантування прав та законних інтересів кожного суб'єкта господарювання;
- об'єктивності та неупередженості здійснення державного нагляду (контролю), неприпустимості проведення перевірок суб'єктів господарювання за анонімними та іншими безпідставними заявами, а також невідворотності відповідальності осіб за подання таких заяв;
- ....
- здійснення державного нагляду (контролю) на основі принципу оцінки ризиків та доцільності.

#### **- Закон України про будівельні норми**

Регулює відносини у сфері нормування у будівництві та визначає правові та організаційні засади розроблення, погодження, затвердження, реєстрації і застосування будівельних норм.

Основні вимоги до будівель і споруд:

1. Під час проектування, будівництва та експлуатації об'єктів повинно бути забезпечено дотримання основних вимог до будівель і споруд з урахуванням їх функціонального призначення.

2. Основні вимоги до будівель і споруд конкретизуються у будівельних нормах, нормативних документах на конструктивні та інженерні системи.

3. Будівлі і споруди у цілому та їх окремі частини повинні бути придатними для використання за призначенням з урахуванням, зокрема, безпеки для здоров'я людей, які задіяні протягом усього життєвого циклу споруди. При належному технічному обслуговуванні будівлі і споруди мають відповідати основним вимогам протягом їх економічно обґрунтованого строку експлуатації.

4. Основними вимогами до будівель і споруд є забезпечення:

- 1) механічного опору та стійкості

- 2) пожежної безпеки - будівлі або споруди повинні бути запроектовані і побудовані таким чином, щоб у разі виникнення пожежі: протягом визначеного проміжку часу зберігалася несуча здатність конструкцій;
- було обмежено виникнення та поширення вогню і диму всередині будівлі чи споруди;
- було обмежено поширення вогню на сусідні будівлі і споруди;
- була забезпечена можливість евакуації людей або їх порятунк в інший спосіб;
- враховувалася безпека рятувальників;
- 3) гігієни, здоров'я та захисту довкілля
- 4) безпеки і доступності під час експлуатації
- 5) захисту від шуму та вібрації
- 6) енергозбереження та енергоефективності
- 7) сталого використання природних ресурсів
- 8) довговічність будівель і споруд;
- 9) можливість використання екологічно сумісних сировинних і вторинних матеріалів у будівлях і спорудах

**- ДБН В.1.2-7:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека**

Ці норми поширюються на будівлі та споруди у цілому та їх частини (конструктивні та інженерні системи) під час проектування та будівництва, а також встановлюють положення щодо дотримання функціональних параметрів об'єкта під час його експлуатації. Вимоги цих норм застосовуються при проектуванні та будівництві разом із іншими будівельними нормами, що встановлюють вимоги до об'єктів: будівель, споруд, їх частин (конструктивних та інженерних систем) залежно від функціонального призначення. Ці норми застосовують при встановленні у будівельних нормах обов'язкових вимог до об'єкта нормування у будівництві, а також використовуються при розробленні нормативних документів на конструктивні та інженерні системи.

До загальних принципів відносять:

- Для визначення даних стосовно розвитку пожежі та поширення летких продуктів згоряння у будівлях і спорудах здійснюється: - розрахунок розвитку пожежі в приміщеннях; - розрахунок поширення вогню всередині або ззовні споруди за межами приміщення, в якому виникла пожежа; - оцінка руху летких продуктів згоряння в будівлях і спорудах.
- Для оцінювання впливів враховують: - вплив тепла і летких продуктів згоряння на людей та споруди; - механічний вплив на будівельні конструкції та/або будівлі і споруди.
- Для оцінювання показників будівельної продукції в умовах вогневого впливу слід застосовувати: - стосовно розвитку пожеж - показники займистості, поширення полум'я, тепловиділення, утворення диму, токсичних та корозійно-активних продуктів згоряння; - стосовно опору конструкцій, які зазнають впливу вогню - показники, що характеризують несучу здатність та огорожувальну функцію.
- Для оцінювання виявлення моменту виникнення пожежі, реагування на неї та її гасіння враховують: - тривалість приведення в дію систем протипожежного захисту та реагування на пожежу пожежно-рятувальних підрозділів і людей, що перебувають у будівлі і споруді; - вплив систем протипожежного захисту (зокрема вогнегасних речовин); - тривалість виявлення пожежі залежно від виду та розташування пожежних сповіщувачів; - взаємодію засобів пожежогасіння з іншими засобами безпеки.
- Для оцінювання і розроблення заходів із проведення евакуації та пожежно-рятувальних робіт проводять: - оцінювання впливу на людей небезпечних чинників пожежі; - розрахунок часу, необхідного і достатнього для евакуації людей; - оцінювання часу, необхідного

для прибуття пожежно-рятувальних підрозділів та виконання ними пожежно-рятувальних робіт.

- Для застосування інженерних методів пожежної безпеки використовують відповідні характеристики продукції та процедури розрахунків і проектування.

Стратегія пожежної безпеки:

- Пожежну безпеку будівель і споруд забезпечують застосуванням системи запобігання пожежі, комплексу протипожежного захисту та системи управління пожежною безпекою.
- Обмеження поширення вогню і диму забезпечують використанням огорожувальних конструкцій, які виконують функції протипожежних та протидимових перешкод, та поділом споруди на протипожежні відсіки (секції).
- Для запобігання розвитку пожежі до неприпустимого рівня, що призводить до небезпечного поширення диму в межах споруди, огорожувальні конструкції протипожежних відсіків (приміщень) мають бути стійкими до впливу вогню упродовж заданого проміжку часу.
- Використання дверей, сходів, ескалаторів тощо не повинно порушувати цілісність протипожежних відсіків та протипожежних і протидимових перешкод.
- Необхідною передумовою забезпечення цілісності протипожежних відсіків має бути забезпечення стійкості до обвалення несучих будівельних конструкцій.
- Для обмеження поширення вогню між сусідніми спорудами та забезпечення доступу пожежно-рятувальних підрозділів до споруд мають бути дотримані протипожежні розриви та використані будівельні конструкції з належними пожежними характеристиками.
- Під час евакуації має бути обмежений вплив на людей небезпечних чинників пожежі.

- Під час вибору заходів та засобів протипожежного захисту слід брати до уваги передбачені заходи щодо гасіння пожежі та рятування, пов'язані з втручанням та діями пожежнорятувальних підрозділів.

**- ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту**

Вимоги цих будівельних норм поширюються на проектування, монтування, перевірку відповідності і підтримання експлуатаційної придатності систем протипожежного захисту (далі - СПЗ), а саме:

- автоматичних систем пожежогасіння (далі - АСПГ);
- автономних систем пожежогасіння локального застосування (далі - СПГа);
- систем пожежної сигналізації (далі - СПС);
- систем оповіщення про пожежу та управління евакуюванням людей (далі - СО);
- систем протидимного захисту (далі - СПДЗ);
- систем централізованого пожежного спостереження (далі - СЦПС);
- диспетчеризації СПЗ.

Зазначені вище СПЗ призначені для протипожежного захисту будинків, будівель або їх частин (приміщень), споруд, устаткування різного призначення (далі — об'єкти) відповідно до додатків А та Б під час нового будівництва, реконструкції, технічного переоснащення, капітального ремонту цих об'єктів.

Ці будівельні норми встановлюють вимоги до обладнання об'єктів СПЗ під час їх будівництва, реконструкції, технічного переоснащення, капітального ремонту, зміни категорій приміщень і будинків за вибухопожежною і пожежною небезпекою згідно з НАПБ Б.03.002 .

Вимоги цих будівельних норм рекомендується застосовувати під час реставрації.

Вимоги цих будівельних норм є обов'язковими для фізичних та юридичних осіб, які здійснюють будівельну діяльність на території України, незалежно від їхніх форм власності.

Ці будівельні норми не поширюються на проектування, СПЗ для:



- будинків і споруд, що проектуються за спеціальними нормами;
- технологічних установок, розташованих поза будинками;
- складських будинків для зберігання аерозольної продукції.

### **ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва**

Ці будівельні норми встановлюють загальні вимоги пожежної безпеки до будинків, будівель, споруд будь-якого призначення, що спрямовані на обмеження поширення пожежі між будинками, обмеження поширення пожежі в будинках: забезпечення безпечної евакуації людей; забезпечення гасіння пожежі та проведення рятування людей під час пожежі; застосування систем протипожежного захисту.

Застосовують під час проектування і будівництва будинків, а також їх реконструкції, капітального ремонту, технічного переоснащення, реставрації.

Встановлено обов'язкові вимоги до розрахункових методів оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій (додаток В).

Розрахункові методи необхідно використовувати для оцінки вогнестійкості конструктивної системи будинків, частини конструктивної системи та окремих будівельних конструкцій будь-яких видів, в тому числі для інтерполяції та екстраполяції результатів випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість, а також визначення сфери розширеного застосування цих результатів.

Будівельні матеріали класифікують за такими показниками пожежної небезпеки: горючістю, займистістю, поширенням полум'я поверхнею, димоутворювальною здатністю та токсичністю продуктів згоряння.

За горючістю будівельні матеріали поділяють на негорючі (НГ) та горючі (Г) відповідно до ДСТУ Б В.2.7-19.

Будівельні матеріали, віднесені до негорючих, за іншими показниками пожежної небезпеки не поділяють.

Горючі будівельні матеріали поділяють на чотири групи: Г1 (низької горючості);

Г2 (помірної горючості); Г3 (середньої горючості); Г4 (підвищеної горючості).

Горючість будівельних матеріалів з віднесенням їх до відповідної групи визначають за результатами випробування відповідно до ДСТУ Б В.2.7-19.

Горючі будівельні матеріали за займистістю поділяють на три групи:

В1 (важкозаймисті);

В2 (помірнозаймисті);

В3 (легкозаймисті).

Займистість будівельних матеріалів з віднесенням їх до відповідної групивизначають за результатами випробування відповідно до ДСТУ Б В.1.1-2.

Горючі будівельні матеріали за поширенням полум'я поверхнеюподіляють на чотири групи:

РП1 (не поширюють);

РП2 (локально поширюють);

РП3 (помірно поширюють);РП4 (значно поширюють).

Групи будівельних матеріалів за поширенням полум'я поверхнею визначають для поверхневих шарів конструкцій покрівель, підлог, у т.ч. килимових покриттів, і встановлюють за результатами випробування відповідно до ДСТУ Б В.2.7-70.

Горючі будівельні матеріали за димоутворювальною здатністю поділяють на три групи:

Д1 (з малою димоутворювальною здатністю); Д2 (з помірною димоутворювальною здатністю);Д3 (з високою димоутворювальною здатністю).

Групи будівельних матеріалів за димоутворювальною здатністю встановлюють залежно від значення коефіцієнта димоутворення, який визначаютьвідповідно до ГОСТ 12.1.044.

Горючі будівельні матеріали за токсичністю продуктів згорянняподіляють на чотири групи:

Т1 (малонебезпечні);

Т2 (помірnoneбезпечні);Т3 (високoneбезпечні);

T4 (надзвичайно небезпечні).

Групи будівельних матеріалів за токсичністю продуктів згоряння встановлюють залежно від значення показників токсичності продуктів згоряння, які визначають відповідно до ГОСТ 12.1.044.

#### **- ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій**

Обов'язкові для органів державного управління, місцевого самоврядування, підприємств і установ незалежно від форм власності та відомчого підпорядкування, громадських об'єднань і громадян, які здійснюють проектування, будівництво і благоустрій на території міських і сільських населених пунктів та інших територіях.

#### **- ДБН А.2.2-3-2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво**

Встановлюють склад та зміст проектної документації на нове будівництво, реконструкцію, капітальний ремонт та технічне переоснащення будинків, будівель, споруд будь-якого призначення, їх комплексів або їх частин, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури.

Завдання на проектування:

1. Назва та місцезнаходження об'єкта.
2. Підстава для проектування.
3. Вид будівництва.
4. Дані про інвестора.
5. Дані про замовника.
6. Джерело фінансування.
7. Необхідність розрахунків ефективності інвестицій.
8. Дані про генерального проектувальника.
9. Стадійність проектування з визначенням затверджувальної стадії (визначається спільно замовником та проектувальником).
10. Інженерні вишукування.
11. Дані про особливі умови будівництва (сейсмічність, просадні ґрунти, підроблювані і підтоплювані території тощо).

12. Основні архітектурно-планувальні вимоги і характеристики об'єкта будівництва.

13. Черговість будівництва, необхідність виділення пускових комплексів.

14. Клас (наслідки) відповідальності, категорія складності та установлений строк експлуатації.

...

22. Вимоги до режиму безпеки та охорони праці.

23. Вимоги щодо розроблення розділу інженерно-технічних заходів цивільного захисту (цивільної оборони).

24. Вимоги до систем протипожежного захисту об'єкта.

25. Вимоги до розроблення спеціальних заходів.

26. Призначення нежитлових поверхів.

27. Перелік будинків, будівель та споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, що проектується у складі комплексу.

**- ДБН В.1.2-14-2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ**

Встановлюють загальні принципи забезпечення надійності і конструктивної безпеки будівель та споруд і розповсюджуються на вишукування, проектування, будівництво та ліквідацію будівель та споруд незалежно від їх призначення.

Основною вимогою, яка визначає надійність об'єкта, є його відповідність призначенню й здатність зберігати необхідні експлуатаційні якості протягом розрахункового строку експлуатації.

До них належать: безпека для здоров'я і життя людей, майна та довкілля; збереження цілісності об'єкта та його основних частин і виконання інших вимог, які забезпечують можливість використання об'єкта за призначенням і нормального функціонування технологічного процесу, включаючи вимоги до жорсткості будівельних конструкцій і основ, тепло звукоізоляційних властивостей огорожень, їх герметичності, акустичних характеристик; створення необхідного рівня зручностей і комфорту для користувачів та

експлуатаційного персоналу, включаючи вимоги до кліматичного режиму в приміщеннях (повітрообмін, температура вологість, рівень освітленості), а також доступність для оглядів ремонтів, можливість заміни модернізації окремих елементів; обмеження ступеня ризику виникнення збитків шляхом виконання вимог до вогнестійкості безвідмовності роботи захисних пристроїв, надійності систем і мереж життєзабезпечення, живучості будівельних конструкцій;

забезпечення основних вимог до будівель і споруд щодо:

- механічного опору та стійкості (ДБН В.1.2-6);
- пожежної безпеки (ДБН В.1.2-7);
- обмеження загрози здоров'ю або безпеці людей та шкідливого впливу на навколишнє природне середовище (ДБН В.1.2-8);
- безпеки і доступності у використанні (ДБН В.1,2-9);
- захисту від шкідливого впливу шуму та вібрації (ДБН В.1.2-10);
- енергетичної ефективності та збереження тепла (ДБН В.1.2-11).

Відповідно до цього стандарту введено поняття класів наслідків (відповідальності) для об'єкту будівництва (табл.1.1).

Залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють три категорії відповідальності конструкцій та їх елементів:

А - конструкції та елементи, відмова яких може призвести до непридатності до експлуатації будівлі (споруди) або її частини.

Б - конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії р

В - конструкції, відмова яких не призводить до порушення функціонування будівлі (споруди) в цілому або інших конструкцій або їх елементів.

Вимоги норм формуються для граничних станів, які визначають межу між допустимими і недопустимими (позаграничними) станами конструкцій. Перехід через граничний стан відповідає одному з видів відмови, самі граничні стани вважаються при цьому допустимими.

Граничні стани можуть бути віднесені до конструкції в цілому, до її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів.

Таблиця 1.1 – Класи наслідків об'єктів будівництва

Клас наслідків (відповідальності) об'єкта	Характеристики можливих наслідків відмови об'єкта				
	Можлива небезпека, кількість осіб			Обсяг можливого економічного збитку, м.р.з.п.	Припинення функціонування лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, об'єктів комунікацій, зв'язку, енергетики та інженерних мереж, рівень
	Для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті	Для здоров'я і життя людей, які періодично перебувають на об'єкті	Для життєдіяльності людей, які перебувають зовні об'єкта		
СС3 значні наслідки	Понад 400	Понад 1000	Понад 50 000	Понад 50 000	Загальнодержавний
СС2 середні наслідки	Понад 50 до 400 включно	Понад 100 до 1000 включно	Понад 100 до 50 000 включно	Понад 2 500 до 50 000 включно	Регіональний, місцевий
СС1 незначні наслідки	До 50 включно	До 100 включно	До 100 включно	До 2 500 включно	Об'єктовий
<p><b>Примітка 1.</b> Вважається, що на об'єкті постійно перебувають люди, якщо вони перебувають там більше ніж вісім годин на добу і не менш ніж 150 днів на рік (загалом не менше 1200 год за рік). Особами, що періодично відвідують об'єкт, вважаються ті, що заповнюють його не більше восьми годин на добу протягом не більше ніж 150 днів на рік (загалом від 450 до 1200 год за рік). Можливою небезпекою для життєдіяльності людей є ймовірне порушення нормальних умов життєдіяльності більш ніж на три доби відповідно [ 3 ].</p> <p><b>Примітка 2.</b> Обсяг можливого економічного збитку визначається відповідно до Методики [1]</p> <p><b>Примітка 3.</b> Мінімальний розмір заробітної плати (м.р.з.п.) щорічно встановлюється [2].</p>					

### - ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту

Згідно з цими нормами в житлових і громадських будинках, у тому числі школах, садочках та лікарнях, мають будуватись захисні споруди цивільного захисту та споруди подвійного призначення, призначені для захисту населення від небезпек, що можуть виникнути внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних (бойових) дій або терористичних актів. Цей документ має на меті забезпечити максимальну кількість населення сучасними, надійними та інклюзивними укриттями.

Споруди мають бути запроектовані таким чином, що б одночасно задовольняти встановлені вимоги відповідно до обох функціональних призначень та мати захисні властивості сховищ або протирадіаційних укриттів.

Ступінь захисту характеризується захисними властивостями захисних споруд, що для небезпечних чинників застосування зброї масового та загального

ураження передбачають послаблення радіаційного впливу та захисту від впливу прогнозованого вибуху шляхом забезпечення механічного опору та стійкості конструкцій від ураження уламками та дії рівномірнорозподілених навантажень.

### **- ДСТУ EN 13501-1:2016 Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій**

Цей документ стосується трьох категорій, які розглядаються в цьому стандарті окремо:

- будівельні вироби, за винятком покриттів для підлог і теплоізоляційних матеріалів для трубопроводів;
- покриття для підлог;
- теплоізоляційні матеріали для трубопроводів

Регламентовано методи випробовування будівельних виробів та конструкцій:

Випробування на негорючість (EN ISO 1182) Це випробування дає змогу визначити, які вироби не сприятимуть розвитку пожежі або сприятимуть йому несуттєво, незалежно від їх передбачуваного використання. Це випробування стосується класів A1, A2, A1fl, A2fl, A1L та A2L.

Випробування з визначення теплоти згоряння (EN ISO 1716) Це випробування дає змогу визначити максимальне можливе значення тепловиділення від виробу незалежно від його передбачуваного використання. Це випробування стосується класів A1, A2, A1fl, A2fl, A1L та A2L. Воно дає змогу визначити як вищу (PCS), так і нижчу (PCI) теплоту згоряння.

Випробування з горінням одиничного виробу (EN 13823) Це випробування дає змогу визначити можливе сприяння виробу розвитку пожежі на стадії, що імітує горіння одиничного виробу, в куті приміщення, ближнього до цього виробу. Це випробування стосується класів A2, A2L, B, BL, C, CL, D та DL.

Випробування на займистість (EN ISO 11925-2) Це випробування дає змогу визначити займистість виробу в умовах впливу невеликого полум'я. Це випробування стосується класів B, C, D, E, Bfl, Cfl, Dfl, Efl, BL, CL, DL та EL.

Визначення характеру горіння покриттів для підлог з використанням джерела теплового випромінювання (EN ISO 9239-1) Це випробування дає змогу визначити критичне значення щільності теплового потоку, нижче якого припиняється поширення полум'я горизонтальною поверхнею. Це випробування стосується класів A2fl, Bfl, Cfl та Dfl.

**- ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною безпекою**

Цей стандарт установлює порядок визначення категорій приміщень і будинків (або частин будинків у межах протипожежних відсіків) виробничого та складського призначення, лабораторій, а також зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою залежно від кількості й пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, що в них знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництва та об'ємно-планувальних рішень, наявності технічних засобів, що запобігають виникненню аварійних ситуацій.

**- Наказ КМУ від 23.12.2021 № 1458 «Деякі питання надання будівельної продукції на ринку»**

- врегульовує низку питань щодо надання будівельної продукції на ринку та затверджує нові процедури

Декларація складається виробником щодо кожної будівельної продукції (відповідного типу) під час введення продукції в обіг відповідно до форми декларації показників будівельної продукції

Декларація заповнюється на основі складеної виробником технічної документації, що описує всі відповідні елементи, пов'язані із застосованою системою (системами) оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 9 червня 2021 р. № 596 “Про затвердження систем оцінки та перевірки стабільності показників будівельної продукції”.



**Наказ Міністерства внутрішніх справ від 31.07.2023 № 627 «Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж»**

Управління ризиками здійснюється з метою ідентифікації ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, пов'язаних із діяльністю суб'єктів господарювання та інших юридичних осіб, запобігання їм, зменшення та мінімізації розміру можливих втрат (збитків).

Основними завданнями під час управління ризиками є:

- створення управлінських механізмів, що забезпечують ефективне управління ризиками;
- виявлення загроз та можливих негативних наслідків, оцінка можливостей запобігання їм або їх мінімізації;
- розроблення та оцінка заходів із мінімізації втрат (збитків) у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж;
- визначення доцільності запровадження превентивних (профілактичних) заходів залежно від витрат на їх реалізацію у співвідношенні до обсягів можливих втрат (збитків) з урахуванням витрат на страхування;
- визначення необхідних ресурсів для мінімізації ризиків, їх оптимальний розподіл;
- розроблення і реалізація комплексу превентивних (профілактичних) заходів, спрямованих на приведення рівня ризиків до прийняттого значення та мінімізацію можливих втрат (збитків);
- моніторинг та аналіз ефективності виконання заходів планів управління ризиками та їх періодичне оновлення.

**Наказ Міністерства розвитку громад та територій України 28.04.2022 року № 65 МЕТОДИКА обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів**

Методику розроблено для використання виконавцями робіт з обстеження, а також власниками або управителями об'єктів, виконавчими органами сільських, селищних, міських рад, місцевими або військовими адміністраціями

(в умовах дії на території України правового режиму воєнного стану відповідно до Закону України «Про правовий режим воєнного стану»). Методика не поширюється на об'єкти, що обстежуються з іншою метою, у тому числі для судової будівельно-технічної експертизи, здійснення заходів державного нагляду (контролю), проведення науково-дослідними організаціями дослідницьких обстежень для отримання наукових даних, а також на обстеження об'єктів оборонного і спеціального призначення, об'єктів, на які поширюється дія Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» та об'єктів культурної спадщини відповідно до Закону України «Про охорону культурної спадщини».

Наведено процедуру обстеження, що проводиться з метою обґрунтування рішень замовника щодо подальшої експлуатації пошкодженого об'єкта, зокрема:

- підтвердження можливості подальшої безпечної експлуатації об'єкта;
- встановлення (обґрунтування) необхідності відновлення об'єкта;
- планування робіт з відновлення об'єкта;
- планування невідкладних протиаварійних робіт, консервації;
- обґрунтування прийняття рішення щодо припинення експлуатації, виконання робіт із демонтажу (ліквідації) об'єкта.

### **Проект Закону України Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо посилення безпекових заходів під час планування будівництва житлових будинків №10085 від 25.09.2023**

Пропонується внести зміни до Кодексу цивільного захисту України, Законів України «Про будівельні норми», «Про регулювання містобудівної діяльності», якими передбачається: 1) запровадити поняття «захисна кімната безпеки»; 2) визначити, що однією із основних вимог до будівель і споруд є забезпечення наявності захисних кімнат безпеки при проектуванні нових чи реконструкції об'єктів будівництва, що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів з незначними (СС1), середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками; 3) встановити, що під час проходження обов'язкової експертизи

проектів будівництва об'єктів, які за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів з середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, такий експертизі підлягає дотримання нормативів щодо наявності захисних кімнат безпеки.

## 2.2 Нагляд та контроль за пожежною безпекою об'єктів захисту

Центральний орган виконавчої влади, який здійснює державний нагляд у сфері техногенної та пожежної безпеки, уповноважений організовувати та здійснювати державний нагляд (контроль) щодо виконання вимог законів та інших нормативно-правових актів з питань техногенної та пожежної безпеки, цивільного захисту.

Центральний орган виконавчої влади, який здійснює державний нагляд у сфері техногенної та пожежної безпеки, здійснює державний нагляд (контроль) шляхом проведення планових та позапланових перевірок відповідно до Закону України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 5 квітня 2007 р. № 877-V.

Перевірки проводяться з метою здійснення контролю за додержанням суб'єктами господарювання вимог законодавства з питань цивільного захисту, техногенної та пожежної безпеки, виявлення порушень і запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, захисту життя та здоров'я людей.

До складу центрального органу виконавчої влади, який здійснює нагляд (контроль) у сфері техногенної та пожежної безпеки, і його територіальних органів входять:

- 1) органи державного нагляду у сфері пожежного нагляду;
- 2) органи державного нагляду у сфері цивільного захисту і техногенної безпеки;
- 3) підрозділи забезпечення та інші структурні підрозділи.

До повноважень центрального органу виконавчої влади, який здійснює державний нагляд у сфері техногенної та пожежної безпеки, належить:

- 1) здійснення державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки, цивільного захисту щодо виявлення та запобігання порушенням вимог законодавства органами та суб'єктами господарювання, аварійно-рятувальними службами;
- 2) здійснення контролю за додержанням вимог техногенної та пожежної безпеки під час проведення робіт із будівництва будівель та споруд, крім об'єктів будівництва I та II категорій складності, площа яких не перевищує 300 квадратних метрів (за винятком об'єктів, вбудованих у будівлі), а також крім індивідуальних (садибних) житлових будинків, садових, дачних будинків, господарських (присадибних) будівель і споруд, індивідуальних гаражів;
- 3) участь у розробленні державних правил з питань техногенної та пожежної безпеки;
- 4) погодження у порядку, визначеному законодавством, проектів національних і галузевих стандартів, норм, правил, технічних умов і регламентів та інших нормативно-технічних документів щодо забезпечення техногенної та пожежної безпеки та ін.

Державна інспекція архітектури та містобудування України (ДІАМ) є центральним органом виконавчої влади, діяльність якого спрямовується та координується Кабінетом Міністрів України через Міністра розвитку громад та територій і який реалізує державну політику з питань державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду.

Основним завданням ДІАМ є реалізація державної політики з питань державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду, в тому числі: здійснення державного архітектурно-будівельного контролю, державного архітектурно-будівельного нагляду, ліцензування видів господарської діяльності з будівництва об'єктів, що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, та здійснення контролю за додержанням суб'єктами господарювання ліцензійних умов провадження видів господарської діяльності з будівництва об'єктів, що за класом

наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками.

ДІАМ володіє повноваженнями проводити перевірки; видавати приписи усунення порушень вимог законодавства, зупинення підготовчих та будівельних робіт, усунення порушень ліцензійних умов; здійснювати ліцензування; скасовує чи зупиняє дію рішень об'єктів нагляду та ін.

ДІАМ здійснює свої повноваження безпосередньо та через утворені в установленому порядку територіальні органи.

ДІАМ очолює Голова, який призначається на посаду та звільняється з посади Кабінетом Міністрів України.

Відповідальність за порушення містобудівного законодавства впроваджується за наступні дії:

- недотриманні норм і правил при проектуванні і будівництві;
- проектуванні об'єктів з порушенням затвердженої у встановленому порядку містобудівної документації;
- виконанні будівельних чи реставраційних робіт без дозволу та затвердженого у встановленому порядку проекту або з відхиленням від нього;
- самовільній зміні архітектурного вигляду споруди в процесі експлуатації;
- недотриманні екологічних і санітарно-гігієнічних вимог, встановлених законодавством при проектуванні, розміщенні та будівництві об'єктів;
- прийнятті в експлуатацію об'єктів, зведених з порушенням законодавства, норм і правил;
- наданні інформації, що не відповідає дійсності, про умови проектування і будівництва чи у необґрунтованій відмові надати таку інформацію.

Законами може бути встановлено відповідальність і за інші види порушень містобудівного законодавства.

За порушення встановлених законодавством вимог техногенної, пожежної безпеки, діяльності аварійно-рятувальних служб, а також використання

протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки та засобів адміністративна відповідальність у вигляді штрафу:

- на громадян від 30 до 50 н.м.д.г. (510-850 грн);
- посадових осіб та ФОП - від 50 до 100 н.м.д.г. (850-1700 грн).

За порушення встановлених законодавством вимог пожежної безпеки, якщо воно спричинило виникнення пожежі, якою заподіяно шкоду здоров'ю людей легкої чи середньої тяжкості або майнову шкоду у великому розмірі: кримінальна відповідальність у вигляді штрафу від 300 до 800 н.м.д.г. (5100-13600 грн)

- або виправними роботами на строк до двох років,
- або обмеженням волі на строк до трьох років,
- або позбавленням волі до трьох років.
- позбавлення волі на строк від трьох до восьми років (у разі тяжких тілесних ушкоджень людей, до загибелі людини, до завдання майнової шкоди в особливо великому розмірі або до інших тяжких наслідків)
- загибель двох і більше людей - позбавлення волі на строк від п'яти до десяти років.

Майнова шкода вважатиметься заподіяною у великих розмірах, якщо прямі збитки становлять суму, яка в триста і більше разів перевищує неоподатковуваний мінімум доходів громадян, а в особливо великих розмірах - якщо прямі збитки становлять суму, яка в тисячу і більше разів перевищує неоподатковуваний мінімум доходів громадян.

Згідно зі ст. 68 КЦЗ посадові особи ДСНС України та її територіальних підрозділів у разі порушення вимог законодавства з питань техногенної та пожежної безпеки, у тому числі невиконання їх законних вимог, зобов'язані застосовувати санкції, визначені законом. Найбільш поширеними санкціями є накладення штрафів.

З 4 березня 2021 року набули чинності зміни до КУпАП, внесені Законом від 03.02.2021 р. № 1187-ІХ. Зокрема, суттєво збільшено штрафи за порушення вимог пожежної безпеки:

Ст. 175. Порушення встановлених законодавством вимог пожежної безпеки, а також використання пожежної техніки та засобів пожежогасіння не за призначенням - накладення штрафу на:

- громадян від 100 до 200 НМДГ (від 1700 до 3400 грн);
- посадових осіб від 200 до 300 НМДГ (від 3400 до 5100 грн)

Ст. 175<sup>2</sup>. Початок роботи новоутворених установ або початок використання суб'єктом господарювання об'єктів нерухомості без зареєстрованої декларації відповідності матеріально-технічної бази суб'єкта господарювання вимогам законодавства у сфері пожежної безпеки, для яких подання такої декларації є обов'язковим - накладення штрафу на посадових осіб від 150 до 200 НМДГ (від 2550 до 3400 грн)

Ст. 188<sup>16</sup>. Невиконання законних вимог посадових осіб центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику з питань цивільного захисту, нагляду та контролю за станом захисту територій від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, щодо розроблення та реалізації заходів у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру - Накладення штрафу на посадових осіб від 10 до 20 НМДГ (від 170 до 340 грн). За те саме діяння, вчинене вдруге протягом року після накладення адмінстягнення, штраф на посадових осіб від 20 до 50 НМДГ (від 340 до 850 грн) - накладення штрафу на посадових осіб від 100 до 200 НМДГ (від 1700 до 3400 грн). За те саме діяння, вчинене вдруге протягом року після накладення адмінстягнення, штраф на посадових осіб від 200 до 300 НМДГ (від 3400 до 5100 грн).

## 3 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ

### 3.1 Організація пожежної безпеки на об'єктах господарювання

Пожежна безпека об'єкта – це стан об'єкта, за якого ймовірність виникнення і розвитку пожежі та ймовірність впливу небезпечних чинників пожежі не перевищують унормованих допустимих значень.

Пожежна безпека повинна забезпечуватися: системою запобігання пожежі; системою протипожежного захисту; організаційно-технічними заходами.

Система запобігання пожежі повинна опрацьовуватися по кожному конкретному об'єкту, з розрахунку додержання унормованої (регламентованої) ймовірності виникнення пожежі не більше  $10^{-6}$  на рік на окремий пожежонебезпечний вузол (елемент) даного об'єкту (ймовірність виникнення пожежі - числова характеристика ступеня можливості появи достатніх умов).

Система протипожежного захисту повинна опрацьовуватися по кожному конкретному об'єкту з розрахунку додержання унормованої ймовірності впливу небезпечних факторів пожежі не більше  $10^{-6}$  на рік з розрахунку на кожну людину.

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої і іншої діяльності посадових осіб, робітників підприємств, установ, організацій і підприємців.

По кожному об'єкту встановлюється економічна ефективність систем, що забезпечують його пожежну безпеку з урахуванням імовірності пожежі, вартості об'єкту, розмірів можливих збитків від пожежі, а також капітальних вкладень і поточних витрат на системи забезпечення пожежної безпеки.

Система запобігання пожежі - сукупність засобів та організаційних заходів, призначених для створювання умов, за яких ймовірність виникнення та (або) розвитку пожежі не перевищує унормоване допустиме значення.

Запобігання утворенню горючого середовища забезпечується:

- застосуванням негорючих і важкогорючих речовин і матеріалів,



- обмеженням кількості горючих речовин і матеріалів, безпечні способи їх розміщення, їх ізоляцією,
- підтриманням безпечної концентрації горючої суміші, достатньої концентрації флегматизаторів в повітрі,
- підтриманням температури і тиску середовища, за яких виключено поширення полум'я;
- максимальною механізацією і автоматизацією технологічних процесів, пов'язаних з обертанням горючих речовин тощо.

Запобігання утворенню у горючому середовищі джерел запалювання забезпечується відповідними заходами щодо попередження теплових проявів електричної, механічної, хімічної енергії або ізоляції горючого середовища від відкритого полум'я, розжарених речовин, матеріалів тощо.

Система протипожежного захисту - комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожеж і обмеження матеріальних збитків від них.

Протипожежний захист повинен забезпечуватися:

- застосуванням засобів пожежогасіння і відповідних видів пожежної техніки;
- застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння;
- застосуванням основних будівельних конструкцій об'єктів з межами, які регламентують вогнестійкість і розповсюдження полум'я по них;
- застосуванням вогнезахисту конструкцій об'єктів;
- застосуванням обладнання і рішень, які забезпечують обмеження розповсюдження пожежі (протипожежні перешкоди, гранично допустимі площі протипожежних відсіків і секцій, поверховість будинків, аварійне відключення установок і комунікацій, вогнеперешкоджуючі пристрої);
- застосуванням безпечних евакуаційних шляхів та виходів;

- організацією вчасного оповіщення і евакуації людей;
- застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту людей;
- застосуванням систем протидимного захисту.

Організаційно-технічні заходи пов'язані як з системою попередження пожеж, так і з системою протипожежного захисту забезпечуються:

- організацією пожежної охорони;
- паспортизацією речовин і матеріалів, технологічних процесів, будинків і споруд щодо забезпечення пожежної безпеки;
- залученням громадськості до забезпечення ПБ;
- організацією навчання населення правилам пожежної безпеки;
- розробкою і реалізацією норм, правил, інструкцій про поведінку з пожежонебезпечними речовинами і матеріалами, про додержання протипожежного режиму, про дії людей при виникненні пожежі;
- виготовленням і застосуванням засобів агітації по забезпеченню пожежної безпеки;
- порядком зберігання речовин і матеріалів в залежності від фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей, засобів їх гасіння;
- нормуванням чисельності людей на об'єкті за умови їх безпеки при пожежі;
- розробкою заходів по діям адміністрації, робітників, службовців і населення на випадок виникнення пожежі, організація евакуації людей.

Згідно з вимогами ч. 3 ст. 55 Кодексу цивільного захисту забезпечення пожежної безпеки суб'єкта господарювання покладається на власників та керівників таких суб'єктів господарювання.

Структурно схема управління пожежною безпекою представлено на рис.3.1.

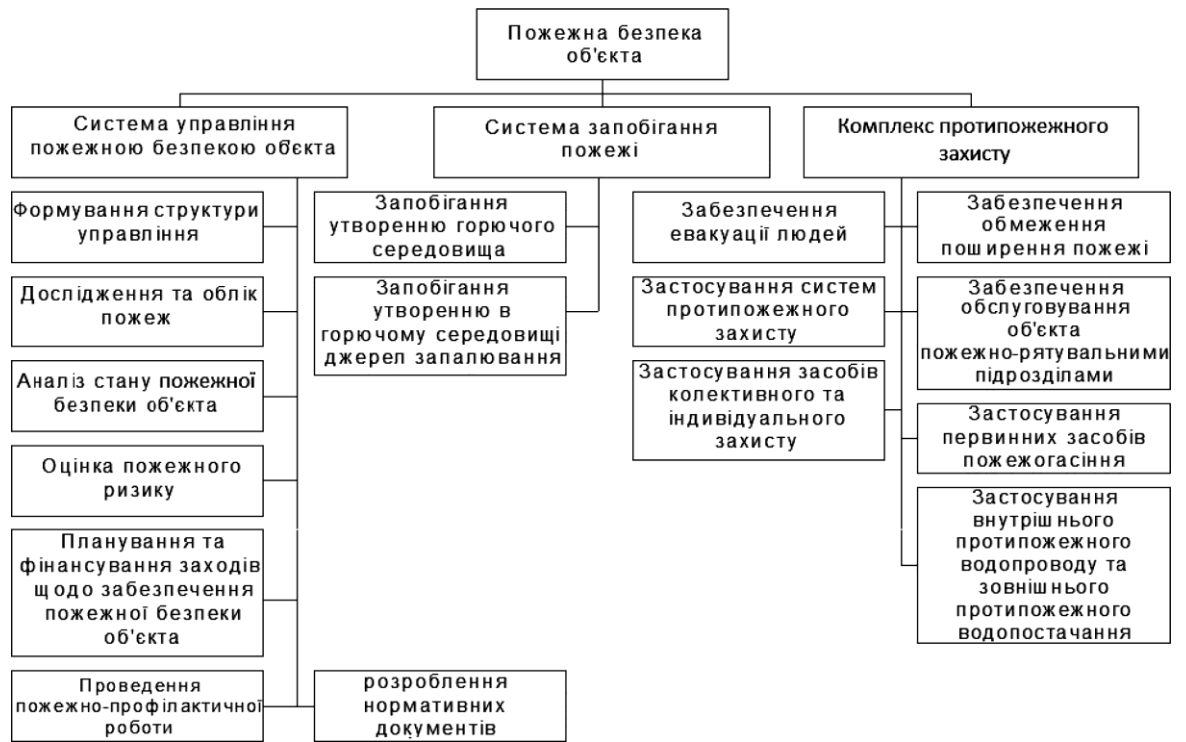


Рисунок 3.1 – Забезпечення пожежної безпеки на об'єкті (згідно до ДСТУ 8828:2019).

Для забезпечення пожежної безпеки насамперед розробляється, затверджується та впроваджується необхідна організаційно-розпорядча документація.

Керівник об'єкта повинен визначити обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки, наказом призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, інженерного устаткування, а також за утримання й експлуатацію засобів протипожежного захисту.

На кожному об'єкті відповідним документом (наказом, інструкцією тощо) має встановлюватися протипожежний режим (комплекс установлених норм поведінки людей, правил виконання робіт та експлуатації об'єкта, спрямованих на забезпечення його пожежної безпеки), а для кожного приміщення об'єкта мають бути розроблені та затверджені керівником або уповноваженою ним посадовою особою інструкції про заходи пожежної безпеки.

Якщо на об'єкті здійснюється перепланування будівель, приміщень, споруд, зміна штатного розпису, то адміністрація має забезпечити своєчасне перероблення інструкцій та планів евакуації.

Власник (керівник) установи повинен вживати відповідних заходів реагування на факти порушень чи невиконання посадовими особами, іншими працівниками об'єкта встановленого протипожежного режиму, вимог правил пожежної безпеки та інших нормативних актів, які діють у цій сфері.

Згідно з п. 5 розд. II Правил № 1417 на об'єктах із постійним або тимчасовим перебуванням на них 100 і більше осіб або таких, що мають хоча б одне окреме приміщення з одночасним перебуванням 50 і більше осіб, у будинках та спорудах (крім житлових будинків), які мають два поверхи й більше, у разі одночасного перебування на поверсі понад 25 осіб, а для одноповерхових - понад 50 осіб, мають бути розроблені й вивішені на видимих місцях плани (схеми) евакуації людей на випадок пожежі.

На об'єктах із постійним або тимчасовим перебуванням на них 100 й більше осіб або таких, що мають хоча б одне окреме приміщення з одночасним перебуванням 50 і більше осіб, які є навчальними (зокрема дошкільними) закладами, закладами охорони здоров'я із стаціонаром, будинками для людей похилого віку та інвалідів, санаторіями і закладами відпочинку, розважальними, культурно-освітніми та видовищними закладами, критими спортивними будинками і спорудами, готелями, мотелями, кемпінгами, торговими підприємствами та іншими аналогічними за призначенням об'єктами з масовим перебуванням людей, на доповнення до схематичного плану евакуації має бути розроблена та затверджена керівником інструкція, що визначає дії персоналу із забезпечення безпечної та швидкої евакуації людей, за якою не рідше ніж один раз на пів року мають проводитися практичні тренування всіх задіяних працівників. Для об'єктів, у яких передбачається перебування людей уночі, інструкції мають прописувати такі самі дії в нічний час.

Основні вимоги до розроблення, виготовлення, розміщення планів евакуації містяться в ДСТУ ISO 23601:2019 «Ідентифікація безпечності. Знаки

на планах евакуації», ДСТУ 7313:2013 «Знаки безпеки та системи евакуаційні фотолюмінісцентні», ДСТУ ISO 3864-1:2005 «Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Частина 1. Принципи проектування знаків безпеки для робочих місць та місць громадського призначення», а також у Правилах № 1417.

Обов'язки власників підприємств та уповноважених ними органів, а також орендарів щодо забезпечення пожежної безпеки встановлюються статтею 5 Закону України «Про пожежну безпеку»:

- розробляти комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, впроваджувати досягнення науки і техніки, позитивний досвід;
- відповідно до нормативно-правових актів з пожежної безпеки розробляти і затверджувати положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють в межах підприємства, здійснювати постійний контроль за їх додержанням;
- забезпечувати додержання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;
- організувати навчання працівників правилам пожежної безпеки та пропаганду заходів щодо їх забезпечення;
- у разі відсутності в нормативно-правових актах вимог, необхідних для забезпечення пожежної безпеки, вживати відповідних заходів, погоджуючи їх з органами державного пожежного нагляду;
- утримувати у справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не допускати їх використання не за призначенням;
- створювати, у разі потреби, відповідно до встановленого порядку підрозділи пожежної охорони та необхідну для їх функціонування матеріально-технічну базу;

- подавати на вимогу державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки об'єктів і продукції, що ними виробляється;
- здійснювати заходи щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж і використання для цієї мети виробничої автоматики;
- своєчасно інформувати пожежну охорону про несправності пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також про закриття доріг і проїздів на своїй території;
- проводити службове розслідування випадків пожеж.

### 3.2 Задачі пожежної профілактики об'єктів та шляхи їх вирішення.

Пожежна профілактика - це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на убезпечення людей, запобігання пожежі, обмеження її розвитку, а також створення умов для пожежогасіння.

Основні задачі пожежної профілактики :

- Проведення заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж.
- Проведення заходів, що обмежують поширення пожежі.
- Створення умов для безпечної евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей.
- Створення умов для успішного гасіння пожеж.

Шляхи вирішення першої задачі пожежної профілактики щодо проведення заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж:

- розробка і затвердження загальнодержавних правил пожежної безпеки, обов'язкових для всіх підприємств, установ, організацій і громадян;
- узгодження державних і галузевих стандартів, норм, правил й інших нормативно-технічних документів, що стосуються забезпечення пожежної безпеки;

- виключення однієї з умов, необхідних для горіння (горюче середовище, джерело запалювання);
- розробка протипожежних заходів щодо зниження пожежної небезпеки речовин і матеріалів;
- дотримання протипожежного режиму в технологічних процесах , при експлуатації будинків і споруд, і на території (протипожежний режим - комплекс встановлених норм поведінки людей, правил виконання робіт і експлуатування об'єкта, спрямованих на забезпечення його пожежної безпеки);
- проведення протипожежної пропаганди, пожежно - технічного мінімуму, інструктажу серед населення, робітників підприємств;
- проведення пожежно-технічних перевірок об'єктів, незалежно від форм власності, житлових, громадських й іншого призначення будинків і споруд.

Шляхи вирішення другої задачі пожежної профілактики щодо проведення заходів, що обмежують поширення пожежі:

- вибір необхідної вогнестійкості будівельних конструкцій (вогнестійкість - це здатність конструкції, виробу зберігати функціональні властивості в умовах пожежі);
- правильне планування території населених пунктів і підприємств з урахуванням рельєфу місцевості, рози вітрів, мінімальних відстаней між будинками, об'ємно - планувальних рішень приміщень і будинків;
- влаштування протипожежних перешкод в будівлях і спорудах;
- протидимний і противибуховий захист будинків;
- обмеження кількості речовин і матеріалів на складах, цехах і інших приміщеннях.

Шляхи вирішення третьої задачі пожежної профілактики щодо створення умов для безпечної евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей:

- влаштування у будівлях і спорудах достатньої кількості, відповідних розмірів і конструктивного виконання евакуаційних шляхів і виходів,
- забезпечення незадимлюваності шляхів евакуації;
- обмеження висоти, поверховості і площі будинків;

- організація керування рухом людей по евакуаційним шляхам (світлові покажчики, звукове і мовне оповіщення).

Шляхи вирішення четвертої задачі пожежної профілактики щодо створення умов для успішного гасіння пожеж:

- влаштування доріг, під'їздів до будинків, вододжерел;
- влаштування пожежної автоматики виявлення і гасіння пожеж;
- забезпечення будівель та споруд первинними засобами пожежогасіння,
- влаштування на будівлях і спорудах зовнішніх пожежних драбин;
- обладнання будівель та споруд зв'язком і сигналізацією;
- навчання членів добровільних пожежних формувань і підтримання їх боєздатності.

Задачі пожежної профілактики та шляхи їх вирішення нерозривно пов'язані між собою і їх вирішують комплексно в процесі проведення експертиз проектів, при проведенні пожежно - технічних перевірок новобудов, реконструкціях будівель і споруд.

Основними завданнями стандартизації і нормування в будівництві є:

- проведення єдиної технічної політики і створення єдиної системи НД;
- забезпечення надійності та безпеки об'єктів будівництва;
- встановлення вимог, що забезпечують здорові і безпечні умови праці та побуту в населених пунктах, будівлях, спорудах, підприємствах, які проектуються;
- забезпечення належного науково-технічного рівня та якості будівництва на основі впровадження досягнень науки, техніки і передового досвіду в практику проектування і будівництва, виробництва будівельних конструкцій, виробів і матеріалів;
- раціональне використання земель, природних ресурсів та охорона навколишнього середовища;
- підвищення ефективності капітальних вкладень;



- економія матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів.

Пожежі завдають збитків довікілью, призводять до значних матеріальних втрат.

### 3.3 Небезпечні фактори пожеж

До небезпечних чинників (факторів), які впливають на людей і матеріальні цінності при пожежі відносять:

- Токсичні продукти горіння;
- Вогонь та променисті потоки;
- Підвищена температура середовища;
- Дим;
- Недостатність (знижена концентрація) кисню;
- Вибухи, та витікання небезпечних речовин, що відбуваються внаслідок пожежі;
- Руйнування будівельних конструкцій;
- Ураження електричним струмом;
- Паніка.

Більшість людей гине на пожежах внаслідок отруєння токсичними продуктами горіння.

До токсичних продуктів горіння відносять окис вуглецю та сірки, аміак, газоподібні соляна (хлористоводнева) і синильна (ціанистоводнева) кислоти, ароматичні та аліфатичні вуглеводні, аліфатичні альдегіди.

Показник токсичності продуктів горіння – це відношення кількості матеріалу (речовини) до одиниці об'єму замкнутого простору, в якому газоподібні продукти горіння матеріалу (речовини), спричиняють до загибелі 50% піддослідних тварин.

Частіше за все під час пожежі люди отримують смертельне отруєння оксидом вуглецю (CO) (чадним газом), який небезпечний тим, що в 200–300 разів інтенсивніше реагує з гемоглобіном крові, ніж кисень. Внаслідок цього кров'яні

тілця втрачають здатність постачати організм киснем, що викликає кисневе голодування, гіпоксію, порушення координації рухів, депресію. Людина втрачає здатність розмірковувати, її поведінка стає неадекватною – вона втрачає бажання уникнути існуючої загрози та не здійснює заходів до власного рятування. Можливе припинення дихання, смерть. Підвищена небезпека оксиду вуглецю пояснюється не тільки його високою токсичністю, але й відносно великою концентрацією в продуктах горіння.

Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) може призвести до смерті через декілька хвилин при відносно великій концентрації 8–10%, яка на пожежах зустрічається досить рідко. Однак і при менших концентраціях діоксид вуглецю небезпечний у зв'язку з тим, що викликає прискорене дихання, яке в свою чергу призводить до збільшення поглинання організмом інших токсичних продуктів горіння. Так, при концентрації  $\text{CO}_2$  2% частота дихання збільшується в 1,1 рази, а при 6% – в 1,5 рази.

Хлористий водень ( $\text{HCl}$ ) викликає набряк трахеї та легенів, подразнення очей та дихальних шляхів, може викликати серйозні пошкодження слизової оболонки. У людини з'являється печія у грудях, спазми в горлі, неможливість дихання. Смерть настає від ядухи.

Ціанистий водень ( $\text{HCN}$ ), або синильна кислота, – найбільш токсична речовина, що зустрічається на пожежах. Її вплив полягає в припиненні доступу кисню до тканин організму, що послаблює серцеву діяльність та заважає диханню.

В якості критичної концентрації продуктів горіння доцільно приймати не смертельно небезпечне значення, а таке, за яким має місце втрата здатності до пересування. Орієнтовні критичні значення токсичних продуктів горіння наведені в табл. 3.1.

Вимоги норм формуються для граничних станів, які визначають межу між допустимими і недопустимими (позаграничними) станами конструкцій. Перехід через граничний стан відповідає одному з видів відмови, самі граничні стани вважаються при цьому допустимими.

Граничні стани можуть бути віднесені до конструкції в цілому, до її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів.

Таблиця 3.1 – Критичні значення токсичності продуктів горіння

Найменування речовини	Величина критичного значення, г/м <sup>3</sup>
Ціанистий водень	0,2
Фосген	0,2
Оксиди азоту	1,0
Сірководень	1,1
Хлористий водень	3,0
Оксид вуглецю	3,6
Сірчистий ангідрид	8,0
Діоксид вуглецю	162,0

Вимоги норм формуються для граничних станів, які визначають межу між допустимими і недопустимими (позаграничними) станами конструкцій. Перехід через граничний стан відповідає одному з видів відмови, самі граничні стани вважаються при цьому допустимими.

Граничні стани можуть бути віднесені до конструкції в цілому, до її окремих елементів, з'єднань або поперечних перерізів.

Вогонь та теплове випромінювання. Критерієм ураження організму людини тепловим випромінюванням полум'я та вогневих куль є величина теплової дози, що визначається значенням теплового потоку, який діє на людину, а також тривалістю опромінювання.

Відкритий вогонь надзвичайно небезпечний, але випадки його безпосередньої дії на людей досить рідкі. Більшу небезпеку проявляють теплові потоки. Найбільша інтенсивність таких потоків спостерігається при пожежах технологічних установок. У таких випадках людина без спеціальних засобів захисту неспроможна наблизитися до палаючого устаткування ближче ніж на

10–15 м. Небезпечні для людей значення променистих потоків наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 -Критичні значення теплового потоку

Величина інтенсивності теплової радіації, Вт/м <sup>2</sup>	840	1400	2100	2800	3500	7000
Тривалість часу, протягом якого людина може переносити цю інтенсивність радіації, с	360	150	40–60	30–40	10–30	5–11

В якості критичного значення променистих потоків можна приймати величину 3000 Вт·м<sup>-2</sup>, за якої час до виникнення больового відчуття складає 10–15 с, а тривалість часу дії 30-40 с.

Підвищена температура повітря середовища. Вплив на людину температури більше 100 °С в умовах пожежі призводить до втрати свідомості та загибелі вже через декілька хвилин. Вдихання розігрітого повітря й продуктів горіння призводить до ураження й некрозу верхніх дихальних шляхів. Підвищена температура здатна викликати також опіки шкіри.

Небезпечною температурою для людини при пожежі в приміщеннях прийнято вважати температуру, що перевищує 55 °С.

Дослідження, що проведені канадськими вченими показали, що у вологій атмосфері, яка є типовою для початкової стадії пожежі, опіки другого ступеня викликає температура 55°С при тривалості впливу 20 с, температура 70 °С – протягом 1 с.

Дим являє собою велику кількість найдрібніших часточок незгорівших речовин, що знаходяться у повітрі. Він викликає інтенсивне подразнення органів дихання та слизових оболонок (сильний кашель, слезотечу), навіть набряк легень. Крім того, дим усередині приміщень непрозорий, що значно ускладнює орієнтування людей у просторі, порушує організований рух, значно підвищує час евакуації або робить її зовсім неможливою.

Недодастність кисню (знижена концентрація) викликана зниженням його концентрації під час горіння речовин і матеріалів, оскільки кисень є окисником в реакції горіння.

У нормальній атмосфері міститься близько 21% кисню. Зменшення його концентрації лише на 3% здатне викликати погіршення рухових функцій людини. небезпечною вважається концентрація 14% кисню, бо при цьому втрачається координація рухів, погіршується здатність адекватно оцінювати навколишню ситуацію, утруднюється евакуація людей. При вмісті кисню 10–11% смерть настає протягом декількох хвилин.

Вибухи, внаслідок витоку небезпечних речовин. Пожежі на окремих підприємствах, які мають технологічне устаткування та установки під високим тиском, ємності та трубопроводи з хімічно активними рідинами та небезпечними газами, можуть викликати вибухи та розгерметизацію устаткування, внаслідок чого люди, що перебувають поблизу, можуть підпадати під дію вибухової хвилі, дістати ураження металевими уламками, хімічні опіки та отруєння. Такі техногенні наслідки аварій, викликаних пожежами, суттєво впливають і на психіку людей, що, у свою чергу, значно ускладнює успішну евакуацію й надання їм ефективної допомоги.

Руйнування будівельних конструкцій. Відбувається внаслідок втрати несучої здатності під впливом високих температур та вибухів. Залежить від ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій, тривалості теплового впливу, потужності вибухової хвилі. Людина може отримати значні механічні травми, опинитися під уламками завалених конструкцій. До того ж можуть бути просто зруйновані шляхи евакуації, завалені евакуаційні виходи.

Ураження електричним струмом. Враховуючи високу електронасиченість сучасних об'єктів та руйнівну дію пожежі, цілком можливі ураження людей електричним струмом і отримання ними електротравм. Безпосереднє ураження можливе від струмів витікання, контакту з оголеними провідниками та окремими елементами будівель і споруд, що можуть перебувати під напругою.

Паніка. Явище, здатне призвести до масової загибелі людей. Опинившись у зоні пожежі (для більшості людей це трапляється вперше у житті), людина потрапляє в так звані «екстремальні» умови. Під впливом вищенаведених факторів пожежі фізичний і особливо морально-психічний стан людини може швидко зазнати суттєвих змін, поведінка повністю вийти як з-під власного, так і з-під стороннього контролю. Втрачаючи в такому разі здатність об'єктивного аналізу й сприйняття навколишньої обстановки, людина може несвідомо діяти сама собі на шкоду.

## 4 ЗАГАЛЬНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

### 4.1 Закономірності виникнення горіння

Горіння – складний фізико-хімічний процес, основою якого є швидка окиснювально-відновна реакція, що супроводжується інтенсивним виділенням енергії у вигляді тепла та світлового випромінювання.

На відміну від звичайних окиснювально-відновних процесів, горіння характеризується великою швидкістю протікання хімічної реакції.

Процеси горіння класифікують за кількома ознаками.

1. За агрегатним станом компонентів горючої суміші в зоні горіння.

Гомогенне горіння спостерігається за умови, що компоненти горючої суміші знаходяться в зоні горіння в однаковому агрегатному стані (горіння газів, пари рідин, газоподібних продуктів розкладання твердих горючих матеріалів у середовищі кисню або повітря).

Гетерогенне горіння спостерігається за умови, що компоненти горючої суміші знаходяться в зоні горіння в різних агрегатних станах; горіння відбувається на поверхні конденсованої фази (горіння вуглецевого залишку, коксу, нелетких металів).

2. За способом утворення горючої суміші.

Процес горіння проходить у дві стадії – стадії дифузії компонентів суміші до зони горіння і стадії хімічної реакції у зоні горіння. Швидкість перетворення вихідних речовин у кінцеві продукти залежить від швидкості змішування реагентів шляхом молекулярної й турбулентної дифузії і від швидкості хімічної реакції.

Загальна швидкість процесу визначається швидкістю найповільнішої стадії.

Дифузійне горіння відбувається за умови дифузії компонентів горючої суміші у зону горіння, тому швидкість процесу визначається швидкістю дифузії як найповільнішої стадії. За умови гетерогенного горіння в зону реакції дифундує кисень.

Кінетичне горіння відбувається за умови попереднього утворення гомогенної горючої суміші, що виключає стадію змішування компонентів суміші безпосередньо в зоні реакції, отже, загальна швидкість процесу горіння буде визначатись тільки швидкістю (кінетикою) хімічної реакції.

### 3. За механізмом поширення горіння.

Дефлаграційним називають горіння, яке поширюється шляхом пошарового займання холодної горючої суміші за рахунок передачі тепла від зони горіння у підготовчу зону теплопровідністю і частково випромінюванням.

Детонаційним називають горіння, яке поширюється за рахунок швидкого адіабатичного стиснення горючої суміші ударною хвилею, утвореною продуктами згоряння.

### 4. За газодинамічним режимом горіння.

Ламінарне горіння відбувається за умови, що компоненти горючої суміші надходять до зони реакції повільно, за законами молекулярної або слабкої конвекційної дифузії. Напрямок руху окремих частин потоку співпадає. Турбулентне горіння відбувається за умови, що компоненти горючої суміші надходять до зони реакції інтенсивне, з інтенсивним завихренням,

перемішуванням продуктів горіння з вихідною сумішшю. Напрямок руху окремих частин потоку не співпадає.

Параметром, що характеризує газодинамічний режим горіння, є числове значення критерію Рейнольдса.

Якщо  $Re < 2300$ , то полум'я можна вважати ламінарним, якщо  $2300 < Re < 10\,000$  – полум'я є перехідним, а якщо  $Re > 10\,000$  – горіння відносять до турбулентного.

Полум'я – це газовий об'єм, в якому відбуваються всі процеси, що пов'язані з підготовкою горючої суміші до горіння, і сам процес горіння. У структурі полум'я умовно можна виділити декілька зон: підготовчу, горіння та продуктів горіння.

Загальними рисами процесу виникнення горіння є:

- утворення горючої системи, яка складається з горючої речовини та окисника, взятих у певному співвідношенні;
- тепловиділення в горючій системі за рахунок протікання хімічної реакції окиснення перевищує тепловіддачу від системи у навколишній простір, тобто  $q(+) > q(-)$ ;
- відбувається підвищення концентрації активних центрів або температури всієї горючої системи чи певної її частини до критичного значення, вище за яке швидкість реакції окиснення різко підвищується;
- перехід від повільної реакції окиснення до миттєвого перетворення (горіння) відбувається за певний період часу – період індукції.

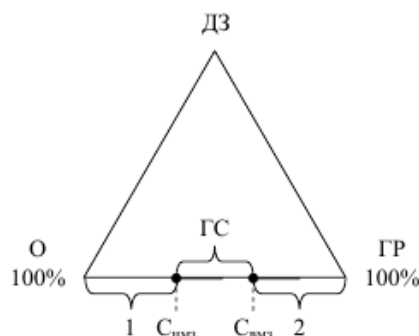


Рисунок 4.1 – Класичний трикутник горіння: ДЗ – джерело запалювання,



O - окисник, ГР - горюча речовина, ГС – горюче середовище, 1 – бідні суміші, 2 – багаті суміші,  $C_{\text{нмз}}$  – нижня концентраційна межа займання (поширення полум'я),  $C_{\text{вмз}}$  – верхня концентраційна межа займання (поширення полум'я).

У підготовчій зоні відбувається процес термічного розкладання речовин на складові хімічні елементи (карбон, водень та ін.), радикали та функціональні групи. Якщо в підготовчій зоні є кисень або кисень, що виділяється під час розкладання горючої речовини, то відбувається попереднє окиснення карбону, і в зону горіння вже потрапляють не атоми карбону, а молекули СО.

У зоні горіння відбуваються швидкі реакції згоряння продуктів попереднього окиснення, карбону та водню до кінцевих продуктів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Спектри випромінювання двоатомних (СО) та трьохатомних газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) розташовані за межами світлосприйняття людини. Якщо в зону горіння потрапляє молекулярний вуглець, то він розжарюється, і це зумовлює світіння зони горіння. Якщо молекулярний вуглець не встигає окислитися у зоні горіння, то він потрапляє в зону продуктів горіння у вигляді сажі.

Якщо полум'я є яскравим та кіптявим, можна вважати, що горить речовина з великим вмістом карбону. Якщо полум'я яскраве, не кіптяве – горить речовина з малим вмістом карбону або речовина, яка у своєму складі містить невелику кількість кисню. Якщо дифузійне полум'я є блакитним, можна зробити висновок, що горить речовина з малим вмістом карбону і великим вмістом кисню.

Характер світіння дифузійного полум'я приблизно можна охарактеризувати за відсотковим вмістом кисню та карбону в горючій речовині (відповідні дані наведені у таблиці 4.1). Якщо горюча речовина містить у своєму складі деякі атоми металів, то колір полум'я набуває характерного забарвлення: Al, Mg – білий, K – фіолетовий; Rb, Cs - рожево-фіолетовий, Pb, As, Sb, Se – блідофіолетовий, Cu ( $\text{CuCl}_2$ ) - зелений (блакитний), V – зелений, Tl, Te - смарагдово-зелений, Ba, Mo - жовтувато-зелений, Na – жовтий, Ca - темно-червоний, Sr, Li – малиновий.

Таблиця 4.1 – Залежність кольору дифузійного полум'я від складу горючої речовини

Характер світіння полум'я	Вміст елементів у горючій речовині, %	
	окисген	карбон
безбарвне	більше 50	до 50
яскраве, без кіптяви	Від 25 до 50	Від 50 до 75
яскраве, із кіптявою	менше 25	більше 75

За яскравістю та кольором світіння розжарених твердих тіл, що потрапили в полум'я, або за кольором зони гетерогенного горіння можна визначити температуру зони реакції: світло-червоний - 550 °С, темно-червоний – 700 °С, світло-вишневий - 800 °С, вишнево-червоний – 900 °С, яскраво-вишневий – 1000 °С, жовтогарячий – 1100 °С, яскраво-жовтий - 1200 °С, білий - 1300 °С, яскраво-білий - 1400 °С, сліпучий білий > 1500 °С.

#### 4.2 Матеріальний та енергетичний баланс процесу горіння

Як і будь-який інший хімічний процес, горіння підкоряється таким основним законам природи як закони збереження маси й енергії. Горіння – основне явище під час пожежі. За своєю сутністю це фізико-хімічний процес, в основі якого лежить швидка реакція окиснення, що протікає при контакті горючої речовини та окисника з утворенням продуктів горіння та виділенням великої кількості енергії.

Горіння під час пожежі здійснюється у повітряному середовищі. З горючою речовиною взаємодіє тільки кисень, інші компоненти повітря, що потрапляють до зони горіння, в хімічні реакції не вступають, але беруть участь у процесі тепломасообміну, тому при складанні реакції горіння слід враховувати їх наявність. Відомо, що повітря має приблизно наступний склад: кисню – 21 %, азоту, діоксиду карбону та інших інертних газів у сумі – 79 %. Отже, на один об'єм кисню у повітрі припадає  $79/21 = 3,76$  об'єму азоту або на один моль кисню – 3,76 молів азоту. Інколи, з урахуванням вологості повітря, вважають, що на

один моль кисню припадає 3,84 молів азоту. Зазвичай, у рівнянні реакції горіння склад повітря позначають як  $(O_2 + 3,76N_2)$ .

Вважаємо, що повітря в зону реакції надходить у кількості, достатній для повного згорання одного моля горючої речовини (ГР). При цьому утворюються тільки продукти повного згорання (ПГ). Тоді рівняння реакції горіння набуває загального вигляду:



де  $n_i$  – число молів продуктів горіння  $i$ -го типу (ПГ<sub>*i*</sub>), моль;

$\beta$  – стехіометричний коефіцієнт, який показує число молів кисню, необхідного для повного згорання одного моля горючої речовини.

Стехіометричний коефіцієнт  $\beta$  можна визначити розрахунком за формулою:

$$\beta = n_c + n_s + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2} + \frac{5n_P}{4}, \quad (4.2)$$

де  $n_C$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_P$ ,  $n_S$ ,  $n_X$  – число атомів карбону, гідрогену, кисню, фосфору, сульфуру, галогену у складі горючої речовини.

За умови зміни концентрації компонентів суміші змінюється швидкість хімічної реакції. Максимального значення швидкість реакції набуває за еквівалентного співвідношення компонентів, коли реакція відбувається цілком без надлишку або нестачі речовин, що реагують. Це співвідношення визначається стехіометричними коефіцієнтами у рівнянні реакції.

Концентрацію горючої речовини, що відповідає рівнянню реакції горіння, називають стехіометричною.

Стехіометрична концентрація може бути визначена як у відсотках (об'ємна  $\varphi_{стм}$ ), так і у грамах речовини, що міститься в одному кубічному метрі горючої суміші (масова  $\varphi'_{стм}$ ).

Розрахунок стехіометричної концентрації здійснюють за реакцією горіння. Горюча суміш складається з одного моля горючої речовини та  $\beta \cdot (1 + 3,76)$  молів повітря. Загальна кількість вихідної горючої суміші складе  $(1 + \beta \cdot 4,76)$  молів. Загальне число молів горючої суміші приймаємо за 100 % і знаходимо відсоток горючої речовини у вихідній суміші із пропорції:

$$\begin{aligned} (1 + \beta \cdot 4,76) \text{ моль} &= 100 \% \\ 1 \text{ моль} &= \varphi_{\text{СТМ}} \% \end{aligned}$$

Загальна формула для розрахунку стехіометричної концентрації в об'ємних відсотках має вигляд:

$$\varphi_{\text{СТМ}} = \frac{100}{1 + \beta \cdot 4,76}, \% \quad (4.3)$$

При розрахунку масової стехіометричної концентрації парів або газів враховують співвідношення між масою й об'ємом моля речовини. При цьому масову стехіометричну концентрацію горючих речовин можна визначити за формулою:

$$\varphi'_{\text{СТМ}} = 10 \varphi_{\text{СТМ}} \frac{\mu_{\text{ГР}}}{V_{\mu}}, \text{ Г/М}^3 \quad (4.4)$$

де  $\mu_{\text{ГР}}$  – молярна маса горючої речовини, кг/кмоль;

$V_{\mu}$  – об'єм одного кіломоля газу за даних умов, м<sup>3</sup>/кмоль;

розраховують за формулою:

$$V_{\mu} = 22,4 \frac{101,3 \cdot T}{273 \cdot P}, \text{ м}^3/\text{кмоль} \quad (4.5)$$

За нормальних умов ( $T = 273 \text{ К}$ ,  $P = 101,3 \text{ кПа}$ )  $V_{\mu} = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ ; за стандартних умов ( $T = 298 \text{ К}$ ,  $P = 101,3 \text{ кПа}$ )  $V_{\mu} = 24,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ .

1. Рівняння реакції горіння речовин є основою для розрахунку матеріального та енергетичного балансу у процесу горіння.

2. Складання рівняння реакції використовують при визначенні найважливіших параметрів пожежної небезпеки речовин, а саме теплоти згорання, концентраційних меж поширення полум'я, стехіометричної концентрації, температури горіння, температури та максимального тиску при вибуху, температурних меж поширення полум'я.

3. Стехіометрична концентрація горючої речовини визначає умови найкращого згоряння речовини. За цих умов параметри горіння набувають найбільш небезпечних значень: температура самоспалахування речовини є найменшою, температура горіння, тиск вибуху, витрата вогнегасних речовин для гасіння пожежі – найбільшими. Матеріальний баланс реакції горіння відображає закон збереження маси речовини, а саме: маса речовин, що вступила у реакцію, дорівнює масі речовин, які утворилися під час реакції.

Розрахунок матеріального балансу дозволяє визначити витрату повітря на горіння, об'єм і склад продуктів горіння, температуру горіння й температуру вибуху, максимальний тиск вибуху, температуру пожежі, інтенсивність газообміну та інші параметри, що визначають характер розвитку пожежі за різних умов.

Продукти горіння – це газоподібні, тверді та рідкі речовини, що утворюються при взаємодії окисника з горючою речовиною у процесі горіння.

Дим – це дисперсна система, що складається з твердих і рідких частинок розміром  $10^{-5}$  -  $10^{-8}$  м (дисперсної фази), завислих у газовому дисперсійному середовищі.

Саме тверді та рідкі продукти горіння зумовлюють непрозорість диму. Непрозорий дим утворюють і продукти попереднього розкладання, які є найбільш токсичними й небезпечними.

За умови повного окиснення горючої речовини утворюються продукти повного згоряння ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  і т.п.). За умови нестачі кисню у складі горючої суміші утворюються продукти неповного згоряння (C, CO,  $CH_4O$ ). До складу продуктів неповного згоряння відносяться продукти термоокиснювального розкладання (піролізу), який відбувається внаслідок нагрівання горючих речовин випромінюванням полум'я та гарячими продуктами горіння. При цьому можуть утворюватися спирти, альдегіди, кетони, HCl, HCN та ін.

Більшість продуктів повного згоряння є хімічно інертними речовинами, тобто за умов пожежі не здатні до подальших хімічних перетворень. Деякі продукти повного згоряння є реакційноздатними, тобто можуть вступати у

подальші реакції. Наприклад, HCl може вступати у реакцію обміну, а продукти неповного згоряння здатні доокиснюватися за високих температур навколишнього середовища.

Розрахунок матеріального балансу процесу горіння здійснюється на основі рівняння реакції горіння і полягає у визначенні числа молів повітря, необхідного для повного згоряння 1 моля горючої речовини ( $V_{\text{пов}}$ ),  $\text{м}^3$ , і кількості молів продуктів горіння, які утворюються при цьому ( $V_{\text{пр}}$ ),  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{пов}} = V_{\text{пов}} \cdot m_{\text{гр}}, \quad (4.6)$$

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot m_{\text{гр}}, \quad (4.7)$$

де  $m_{\text{гр}}$  – маса речовини, що згоріла, кг.

$V_{\text{пов}}, V_{\text{пр}}$  - дійсні об'єми повітря та продуктів згоряння,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

$$V_{\text{пов}} = \alpha \cdot v_{\text{пов}}^0, \quad v_{\text{пр}} = v_{\text{пр}}^0 + (\alpha - 1) v_{\text{пов}}^0,$$

$v_{\text{пов}}^0$  - питомий теоретичний об'єм продуктів горіння

$\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря, який показує, у скільки разів кількість повітря, що дійсно надходить до зони горіння, відрізняється від теоретично необхідної кількості повітря для повного згоряння горючої речовини.

Енергетичний баланс процесу горіння відображає закон збереження енергії під час протікання хімічного перетворення, відповідно до першого закону термодинаміки. Він показує, що загальний запас внутрішньої енергії або ентальпії речовин, які реагують, дорівнює сумі внутрішньої енергії або ентальпії продуктів згорання і теплоті, що виділилась під час реакції, за умов, що тиск і температура в системі не змінювались (ізобарно-ізотермічний процес), або об'єм і температура в системі не змінювались (ізохорно-ізотермічний процес):

$$\sum(n_i A_i) \rightarrow \sum(n_j A_j) + Q_{\text{хр}}, \quad (4.8)$$

де  $n_i$  – число молів початкових (вихідних) речовин  $A_i$ ;

$n_j$  – число молів продуктів реакції  $A_j$ ;

$Q_{xp}$  – тепловий ефект реакції.

Початковий і кінцевий рівні енергії системи відрізняються між собою на величину теплоти реакції  $Q_{xp}$ :

$$E_{кін} - E_{поч} = Q_{xp}, \quad (4.9)$$

Тепловий ефект реакції – кількість тепла, що виділяється чи поглинається системою під час протікання в ній незворотної хімічної реакції (хімічна енергія перетворюється в теплову) за умов сталої температури й об'єму чи температури й тиску.

Теплотою згоряння називається кількість тепла, що виділяється при повному згорянні одиниці кількості горючої речовини з утворенням продуктів повного згорання за умов, що початкові та кінцеві продукти знаходяться за стандартних умов.

Величину теплоти згоряння використовують при розрахунку пожежної навантаги  $R_{пож}$ , що є кількісною характеристикою теплового впливу пожежі на будівельні конструкції.

Пожежна навантага  $R_{пож}$  – питома кількість теплоти, що може виділитися у приміщенні під час пожежі з одиниці площі підлоги приміщення або певної ділянки.

Пожежну навантагу у приміщенні поділяють на тимчасову та постійну і визначають як суму добутоків мас всіх горючих матеріалів на їх нижчу теплоту згоряння, віднесену до одиниці поверхні підлоги, за формулою, МДж/м<sup>2</sup>:

$$R_{пож} = \frac{\sum m_i Q'_{ні}}{S_{підл}}, \quad (4.10)$$

де  $m_i$  – маса і-го горючого матеріалу, кг;

$Q'_{ні}$  – нижча масова теплота згорання і-го горючого матеріалу, МДж/кг;

$S_{підл}$  – площа підлоги, м<sup>2</sup>

### 4.3 Самоспалахування та самозаймання речовин, матеріалів та горючих сумішей

Виникнення горіння – це швидкий перехід повільної окисно-відновної реакції до миттєвого перетворення вихідних речовин у продукти реакції за рахунок самоприскорення. Це перетворення носить вибуховий характер та супроводжується спалахом або звуковим ефектом

Саморозгін реакції відбувається, як правило, внаслідок зміни параметрів (властивостей) системи - підвищення температури або накопичення активних продуктів, що прискорюють (каталізують) реакцію (наявність вільних радикалів, що утворюються в результаті проміжних хімічних перетворень).

Необхідною умовою виникнення горіння є одночасна наявність трьох складових: горючої речовини та окисника в достатніх концентраціях (тобто горючого середовища) і первинного імпульсу енергії достатньої потужності.

Тепловим імпульсом можуть бути зовнішні фактори (розжарена іскра, електричний розряд, нагріті стінки посудини, адіабатичне стиснення) або внутрішні екзотермічні процеси.

Залежно від природи теплового імпульсу та початкових умов, в яких знаходиться горюча система, розрізняють **три види виникнення горіння**:

За умови самоспалахування вся горюча система нагрівається зовні до критичної температури, вище за яку горюча система самостійно спалахує без додаткового зовнішнього впливу.

За умови самозаймання відбувається накопичення тепла в певній частині горючої системи за рахунок протікання внутрішніх екзотермічних фізико-хімічних або біологічних процесів, що призводить до виникнення горіння.

За умови вимушеного запалювання горіння виникає в будь-якій точці холодної горючої системи внаслідок дії високотемпературного джерела запалювання

Загальними рисами процесу виникнення горіння є:

- утворення горючої системи, яка складається з горючої речовини та окисника, взятих у певному співвідношенні;



- тепловиділення в горючій системі за рахунок протікання хімічної реакції окиснення перевищує тепловіддачу від системи у навколишній простір, тобто  $q(+)> q(-)$ ;
- відбувається підвищення концентрації активних центрів або температури всієї горючої системи чи певної її частини до критичного значення, вище за яке швидкість реакції окиснення різко підвищується;
- перехід від повільної реакції окиснення до миттєвого перетворення (горіння) відбувається за певний період часу – період індукції.

**Самоспалахування** – це процес виникнення горіння в результаті різкого підвищення швидкості екзотермічних реакцій окиснення, що виникають під дією зовнішнього нагрівання всієї горючої системи до критичної температури.

Температура самоспалахування – найменша температура горючої системи, за якої в умовах спеціальних випробувань спостерігається її самоспалахування.

Температура самоспалахування  $T_{cc}$  та час індукції  $\tau_{ind}$  можуть використовуватися як показник ступеня пожежної небезпеки горючих речовин та матеріалів.

На температуру самоспалахування речовин, а отже й на пожежну небезпеку процесу, в якому обертається ця речовина і може утворюватися горюча суміш, впливають три групи факторів:

- вид горючої речовини (теплотворна здатність, будова й просторова структура речовини (середня довжина карбонового ланцюга);
- склад горючої суміші (концентрація горючої речовини в суміші - за стехіометричного співвідношення компонентів; концентрація кисню в окиснювальному середовищі; наявність негорючих домішок у суміші; наявність каталізаторів або інгібіторів реакції окиснення);
- умови, в яких знаходиться горюча суміш (тиск у системі; об'єм і діаметр посудини; площа поверхні тепловіддачі; коефіцієнт конвекційної тепловіддачі; початкова температура суміші).

**Самонагрівання** – це підвищення температури системи за рахунок перевищення швидкості тепловиділення в системі внаслідок протікання екзотермічних процесів над швидкістю тепловіддачі від системи в навколишнє середовище

Процес виникнення горіння за рахунок самонагрівання системи внаслідок накопичення тепла всередині самої системи під впливом внутрішніх екзотермічних процесів за сприятливих умов і відсутності джерела запалювання називають **самозайманням**.

Найменша температура горючої системи, за якої виникає самонагрівання речовини, називається температурою самонагрівання.

Речовини з температурою самонагрівання нижче 50 град.С називають пірофорними речовинами.

Фізичним називається самозаймання, викликане самонагріванням матеріалу внаслідок тепловиділення фізичних процесів)

Хімічним називається самозаймання, яке виникає внаслідок взаємодії речовин, що реагують з виділенням тепла. хімічне самозаймання буває трьох видів

- самозаймання при контакті з киснем повітря;
- самозаймання при контакті з водою;
- самозаймання при контакті з хімічним окисником.

Мікробіологічне самозаймання – виникнення горіння внаслідок саморозігріву рослинних продуктів під впливом тепловиділення під час життєдіяльності рослинних клітин і мікроорганізмів.

Теплове самозаймання – виникнення горіння внаслідок самонагрівання, що зумовлено тривалим впливом зовнішнього нагрівання речовини вище за температуру самонагрівання.

При тепловому самозайманні тверда горюча речовина нагрівається до такої температури, за якої відбувається її термічне розкладання на газоподібні продукти і твердий вуглецевий залишок.

Необхідними умовами виникнення теплового самозаймання є:

- підвищена температура навколишнього середовища;
- знаходження матеріалу у вигляді скупчення, що зумовлює малу площу тепловтрат;
- легкість термічного розкладання матеріалу з утворенням достатньої кількості газоподібних продуктів, які активно вступають у реакцію окиснення;
- горючий матеріал є пористим або роздрібненим, нещільно утрамбованим, внаслідок чого є достатній доступ кисню углиб речовини.

Вимушене запалювання – це виникнення горіння внаслідок дії джерела запалювання на малу частку холодної горючої суміші

Джерело запалювання – це тіло, що горить, або розжарене тіло, а також електричний розряд, які мають енергію і температуру, достатні для запалювання (виникнення горіння) інших речовин.

Залежно від походження джерела запалювання класифікують на групи:

- теплові прояви електричної енергії;
- теплові прояви механічної енергії;
- відкрите полум'я, розжарені продукти горіння й нагріті ними поверхні;
- теплові прояви ядерної енергії, енергія сонячних променів;
- теплові прояви хімічних реакцій (із цієї групи в самостійну групу виділені полум'я і продукти горіння).

Температура запалювання – це критична температура нагрітого тіла, за якої досягається рівновага між тепловиділенням при окисненні горючої речовини у пристінному шарі горючої суміші і тепловіддачею в навколишню холодну суміш

Температура запалювання (температура розжареного тіла) повинна забезпечити необхідний початковий запас тепла у прогрітому шарі горючого газу.

На  $T_{\text{зап}}$  впливають фактори, які характеризують:

1) вид горючої речовини (теплотворна здатність), агрегатний стан (найменша  $T_{\text{зап}}$  у горючих газів, найбільша – у твердих горючих матеріалів);

2) склад горючої суміші: концентрація  $O_2$  в окиснювальному середовищі; домішки негорючих газів; концентрація горючої речовини;

3) умови, в яких знаходиться горюча суміш: початкова температура суміші; тиск, під яким знаходиться горюча суміш; швидкість руху газової суміші;

4) властивості самого джерела запалювання: теплоємність матеріалу; розміри нагрітого тіла; загальна площа поверхні нагрітих тіл.

У самостійну групу джерел запалювання виділяють відкрите полум'я та розжарені продукти горіння, які є небезпечними не тільки під час безпосереднього контакту з горючою системою, через те що температура полум'я завжди є вищою за температуру самоспалахування більшості горючих речовин, але і внаслідок випромінювання тепла, що може нагріти горючу систему до критичної температури (температури самоспалахування або тління).

Виникнення та поширення горіння в сумішах горючої речовини й окисника можливе тільки в обмеженому діапазоні їх концентрацій від нижньої до верхньої концентраційних меж:

Нижня концентраційна межа поширення полум'я (НКМПП) – найменша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої вже можливе виникнення та поширення горіння.

Верхня концентраційна межа поширення полум'я (ВКМПП) – найбільша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої ще можливе виникнення та поширення горіння.

На величину концентраційних меж поширення полум'я впливають:

- вміст кисню в окиснювальному середовищі;
- домішки негорючих газів;
- початкова температура системи;
- швидкість руху горючої суміші потужність джерела запалювання.

Безпечні концентраційні межі можна розрахувати за формулами:

$$\begin{aligned}\varphi_{\text{нб}} &= 0,9(\varphi_{\text{н}} - 0,21), \\ \varphi_{\text{вб}} &= 1,1(\varphi_{\text{в}} + 0,41),\end{aligned}\tag{4.10}$$

де  $\varphi_{\text{нб}}$ ,  $\varphi_{\text{вб}}$  – відповідно нижня безпечна та верхня безпечна КМПП, %;

$\varphi_{\text{н}}$ ,  $\varphi_{\text{в}}$  – відповідно нижня та верхня КМПП, %.

Концентраційна шкала пожежовибухонебезпеки горючих газоповітряних сумішей:



БК – область безпечних концентрацій;

НК – область небезпечних концентрацій;

ВНК – область вибухонебезпечних концентрацій;

ВБК, ПНК – область вибухобезпечних, та пожежонебезпечних концентрацій.

Концентраційні межі є найважливішим показником пожежної небезпеки речовин у будь-якому агрегатному стані.

Навіть якщо речовина знаходиться у конденсованому стані, перш ніж виникне горіння, у більшості випадків відбувається перехід цих речовин у газоподібний стан за рахунок випаровування або розкладання з можливістю подальшого запалювання цих газів.

КМПП (концентраційні межі поширення полум'я) застосовують:

- 1) для порівняльної оцінки пожежної небезпеки декількох речовин.
- 2) для оцінки пожежної небезпеки фактичної концентрації парогазових систем згідно зі схемою
- 3) для визначення вибухобезпечних концентрацій пари і газів всередині технологічного обладнання. За концентрацій горючої речовини  $\varphi_{\text{факт}} < \varphi_{\text{нб}}$  можна проводити відкриті вогневі роботи і використовувати горючі речовини у технологічному процесі, а при  $\varphi_{\text{факт}} > \varphi_{\text{вб}}$  можна

використовувати горючу речовину у технологічному процесі лише за умови гарантованої відсутності доступу повітря.

- 4) при розробці заходів щодо забезпечення пожежної безпеки вентиляційних систем, для розрахунку області безпечних концентрацій газів ( $\varphi_{\text{без}} < \varphi_{\text{нб}}$ ).

Розрахунок нижньої (верхньої) концентраційної межі поширення полум'я за хімічним складом горючої речовини  $\varphi_{\text{н(в)}}$ , %:

$$\varphi_{\text{н(в)}} = \frac{100}{\sum_s h_s l_s}, \quad (4.11)$$

де  $h_s$  – параметр  $s$ -го типу хімічного зв'язку в молекулі горючої речовини, характеризує енергетичний внесок даного типу зв'язку;

$l_s$  – число хімічних зв'язків  $s$ -го типу в молекулі горючої речовини.

Рідина може випаровуватися у відкритий або закритий простір. При випаровуванні в закритому просторі через певний час встановлюється динамічна рівновага – стан системи, за якого кількість рідини, що випаровується, дорівнює кількості сконденсованої пари. Якщо рідина знаходиться в незакритому об'ємі, то частина пари весь час дифундує в навколишній простір. При цьому кількість речовини, що випарувалася, буде більшою, ніж кількість сконденсованої речовини. Динамічна рівновага не встановлюється, пара є ненасиченою, а випаровування буде тривати, доки вся рідина не випарується.

Температурними межами поширення полум'я (ТМПП) (нижньою або верхньою) називають такі температури рідини, за яких над її поверхнею утворюється насичена пара в концентрації, що відповідає нижній або верхній концентраційній межі поширення полум'я.

Температурні межі поширення полум'я, так само як і концентраційні межі, не є постійними величинами і залежать від ряду чинників, основними з яких є:

- вміст кисню в окиснювальному середовищі

- домішки негорючих рідин або негорючих газів у пароповітряному середовищі
  - загальний тиск системи
- потужність джерела запалювання

За допомогою ТМПП можна:

- 1) провести порівняльну оцінку пожежної небезпеки двох рідин;
- 2) визначити ступінь пожежної небезпеки насиченої пари рідини в ємностях і закритих технологічних апаратах за фактичної температури;
- 3) визначити область безпечних температур роботи технологічного обладнання
- 4) визначити найбільш пожежовибухонебезпечний час року для використання даної горючої речовини.

Температура спалаху ( $t_{сп}$ ) – це найменша температура рідини, за якої в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею накопичується пара, здатна спалахувати під впливом короткочасної дії джерела запалювання середньої потужності, але без встановлення стійкого горіння.

Температура займання ( $t_z$ ) – найменша температура рідини, за якої після короткочасної дії джерела запалювання встановлюється стійке горіння. За цієї температури інтенсивність випаровування рідини стає рівною інтенсивності вигорання пароповітряної суміші.

## 5 ПАРАМЕТРИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ

### 5.1 Загальні параметри розвитку пожеж

Пожежа – це позарегламентний процес знищення або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для живих істот і довкілля. До небезпечних факторів пожежі відносять:

**первинні явища пожежі:**

- відкритий вогонь та іскри;
- підвищену температуру навколишнього середовища і предметів;
- токсичні продукти горіння;
- дим;
- знижену концентрацію кисню в повітрі;

**другорядні явища пожежі:**

- падаючі частини будівельних конструкцій, агрегатів, установок;
- небезпечні фактори вибуху (ударна хвиля, теплове випромінювання);
- отруйні речовини, що можуть потрапити у навколишнє середовище із ушкодженого устаткування;
- електричний струм;
- вогнегасні речовини.

Для всіх пожеж характерними є **такі явища:**

- 1) горіння, що супроводжується виділенням тепла та утворенням продуктів повного і неповного згорання;
- 2) масообмін, що виникає внаслідок утворення на пожежі конвекційних газових потоків, які забезпечують надходження свіжого повітря в зону горіння і відведення продуктів горіння;
- 3) теплообмін, який полягає у тому, що тепло, яке виділяється в зоні горіння, передається в навколишнє середовище, витрачається на нагрівання речовин, матеріалів, будівельних конструкцій, що робить можливим самостійне поширення пожежі.

Зона горіння – це частина простору, в якій відбуваються процеси термічної підготовки горючих речовин (розкладання, плавлення, випаровування) і безпосередньо процес горіння. Зона горіння обмежена поверхнею речовин, що горять, і фронтом полум'я дифузійного факела.



Зона теплового впливу – це частина простору, що прилягає до зони горіння і в межах якої відбуваються процеси теплообміну між поверхнею зони горіння і навколишніми конструкціями і речовинами.

Зона задимлення – частина простору, що прилягає до зони горіння, в якій неможливе перебування людей без засобів захисту органів дихання. Зовнішню межу зони задимлення визначають за видимістю, концентрацією отруйних речовин (небезпечна для життя і здоров'я людини) або за концентрацією кисню у повітрі (менше 16 %).

**Тривалість пожежі** можна поділити на три основні періоди:

- період вільного розвитку пожежі триває з моменту виникнення пожежі до моменту введення перших сил та засобів для її гасіння. За цей час площа пожежі зростає, спочатку повільно, а потім більш інтенсивно.
- період локалізації пожежі – час, протягом якого створено умови для запобігання подальшому розвитку пожежі. За цей час площа пожежі ще зростає, але з меншою швидкістю за рахунок впливу вогнегасних речовин.
- період ліквідації пожежі – час з моменту локалізації пожежі до повного припинення горіння. За цей час площа пожежі зменшується до нуля.

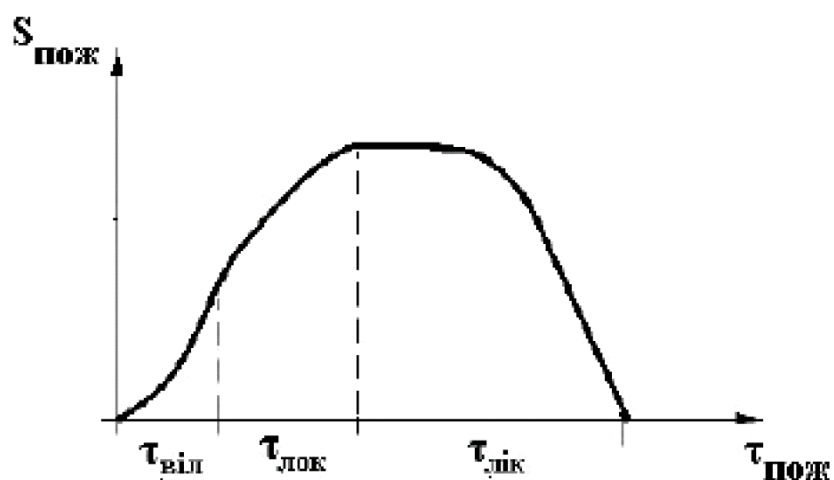


Рисунок 5.1 - Зміна площі пожежі залежно від періоду розвитку пожежі.

За умовами газообміну пожежі поділяються на:

- пожежі на відкритому просторі - характеризуються вільним газообміном із навколишнім середовищем, що зумовлює високу швидкість протікання процесів горіння, теплообмін здійснюється насамперед конвекцією та випромінюванням;
- пожежі в огороженні - характеризуються тим, що газообмін обмежений будівельними конструкціями., при цьому відбувається накопичення тепла та диму, теплообмін здійснюється конвекцією, теплопровідністю та випромінюванням

**Пожежі на відкритому просторі** поділяються на:

Окремі – зовнішнє горіння окремої споруди або будівлі

Суцільні – одночасне інтенсивне горіння більшості споруд на даній ділянці

Масові – сукупність окремих та суцільних пожеж у населених пунктах, на великих промислових підприємствах

Вогневий шторм – особлива форма розвитку пожежі, яка характеризується утворенням єдиного велетенського турбулентного факела з потужною конвекційною колоною нагрітих продуктів згорання і припливом свіжого повітря зі швидкістю більше  $15 \text{ м/с}^{-1}$ .

**Пожежі в огороженні** поділяються на:

- Пожежі, що регулюються вентиляцією (ПРВ) – пожежі, які протікають за умови обмеженості окисника в об'ємі приміщення і надлишку горючих речовин та матеріалів. Параметри горіння визначаються інтенсивністю газообміну, оскільки окисника не вистачає для повного згорання пожежної навантаги
- Пожежі, що регулюються пожежною навантагою (ПРН), – пожежі, які протікають за умови надлишку окисника у приміщенні, а розвиток пожежі залежить від наявності пожежної навантаги. За своїми параметрами такі пожежі наближаються до пожеж на відкритому просторі.

За ознакою зміни площі пожежі розрізняють такі типи пожеж

- пожежі, що поширюються, – це пожежі, які розвиваються з постійною зміною розмірів зони горіння: площі, периметра, фронту та ін.

- пожежі, що не поширюються, – це такі пожежі, у яких площа зони горіння не змінюється з часом (обмежена площею розташування горючої речовини).

Класифікація пожеж залежно від матеріалу, що горить, викладена у ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж». Пожежі поділяються на класи:

- клас А – пожежі супроводжуються горінням твердих матеріалів, зазвичай органічного походження, під час горіння яких зазвичай утворюються тліючі вуглини;
- клас В – пожежі супроводжуються горінням рідин або твердих речовин, які переходять у рідкий стан;
- клас С – пожежі супроводжуються горінням газів;
- клас D – пожежі супроводжуються горінням металів;
- клас F – пожежі супроводжуються горінням речовин, які використовують для приготування їжі (рослинні і тваринні олії та жири) і містяться в кухонних приладах.

Пожежна навантага  $R_{\text{пож}}$  – питома кількість теплоти, що може виділитися у приміщенні під час пожежі з одиниці площі підлоги приміщення або певної ділянки. Пожежну навантагу можна розрахувати за формулою:

$$R_{\text{пож}} = \frac{\sum_i m_i Q'_i}{S_{\text{підл}}}, \text{кДж/м}^2, \quad (5.1)$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -го горючого матеріалу, що знаходиться у приміщенні або на даній ділянці, кг;

$Q'_i$  – масова теплота згорання  $i$ -го горючого матеріалу, кДж/кг;

$S_{\text{підл}}$  – площа підлоги приміщення або ділянки,  $\text{м}^2$ .

Іноді пожежну навантагу вимірюють як масу всіх горючих та важкогорючих матеріалів, що припадає на одиницю площі підлоги приміщення,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ . Пожежна навантага визначає тривалість пожежі, інтенсивність задимлення, теплоту та температуру пожежі.

Тривалість пожежі  $\tau_{\text{пож}}$  – час із моменту виникнення пожежі до повного припинення горіння. Площа пожежі  $S_{\text{пож}}$  – площа проекції зони горіння на горизонтальну або вертикальну площину. Фронт пожежі  $\Phi_{\text{пож}}$  – частка периметра, на якій поширення пожежі відбувається найбільш інтенсивно.

Масова швидкість вигорання  $v_m$  – кількість речовини, що вигорє за одиницю часу з одиниці площі пожежі:

$$v_m = \frac{dm}{S_{\text{пож}}d\tau}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (5.2)$$

де  $dm$  – зміна маси матеріалу за одиницю часу.

Параметром, що характеризує процес поширення пожежі, є лінійна швидкість поширення пожежі, яка залежить не тільки від виду горючого матеріалу, але й від його стану, умов газообміну, часу розвитку пожежі.

Лінійна швидкість поширення пожежі  $v_l$  – відстань, яку проходить фронт пожежі за одиницю часу:

$$v_l = \frac{dl}{d\tau}, \text{ м/с}, \quad (5.3)$$

Температура пожежі на відкритому просторі – температура зони горіння, приймають як адіабатичну температуру горіння речовини.

Температура пожежі в огороженні – середньооб'ємна температура газового середовища у приміщенні, в якому відбувається пожежа.

Інтенсивність газообміну  $I_g$  – кількість повітря, що припливає за одиницю часу до одиниці площі пожежі:

$$I_g = \frac{g_{\text{пов}}}{S_{\text{пож}}}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (5.4)$$

де  $g_{\text{пов}}$  – витрата, з якою повітря припливає до зони горіння, кг/с;

$S_{\text{пож}}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>.

Інтенсивність задимлення  $I_z$  – зміна об'єму диму за одиницю часу в одиниці об'єму приміщення:

$$I_3 = \frac{V_{\text{дугв}} - V_{\text{двид}}}{V_{\text{прим}}}, 1/\text{с}, \quad (5.5)$$

де  $V_{\text{дугв}}$  – об'єм диму, що утворюється за одиницю часу при згорянні пожежної навантаги,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_{\text{двид}}$  – об'єм диму, що видаляється із приміщення за одиницю часу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_{\text{прим}}$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Теплота пожежі  $Q_{\text{пож}}$  – кількість тепла, що під час пожежі виділяється в зоні горіння за одиницю часу:

$$Q_{\text{пож}} = \eta Q_{\text{н}}^{\text{р}} v_{\text{м}} S_{\text{пож}}, \text{кДж/с}, \quad (5.6)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт повноти згорання (залежить від умов газообміну);

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  – робоча теплота згорання,  $\text{кДж/кг}$ ;

$v_{\text{м}}$  – масова швидкість вигорання,  $\text{кг/м}\cdot\text{с}$ ;

$S_{\text{пож}}$  – площа пожежі,  $\text{м}^2$ .

Правильна оцінка тепла, що виділяється під час пожежі, необхідна для визначення температури пожежі, коефіцієнтів теплообміну, температури на поверхні будівельних конструкцій тощо. В деяких випадках теплота пожежі приймається за основу для оцінки ступеня пожежної небезпеки різних об'єктів.

## 5.2 Особливості розвитку пожеж

Горіння твердих речовин. Ймовірність виникнення пожежі залежить від таких факторів: характеру твердої речовини, маси твердої речовини, стану твердої речовини, способу, за допомогою якого запалюється тверда горюча речовина.

Деревина використовується у виробництві фанери, деревностружкових та деревноволокнистих плит, целюлози, паперу, плівок, смоли, багатьох інших продуктів та виробів. Широке використання деревини має свою негативну сторону з точки зору підвищення рівня пожежної небезпеки місць її накопичення

та використання. Деревина належить до групи горючих матеріалів, займання яких за певних умов можливе навіть від малокалорійного джерела запалювання.

Речовина, з якої складається деревина, являє собою складний комплекс, де 99% маси – це органічні з'єднання. Близько 75% органічних речовин деревини складають вуглеводи, головним чином целюлоза, яка виконує функцію основного структурного компонента кліткових стінок рослин.

Розглядаючи деревні породи як горючий матеріал, необхідно враховувати їх елементний склад, за яким вони відрізняються незначною мірою.

Деревина вміщує 49 – 50% вуглецю, 43 – 44% кисню, 6,0 – 6,5% водню. Інші складові (азот та неорганічні елементи) – 0,1– 0,3%.

Таким чином, деревина має великий вміст кисню, який бере участь в процесі горіння разом з киснем повітря. Цим зумовлена здатність деревини до тління, а також деякі інші характеристики її пожежної небезпеки. Необхідно враховувати, що деревина – пористий матеріал, в якому об'єм порожнин, заповнених повітрям, перевищує об'єм твердої речовини. Наявність таких повітряних включень зумовлює відносну низьку теплопровідність деревини та пов'язані з цим займистість та повільне прогрівання внутрішніх шарів.

При нагріванні деревини змінюється її структура, фізичні та хімічні властивості. Характер змін залежить від режиму нагрівання, складу газового середовища та тиску. Термічні перетворення відбуваються за полімераналогічними та макромолекулярними реакціями. Компоненти деревини у цьому стані реагують на термічні впливи інакше, ніж всередині мікроструктури. Взаємовплив компонентів під час нагрівання достатньо складний.

При швидкому підвищенні температури до 150 °С з деревини випаровується в основному волога (згадайте «шипіння» сирих дров, кинутих до багаття), потім починається її розкладання з виділенням летких горючих речовин. За температурою 160–170 °С відбувається як ендотермічна реакція часткового гідролізу, так і екзотермічні процеси ущільнення макромолекул.

При нагріванні целюлози (основного компонента деревини) до 250–280 °С її деструкція (руйнування) розвивається дуже повільно. Подальше підвищення температури призводить до різкого зростання швидкості розкладання, яка досягає максимуму в діапазоні 325–380 °С.

Можна виділити чотири стадії процесу піролізу целюлози:

- Молекулярна реакція, що призводить до дегідратації (зневоднення);
- Розрив зв'язків С–О–С з розвитком деполімеризації та утворенням інших сполук, що визначаються як фракції смоли;
- Розклад продуктів дегідратації до утворення вугілля та органічних летких продуктів;
- Утворення оксидів вуглецю, води та водню.

Процес термічних перетворень целюлози, де нагрівання зумовлено зовнішнім джерелом або зворотним тепловим потоком продуктів горіння матеріалів, наведені на рис. 5.1.

За температури 200–280 °С переважає дегідратація, але з різким зниженням ступеня полімеризації целюлози розвиваються деструктивні процеси. При температурі 280–340 °С домінує деполімеризація. Ці реакції є конкуруючими. Тому, у разі зміни умов, їх можна зсунути в тому чи іншому напрямку.

Горючі леткі продукти змішуються з киснем повітря та займаються. Реакція горіння в газовій фазі (полум'я) визначає 75% загальної теплоти згорання целюлози. Вугілля (коксівий залишок) при з'єднанні з киснем повітря горить у конденсованій фазі, яку також називають тлінням. На частку тління випадає залишок – 25% теплоти згорання целюлози.

В інтервалі температур 300–500 °С при піролізі деревини формується мікроструктура вугілля.



Рисунок 5.1 - Термічне перетворення целюлози.

Горіння деревини включає процес термічного розкладу з утворенням летких та твердих продуктів та їх наступного окиснення. Парогазова суміш продуктів термічного розкладу деревини, що утворюється при температурах 200 °С, є горючою. Вона вміщує вуглеводи, водень, оксид вуглецю та пару органічних речовин. При досягненні певної концентрації та при наявності джерела запалювання вони займаються, що зумовлює подальше зростання температури та перехід процесу до екзотермічної стадії.

Деревина займається як від відкритого джерела вогню, так і від нагрітих предметів і горючих газів. За певних умов спостерігається самозаймання деревини, яке реєструється при температурі вище 330 °С. Проте в умовах тривалого нагрівання воно може спостерігатися при нижчих температурах.

Продовження самостійного горіння деревини проходить за умови, що кількість теплоти, що віддається поверхнею, яка горить, в одиницю часу в навколишнє середовище, не перевищує кількості теплоти, генерованої цією поверхнею.

Після займання температура поверхневого шару деревини підвищується до 290–400 °С. При цьому вихід газоподібних продуктів стає максимальним, що забезпечує подальший розвиток горіння. Як результат верхній шар перетворюється у деревне вугілля, яке в даних умовах ще не може горіти,



оскільки кисень повітря витрачається в реакціях, що відбуваються в газофазній зоні, й не досягає поверхні.

Горіння деревини завжди проходить стадію розкладання, що характеризується явищами поглинання та виділення тепла. Між поверхнею, що горить, та близько розташованими ділянками знаходиться шар, в якому відбувається підготовчий ендотермічний процес, що перешкоджає розповсюдженню тепла.

При розкладанні деревини, особливо в процесі горіння, її склад змінюється: зменшується вміст водню та кисню, збільшується відносна частка вуглецю. При досягненні температури понад 400 °С у складі вугілля переважає вуглець, тому виділення газоподібних речовин різко скорочується.

Коли температура вугілля на поверхні складає 500–700 °С, розташовані за ним шари також розкладаються з виділенням горючих газів. Одночасно зростає шар вугілля, який перешкоджає виходу цих газів. Полум'я залишається тільки біля тріщин вугілля, й кисень може досягти його поверхні. Внаслідок цього продовжується горіння летких продуктів розкладу й одночасно починається горіння твердого залишку. При товщині шару вугілля 2–2,5 см має місце рівновага між лінійною швидкістю вигорання вугілля, швидкістю прогрівання та розкладу деревини. Після цього рівновага зсувається в бік перетворення у вугілля всього об'єму деревини.

Процес горіння деревини: горіння парів й газів, що утворюються при її розкладанні; горіння вугілля, що утворилося.

Між зазначеними періодами є перехідний етап, що характеризується перебігом обох процесів.

В умовах пожежі більше значення має перший період, оскільки він супроводжується виходом основної маси нагрітих до високої температури летких горючих продуктів, на які припадає до 80% теплоти згорання деревини. Частина цього тепла акумулюється «свіжою» поверхнею матеріалу, ініціює процес самостійного горіння.

Деревина належить до матеріалів, горіння яких за певних умов може відбуватися у вигляді тління.

Тління визначається як процес безполуменевого горіння твердого матеріалу (речовини), який встановлюється за умови недостатнього припливу до матеріалу, що горить, кисню та тепла, та часто супроводжується виділенням диму.

Пожежі, що розвиваються у режимі тління, пов'язані з низкою проблем. До них належать: складність виявлення в початковій стадії, прогрівання поверхонь, що огорожують осередок тління; перехід до полуменевого горіння; труднощі гасіння заглиблених осередків пожежі; висока ймовірність повторних загорянь тліючих осередків.

Дослідженням кінетики температурних полів в осередку тління деревної тирси та об'ємі, що прилягає до нього, встановлено, що форма осередку тління близька до сферичної. Швидкість поширення фронту тління однакова у всіх напрямках і залежить від породи деревини, насипної щільності, вологості та розмірів частинок. Зі збільшенням розмірів частинок швидкість поширення фронту тління й температура в осередку знижуються. Підвищення насипної щільності в 2 рази порівняно з початковою припиняє процес тління.

У зон, прилеглих до осередку, відзначаються аномальні теплофізичні властивості полімерного матеріалу, що утворюється: зменшення ефективного коефіцієнта теплопровідності, збільшення ефективної теплоємності та вологості.

Сферичний шар полімерного матеріалу, який оточує осередок тління, перешкоджає розсіюванню теплоти осередку в об'ємі та створює ефект «адіабатичної сорочки», що й пояснює високу «живучість» осередку тління та труднощі, пов'язані з гасінням.

Знання особливостей термічного розкладу й горіння деревини має основоположне значення для оцінки її пожежної небезпеки, а також для розробки засобів та способів її вогнезахисту.

Горіння рідин. Рідини – речовини, тиск насичених парів яких при температурі 25 °С та тиску 101,3 кПа (1 атм) менше 101,3 кПа. До рідин належать

також тверді плавкі речовини, температура плавлення або краплепадіння яких менше 50 °С.

Рідини, які горять, поділяють на горючі та легкозаймисті. Відповідно до міжнародних рекомендацій, до легкозаймистих належать всі горючі рідини, що мають температуру спалаху нижче 61 °С (при визначенні в лабораторних умовах у закритому тиглі) або 66 °С (у відкритому тиглі). Особливо небезпечними є легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28 °С.

Горіння рідин відбувається у газовій фазі та являє собою складний фізико-хімічний процес, що проходить при взаємному впливі кінетичних, теплових і гідродинамічних явищ. Як результат випаровування, над поверхнею рідини утворюється паровий потік, змішування та хімічна взаємодія якого з киснем повітря забезпечує формування зони горіння, тобто тонкого шару газів, що світиться, і в який з поверхні рідини надходять горючі пари, а з повітря дифундує кисень. Стехіометрична суміш, що виникає, згоряє за частку секунди. Оскільки швидкість хімічного перетворення в зоні горіння в даному випадку залежить від швидкості надходження реагуючих компонентів до поверхні полум'я шляхом молекулярної та конвективної дифузії, процес горіння рідин називається дифузійним горінням. Спрощено горіння рідини показано на рис. 2.8.

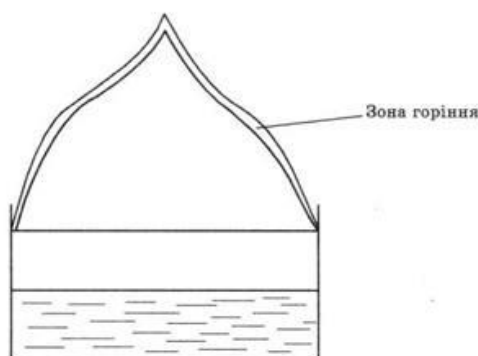


Рисунок 5.2 - Схема дифузійного горіння рідини.

Розміри та форма полум'я рідин суттєво залежать від діаметра резервуара, в якому відбувається горіння. Зі збільшенням діаметра резервуара висота полум'я збільшується. Полум'я рідин у пальниках малого діаметра буде ламінарним, у резервуарах – турбулентним.

Стійкість полум'я над поверхнею рідини, що горить, забезпечується надходженням до нього з певною швидкістю горючих парів та кисню. Швидкість надходження пального, в свою чергу, залежить від тиску його парів над поверхнею рідини і отже, від її температури.

Кінетика процесу вигорання рідин характеризується швидкістю вигорання, яка не є фізико-хімічною константою, оскільки залежить від властивостей горючої рідини, діаметра резервуара та умов тепло - та масообміну в зоні горіння.

Горіння газів. Гази – речовини, тиск насичених парів яких за температури 25 °С та тиску 101,3 кПа тиск перевищує 101,3 кПа.

Будь-яка суміш горючого газу з повітрям спалахує при контакті з розжареним тілом, та полум'я, що виникає, поширюється, якщо концентрація газу знаходиться в інтервалі між нижньою та верхньою концентраційними межами поширення полум'я. Швидкість поширення вогню залежить від природи горючого газу, температури навколишнього середовища і тиску та змінюється від 1 до 2000 м/с. Саме цей фактор визначає швидкість розширення нагрітих газів, а отже, й збитки, які здатні спричинити пожежа або вибух.

Запалювання горючих газових сумішей може виникати при їх контакті з розжареними поверхнями з появою в середині суміші іскор різного походження або полум'я. Ініціювання горіння газової суміші в одній точці призводить до нагрівання ближче розташованих шарів, де починаються хімічні перетворення. Згорання таких шарів викликає за собою горіння наступних – і так до повного вигорання горючої суміші, яка таким чином згоряє пошарово. Зона горіння переміщується по суміші, забезпечуючи поширення полум'я.

Межа зони горіння в газовій фазі, де здійснюється хімічне перетворення та проходить інтенсивний розігрів газу, є фронтом полум'я. Попереду фронту полум'я, що поширюється, знаходиться свіжа суміш, а позаду – продукти горіння. Якщо свіжа суміш рухається назустріч фронту полум'я зі швидкістю, яка дорівнює швидкості поширення полум'я, полум'я буде нерухомим (наприклад, у газовому пальнику).

У процесі поширення полум'я тепло, що виділяється під час реакції, витрачається на нагрівання свіжої суміші та частково витрачається в навколишнє середовище. Якщо втрати тепла перевищать певне критичне значення, то виникне прогресивне зниження температури полум'я, а потім його загасання.

Коли гази згоряють у вільному об'ємі, продукти реакції безперешкодно розширюються й тиск залишається практично постійним. Згоряння в замкненому об'ємі супроводжується підвищенням тиску.

Горіння пилу. Пил – дисперговані тверді речовини та матеріали з розміром частинок менше 850 мкм (0,85 мм). Пил з горючих речовин, зважених у повітрі (газозавись), поводить себе значною мірою як газоповітряна суміш і теж здатний вибухати.

Процес горіння газозависі хімічних органічних речовин значною мірою визначається механізмом теплопередачі по фронту полум'я. В органічних системах теплопередача здійснюється, головним чином, шляхом кондуктивно-конвективного теплообміну. Домінуючим механізмом теплопередачі є теплопровідність по газу. На горіння газозависей впливає й гравітація, що проявляється в осіданні частинок під дією сил тяжіння. У загальному вигляді модель фронту полум'я має такий вигляд: із високотемпературної зони пилової хмари, що горить, під впливом теплового потоку частинки встигають випаровуватися до спалахування; поширення фронту полум'я проходить по однорідній газоподібній суміші парів пального з повітрям; реакція взаємодії пального з окисником, що описується відомими з теплової теорії закономірностями, відбувається в кінетичній області.

Як результат руху фронту полум'я має місце часткове розсіювання свіжої суміші поблизу провідних точок полум'я. При цьому окисник (газова фаза) розсіюється в більшій мірі, ніж пальне (конденсована фаза), внаслідок чого фази отримують відносну швидкість й відповідно змінюється співвідношення пального з окисником у фронті полум'я. Підвищення концентрації пального супроводжується зростанням швидкості полум'я в даних зонах.

Горіння газозависей природних палив має свої особливості, оскільки тверді природні палива відрізняються від більшості інших хімічних речовин наявністю трьох компонентів: леткої частини, коксу та золи. Процеси займання й поширення полум'я для кожної з цих складових мають певні відмінності.

Летка частина складається з газоподібних компонентів, що виділяються під час нагрівання з палива без участі окисника. Кокс близький за складом до вуглецю, до того ж швидкість його горіння значно менша швидкості горіння леткої частки. Тому участь коксу в пилових вибухах природних палив незначна. Зола, що є мінеральною частиною палива, вміщує в собі ряд компонентів, здатних брати участь у горінні (пірити, колчедани, лужні метали), однак зола, в цілому, поводить себе як інертний матеріал.

Вибухи газозависей твердих палив належать до типових теплових вибухів. Фронт полум'я поширюється по зависі як результат передачі тепла від продуктів горіння в свіжу суміш. Процеси в газозависях природних палив, на відміну від горіння газових сумішей, ускладнюються через тривалість прогрівання частинок й можливість перебігу реакції окиснення як в кінетичній, так і в дифузійній області. Характерною особливістю горіння пилоповітряних сумішей в реальних умовах є те, що об'єм газозависі, що утворився, може викликати переведення до стану зависі (взмучування) відкладеного пилу та їх наступне вигоряння. Цим пояснюється, що такі вибухи, як правило, розвивають великий тиск й супроводжуються сильними руйнуваннями.

6 Основні властивості будівельних матеріалів та процесів що в них відбуваються

### 6.1 Поведінка будівельних матеріалів в умовах горіння

Природні кам'яні матеріали широко використовуються в будівництві і слугують основною сировиною для отримання мінеральних в'язучих речовин і штучних кам'яних матеріалів.

Природними кам'яними матеріалами називають будівельні матеріали, які отримують з гірських порід з використанням лише механічної обробки (подрібнення, розпилювання, шліфування, поліровки і т. і.). В результаті такої обробки природні кам'яні матеріали зберігають фізико–механічні властивості гірської породи, з якої їх було отримано.

Гірські породи – природні агрегати мінералів більш–менш постійного складу, що утворюють самостійні геологічні тіла, що складають земну кору. Мінерал – природне тіло, приблизно однорідне за хімічним складом та фізичним властивостям, що утворилося в результаті різних фізико-хімічних процесів у земній корі. Кожен мінерал характеризується визначеними хімічним складом та фізико–хімічними властивостями. Мономінеральні – гірські породи з одного мінералу. Полімінеральні – породи із декількох мінералів.

Всі гірські породи в залежності від умов їх утворення поділяють на три основні групи, які в свою чергу поділяються на підгрупи.

1. Вивержені (магматичні): масивні (граніт, лабрадорит, базальт, габро); уламкові (вулканічна пемза, попіл, туф);

2. Осадкові: механічні відкладення (пісок, гравій, піщаник); хімічні осади (доломіт, магнезит, гіпс, вапняк, вапняний туф, мергель); органічні відкладення (вапняк – ракушняк, крейда)

3. Метаморфічні: змінені вивержені (кварцит, мрамур); змінені осадкові (глинисті сланці, гнейси). Вивержені породи утворилися в результаті тривалого помірною застигання магми у земній корі. Мають повнокристалічну структуру та пористість близьку до 0.

Видобування природного каміння залежно від його міцності здійснюється в кар'єрах за допомогою екскаваторів (слабкі осадкові породи) або буро–вибуховим способом для розробки масивних, щільних, міцних магматичних та метаморфічних порід.

Залежно від місця та глибини залягання добувають відкритим, підводним та підземним способом. Каміння із кар'єрів залежно від його призначення піддають подальшій обробці: подрібненню, розпиленню, сколюванню, шліфуванню та поліруванню.

Застосовують гірські породи як нерудні, конструкційні, оздоблювальні будівельні матеріали та матеріали спеціального призначення (кислотостійкі, теплоізоляційні, акустичні).

Нерудні будівельні матеріали - неорганічні зернисті сипучі матеріали, як щебінь, гравій, піщано-гравійна суміш, пісок. Застосовують як заповнювачі для бетонів і розчинів, ущільнюючий шар на покриттях автошляхів, баластний шар залізничної колії, спорудження, дамб, насипів, засипок при облаштуванні територій.

Щебінь – куски каміння розміром 5–70 мм (для гідротехнічного будівництва до 150 мм). Видобувають буро-вибуховим способом та подальшим дробленням бутового каміння, в декілька стадій. Зустрічається і природний щебінь, який утворюється при вивітрюванні гірських порід.

Гравій – продукт природного руйнування та переміщення скельних гірських порід, складається із обкатаних зерен розмірами 5–150 мм. Отримують просіюванням рихлих осадових порід, за необхідністю промиваються для видалення шкідливих домішок (глини, пилу). За походженням буває річний, озерний, морський.

Піщано-гравійна суміш складається із піску розміром до 5 мм та гравію (25...60%). Основну кількість видобувають із русел річок, застосовують для виготовлення цементних та асфальтових бетонів, при будівництві доріг.

Пісок складається із зерен різних мінералів (кварцу, польового шпату, слюди) з розмірами 0,14–5 мм. Застосовують природні та штучні дроблені піски. Залежно від призначення до піску ставляться вимоги щодо розмірів та хімічного



складу. Застосовують на підприємствах з виробництва скла, будівельної кераміки, бетонів і розчинів, покрівельних та гідроізоляційних матеріалів.

Конструкційні матеріали. До них відносяться бутове каміння, каміння і блоки стінові, вироби для будівництва шляхів. Бутове каміння – куски каміння неправильної форми, розміром не більше 50 см. Може бути рваний та правильної форми.

Розробку порід здійснюють вибуховим способом або відокремлюють екскаватором та розвалюють камнекольниким інструментом. Належить до осадових (вапняки, доломіти, піщаники) та вивержених порід. Залежно від призначення до буту ставляться вимоги щодо міцності (не нижче 10 МПа), морозостійкості та водостійкості (коеф. розм'якшення не нижче 0,75). Із буту роблять греблі, дамби, інші гідротехнічні споруди (вага до декількох тонн), застосовують для підпірних стін, фундаментів, стін неопалюваних будівель (вага до 20 кг). Велика його кількість подрібнюється на щебінь.

Стінове каміння із гірських порід отримують методом розпилювання; застосовують для кладки зовнішніх стін і перегородок. Крупні блоки випилюють із масиву гірських порід у кар'єрах; нарізають із вже добутих блоків-заготовок; виготовляють методом кладки мілкового стінового каміння на будівельному розчині. Застосовують вапняк, туф, доломіт, піщаник густина 900...2200 кг/м<sup>3</sup> та марки за міцністю не менше 25кгс/см<sup>2</sup>.

Оздоблювальні пиляні матеріали у вигляді шліфованих та полірованих плит із граніту, лабрадориту, мармуру застосовують для внутрішнього і зовнішнього облицювання стін, покриття підлог, виготовлення сходів. Середній вихід при добуванні – 20 %, решта – некондиційні блоки і плити (застосовують при виготовленні штучних облицювальних матеріалів методом склеювання синтетичними смолами (епоксидною, поліефірною) або пресуванням із застосуванням цементу). Відходи мілкої фракції – для виконання монолітних мозаїчних підлог та виготовлення декоративних штукатурних розчинів.

Матеріали спеціального призначення. Це кислототривкі, теплоізоляційні та акустичні матеріали. Магматичні гірські породи (базальт, андезит, діабаз), метаморфічні (кварцит), мають високу кислотостійкість. З них виготовляють тесані плити, цеглу, бруски, фасонні вироби (для футерівки пром. установок); та захисту будівельних конструкцій, що працюють в умовах дії кислого середовища.

Теплоізоляційні та акустичні вироби в основному отримують на основі мінеральної вати. Мінеральна вата – механічна суміш штучно отриманих коротких волокон. Внаслідок хаотичного розташування волокна утворюють високопористу структуру, яка забезпечує теплопровідність, звукоізоляцію та звукопоглинання. Мінеральна вата не горить, не гниє, малогігроскопічна, водостійка та термостійка. Вироби на її основі застосовують для теплоізоляції холодних та гарячих (до 400°C) поверхонь. Мінеральні теплоізоляційні матеріали також отримують спучуванням природної сировини – перліту та вермикуліту.

Перліт – гірська порода, що складається із вулканічного природного склосплаву, містить до 5% кристалізованої води. При швидкому нагріванні дробленого матеріалу до  $T = 900...1200$  °C вода переходить у пару і спучує розм'якшену породу (збільшує в об'ємі до 10 разів), утворюючи сферичні зерна з пористістю до 90%, насипною густиною 75...500 кг/м<sup>3</sup> та теплопровідністю 0,046...0,08 Вт/(м·К). Спучений вермикуліт отримують аналогічно – шляхом подрібнення та короткочасного (3– 5 хв.) обпалювання у звішеному стані у шахтних печах природного вермикуліту, який складається із гідрослюд, що містять кристалізаційну воду. Різде випаровування води призводить до збільшення початкового об'єму у 15-20 разів.

Природні кам'яні матеріали оцінюють за якістю і поділяють на марки за такими фізико-механічними властивостями: густина; межа міцності на стискання; морозостійкість; водостійкість.

За густиною в сухому стані кам'яні матеріали поділяють на: важкі (більше 1800 кг/м<sup>3</sup>); легкі (менше 1800 кг/м<sup>3</sup>).

За межею міцності при стисканні ( $\text{кгс/см}^2$ ) встановлені наступні марки: для важких кам'яних матеріалів 100 – 1000 (відповідно 10 – 100 МПа); для легких кам'яних матеріалів 4 – 200 (відповідно 0,4 – 20 МПа).

За ступенем морозостійкості матеріали поділяють на марки F10 – 500. За ступенем водостійкості (коефіцієнт розм'якшення) матеріали розділяють на: 0,6; 0,75; 0,9; 1.

До кам'яних матеріалів, призначених для шляхових покриттів, підлог промислових будівель ставляться додаткові вимоги такі як висока стійкість до стирання, зношення і т. і. Для природного каміння з якого виготовляють плити для облицювання, велике значення мають зовнішній вигляд, колір, текстура. Вибирають гірські породи для кам'яних матеріалів і виробів на основі результатів випробування зразків, а також з урахуванням експлуатаційних вимог.

Граніт – складається із кварцу, польового шпату (ортоклазу) і слюди. Колір – світло-сірий, сірий, рожевуватий, темно-червоний. Структура – 35 зернисто-кристалічна. Густина –  $2700 \text{ кг/м}^3$ , пористість 0,5–1,5%. Межа міцності на стискання 100–250 МПа. Має високу морозостійкість, низьке водопоглинання, високий опір вивітрюванню, добре обтесується, шліфується та полірується. Проте відрізняється крихкістю та невисокою вогнестійкістю.

Габро – найміцніша та найстійкіша гірська порода. Складається із польового шпату та темно кольорових мінералів (авгіту та олівіну). Колір темно-сірий, чорний, темно-зелений з відтінками, Густина  $2800\text{-}3100 \text{ кг/м}^3$ , межа міцності на стискання 200-250 МПа. Має високу в'язкість та стійкість проти вивітрювання. Вироби із габро застосовують при будівництві шляхів.

Базальт – за хімічним складом аналог габро, має темно-сірий колір, приховано кристалічну структуру, високу густину (до  $3300 \text{ кг/м}^3$ ) та довговічність. Межа міцності на стискання досягає 400 МПа. Важко піддається обробці, але добре полірується. Застосовується у будівництві шляхів.

Вулканічний попіл – порошкоподібні частки вулканічної лави, що складаються в основному із аморфного кремнезему. Частки величиною до 5 мм – вулканічний пісок. Вулканічний попіл і пісок застосовують як активні домішки до цементу. Вулканічний туф – пориста гірська порода. Складається із вулканічного попелу, ущільненого та зацементованого. Має різноманітний колір: рожевий, оранжевий, червоний, коричневий і т. і. Характеризується значною пористістю, малою густиною та теплопровідністю, добре обробляється. Застосовується для облицювання стін. Відходи добування та обробки використовують як заповнювачі легких бетонів.

Пісок – рихла суміш зерен різних порід величиною 0,14–5 мм. За складом може бути кварцовим, польовошпатовим, вапняковим, пемзовим, а за походженням – гірський схиловий, річковий, морський, дюнний. Використовується як заповнювач у розчинах і бетонах.

Гравій – суміш обкатаних уламків гірських порід розміром від 5 до 150 мм. Використовується як наповнювач для бетону. Глинисті осадові породи – до них відносять тонко уламкові відкладення, що складаються із найдрібніших частинок каолініту, кварцу, слюди, польового 36 шпату та ін. Застосовують як сировину для керамічної та цементної промисловості.

Піщаники – щільна гірська порода. Складається із зерен кварцу, зцементованих різноманітними природними розчинами. В залежності від виду в'язучого розрізняють глинисті, вапнякові та кременисті. Колір жовтий, сірий та бурий. Найбільшу густину мають кременисті піщаники 2500–2600 кг/м<sup>3</sup>, межа міцності на стискання 150–250 МПа. Має високу твердість та стійкість до витирання. Використовуються для виготовлення бутового каменя, плит для облаштування підлог промислових будівель та тротуарів, як заповнювач для бетонів.

Доломіт – щільна гірська порода. Складається із мінералів тієї ж назви. За зовнішнім виглядом та фізико-механічними властивостями схожий на щільний вапняк. Із нього виготовляють облицювальні плити, щебінь для бетону,

вогнестійкі та в'язучі речовини. Магnezит – складається в основному із мінералів тієї ж назви. Застosовують його для виробництва вогнестійких матеріалів та в'язучих речовин.

Гіпсовий камінь – щільна гірська порода. Складається із мінералів тієї ж назви. Є сировиною для виробництва будівельного гіпсу та гіпсових в'язучих. Вапняк – широко розповсюджена гірська порода. Складається в основному із мінералу кальциту. Колір та багато властивостей залежать від присутності у ньому домішок (глини, кремнезему, оксидів заліза). Чистий – має білий колір, глинисті домішки дають йому жовтуватий відтінок. Буває щільним та пористим. Вапняк – ракушняк – пориста гірська порода. Складається із раковин та уламків, зцементованих вапняковим в'язучим. Характеризується великою пористістю, низькою міцністю та малою теплопровідністю. Добре піддається розпилюванню. Має густину 800–1500 кг/м<sup>3</sup>, межа міцності на стискання 1–3 МПа. Використовують у вигляді каміння і блоків правильної форми для укладення стін житлових будинків, а відходи – як заповнювач для легких бетонів.

Крейда – є слабкоцементною гірською породою. Складається із мікроскопічних раковин. Білого кольору. Використовують як білий пігмент для приготування фарб, замазок, при виробництві вапна та портландцементу.

Гнейси – за мінеральним складом схожі з гранітами, із яких вони утворилися, але відрізняються від них сланцевуватою будовою. Фізико–механічні властивості схожі до граніту. Колір світлий або барвистий. В будівництві використовуються там, де й граніти.

Глинисті сланці – утворилися із глин в результаті сильного ущільнення та дії високих температур. Колір сірий або синьо–чорний. Не розмокають у воді, легко розколюються на пластинки товщиною 4–10 мм. Такі пластинки із щільного матеріалу – довговічний покрівельний матеріал (природний шифер).

Мармур – зернисто–кристалічна гірська порода, що утворилася в результаті перекристалізації вапняків та доломітів під впливом високих температур та

тиску. Чистий – має білий колір, але в залежності від домішок його колір може бути рожевим, червоним, сірим і чорним. При нерівномірному розподілі домішок має барвистий колір із різноманітними візерунками, що надають каменю декоративність. Характеризується високою густиною – 2800 кг/м<sup>3</sup> та міцністю. Водопоглинання не перевищує 0,7%, межа міцності на стискання – 100–300 МПа. В зв'язку із невисокою твердістю порівняно легко розпилується на тонкі плити, шліфується та полірується. Застосовують для внутрішнього облицювання стін, виготовлення сходів, підвіконь та ін. Із відходів виготовляють мозаїчні бетонні вироби. Не рекомендується застосовувати для зовнішнього облицювання споруд, тому що під впливом газів та вологи із повітря швидко втрачає свої декоративні якості.

Кварцит – метаморфічний різновид кременистих піщаників. Колір білий, червоний і темно–вишневий. Характеризується високою щільністю, крихкістю і твердістю, високою стійкістю до вивітрювання. Густина 2500–2700 кг/м<sup>3</sup>, межа міцності на стискання досягає 400 МПа. Застосовують у вигляді тесаного каменя і плит для зовнішнього облицювання будівель і споруд, а також у вигляді щебеня для бетону.

Всі використовувані в будівництві природні кам'яні матеріали є негорючими, через що може скластися уявлення, що виконані з них будівельні конструкції будуть бездоганно поводитися в умовах пожежі. Проте це не так. Під впливом високих температур в кам'яних матеріалах відбуваються різні процеси, що призводять до зниження міцності і руйнування. Оцінюючи поведінку окремих мінералів, що входять до складу гірських порід при дії на них високих температур, враховують не лише температуру розм'якшення чи плавлення, але й коефіцієнт теплового розширення (зміна об'єму з підвищенням температури).

Мінерали, що мають низькі коефіцієнти теплового розширення та характеризуються монотонними кривими такого розширення, володіють позитивними якостями при нагріванні. Навпаки, нерівномірні температурні деформації мінералів та стрибкоподібні зміни їх об'ємів обумовлюють

виникнення внутрішніх напружень, що призводить до несприятливої поведінки мінералів і гірських порід при дії на них високих температур: зменшується густина, з'являються тріщини, різко знижується міцність.

Найбільш типові риси поведінки природних кам'яних матеріалів в умовах високих температур. Граніт. Вхідні в граніт мінерали мають різні коефіцієнти температурного розширення, що не може не призвести до виникнення при нагріванні внутрішніх напружень в камені і виникнення дефектів його внутрішньої структури. Мінерал кварц, що входить до складу гранітів, при температурі 575°C зазнає модифікаційного перетворення структури кристалічної ґратки, пов'язаного із стрибкоподібним збільшенням об'єму. Цей процес приводить до розтріскування моноліту і падіння міцності каменя.

Вапняк. На відміну від граніту є мономінеральною породою, що складається в основному з кальциту ( $\text{CaCO}_3$ ). В порівнянні з полімінеральними породами та породами, що містять кварц, в діапазоні температур до 800°C, вапняк характеризується рівномірним і незначним температурним розширенням і зберігає свою міцність. При подальшому підвищенні температури відбувається термічна дисоціація мінералу із протіканням хімічної реакції:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . При тривалому прогріванні цей процес буде перетікати з поверхні конструкції в її глибину. Слід зазначити, що утворений на поверхні конструкції шар  $\text{CaO}$  є пористим, володіє зниженою теплопровідністю і може, таким чином, виконувати функції свого роду термоізолюючого покриття, сповільнюючи прогрівання конструкції вглиб. При попаданні в цьому випадку на конструкцію води оксид кальцію, який є повітряним вапном, гаситься, переходить у гідратне вапно і обсіпається.

В умовах пожежі недопустимий полив водою будь-яких нагрітих кам'яних конструкцій, оскільки це завжди призводить до миттєвого їх руйнування якщо не з причини, описаної вище, то через великі температурні деформації, що виникають в результаті різкого охолодження. Із всіх природних кам'яних матеріалів найбільші температурні деформації мають піщаники, кварцити та інші

мінерали, які складаються із кварцу. Найменші температурні деформації мають вапняки та базальти.

Відносно малими температурними деформаціями відзначаються вулканічні пемзи, піски, туфи. Вважається, що гірські породи зберігають початкову міцність при нагріванні до таких температур: - піщаник і серпентиніт – 500°C; - граніт – 550–600°C; - вапняк – 800°C. Слід підкреслити, що всі кам'яні матеріали під впливом високих температур втрачають свої властивості незворотно, тому виконані з них конструкції (особливо несучі, хоча вони і не обрушилися) підлягають перевірці на міцність і подальшій заміні або підсиленні.

Більш стійкими при нагріванні є штучні кам'яні матеріали: цегла глиняна та вогнетривка (при їх виробництві застосовувались високі температури, тому дані матеріали володіють незначними температурними деформаціями за збереження початкової міцності). Таким чином в бетонах та розчинах в умовах дії високих температур краще застосовувати штучні пористі заповнювачі – керамзит, шлакову пемзу, перліт, аглопорит, а з природних кам'яних матеріалів – пісок, пемзу, туф. Для прогнозування поведінки будівельних конструкцій, виконаних з кам'яних матеріалів в умовах пожежі використовують і більш точні дані, які встановлюють механічні та теплотехнічні властивості у залежності від температури. Такі дані використовуються для розрахунку меж вогнестійкості з використанням математичного моделювання, що базується на рівняннях, що описують поля величин параметрів реакції елементів конструкцій на вогневу дію пожежі. Такими рівняннями є рівняння теплопровідності та рівняння напружено–деформованого стану елемента конструкції.

Залежно від ступеня переробки розрізняють: лісові матеріали (колоди, пиломатеріали); готові вироби та конструкції (збірні будинки, деталі, клеєні конструкції).

Процес горіння деревини протікає у дві стадії: полум'яне горіння продуктів терморозкладання деревини та тління вугільного залишку, що утворився. Тління відбувається в результаті гетерогенної реакції вугільного залишку з газоподібним



киснем повітря. В умовах пожежі до 60 % тепло виділяється в період полум'яного горіння деревини та близько 40 % у період горіння вугілля. У зв'язку з цим період полум'яного горіння є визначальним, хоча займає більш короткий проміжок часу, ніж фази тління.

Вже при температурі деревини близько 110 °С починається терморозклад деревини, який можна розділити на декілька характерних стадій. При нагріванні до 120...180 °С відбувається видалення вільної, а потім починається виділення хімічно пов'язаної вологи, розкладання найменш термічно складних компонентів деревини в основному з виділенням CO<sub>2</sub> та H<sub>2</sub>O. При температурі 250 °С починається піроліз деревини (в основному геміцелюлози) з виділенням CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O і так далі. Газова суміш, що утворюється, вже здатна до займання від джерела запалювання. При температурі 280...300 °С процес терморозкладання деревини інтенсифікується. Лігнін розкладається лише за температури 350...450 °С. При 350...450 °С продовжується піроліз деревини та виділяється основна маса горючих газів – 40 % від можливої кількості. Газоподібна суміш, що виділяється, складається з 25 % H<sub>2</sub> і 40 % граничних і ненасичених вуглеводнів. При досягненні достатньої концентрації газоподібних горючих продуктів терморозкладання можливе їх самозаймання.

Пожежну небезпеку деревини можна охарактеризувати такими параметрами. Температура займання і самозаймання деревини становить 250 і 350 °С відповідно, лінійна швидкість розповсюдження полум'я по поверхні становить 1–10 мм/с. Ця величина залежить від щільності теплового потоку, що падає на деревину, від породи деревини та від орієнтації зразка матеріалу у просторі. Швидкість тління деревини істотно нижча за швидкість поширення полум'я і становить у середньому для порід деревини різних 0,6-1,0 мм/хв (0,01 мм/с).

Масова швидкість вигорання деревини (втрата маси в одиницю часу з одиниці площі) в умовах пожежі залежить від багатьох факторів: породи

деревини, об'ємної маси, вологості, площі поверхні, інтенсивності опромінення тощо.

Термічне розкладання деревини при пожежі супроводжується виділенням газоподібних продуктів CO, CO<sub>2</sub> та інших, які можуть надавати токсичну (отруєну) дію на організм людини. Крім того, при тлінні та горінні виділяється значна кількість диму, який є дисперсним середовищем, утвореним рідкими та твердими частинками продуктів неповного згорання деревини. Він знижує вологість і перешкоджає диханню людини.

В умовах пожежі знижується міцність деревини, у результаті її терморозкладання, тобто руйнування структури, по-друге, деревина обвуглюється. Зміна міцності деревини суттєво залежить від втрати маси матеріалу у процесі нагрівання.

Слід звернути увагу, що розкладання та обвуглювання деревини при нагріванні деревини є головною причиною зниження міцності. У той же час, зменшення об'ємної маси матеріалу за рахунок обвуглювання призводить до зменшення теплопровідності і, отже, гальмує прогрів деревини.

Деревноволокнисті плити ДВП горючі. Легко загоряються і горять навіть під шаром штукатурки або іншого облицювального матеріалу, що обумовлено наявністю достатньої кількості повітря в порах. Отже, поверхневі методи вогнезахисту для цього матеріалу є малоефективними.

Деревно-стружкові плити ДСП виготовляють шляхом гарячого пресування. Плити горючі (Г4). Їхні пожежонебезпечні властивості визначаються видом сполучного (полімеру) та деревних стружок.

Фіброліт застосовують для теплоізоляції: об'ємна вага 300–350 кг/м<sup>3</sup>. Існує ще конструкційний фіброліт із об'ємною масою 400–500 кг/м<sup>3</sup>. Фіброліт при об'ємній масі 300 кг/м<sup>2</sup> – горючий (Г3).

Торфоплити горючі (Г4) – горять відкритим полум'ям і інтенсивно перевугуються, що ускладнює гасіння пожежі. Торф'яні теплоізоляційні плити застосовують для теплоізоляції стін і перекриттів.

Будівельна повсть. Найчастіше горить невідкритим полум'ям, а інтенсивно тліє, виділяючи задушливий дим. Зниження горючості досягається просоченням його глиняним розчином.

Пакля є сплутаними волокнами відпрацювання льону і конопель. Об'ємна маса  $150 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda = 0,06 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , легкозаймистий матеріал (Г4).

Кальциніт та соломит – спресовані плити з очерету, очерету чи соломи.

Матеріали горючі (Г4). Для захисту від займання та гризунів відштукатурюють. Застосовують для заповнення стін та перекриттів.

До групи теплоізоляційних матеріалів входить газонаповнення пластику.

Існує думка, що всі полімери та пластмаси надзвичайно пожежонебезпечні, оскільки всі вони легко спалахують, інтенсивно горять, при пожежі виділяють велику кількість диму та токсичних газоподібних продуктів розкладання та горіння. Це хибне уявлення пожежної небезпеки полімерних матеріалів. Різноманітність видів полімерних матеріалів потребує суворого індивідуального підходу до оцінки пожежної небезпеки конкретного мінералу. Числове значення параметрів, що характеризують пожежну небезпеку пластмас, залежить в першу чергу від полімерів, що входять до їх складу, кількості наповнювачів, технологічних добавок. Крім того, практика, а також численні експерименти показали, що пожежна небезпека пластмас істотно залежить від характеру вогняного впливу на матеріал, від особливостей його застосування та умов довкілля.

Дослідженнями встановлено, що здатність розповсюдження полум'я по поверхні оздоблювальних матеріалів залежить від виду матеріалу, орієнтації у просторі (підлога, стіна, стеля), матеріал основи. Найбільший вплив на здатність розповсюдження полум'я по поверхні матеріалів має величина теплового впливу.

Термічна деструкція кремнійорганічних склопластиків відбувається при температурі вище 350 ... 400 °С, для поліефірних склопластиків при 250 °С.

Склотекстоліт ФН, виготовлений на основі фенол-формальдегідних полімерів, поєднаного з фурфуролом, при нагріванні до 250 °С знижує міцність при вигині в 2,2 рази.

У будівельному виробництві знайшли широке застосування близько 20 видів штучних та синтетичних полімерів: за способом одержання (полімеризаційні та поліконденсаційні), по відношенню до нагрівання (термопластичні та термореактивні).

Полівінілхлоридна смола використовується широко при виготовленні матеріалів для покриття підлоги, гідроізоляційних та декоративних плівок труб, виробів конструктивного призначення.

Полістирол виготовляють у вигляді пінопластів СП-1, ПС-4, ПСВ-С, облицювальних плиток для стін сантехнічних виробів.

Жорсткі пінополіуретани (ППУ) використовують для виготовлення сендвіч-панелей замість панелей з легкого бетону. При горінні ППУ виділяють значну кількість ціаністого водню, що має найвищу токсичність. Останнім часом широке застосування у будівельному виробництві знаходять оксидні смоли, які використовуються для виготовлення покриттів підлоги на полімерних енергетичних об'єктах. Смоли використовують також, як в'язуче при виготовленні окремих плиток, сантехнічного обладнання і т.д.

Поліетилен найчастіше використовують при виготовленні каналізаційних труб, гідроізоляційних матеріалів, сантехнічних деталей.

Полімерні матеріали природного та штучного походження використовуються у будівельному виробництві у вигляді фарб, лаків, мастик та клеїв. Пожежна небезпека лакофарбових покриттів із захопленням товщини шару різко зростає.

Полімери і пластмаси мають низьку стійкість до температурних впливів. Міцність їх інтенсивно знижується при переході з твердого стану у в'язкий або у зв'язку з порушенням структури полімеру. Зміни фізико-механічних властивостей при нагріванні пов'язані з незворотними процесами, і в першу чергу з термоокислювальною деструкцією. Оскільки деструкція відбувається при відносно невисоких температурах, то навіть при незначному нагріванні спостерігається істотне зниження міцності та зміна інших фізико-механічних властивостей. Це визначається видом і кількістю компонентів, що входять до складу. Майже всі полімери при нагріванні втрачають міцність, жорсткість і підвищують пластичність. Тимчасовий опір залежно від температури інтенсивно знижується. Так, у поліетилену високого тиску (ВД) при нагріванні його від  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  опір знижується в 3 рази, а при нагріванні до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  у 19 разів.

Пластичні маси меншою мірою, ніж полімери мають значне зниження міцності при нагріванні. Найбільш стабільними при підвищеннях температури є склади кремнійорганічних скловолоконітів, таких як КМС 9, до 2 % своєї маси.

Термічна деструкція кремнійорганічних склопластиків відбувається при температурі вище  $350\text{...}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для поліефірних склопластиків при  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  знижує міцність при вигині в 2,2 рази.

Сталі у процесі нагрівання зазнають структурних змін, пов'язаних зі зміною просторового розташування атомів заліза. Такі процеси реструктурування призводять до зниження механічних характеристик будівельних сталей.

Робота сталі в умовах впливу високих температур оцінюється величиною напруження, пластичними властивостями і стабільністю сталі.

Пластичність сталі є показником її здатності до деформування при дії навантаження і високих температур. Більшість сталей, які застосовуються для виготовлення будівельних конструкцій, в умовах нагрівання мають достатню пластичність. У сталях, що мають на діаграмі розтягу площадку

текучості, із підвищенням температури ця площадка зменшується і при температурі вище 300 °С зникає.

За досягнення температури 300...350 °С і подальшому охолодженні низьковуглецеві сталі набувають синьоламкості, тобто зміцнюються, але стають менш пластичними і крихкими в умовах нормальної температури. Але при 400°С і вище тимчасовий опір і межа текучості вуглецевих сталей значно знижуються, а їх пластичні властивості підвищуються.

Низьколеговані сталі мають таку ж залежність механічних властивостей від температури, як і вуглецеві сталі, тільки максимальні значення тимчасового опору і межі текучості спостерігаються при більш високих температурах. Наявність легуючих добавок підвищує температуру початку рекристалізації в порівнянні з вуглецевими сталями. При короткочасному нагріванні сталей цього класу відбувається зменшення щільності сталі за рахунок температурного розширення.

У сталей спостерігається прямолінійна залежність між подовженням і напруженням. Зі збільшенням легуючих добавок модуль пружності підвищується. Проте різноманітні легуючі добавки по різному впливають на розмір модуля пружності. Наприклад, добавки нікелю і кобальту знижують модуль пружності сталі, а хром і вольфрам підвищують його; вуглець же у незначній мірі підвищує модуль пружності. При нагріванні спостерігається розвиток пластичних деформацій. З підвищенням температури межа текучості сталі знижується, що свідчить про залежність коефіцієнта від температури (при постійному напруженні).

З підвищенням температури сталь розширюється. Температурне розширення сталі залежить від класу, марки сталі, її хімічного складу, а також від температури. Зі збільшенням ступеня легування сталі температурне розширення сталі зростає. Деформації температурного розширення сталей зростають у міру підвищення температури. На температурні деформації сталі швидкість нагрівання не впливає. Хоча металеві (сталеві) конструкції (МК) виконані з негорючого матеріалу,

фактична межа їх вогнестійкості в середньому становить 15 хв. Це пояснюється достатньо швидким зниженням міцнісних і деформативних характеристик металу за підвищених температур під час пожежі. Металеві конструкції, що обрушилися або одержали великий прогин, викликають псування устаткування, сировини, готової продукції та ускладнюють вирішення питань евакуації та організації гасіння пожежі.

При дії «стандартного» режиму пожежі, коли температура навколишнього середовища постійно підвищується, теплова інерція металу обумовлює деяку затримку нагрівання тільки протягом перших хвилин пожежі. Потім температура металу наближається до температури нагрівального середовища. Захист металевих елементів і ефективність цього захисту також впливають на нагрівання металу.

Висока теплопровідність металу дозволяє припускати, що теплоперенос у масі металевих конструкцій є рівномірним і миттєвим, тому для металу можна невикористовувати поняття температурного градієнта ні по перерізу, ні по довжині елементів металевих конструкцій. Ступінь нагрівання металевих конструкцій при пожежі залежить від розмірів її елементів і величини поверхні їх обігріву. При збільшенні об'єму металу і зменшенні поверхні його обігріву температура елемента знижується.

В міру нагрівання сталі відбувається зниження її нормативних опорів до величини напружень, що виникають від нормативного навантаження. У цей момент несуча здатність сталевих елементів вичерпується і досягається його межа вогнестійкості (за ознакою руйнування або деформації).

## 6.2 Вогнезахист будівельних матеріалів

Основним нормативним документом, що регламентує вогнезахист матеріалів, виробів, будівельних конструкцій та перевірку відповідності вогнезахисту є «Правила з вогнезахисту» (наказ МВС від 26.12.2018 № 1064). Основні термінологічні визначення: вогнезахисний засіб (далі - ВЗ) -

вогнезахисна речовина (суміш, фарба, штукатурка, штучний виріб або листовий (рулонний) матеріал), яка за своїми властивостями придатна для вогнезахисту; вогнезахисна ефективність (здатність) - властивість ВЗ щодо підвищення вогнестійкості та/або зниження показників пожежної небезпеки об'єкта вогнезахисту; вогнезахист - зниження показників пожежної небезпечності матеріалу (тканина, папір, очерет, облицювальні та оздоблювальні будівельні матеріали, сценічні декорації) або підвищення вогнестійкості конструкції (несучі та огорожувальні будівельні конструкції будинків і споруд) чи виробу (повітроводи, проходки, електричні кабелі);

Вогнезахист здійснюється для зниження показників пожежної небезпеки матеріалів та підвищення вогнестійкості конструкцій та виробів шляхом нанесення (закріплення, монтування) ВЗ на об'єкт вогнезахисту або безпосередньо біля об'єкта вогнезахисту.

Вогнезахист забезпечується послідовним виконанням таких етапів робіт:

- проектування робіт з вогнезахисного обробляння, що здійснюється відповідно до чинного законодавства;
- виконання робіт з вогнезахисного обробляння;
- перевірка відповідності вогнезахисту;
- забезпечення експлуатаційної придатності вогнезахисних покривів (просочувань, облицювань, проходок, екранів);
- відновлення (ремонт), заміна ВЗ, повторний вогнезахист (обробляння).

Роботи з вогнезахисту (обробляння) здійснюються такими способами:

- вогнезахисне просочування (глибоке чи поверхневе);
- вогнезахисне обробляння (фарбування, штукатурення, обмотування, облицювання);
- вогнезахисне заповнення.

Спосіб робіт з вогнезахисту визначається залежно від властивостей ВЗ, об'єкта вогнезахисту та умов його експлуатації.



Вогнезахисне просочування застосовується для об'єктів вогнезахисту, виготовлених з пористих матеріалів (деревина, тканина, папір). Для просочування використовують просочувальні ВЗ, які проникають (просочуються) в об'єкт вогнезахисту.

Поверхнєве просочування здійснюється способом нанесення на поверхню (за допомогою пензля, щітки, валика, механічних пристроїв повітряного та безповітряного розпилювання), способом вимочування та способом «прогрів - холодна ванна».

Глибоке просочування здійснюється у спеціальних ємностях (автоклавах), що герметично закриваються, за вакууму та/або надлишкового тиску.

Для фарбування застосовуються вогнезахисні фарби, лаки та пасти (обмазки), які наносяться (закріплюються) за допомогою пензля, щітки, валика, механічних пристроїв повітряного та безповітряного розпилювання та утворюють на поверхні об'єкта вогнезахисту тонкошаровий вогнезахисний покрив.

Для штукатурення (обмазування) застосовуються вогнезахисні штукатурки або пасти (обмазки), які наносяться (закріплюються) за допомогою ручних штукатурних інструментів (шпателі, кельми, терки) та/або механічних пристроїв (штукатурні станції).

Облицьовування здійснюється із застосуванням одиничних виробів або листових (рулонних) матеріалів, які закріплюються (монтуються) на поверхні об'єкта вогнезахисту за допомогою кріпильних елементів, клейових розчинів тощо.

Способом вогнезахисного заповнення монтуються (ущільнюються) місця проходок, а також щілини та прорізи у будівельних конструкціях та місцях їх стиків.

Екранування здійснюється шляхом влаштування біля об'єкта вогнезахисту вогнезахисного екрана із застосуванням листових або рулонних матеріалів з урахуванням вимог Регламенту.

Залежно від складу та властивостей ВЗ поділяються на:

- просочувальні вогнезахисні речовини - розчини антипіренів в органічних або неорганічних рідинах, які проникають (просочуються) у товщу об'єкта вогнезахисту (постачаються готовими до застосування);
- суміші для просочувальних вогнезахисних речовин - один чи декілька компонентів, з яких перед застосуванням готується робочий розчин шляхом розчинення суміші в органічних або неорганічних рідинах до необхідної концентрації;
- фарби вогнезахисні - однорідні суспензії пігментів й антипіренів у плівкоутворювальних речовинах (включають наповнювачі, розчинники, пластифікатори, отверджувачі та інші речовини), що утворюють на поверхні об'єкта вогнезахисту тонку непрозору плівку, яка під впливом високих температур збільшується у розмірах (спучується) з утворенням коксового теплоізолювального шару;
- лаки вогнезахисні - розчини (емульсії) плівкоутворювальних речовин на органічній або водній основі, що містять антипірени (в тому числі пластифікатори, отверджувачі) й утворюють на поверхні об'єкта вогнезахисту тонку прозору плівку, яка під впливом високих температур збільшується у розмірах (спучується) з утворенням коксового теплоізолювального шару;
- пасти (обмазки) вогнезахисні - композиції, однорідні суспензії пігментів й антипіренів у плівкоутворювальних речовинах (включають наповнювачі, розчинники, пластифікатори, отверджувачі та інші речовини), що утворюють на поверхні об'єкта вогнезахисту тонку непрозору плівку, яка під впливом високих температур збільшується у розмірах (спучується) з утворенням коксового теплоізолювального шару, та мають пастоподібну консистенцію;
- штукатурки вогнезахисні - штукатурні суміші з комплексом спеціальних добавок для підвищення їх теплоізоляційних та адгезійних властивостей;
- облицювальні ВЗ - одиничні вироби, листові та рулонні матеріали, які монтуються безпосередньо на поверхні об'єкта вогнезахисту або поруч з об'єктом вогнезахисту (екранування) з урахуванням вимог Регламенту;

- вогнезахисні вироби - штучні або погонажні вироби (протипожежні муфти, вогнезахисні піни, замазки, ущільнювачі), які застосовуються для захисту місць проходок, а також щілин і прорізів у будівельних конструкціях з нормованими класами вогнестійкості та у місцях їх стиків.

Залежно від методів захисту ВЗ поділяються на: пасивні та реактивні.

До пасивних належать ВЗ, які під час температурного впливу не змінюють своїх розмірів і вогнезахисна ефективність яких забезпечується завдяки їх теплофізичним властивостям (просочувальні та облицювальні ВЗ, штукатурки, пасти (обмазки), вогнезахисні вироби).

До реактивних належать тонкошарові ВЗ (фарби, лаки, пасти (обмазки), що спучуються), які під час температурного впливу внаслідок хімічних реакцій значно збільшуються у розмірах (спучуються) з утворенням коксового теплоізолювального шару, який захищає об'єкт вогнезахисту від високотемпературного впливу.

Залежно від товщини нанесення ВЗ поділяються на: тонкошарові (з товщиною шару до 3 мм включно) та товстошарові (з товщиною шару більше 3 мм).

Залежно від умов експлуатації ВЗ поділяються на призначені для експлуатування: на відкритому повітрі (під впливом атмосферних факторів); під навісом; в закритому неопалюваному приміщенні (без штучно регульованих кліматичних умов, де коливання температури й вологості повітря істотно менше ніж на відкритому повітрі); в закритому опалюваному приміщенні з кліматичними умовами, що штучно регулюються, температурою вище 0 °С й відотною вологістю повітря не більше 70 %; в інших спеціальних умовах (агресивне середовище, підвищена вібрація).

Роботи з вогнезахисту виконуються суб'єктами господарювання, які мають відповідну ліцензію згідно з вимогами Закону України «Про ліцензування видів господарської діяльності», а також на підставі проектної документації, розробленої і затвердженої згідно з чинним законодавством та з урахуванням вимог Регламенту.

Деревина, що підлягає вогнезахисту, не має містити будь-яких дефектів, грибкових уражень, обвуглення унаслідок механічної обробки, сторонніх включень, пофарбування та має бути очищена від пилу та бруду.

До традиційних способів вогнезахисту дерев'яних конструкцій відносять штукатурення (рис. 6.1). Шар штукатурки завтовшки 20 мм збільшує межу вогнестійкості дерев'яної колони до 1 год, дерев'яної перегородки до 0,75 год. Ефективним способом зменшення пожежної небезпеки деревини є вогнезахисне просочування. Вогнезахисному просочуванню можуть піддаватися пиломатеріали, заготівки, клеєні та суцільні дерев'яні конструкції, а також вироби практично з усіх порід деревини.

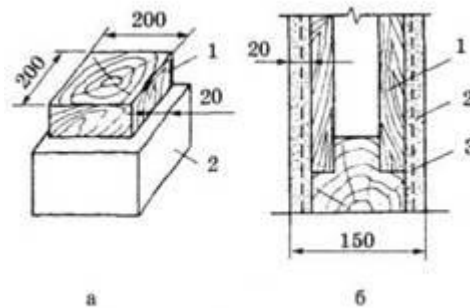


Рисунок 6.1 - Вогнезахист дерев'яних конструкцій: а – оштукатурений дерев'яний стовп; б – оштукатурена перегородка; 1 – дерев'яні конструкції; 2 – шар штукатурки; 3 – сітка

За просочуваністю породи деревини поділяють на три групи:

- 1 – легкопросочувані;
- 2 – помірно просочувані;
- 3 – важкопросочувані.

Величини середнього перехідного коефіцієнта просочуваності наведені в табл. 6.1.

Поверхнєве просочування здійснюється нанесенням на поверхню деревини вогнезахисного засобу способами занурення, нанесення пензлем, обприскуванням. Має забезпечувати проникнення антипіренів вглиб деревного комплексу, не менше: для 1-ї та 2-ї груп просочуваності - 3 мм; для 3-ї групи просочуваності - 1 мм.

Таблиця 6.1 – Коефіцієнти просочуваності деяких порід деревени

Порода деревини	Коефіцієнт просочуваності
<b>ХВОЙНІ ПОРОДИ:</b>	
Сосна	1,0
Кедр	0,9
Ялина	0,7
Піхта	0,4
Модрина	0,5
<b>ЛИСТЯНІ ПОРОДИ:</b>	
Береза/ Вільха	2,0
Бук	1,4
Липа/ Осика	1,1
Тополя	1,1
Дуб	0,3

Просочування вимочуванням здійснюється способом вимочування та способом прогріву – занурення у ванну. Просочування вимочуванням має забезпечити проникнення захисного засобу вглиб деревного комплексу, не менше: для 1-ї та 2-ї груп просочуваності - 5 мм; для 3-ї групи просочуваності – 3 мм.

Автоклавне просочування здійснюється під тиском в автоклавах водорозчинними захисними засобами під тиском; просочування способом вакуум – атмосферний тиск – вакуум; автоклавне-дифузійне просочування; сушіння-просочування. Повинно забезпечити проникнення захисних засобів вглиб деревного комплексу, не менше: для 1-ї та 2-ї груп просочуваності – 15 мм; для 3-ї групи просочуваності – 10 мм.

Під час просочування в автоклавах або методом гаряче-холодних ванн використовуються в ролі захисних засобів солі сірчанокислого та фосфорнокислого амонію. Солі амонію зменшують температуру обуглення деревини і тому ще в початковій стадії пожежі на її поверхні утворюється шар вугілля, зменшується теплота згоряння деревини, в результаті чого її самостійне горіння стає важким.

Як приклад можна навести рецептуру одного з просочувальних складів (компоненти вказані в частках): Діамонійфосфат – 7,5; Сульфат амонію – 7,5; Натрій фтористий – 2,0; Вода господарсько-питного або промислового водопостачання – 83,0. Поглинання деревиною сухих солей антипірену при глибокому просочуванні має складати не менше 66 кг/м<sup>3</sup>. Беручи до уваги принцип ізоляції поверхні деревини від впливу теплового потоку, використовують різні лакофарбові покриття та обмазки, які спучуються під впливом полум'я та температури під час пожежі і таким чином запобігають розкладу деревини протягом часу, який потрібен для виявлення та гасіння пожежі в приміщенні.

Вогнезахищену деревину за ефективністю вогнезахисту поділяють на дві групи:

I – деревина, що належить до важкогорючих матеріалів;

II – деревина, що належить до важкозаймистих матеріалів.

Вогнезахищена деревина I групи включає такі три підгрупи:

IA – важкогорюча деревина, не здатна до самостійного горіння протягом тривалого часу в умовах розвиненої пожежі. При спеціальних випробуваннях середня втрата маси десяти зразків після двохвилинного впливу джерела запалювання повинна бути не більше 5%, максимальна температура димових газів – не більше 220 °С, самостійне горіння та тління відсутні;

IB – важкогорюча деревина, не здатна до самостійного горіння протягом тривалого часу в умовах розвиненої пожежі. При випробуваннях середня втрата маси десяти зразків має бути не більше 7%, максимальна температура димових газів – не більше 250 °С, час самостійного горіння та тління – не більше 1 хв;

IV – важкогорюча деревина, не здатна до самостійного горіння в початковій стадії пожежі. Допустима втрата при випробуваннях маси десяти зразків має бути не більше 9%, максимальна температура димових газів – не більше 350 °С, час самостійного горіння та тління – не більше 1хв.

Вогнезахищена деревина II групи – це важкозаймиста деревина, не здатна до горіння від малокалорійних джерел запалювання. При відповідних випробуваннях середня втрата маси десяти зразків повинна бути не більше 25%.

Вогнезахисні покриття для деревини випробують за методом, суть якого полягає у впливі полум'я пальника із заданими параметрами на зразок деревини з вогнезахисним покриттям або просоченням, який розміщується в керамічній трубі спеціальної установки, в умовах, що сприяють акумулюванню тепла, та визначенню втрати маси цих зразків деревини після вогневих випробувань. Залежно від величини втрати маси цих зразків покриття чи просочувальний засіб належить до відповідних груп вогнезахисної ефективності (табл. 6.5):

I – засоби, що забезпечують одержання важкогорючої деревини;

II – засоби, що забезпечують одержання важкозаймистої деревини;

III – засоби, що не забезпечують вогнезахист деревини.

Таблиця 6.2 – Групи вогнезахисної ефективності просочувальних засобів

Допустима втрата маси, %	Групи вогнезахисної ефективності покриття чи просочувального засобу, що випробується
Не більше 9	I
Більше 9, але менше 30	II
30 і більше	III

Періодичність повторного вогнезахисту деревини в період її експлуатації визначається відповідно до технічних умов на просочувальні склади.

Для перевірки якості вогнезахисту, виконаного поверхневими способами, можна використовувати експрес-метод. Зі зразків вогнезахищеної деревини, яка висушена до повітряно-сухого стану (досягнення рівноважної вологості), зрізають стружку (пробу) завтовшки до 1 мм. Загальна кількість проб з усіх зразків повинна бути не менше десяти, а при просочуванні одиничної великогабаритної продукції (конструкції, виробу тощо) – не менше десяти проб з кожної одиниці продукції. Проби мають зрізатися, як правило, з різних місць.

Стружку деревини (пробу) поміщують в полум'я сірника та витримують протягом 15 с. По закінченні цього строку експозиції визначають тривалість часу (здатність) самостійного горіння та тління стружки.

Поверхнєве вогнезахисне просочування визначається як якісне, а вогнезахищена деревина – такою, що відповідає II групі, якщо після видалення джерела вогню не менше 90% проб не будуть підтримувати самостійного горіння та тління.

Вогнезахищена деревина при місцевому впливові на неї будь-якого джерела вогню може обвуглюватися, однак полум'я, яке при цьому виникає, не повинно поширюватися по її поверхні, а обвуглювання та руйнування повинно бути обмежене місцем прикладання джерела запалювання.

Вогнезахисне просочування здійснюється всіма способами, що забезпечують потрібну групу вогнезахисної ефективності. Вибір способу вогнезахисту деревини, захисного засобу проводять з урахуванням конструктивних, технологічних та техніко-економічних вимог, що висуваються до вогнезахищеної деревини, та згідно з умовами її експлуатації.

Особливістю горіння ряду дерев'яних конструкцій є розповсюдження пожежі по порожнинах, які влаштовуються, зокрема, для вентилявання з метою запобігання гниттю деревини. Полум'я при пожежах всередині порожнин поширюється зі швидкістю понад 3 м/хв і тривати такий процес може приховано. Тому порожнини необхідно виключати, а при їх наявності – заповнювати негорючими матеріалами або розділяти на секції по 3 м<sup>2</sup> діафрагмами з важкогорючих матеріалів.

Особливу увагу слід приділяти виявленню уражених вузлів дерев'яних конструкцій, здатних викликати їх передчасне завалення, та захисту таких вузлів. Дерев'яні конструкції мають випробовуватися або розраховуватися на вогнестійкість разом з вузлами кріплення, з'єднання, опорами, затяжками тощо.

Методи захисту несучих металевих конструкцій використовують для обмеження зниження міцності металевих конструкцій в умовах пожежі



необхідно зменшити швидкість їх нагріву. Для цих цілей використовують спеціальний вогнезахист.

Таблиця 6.3 – Види вогнегасних покриттів деревини

Найменування засобу вогнезахисту	Призначення та галузь використання	Група вогнезахисної ефективності складу за ГОСТ 16363-98
Покриття по деревині спучуване вогнезахисне ВПД	Для вогнезахисту конструкцій, що експлуатуються всередині приміщень з неагресивним середовищем, позитивною температурою, яка не перевищує 35 °С, та відносною вологістю повітря не більше 60%. Допускається використовувати покриття при відносній вологості повітря не більше 80% за умови нанесення на поверхню покриття, яке висохло, вологозхисного шару	I
Спучуване вогнезахисне покриття	Те ж	I
ВШ-2Д Суперфосфатна обмазка СФО	Для вогнезахисту всередині сараїв, горищних та інших приміщень, до яких не висуваються вимоги декоративного зовнішнього вигляду	II
Вапно-глиносолева обмазка ИГСО	Для вогнезахисту всередині сараїв, горищних та інших приміщень, до яких не висуваються вимоги декоративного зовнішнього вигляду	II
Вогнезахисне покриття на основі вермикуліту ОПВ-1	Для вогнезахисту конструкцій, що експлуатуються в умовах, що виключають дію атмосферних опадів, з позитивною температурою та відносною вологістю повітря не більше 70%	I
Вогнезахисне покриття «Unitherm 38202»	Для вогнезахисту готових дерев'яних конструкцій, що експлуатуються в умовах за відсутності безпосереднього впливу атмосферних опадів та зволоження	I

Найменування засобу вогнезахисту	Призначення та галузь використання	Група вогнезахисної ефективності складу за ГОСТ 16363-98
Вогнезахисний засіб (просочувальна речовина) «ББ-11»	Для вогнезахисту готових дерев'яних конструкцій, що експлуатуються в умовах за відсутністю безпосереднього впливу атмосферних опадів та зволоження	II
Суміш вогнезахисна для поверхневої обробки деревини МС	Те ж	II
Вогнезахисне покриття «Ендотерм-ХТ 150»	Те ж	I
Вогнезахисне покриття PYROTECH CS	Те ж	I

Використовують два методи захисту металевих конструкцій: тепловідвід та теплоізоляцію.

Тепловідвід здійснюється охолодженням порожнистих сталевих конструкцій рідиною, що циркулює, та заповненням порожнистих колон бетоном. У ряді зарубіжних країн побудовані будівлі з металевими каркасами, які заповнюються водою для збільшення межі їх вогнестійкості. Воду заповнюють колони каркаса будівлі, в окремих випадках – й балки перекриттів. Для цих цілей використовують воду з антикорозійними добавками, а для неопалювальних будівель – антифриз. Такі системи можуть бути з разовим наповненням під час пожежі, з постійним заповненням водою з природною або примусовою циркуляцією. Межа вогнестійкості захищених таким чином конструкцій, залежно від їх товщини та швидкості руху води, може досягати двох годин.

Для вогнезахисту методом теплоізоляції, в основному, використовують три способи:

- Збільшення товщини захисного шару шляхом облицювання цеглою, бетонуванням, штукатуренням;
- Встановлення теплоізолювальних облицювань (екранів); нанесення вогнезахисних покриттів.
- Традиційним способом вогнезахисту сталевих колон є облицювання (обкладення) їх цеглою (рис. 6.2).

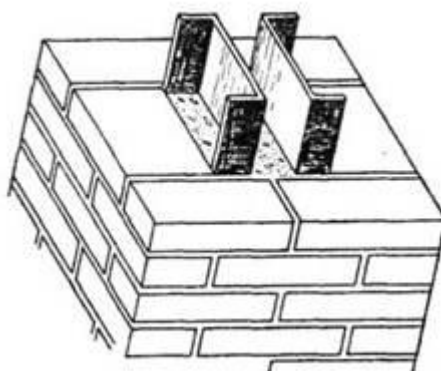


Рисунок 6.2 - Облицювання колони цеглою

Щоб запобігти руйнуванню цегляної кладки внаслідок неоднакового теплового розширення колони та кладки, між ними влаштовують невеликий зазор. Саму кладку армують за допомогою сталевих анкерів, які зварюють із захисної конструкцією.

Облицювання сталевих колон у півцеглини зберігається при всіх вогневих випробуваннях та забезпечує захист колон протягом 5 год. Колони, обкладені у чверть цеглини, за результатами випробувань, мали межу вогнестійкості 2 год 10 хв. У той же час, якщо в таких колонах простір між облицюванням та сталевим стрижнем заповнюють бетоном, шлаком, іншими негорючими матеріалами, то межа вогнестійкості такої конструкції може бути збільшена до 3 год.

Для захисних облицювань найчастіше використовують легкий бетон, керамічну цеглу, збірні плити з легких бетонів, порожнисте керамічне каміння, гіпсові, азбоцементні, скловолокнисті та мінеральні плити, штукатурку.

Вогнезахисні штукатурки виготовляють із суміші порожнистого заповнювача (перліт, вермикуліт) та в'язучої речовини (цемент, вапно, гіпс, рідке скло). Способи захисту металевих конструкцій штукатуркою показані на рис. 6.3.

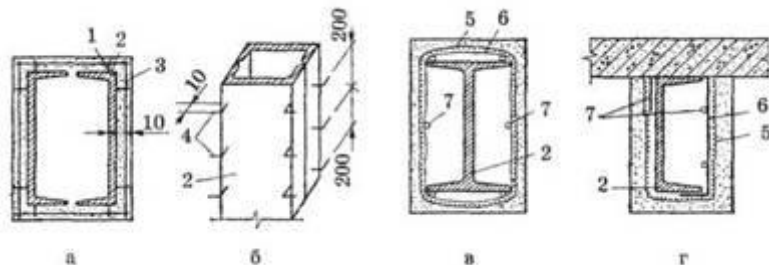


Рисунок 6.3 - Захист металевих конструкцій штукатуркою: а – з використанням плоскої сітки; б – з використанням Г-подібних шпильок; в – колони двотаврового перетину; г – балок

Перед застосуванням ВЗ металеві конструкції обробляються антикорозійним покриттям (грунтом). Антикорозійне покриття обирається згідно з Регламентом (якщо виробник ВЗ надав перелік рекомендованих для застосування ґрунтів). Ґрунти наносяться після спеціальної підготовки поверхні металевих конструкцій.

Перед нанесенням штукатурки металеві конструкції ретельно очищують від бруду та іржі та армують сталеву сіткою 3 з розміром вічка до 100 мм, прикріпленою до захищеної конструкції 2 анкерами 1 на відстані 10 мм від її поверхні. При використанні об'ємної сітки 5 (сітки рабиця) її можна накладати безпосередньо на поверхню конструкції.

При нанесенні штукатурки методом напівсухого торкретування в якості армуючих елементів можна використовувати Г-подібні шпильки 4, виконані з дроту діаметром 3–4 мм та завдовжки не менше 80 мм, які кріпляться до захищеної поверхні з кроком 200 мм та після приварювання відгинаються таким чином, щоб відстань від її кінцевих країв до поверхні конструкції не перевищувала 10 мм. Кінці шпильок, суміжні з кутами конструкції, повинні виступати за крайки грані на 10 мм.

Колони та балки, виконані зі швелера або двотавра поличками назовні, перед кріпленням армуючої сітки 5 обертають склотканиною або фольгою 6, які закривають порожнини та знижують витрати теплоізоляційних матеріалів. З метою збільшення жорсткості облицювання використовують армований каркас (7).

Шар штукатурки завтовшки 25 мм, нанесений по металевій сітці, підвищує межу вогнестійкості сталевих колон до 50 хв, а шар товщиною 50 мм – до 2 год.

Вогнезахисні штукатурки наносять як на заводі, де виробляють будівельні конструкції, так і безпосередньо на новобудові вручну або механізованими способами.

Для захисту металевих конструкцій широко використовують різні теплоізоляційні плити, виконані з керамзиту, вермикуліту, мінеральної вати, керамічного волокна, азбоцементу. Межа вогнестійкості сталевих колон, захищеної гіпсовими плитами завтовшки 30 мм та шаром штукатурки 20 мм, досягає 2 год. До недоліків такого захисту слід віднести усадку гіпсових плит та наступне їх завалення при пожежі. Причиною усадки є фізико-хімічні процеси, які протікають у гіпсі під час нагрівання. Цю властивість плит усувають шляхом додання до гіпсу дрібного шлаку або деревної тирси об'ємом 2%.

Азбоцементні плити завтовшки 40 мм з шаром штукатурки 20 мм забезпечують захист сталевих колон також протягом 2 год. Керамзитові плити завтовшки 40 мм зі штукатуркою завтовшки 20 мм забезпечують двогодинний захист сталевих колон, а плити завтовшки 65 мм при тому ж шарі штукатурки збільшують межу вогнестійкості до 3,5 год.

Для підвищення вогнестійкості металевих конструкцій використовують й теплоізоляційні елементи, які оберігають захищену поверхню від безпосереднього теплового впливу під час пожежі. З метою вогнезахисту горизонтальних конструкцій використовують вогнезахисні підвісні стелі, вертикальних конструкцій – вогнезахисні шкаралупи.

Одним з найперспективніших напрямків у галузі захисту сталевих елементів та конструкцій від вогню є використання спучуваних складів (фарб,

обмазок), вогнезахисні властивості яких проявляються за рахунок збільшення товщини їх шарів та змінювання теплофізичних характеристик при інтенсивному тепловому впливові. Розглянемо дію таких складів на прикладі вогнезахисної інтумісцентної (такої, що спінюється під впливом високої температури) фарби Протект-1, розробленої на основі кислотного та вуглецевого донорів, стартових реактивів, органічного зв'язуючого.

Під впливом високої температури (більше 200 °С) кислотний донор розкладається й при цьому виділяється поліфосфатна кислота, під дією якої вуглецевий донор перетворюється в складний фосфатний ефір і воду. Ефір утворює суміш вуглецю, фосфатної кислоти та води. Через те, що такі реакції проходять за температурою 200–250 °С, вода перетворюється у пару, а вуглецево-фосфатно-кисла суміш утворює піну, яка розширюється газами, що виділяються стартовими реактивами. Саме така піна й виконує вогнетермозахисні функції.

Сучасні засоби вогнезахисту металевих конструкцій наведено в табл. 6.4. Існують деякі особливості вогнезахисту будівель з легких металевих конструкцій. Для будівель з полегшених металевих конструкцій передбачається улаштування протипожежних поясів з негорючих матеріалів завширшки 0,6 м у місцях прилягання зовнішніх стінових панелей з горючим утеплювачем до міжповерхових перекриттів.

Для зменшення швидкості поширення полум'я по горючій покрівлі її покривають шаром гравію завтовшки 20 мм по шару бітумної мастики завтовшки не більше 2 мм. Найрадикальнішим заходом зі зменшення рівня пожежної небезпеки таких будівель є заміна горючої теплоізоляції на важ-когорючу та негорючу (перлітові, перлітоцементні або мінераловатні плити). Порожнини в торцях ділянок покрівлі з профільованим настилом, що прилягає до вертикальної конструкції будівель, заповнюються негорючим матеріалом.

Таблиця 6.4 - Засоби вогнезахисту будівельних конструкцій

Найменування засобу вогнезахисту	Коротка характеристика
Цементно–піщана штукатурка	Використовується цемент марки не нижче м 400. Нанесення – методом забризкування. Використовується армування сталлю сіткою. Густина – 1800 кг/м <sup>3</sup>
Перліто – вермикулітова штукатурка	У склади на основі цементу, гіпсу або рідинного скла вводять наповнювачі з перліту або вермикуліту, а також добавки мінеральної вати та азбесту. Густина – 300–400 кг/м <sup>3</sup>
Плити перліто-фогфогелієві теплоізоляційні	Виготовляють зі спученого перлітового піску, рідкого скла та гідрофобізуючих добавок. Розміри до 500x100 мм, завтовшки – 60 та 80 мм. Густина – 250 - 300 кг/м <sup>3</sup>
Листи гіпсокартонні облегшені (ГКО)	Вогнезахисне облицювання конструкції складається з металевого каркаса, обшивки з листів ГКО та анкерів, фіксуючих планок та кутків, нащільників та ін. з'єднаних деталей.
Плити жорсткі теплоізоляційні мулітокремне-земні ШВП-350	Виготовляються з мулітокремнеземної вати на глиняному зв'язуючому. Термостійкість до 1200 °С. Розміри: 490x490x100 мм. Густина – 200 кг/м <sup>3</sup>
Войлок муліто–кремнеземний МКРВ-200	Виготовляють у вигляді полотна завширшки 700 мм, довжиною до 10 м, завтовшки 20 мм. Термостійкість до 1200 °С. Густина 200 кг/м <sup>3</sup>
Плити неспалімі термостійкі на основі супертонкого базальтового волокна ПНТБ	Виготовляють з полотен супертонкого базальтового та глинястого зв'язуючого з добавкою гідрофобізатора. Термостійкість – не менше 1170 °С. Розміри до 930x1200 мм, товщина від 30 до 60 мм. Густина – 140 кг/м <sup>3</sup>
Мати неспалімі прошивні термостійкі на основі супертонкого базальтового волокна МНТБ	Виготовляють з полотен супертонкого базальтового волокна в обкладинках з термостійкої тканини або без неї. Термостійкість – не менше 1170 °С. Розміри до 1500x1500 мм, завтовшки від 40 до 80 мм. Густина не більше 50 кг/м <sup>3</sup>
Спучувальна фарба ВПМ–2	До складу входять, смола ММФ-50/50%, Na-сіль карбоксиметилцелюлози, амофос марки А, мелем, тиціан-діамід, азбест марки к 6, скловолокно рублене. Для приготування робочого складу паста заводського виготовлення змішується з амофосом у співвідношенні 7,4:2,6.

Найменування засобу вогнезахисту	Коротка характеристика
Вогнезахисні спучувальні склади СГК-1, ендотерм ХТ-150	Двокомпонентні склади на основі хлорсульфованого поліетилену та терморозширеного графіту. Мають високу атмосферостійкість та адгезію до захищуваних конструкцій. Наноситься пензлем та розпилювачем.
Вогнезахисне покриття «Файрекс 400»	Склад на водній основі, являє собою густотерту пасту світло сірого кольору. Наноситься пензлем та розпилювачем
Вогнезахисне спучуване покриття ОЗС–МВ	Склад на основі мінеральних наповнювачів, що мають здатність до розширення при нагріві, та силікофосфатного зв'язуючого. Наноситься пензлем та розпилювачем
Вогнезахисне спучуване покриття ПП–БВ–РФ	Склад на основі вермикулітних слюд. Наноситься шпателем, набризком за допомогою шпаклювального агрегату

З метою зменшення ризику завалення при пожежі всієї будівлі з легких металевих конструкцій рекомендується на покритті будівель улаштувати покрівельні протипожежні зони з негорючих матеріалів або покрівлі, що мають межу вогнестійкості, зрівняну з часом гасіння, а в самих будівлях – обмежувати пожежне навантаження та пожежонебезпечні процеси конструктивно-планувальними рішеннями. Також можна порекомендувати додатковий вогнезахист горючих теплоізоляційних шарів з боку профільного настилу негорючими листовими або плитними матеріалами, улаштування вогнезахисних підвісних стель у міжфермерному просторі.

Кабелі обробляються по поверхні. Якщо кабелі зібрані в пучок, обробляється поверхня пучка. Під час проведення робіт з вогнезахисту кабелі мають бути відключені від мережі електроживлення.

Перевірка відповідності вогнезахисту здійснюється згідно з вимогами чинного законодавства на таких етапах:



- під час виконання робіт з вогнезахисного оброблення (до закриття конструкцій);
- після завершення виконання робіт з вогнезахисного оброблення;
- упродовж експлуатації вогнезахисного покриву (просочування, облицювання) та виробу;
- після закінчення строку експлуатації вогнезахисного покриву (просочення, облицювання) та виробу.

Для перевірки відповідності вогнезахисту замовник робіт створює комісію та визначає її склад. До складу комісії входять представники замовника (голова комісії) та виконавця робіт, а також можуть залучатися (за згодою) представники проектної організації; виробника або уповноваженого представника; центрального органу виконавчої влади, який реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, пожежної та техногенної безпеки; органу з оцінки відповідності, який має атестат акредитації, виданий Національним агентством з акредитації України.

Під час проведення перевірки відповідності вогнезахисту перевіряються відповідність

Комісія створюється протягом п'яти робочих днів після одержання замовником повідомлення від виконавця робіт про закінчення робіт. Процедура та тривалість роботи комісії визначаються замовником робіт.

Якість виконаних робіт перевіряється шляхом:

- проведення зовнішнього огляду вогнезахисного покриву (просочування, облицювання) на відсутність пропусків, рівномірність покриву (просочування, облицювання), систем кріплення або клейових з'єднань на їх надійність;
- проведення вимірювання товщини вогнезахисного покриву (облицювання) через кожні 15–20 м довжини об'єкта вогнезахисту, але не менш ніж у 10 рівновіддалених точках;

- застосування експрес-методу для вогнезахисного просочення.

За рішенням замовника робіт проводяться лабораторні випробування вогнезахисту (коефіцієнт спучення для вогнезахисних фарб (лаків)).

За відсутності порушень результати роботи комісії оформлюються актом, який готується виконавцем робіт.

Алгоритм дій у разі виявлення недоліків під час перевірки вогнезахисту:

Члени комісії викладають зауваження, пропозиції із зазначенням виявлених дефектів.

Представники органів з оцінки відповідності готують відповідні документи згідно з чинним законодавством.

Виконавець робіт у строки, визначені комісією, усуває виявлені дефекти та повідомляє про це замовника робіт і членів комісії.

Після усунення недоліків комісія підписує акт, який далі зберігає виконавець робіт.

До Акта перевірки додаються: копії проектної документації; регламенту; акти: визначення вологості деревини (для вогнезахисту дерев'яних конструкцій та виробів, за наявності); визначення точки роси (для металевих та залізобетонних конструкцій, за наявності); про закриття прихованих робіт (за наявності прихованих робіт, за наявності).

Кількість примірників актів перевірки відповідності вогнезахисту має відповідати кількості членів комісії.

### 6.3 Особливості застосування вогнегасних речовин

Процес горіння під час пожежі відбувається в умовах відносно сталого теплового балансу, при якому кількість тепла, що виділяється в зоні горіння дорівнює кількості теплоти, що відводиться в навколишнє середовище.

Припинення горіння відбувається за рахунок зменшення тепловиділення в зоні реакції горіння або збільшення тепловіддачі.

Для припинення горіння достатньо знизити температуру зони реакції (рис.6.4) нижче температури згасання шляхом зменшення швидкості тепловиділення або збільшення інтенсивності тепловідведення.

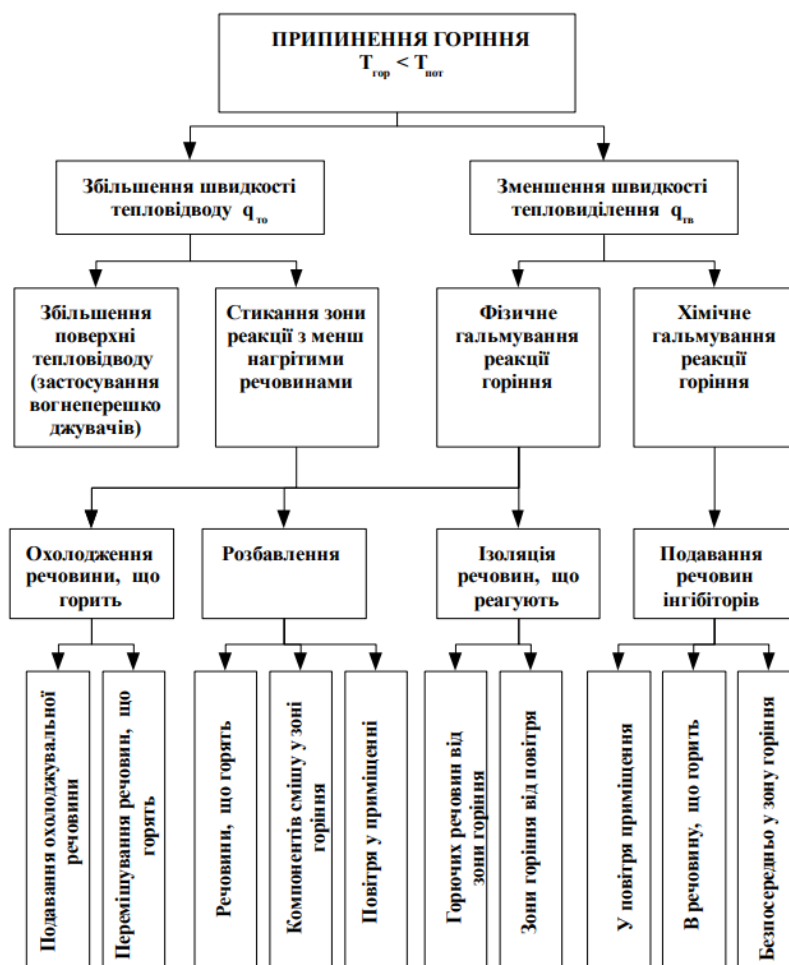


Рисунок 6.4 – Способи припинення реакції горіння

При введенні в зону горіння вогнегасних речовин температура поступово знижується і може досягти значення, за якого горіння припиняється.

Таким чином, знизити температуру горіння нижче температури згасання можна наступними методами:

- збільшенням поверхні тепловідводу із зони горіння;
- впливом на зону горіння або на поверхню матеріалів, що горять, охолоджувальними вогнегасними речовинами;
- створенням у зоні горіння або навколо неї негорючого газового або парового середовища;

- створенням між зоною горіння і горючим матеріалом або повітрям шару з вогнегасних речовин;
- безпосереднім впливом на хімічні процеси окислювання в зоні реакції горіння.

Кожен зі способів припинення горіння можна виконати різними прийомами або їх поєднанням.

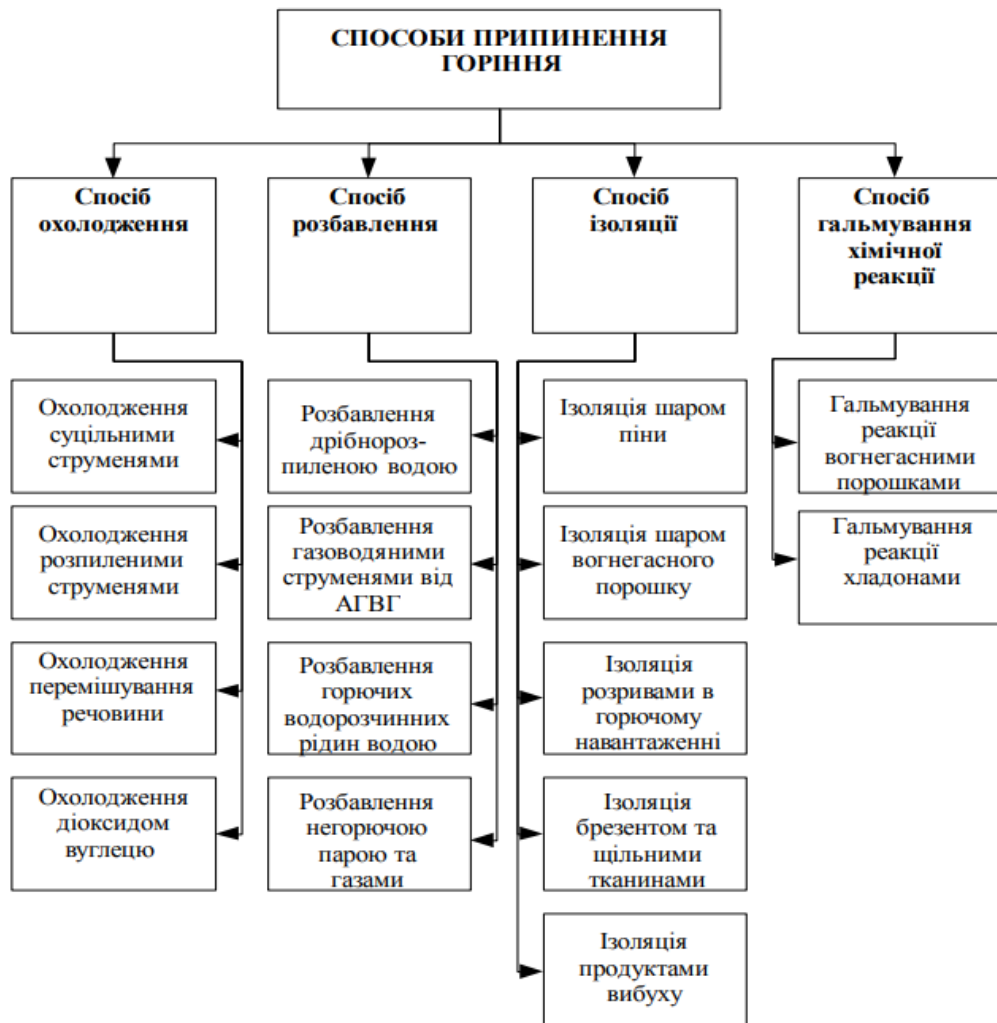


Рисунок 6.5 – Способи припинення горіння на пожежі

**Вогнегасні речовини** – це такі речовини, які безпосередньо впливають на процес горіння і створюють умови для його припинення або запобігають виникненню процесу горіння

Припинення горіння на пожежах (рис.6.4) можна досягти на основі чотирьох відомих принципів припинення горіння:

- охолодження речовин, що реагують;
- ізоляції речовин, що реагують, від зони горіння;
- розбавлення речовин, що реагують, до концентрацій, що не підтримують горіння;
- хімічне гальмування реакції горіння.

Для того щоб речовина використовувалася як вогнегасна вона повинна відповідати певним вимогам. До основних з таких вимог можна віднести:

високу ефективність гасіння за порівняно малої витрати;  
 доступність, дешевизну та зручність у застосуванні;  
 екологічну безпеку, а саме відсутність шкідливої дії при її застосуванні для людей, матеріалів та навколишнього середовища.

Усі вогнегасні речовини, що використовуються для гасіння пожеж, умовно поділяються на декілька характерних видів за домінуючим (головним) механізмом їх впливу на процес горіння. Так, наприклад, вода та багато інших складів на її основі відносяться до категорії речовин охолоджувальної дії, тобто таких, що переважно діють за *механізмом охолодження поверхні матеріалу*, що горить, та *зони горіння*. Але при застосуванні води частково відбувається ізоляція поверхні речовини від кисню повітря та розбавлення горючого середовища водяною парою.

Усі види піни, що використовуються у практиці пожежогасіння, умовно відносять до категорії вогнегасних речовин *ізолюючої дії*. Вони, в основному, впливають на процес горіння за механізмом ізоляції горючої речовини від зони горіння.

Нейтральні гази, водяна пара умовно віднесені до вогнегасних речовин *флегматизуючої дії (розбавляючих)*. Потрапляючи у зону горіння, вони зменшують швидкість реакції горіння за рахунок зниження концентрації компонентів хімічної реакції.

*Хімічно активні інгібітори* – речовини, що безпосередньо впливають на процес горіння та гальмують інтенсивність тепловиділення хімічних реакцій в зоні горіння.

У всіх випадках припинення процесів горіння, тобто гасіння пожежі, настає момент, коли у всій зоні горіння будуть створені такі фізичні та хімічні умови, за яких параметри процесу горіння, а саме швидкість поширення полум'я ( $v_l < v_{\text{гран}}$ ), гранична теплота згорання ( $Q < Q_{\text{гран}}$ ), або температура в зоні реакції горіння стануть нижче температури згасання, досягнуть граничного, критичного значення ( $T_{\text{гор}} < T_{\text{кр}}$ ).

Слід зазначити, що всі вогнегасні речовини, при їх застосуванні, впливають на процес горіння комплексно, а не вибірково. Так, вода, яку віднесено до вогнегасних речовин охолоджувальної дії, при потраплянні на поверхню палаючого матеріалу, частково буде діяти як речовина флегматизуючої та ізолюючої дії.

Вид і характер виконання дій з гасіння пожеж в певній послідовності, спрямованих на створення умов припинення горіння, називається **способом припинення горіння**.

В залежності від основного процесу, що приводить до припинення горіння, способи гасіння можна поділити на чотири групи (рис.6.4):

- охолодження зони горіння або поверхні речовини, що горить;
- розбавлення середовища, речовини, що горить, або пального (флегматизація);
- ізоляція реагуючих речовин від зони горіння;
- гальмування хімічної реакції горіння (інгібування)

#### **Припинення горіння методом охолодження.**

У випадку припинення горіння методом охолодження основною умовою гасіння є зменшення температури в зоні горіння нижче за температуру погасання  $T_{\text{з.г}} < T_{\text{кр}}$ .

При припиненні горіння горючих рідин необхідною умовою гасіння є: одночасне припинення полум'яного горіння пари над поверхнею рідини (гомогенного горіння продуктів випаровування) та зменшення інтенсивності надходження горючої пари за рахунок охолодження нагрітого шару рідини

(рис 6.5). Без проведення охолодження поверхневого шару рідини та зменшення інтенсивності її випаровування можливе утворення горючої суміші та її займання з вибухом.

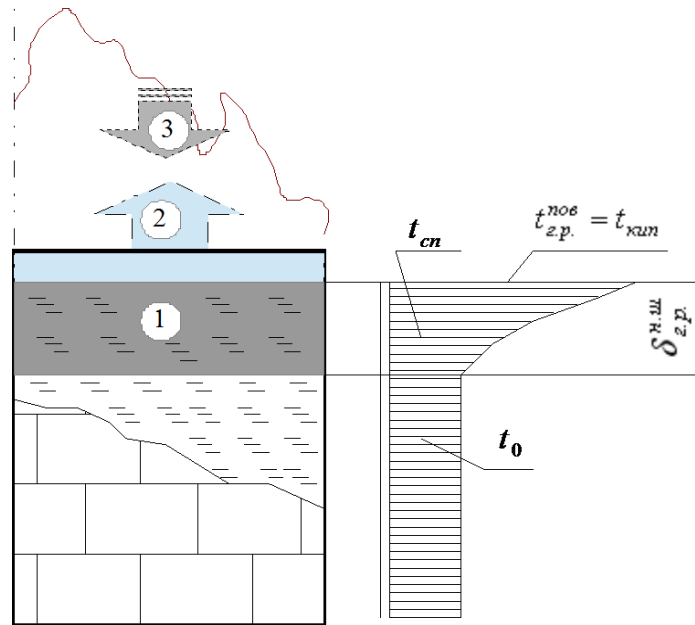


Рисунок 6.5 – Схема процесу горіння рідини та поля температур прогрітого шару: 1 – прогрітий шар горючої рідини; 2 – зона підготовки горючої пари; 3 – випромінювання із зони горіння на поверхню рідини;  $t_0$  – початкова температура рідини;  $t_{сп}$  – температура спалаху;  $t_{пов}$  – температура поверхневого шару рідини

У випадку припинення горіння твердих горючих матеріалів (ТГМ), що схильні до гомогенного полум'яного горіння продуктів піролізу в суміші з повітрям та гетерогенного безполум'яного горіння твердого вуглецевого залишку, необхідно, подібно до випадку гасіння рідини, виконати дві умови гасіння: припинити полум'яне горіння продуктів піролізу, охолодити нагрітий шар речовини та припинити, за наявності, гетерогенне горіння вуглецевого залишку у поверхневому шарі твердого матеріалу. Припинити полум'яне горіння (рис. 6.6) можливо лише після охолодження поверхневого шару речовини та зменшення виходу продуктів піролізу.

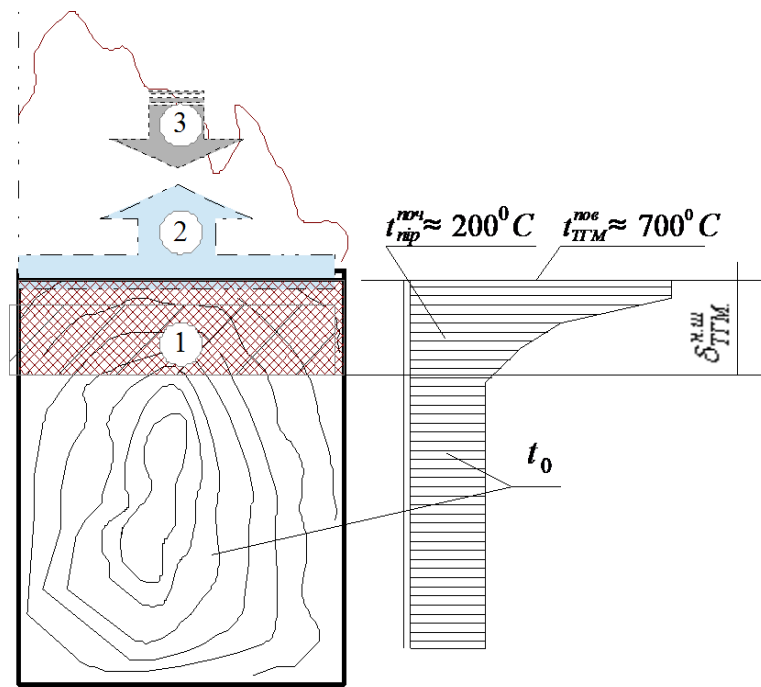


Рисунок 6.6 – Схема процесу горіння ТГМ та поля температур прогрітого шару: 1 – прогрітий шар ТГМ; 2 – зона виходу горючого сумішку; 3 – випромінювання із зони горіння на поверхню ТГМ.

**Характеристика вогнегасних засобів охолоджувальної дії.** Для охолодження поверхні матеріалів, що горять, та зони протікання реакції (зони горіння) застосовуються речовини, що характеризуються великою теплоємністю та теплотою фазового переходу (теплотою випаровування або теплотою сублімації). Найбільш поширеними вогнегасними речовинами даного класу стали вода, суміші на її основі та діоксид вуглецю у твердому стані.

Вода – основна вогнегасна речовина охолодження, найбільш доступна й універсальна у використанні. Потрапляючи в зону горіння, вода віднімає від матеріалів, що горять, та продуктів горіння велику кількість тепла. Вода як вогнегасна речовина характеризується як позитивними, так і негативними властивостями.

Охолоджувальна дія води зумовлена її високою теплоємністю (187 кДж/(кг·К), 1 ккал/(кг·К)) за нормальних умов. При попаданні в осередок горіння вода частково випаровується і перетворюється на пару. При



випаровуванні 1 л води утворюється 1700 л пари, завдяки чому відбувається розбавлення концентрації окислювача та горючих компонентів у зоні реакції, що сприяє припиненню горіння.

У процесі випаровування вода, маючи високу теплоту пароутворення (2256 кДж/кг), додатково віднімає від матеріалів, що горять, та із продуктів горіння велику кількість теплоти.

Вода має високу термічну стійкість, її пара тільки за температури вище 1700 °С може розкладатися на водень і кисень. У зв'язку з цим гасіння водою більшості твердих матеріалів (деревини, пластмас, каучуку та ін.) є безпечним, оскільки їх температура горіння не перевищує 1300–1500 °С, при їх гасінні термічне розкладання води не відбувається.

Вода, особливо у розпиленому вигляді та водяна пара здатні розчиняти деякі горючі та токсичні пари, гази і поглинати аерозолі. Розпиленою водою можна осаджувати продукти згоряння на пожежах в будівлях. Для цих цілей застосовують розпилені та тонкорозпилені струмені.

Деякі горючі рідини, наприклад спирти, альдегіди, органічні кислоти та ін., розчиняються у воді, тому, при змішуванні з водою, вони утворюють негорючі або менш горючі розчини.

Вода має низьку теплопровідність, що сприяє створенню на поверхні матеріалу, що горить, надійної теплової ізоляції. Ця властивість, у поєднанні з попередніми, дозволяє використовувати її не тільки для гасіння, але і для захисту матеріалів від займання.

Мала в'язкість (від 1,5193 мПа·с при 5 °С– до 0,2821 мПа·с при 100 °С) та пружність води дозволяють подавати її по рукавах на значні відстані й під великим тиском.

Поряд з цим у води є й негативні властивості. Основним недоліком води як вогнегасної речовини є її електропровідність. Тому використання води для гасіння обладнання під напругою є обмеженим, а використання її розчинів (у тому числі і повітряно-механічної піни) – заборонено.

При гасінні металів (Mg – магнію; Zn – цинку; Al – алюмінію; Ti – титану) та їх сплавів температура горіння яких становить 2300–2500 °С та перевищує температуру розкладання води, вона розкладається на кисень і водень, які, у свою чергу, реагують між собою з вибухом. При контакті з абсолютною більшістю горючих речовин вода не вступає в хімічну реакцію. Виняток становлять лужні (Li – літій; Na – натрій; K – калій; Rb – рубідій) і лужноземельні (Ca – кальцій; Sr – стронцій; Ba – барій) метали та деякі інші речовини, гасіння яких водою є неможливим.

Крім того, вода характеризується високим поверхневим натягом ( $72,8 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>), що перешкоджає швидкому розподіленню її по поверхні та проникненню вглиб твердих і особливо волокнистих речовин і уповільнює їх охолодження.

Для зменшення поверхневого натягу і збільшення змочувальної здатності до води додають поверхнево-активні речовини (ПАР), або, як їх ще називають – “змочувачі”. На практиці використовують розчини ПАР, поверхневий натяг яких в 2 рази менше, ніж у води.

Застосування розчинів змочувачів дозволяє зменшити витрату води на 35–50% та скоротити час гасіння на 20–30%, що забезпечує ліквідацію горіння одним і тим же об'ємом вогнегасної речовини на більшій площі. Як змочувачі використовуються піноутворювачі, які є на озброєнні частин гарнізону.

Вода має відносно велику щільність (при 4 °С – 1000 кг/м<sup>3</sup>), що обмежує, а іноді й виключає її застосування для гасіння нафтопродуктів, що мають меншу щільність і нерозчинних у воді. Вона добре гасить сірковуглець, що має більш високу щільність (1264 кг/м<sup>3</sup>).

Вище зазначалося, що вода має малу в'язкість. У силу цього значна частина її витікає з місця пожежі, не справляючи істотного впливу на процес припинення горіння. Якщо збільшити в'язкість води до 2,5МПа·с, то значно знизиться час гасіння, а коефіцієнт її використання підвищиться більш ніж в 1,8 рази. Задля цього доцільно застосовувати добавки органічних сполук, наприклад, КМЦ (карбоксиметилцелюлоза).

Вогнегасна ефективність води залежить від способу подачі її в осередок пожежі. Найбільший вогнегасний ефект досягається при подачі води в розпиленому вигляді, оскільки при цьому збільшується площа одночасного рівномірного охолодження, вода швидко нагрівається і перетворюється на пару, відбираючи на себе велику кількість теплоти. Щоб уникнути непотрібних втрат, розпилену воду застосовують в основному за порівняно невеликої висоти полум'я, коли можна подати крізь факел полум'я на нагріту поверхню (наприклад, при горінні підшивки перекриттів, стін та перегородок, решетування даху, волокнистих речовин, пилу, темних нафтопродуктів та ін.). Розпилені водяні струмені застосовують також для зниження температури у приміщеннях, захисту від теплового випромінювання (водяні завіси), для охолодження нагрітих поверхонь будівельних конструкцій споруд, установок, а також для осадження диму.

В залежності від виду матеріалів, що горять, використовують розпилені струмені води різного ступеня дисперсності.

При гасінні пожеж твердих матеріалів, мастил доцільно застосовувати високодисперсні струмені із середнім діаметром крапель близько 100 мкм; при гасінні водорозчинних горючих рідин – спиртів, ацетону, метанолу та деяких інших рідин – середньодисперсні струмені, що складаються з крапель діаметром 200–400 мкм. Слід враховувати, що при роботі стволів-розпилювачів на поверхні матеріалу утворюється незначний за товщиною шар води, який швидко випаровується, і горіння може виникати знову.

Компактні струмені використовують при гасінні зовнішніх і відкритих внутрішніх пожеж, коли необхідно подати велику кількість води на значну відстань або якщо воді необхідно надати ударної сили. (Наприклад, при гасінні газонафтових фонтанів, відкритих пожеж, а також пожеж у будівлях великих об'ємів, коли неможливо близько підійти до осередку горіння; при охолодженні сусідніх об'єктів з великої відстані, металевих конструкцій, резервуарів, технологічних апаратів тощо).

Компактні струмені не рекомендовано застосовувати там, де можуть бути відкладення борошняного, вугільного та іншого пилу, які легко переходять з осілого в завислий стан та можуть утворити вибухонебезпечні концентрації. Для рівномірного охолодження площі горіння компактний струмінь води переміщують з однієї ділянки на іншу. Коли зі зволоженої горючої речовини збито полум'я й горіння припинено, струмінь переводять в інше місце.

**Діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>).** Для охолодження окремих видів горючих матеріалів, крім води, застосовується твердий діоксид вуглецю. Твердий діоксид вуглецю (вуглекислота), як і вода, може швидко відняти теплоту від нагрітого поверхневого шару речовин, що горять. За температури -79 °C він являє собою дрібнокристалічну масу щільністю 1,53 кг/м<sup>3</sup>, яка при нагріванні переходить в газ, минаючи рідкий стан. Це дозволяє гасити матеріали, що псуються від дії вологи.

Кипить тверда вуглекислота (діоксид вуглецю) за температури -78,5°C, і теплота її випаровування дорівнює 573,9 Дж/кг. Ця цифра є значно меншою, ніж у води, однак, через велику різницю температур твердого діоксиду вуглецю і нагрітої поверхні, охолоджується поверхня набагато швидше, ніж при застосуванні води. Окрім того, в зоні горіння відбувається перехід усієї маси діоксиду вуглецю в газоподібний стан, відбір тепла та розбавлення продуктів реакції горіння.

Твердий діоксид вуглецю припиняє горіння всіх горючих речовин, за винятком металевого натрію, калію, магнію та його сплавів. Він не проводить електричний струм і не змочує горючі речовини. Тому доцільним є застосування діоксиду вуглецю для гасіння електроустановок під напругою, двигунів і моторів, а також при гасінні пожеж в архівах, музеях, бібліотеках, виставках, банківських закладах та ін.

Незважаючи на те, що щільність твердої вуглекислоти у твердому стані (1512 кг/м<sup>3</sup>) більше, ніж води, внаслідок безперервного переходу в газ і створення своєїрідної газової подушки, вона не тоне в горючих рідинах і

знаходиться на їх поверхні. Верхній шар рідини при цьому охолоджується, і кількість горючих парів та газів у зоні горіння зменшується.

З вищесказаного випливає висновок, що механізм припинення горіння твердим діоксидом вуглецю полягає в охолодженні нагрітої поверхні речовин та матеріалів, що горять, та в одночасному розбавленні їх парової фази або продуктів розкладання. Однак на припинення горіння переважний вплив справляє саме процес охолодження.

Найбільш ефективно діоксид вуглецю охолоджує горючі речовини у рідкому стані. Значно повільніше відбувається охолодження (припинення горіння) твердих горючих речовин (деревини, гуми і т.п.). А волокнисті речовини і матеріали (бавовна, вовна, торф), що здатні до тління за рахунок повітря, яке міститься у матеріалі, практично не можуть бути погашені цією речовиною.

**Припинення горіння методом ізоляції.** Ізоляція горючої речовини від потрапляння окислювача може бути проведена як з подаванням вогнегасної речовини, так і без її використання, шляхом герметизації об'ємів, де відбувається пожежа.

При гасінні пожежі методом ізоляції зменшується контакт окисника з горючою речовиною, продуктами її випаровування або термічного розкладу, що, у свою чергу, приводить до припинення хімічної реакції окиснення та процесів, що її супроводжують.

Сутність гасіння шляхом герметизації об'ємів горіння від навколишнього середовища полягає в тому, що закриваються отвори, наявні в огорожувальних конструкціях (вікна, двері і т. п.). В результаті цього припиняється потрапляння повітря до зони горіння, а дим накопичується всередині. Тому з часом процентний вміст кисню все більше і більше падає, зменшується інтенсивність горіння, збільшується кількість продуктів неповного згорання та розкладання. Нарешті настає момент, коли вміст кисню падає до рівня, за якого горіння припиняється.

На практиці це відбувається шляхом закривання отворів приміщень та апаратів кришками люків, полотнищами дверей, мішками з піском або землею, перекриванням прорізів кошмою, брезентами і т.п.

Цей спосіб може бути застосований лише для ліквідації горіння в замкнених приміщеннях, що мають відносно невелику кількість отворів, незначний обсяг вільного газового простору, та за відсутності загрози руйнування будівельних конструкцій і переходу горіння на суміжні приміщення.

Практика показує, що при гасінні розглянутим способом бавовни в трюмах корабля горіння її продовжується, хоча і з меншою інтенсивністю, після тривалого перебування (3–5 діб) в герметизованих трюмах. Пояснюється це тим, що бавовна містить у своїх порах значну кількість повітря.

Слід пам'ятати, що при розкритті герметизованих приміщень може статися вибухоподібний спалах продуктів термічного розкладу, подальший бурхливий розвиток пожежі. Тому розглянутий спосіб не є надійним, його розглядають як допоміжний, що забезпечує зниження інтенсивності горіння з одночасним застосуванням інших, більш ефективних прийомів гасіння.

Ізолювання зони горіння та горючих матеріалів від контакту з повітрям шаром вогнегасної речовини є одним з найбільш поширених способів гасіння пожеж. При цьому застосовуються різноманітні вогнегасні засоби, здатні на деякий час ізолювати доступ в зону горіння кисню повітря або горючих парів та газів.

Серед вогнегасних речовин ізолюючої дії застосовують: вогнегасні речовини у рідкому стані (піна, в деяких випадках – вода та ін.); газоподібні вогнегасні речовини (продукти вибуху); негорючі сипкі речовини (пісок, земля, флюси, графіт та ін.); листові матеріали (повстяні, азбестові, брезентові покривала та інші негорючі тканини, а у деяких випадках – листове залізо).

Але найбільш поширеною та ефективною вогнегасною речовиною ізолюючої дії, залишається піна. Вогнегасні піни поділяють за механізмом їх

походження на *повітряно-механічну* і *хімічну*. На сьогодні у практиці пожежогасіння переважно застосовують повітряно-механічну піну.

*Повітряно-механічна* піна утворюється в результаті механічного перемішування водного розчину піноутворювача з повітрям у спеціальному стволі або пінному генераторі у пропорціях (кратності) від 1 до 3 для піноемульсій та від 3 до 1000 для повітряно-механічних пін (ПМП).

Однією з основних характеристик повітряно-механічної піни є її **кратність**.  $K_{\Pi}$  – це відношення об'єму піни до об'єму рідини, з якої вона утворена

В залежності від величини кратності, піни поділяють на чотири групи:

- *піноемульсії* (кратність піни  $K_{\Pi} < 3$ );
- *піни низької кратності* (кратність піни  $K_{\Pi} = 3 \dots 20$ );
- *піна середньої кратності* (кратність піни  $K_{\Pi} = 20 \dots 200$ );
- *піна високої кратності* (кратність піни  $K_{\Pi} > 200$ ).

Піноемульсія за своїми вогнегасними властивостями відноситься до засобів охолоджувальної дії та характеризується високою змочувальною здатністю та стійкістю шару піни, що утворюється.

Повітряно-механічна піна низької кратності характеризується достатньо високою стійкістю та ізолюючою здатністю, вона добре утримується на поверхні матеріалів, може розтікатися по поверхні, перешкоджає прориву горючих парів та продуктів розкладу, володіє значним охолоджувальним ефектом.

Низькократними пінами гасять як горючі рідини, так і тверді горючі матеріали. ПМП низької кратності характеризуються високою ізолюючою здатністю та відносно високою стійкістю. Піна низької кратності не втрачає ізолюючої здатності протягом 20 хвилин.

Високократну піну та піну середньої кратності застосовують для об'ємного гасіння, витіснення диму, ізоляції окремих об'єктів від дії теплоти і

газових потоків (у підвалах житлових і виробничих будівель; в порожнечах перекриттів; в сушильних камерах і вентиляційних системах і т.п.).

Повітряно-механічні піни середньої і високої кратності володіють рядом позитивних властивостей. Вони мають високу текучість: при гасінні нафтопродуктів можуть розтікатися на відстань до 25 м, та добре проникають у приміщення, вільно долають повороти і підйоми, можуть заповнювати вільні об'єми апаратів та приміщень, витісняють нагріті продукти згоряння, знижують температуру конструкцій та загально об'ємну температуру у приміщенні. Піна середньої кратності характеризується помірною (понад 10 хв.) стійкістю.

Піна середньої кратності є основним засобом гасіння пожеж нафти і нафтопродуктів.

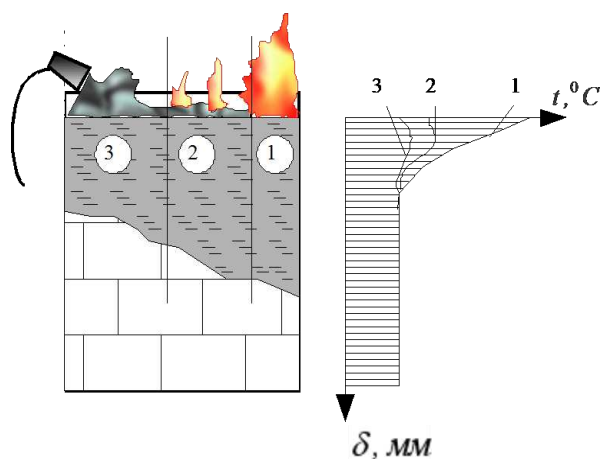


Рисунок 6.7 – Схема припинення горіння повітряно-механічною піною: 1 – ділянка вільного горіння; 2 – ділянка активного впливу піни на процес горіння; 3 – ділянка, де горіння припинено;  $\delta$  – глибина наповнення резервуара

Піни – досить універсальний засіб, що використовується для гасіння речовин як у рідкому, так і у твердому стані, за винятком речовин, що взаємодіють із водою. Піни є електропровідними, вони характеризуються вищою електропровідністю, ніж вода, що входить до складу піни, тому їх заборонено використовувати для гасіння електрообладнання під напругою.



Механізм припинення горіння повітряно-механічною піною. На першому етапі утворюється локальний шар піни на поверхні ГР. При потраплянні на нагріту поверхню ПМП активно руйнується. Шар піни, що утворився на поверхні рідини, активно її охолоджує, це призводить до зменшення виходу пари ГР у зону горіння.

На другому етапі відбувається поширення шару піни по поверхні ГР. Піна з місця її потраплення починає розтікатися по поверхні рідини, поступово покриваючи поверхню (рис 6.7). Продовжується процес охолодження нагрітої рідини піною, та одночасно відбувається екранування поверхні від теплового випромінювання полум'я та поглинання горючих парів шаром піни. При цьому відбувається проривання пари, що утворюється, в зону горіння та спостерігається осередкове горіння над поверхнею піни. Водяна пара, що випаровується з ПМП, додатково розріджує концентрацію реагентів у зоні горіння.

Після цього утворюється вогнегасний шар піни. Шар піни, що утворився на поверхні горючої рідини, комплексно впливає на процес горіння, поступово зменшуючи його інтенсивність. Це дозволяє збільшити висоту шару піни до мінімально потрібної  $H_{\min}$ , що поглинає горючі пари, які утворюються.

**Припинення горіння методом розбавлення (флегматизації).** Для припинення горіння методом флегматизації (розбавлення) речовин, що реагують, застосовуються такі вогнегасні засоби, які здатні розбавити горючі пари і гази до негорючих концентрацій, або знизити вміст кисню повітря до концентрації, що не підтримує горіння.

Практика і досвід гасіння пожеж показують, що полум'яне горіння більшості горючих матеріалів припиняється за зниження концентрації кисню в повітрі до 14–16%.

Вогнегасні речовини розбавлюючої дії знижують концентрацію реагуючих речовин нижче меж, необхідних для горіння. В результаті зменшується швидкість реакції горіння, швидкість виділення тепла, знижується температура горіння. Гасіння методом розбавлення може відбуватись при

подаванні речовини-флегматизатора безпосередньо в зону горіння, в об'єм приміщення, де відбувається пожежа, або у горючу речовину. У будь-якому способі подавання флегматизуючої речовини вона потрапляє у зону горіння або за рахунок повітря, в яке вона подавалася, або за рахунок випаровування з поверхні горючих рідин, що горять.

При потраплянні речовин-флегматизаторів у зону горіння відбувається зниження об'ємної частки горючої речовини та окисника. Це приводить до зменшення швидкості процесів окиснення та, одночасно, до зменшення інтенсивності процесу горіння. Одночасно зі зниженням концентрації компонентів горючого середовища відбуваються процеси часткового охолодження зони горіння газом-флегматизатором та зміна умов теплообміну. Відбувається порушення теплового балансу, що призводить до охолодження зони горіння нижче температури згасання.

Найбільшого поширення метод гасіння пожеж розбавленням набуває у стаціонарних установках пожежогасіння для відносно ізольованих приміщень (трюми суден, сушильні камери на промислових підприємствах, музеї, сховища банків та ін.), а також для гасіння горючих рідин, розлитих на невеликій площі. Крім того, розбавлення спиртів до 30% водою – необхідна умова для успішного гасіння їх у резервуарах повітряно-механічною піною.

Найбільш поширені засоби розбавлення – діоксид вуглецю, водяна пара, азот, тонкорозпилена та перегріта вода. При гасінні пожеж на нафтогазових родовищах, з метою розбавлення концентрації кисню повітря, що надходить до зони горіння, можливе використання газоводяної суміші води та відпрацьованих газів реактивного двигуна, що утворюються за допомогою установки газоводяного гасіння (АГВГ).

*Діоксид вуглецю* застосовується для гасіння пожеж на складах, акумуляторних станціях, в сушильних печах, архівах, бібліотеках та книгосховищах, а також для гасіння електрообладнання та електроустановок під напругою. Вогнегасна об'ємна частка діоксиду вуглецю становить 30%.

Діоксид вуглецю в газоподібному стані приблизно в 1,5 рази важчий за повітря. За тиску приблизно 4 МПа (40 атм) і температури 0 °С діоксид зріджується; в такому вигляді його зберігають у балонах, вогнегасниках та ін. При переході в газоподібний стан з 1 кг рідкого діоксиду вуглецю утворюється приблизно 500 літрів газу.

**Азот**, головним чином, застосовується у стаціонарних установках пожежогасіння (для гасіння натрію, калію, берилію і кальцію).

Азот – безбарвний газ щільністю 1,25 кг/м<sup>3</sup>, без запаху та смаку, не електропровідний. Гасіння азотом базується на зниженні об'ємної частки кисню у приміщенні. Його об'ємна вогнегасна частка – не менше 35%.

Азот не можна застосовувати для гасіння пожеж магнію, алюмінію, літію, цирконію та інших металів, що утворюють нітрити, які володіють вибуховими властивостями і є чутливими до удару. Для гасіння таких металів використовується інший інертний газ – аргон.

Діоксид вуглецю в газоподібному стані, азот, аргон добре гасять речовини, що горять полум'яним горінням (горючі рідини та гази), але вони малоефективні для гасіння речовин і матеріалів, здатних до тління (деревина, папір, волоконні матеріали). До недоліків газів – флегматизаторів як вогнегасних речовин слід віднести їх високі вогнегасні концентрації та відсутність охолоджувального ефекту при гасінні.

**Водяна пара**, як і інертні гази, застосовується для гасіння пожеж способом розбавлення. Вогнегасна об'ємна частка водяної пари становить понад 35%. Водяна пара знайшла широке застосування у стаціонарних установках гасіння приміщень об'ємом до 500 м<sup>3</sup> та з обмеженою кількістю прорізів (сушильні та фарбувальні камери, трюми суден, насосні перекачування нафтопродуктів та ін.), на технологічних установках для зовнішнього пожежогасіння, на об'єктах хімічної та нафтопереробної промисловості.

Поряд із розбавленням, водяна пара охолоджує нагріті до високої температури технологічні апарати, не викликаючи при цьому різких

температурних напружень, а пар, поданий у вигляді компактних струменів, здатний механічно відривати полум'я.

*Дрібнорозпилена вода* складається з розпиленого струменя з діаметром крапель до 100 мкм. Для отримання і подачі такої води застосовують спеціальні стволи-розпилювачі та насоси, що створюють тиск 2–4 МПа (20–40 атм).

При потраплянні в зону горіння дрібнорозпилена вода інтенсивно випаровується, знижуючи концентрацію кисню і розбавляючи горючі пари і гази, які беруть участь у горінні.

Таким чином, вогнегасні засоби – флегматизатори, поряд із засобами охолоджувальної та ізолюючої дії, володіють досить високим ефектом гасіння і широко застосовуються у практиці пожежогасіння.

Припинення горіння методом хімічного гальмування реакції горіння. Сутність припинення горіння хімічним гальмуванням реакції горіння полягає в тому, що в повітря приміщення, де відбувається пожежа, або безпосередньо в зону горіння вводяться вогнегасні речовини, які вступають у взаємодію з активними центрами реакції окислення (енергетично та хімічно збуджені атоми та радикалі  $H^\circ$ ;  $CH^\circ$ ;  $OH^\circ$ ;  $CH_2^\circ$  та ін.), утворюючи з ними або негорючі, або менш активні сполуки, обриваючи тим самим ланцюгову реакцію горіння.

Руйнація активних центрів відбувається при їх взаємодії з атомами та радикалами, що містять галоїди або інші елементи, з утворенням малоактивних хімічних сполук, що є активними інгібіторами процесу горіння, що приводить до гальмування швидкості реакції окислення. Причому припинення горіння досягається саме хімічним шляхом, практично без зменшення концентрації реагентів у зоні горіння. Так, якщо для припинення горіння розбавленням необхідно знизити концентрацію кисню нижче 15%, то даному випадку вона залишається в межах 20–20,6%, чого явно достатньо для протікання реакції окислення.

Оскільки процес гальмування реакції горіння відбувається безпосередньо в зоні реакції, вогнегасні засоби повинні:

- мати низьку температуру фазового переходу (кипіння та сублімації), щоб за відносно малих температур легко переходити в пароподібний стан;
- мати низьку термічну стійкість, тобто за малих температур розкладатися на їх складові;
- продукти термічного розпаду вогнегасних речовин повинні активно вступати в реакцію з активними центрами горіння.

Цим вимогам найбільш повно відповідають спеціальні суміші галоїдвмісних вуглеводнів – “хладони” або “фреони”, до яких відносяться органічні сполуки з низькою теплою випаровування, в молекулі яких містяться атоми галоїдів, таких як бром або хлор.

**Хладон** – це загальна назва галоїдумісних вуглеводнів, причому для їх позначення застосовують чисельне позначення, що характеризує число і послідовність атомів вуглецю, фтору, хлору, бромю. Для України прийняте позначення хладонів, що використовуються як вогнегасні засоби, відбувається у наступному порядку: цифрами (послідовно вказують число атомів вуглецю мінус 1, далі вказується число атомів водню плюс 1, далі – число атомів фтору).

Наявність у молекулі атомів бромю позначається додатково буквою «В» і далі їх кількість подається цифрою. Про кількість атомів хлору слід здогадуватися з решти вільних валентностей атомів вуглецю. Вогнегасна здатність хладонів, як правило, збільшується зі зростанням кількості атомів бромю, фтору і хлору в молекулі.

У зв'язку із впливом на стратосферний озоновий шар застосування хладонів у промисловості зменшується.

**Вогнегасні порошки.** Дослідженнями останніх років встановлено, що вогнегасні порошки при потраплянні в зону горіння у вигляді аерозолу не покривають поверхню горіння, а заповнюють весь об'єм горіння та справляють комплексний вплив на процес горіння.

Солі металів, що складають основу вогнегасних порошків, вступають в реакцію з активними центрами. Ліквідація горіння вогнегасними порошковими загального призначення здійснюється на основі взаємодії таких чинників:

- охолодження зони горіння за рахунок витрат тепла на нагрів часток порошку, їх часткове випаровування та розкладання;
- розбавлення горючого середовища газоподібними продуктами термічного розкладу вогнегасного порошку або безпосередньо порошковою хмарою;
- ефекту вогнеперешкодження за аналогією із сітчастими, гравійними і подібними вогнеперешкоджувачами;
- інгібування хімічних реакцій, що зумовлюють розвиток процесу горіння, газоподібними продуктами випаровування і розкладання порошків;
- гетерогенним обривом або ланцюгів хімічної реакції горіння на поверхні порошків, або твердих продуктів їх розкладу.

Домінуючу роль у припиненні горіння дисперсними частками відіграють останні з перерахованих факторів.

При гасінні металів вогнегасними порошками спеціального призначення основним вогнегасним чинником є ізоляція поверхні від окисника.

Вогнегасний порошок загального призначення використовується для гасіння пожеж класів А (пожежі твердих горючих матеріалів, горіння яких відбувається із тлінням або без нього); В (пожежі практично усіх горючих рідин); С (пожежі горючих газів) та пожежі електричних установок під напругою. Порошки, призначені для гасіння виключно пожеж класів В, С або Д (пожежі металів та їх сполук), називаються *порошками спеціального призначення*.

При гасінні пожеж горючих металів частинки порошку, що потрапили на тверду поверхню, плавляться, утворюючи на ній міцну плівку, що перешкоджає виходу горючих парів у зону горіння. Основним вогнегасним ефектом у даному випадку є запобігання контакту поверхні металу з окисником та запобігання

випаровуванню металу. Тому механізм припинення горіння порошками спеціального призначення полягає в основному в ізоляції поверхні горючого матеріалу від зони горіння, тобто у припиненні доступу горючих парів та газів у зону реакції.

**Аерозольутворюючі вогнегасні суміші.** Вони являють собою твердопаливні або піротехнічні композиції. Їх особливість полягає в тому, що при згорянні без доступу повітря вони утворюють продукти горіння, що складаються з високодисперсних часток, солей і оксидів лужних металів, які володіють високою вогнегасною здатністю по відношенню до вуглеводневого полум'я.

Механізм дії вогнегасного аерозолу аналогічний механізму дії вогнегасних порошоків загального призначення. Більш висока ефективність аерозолу зумовлена більшою дисперсністю часток та ефектом зниження концентрації кисню у приміщенні, що захищається.

Гасіння аерозолями здійснюється об'ємним способом і рекомендується застосовувати при пожежах класу А2 і класу В у відносно герметичних об'ємах та приміщеннях з обмеженим повітрообміном. Застосовується також для гасіння електроустановок під напругою до 1000 В.

Аерозольутворюючі вогнегасні суміші головним чином застосовуються для гасіння моторних та багажних відсіків автомобілів, приміщень із наявністю легкозаймистих речовин, горючих газів, електричних установок та сховищ із матеріальними цінностями.

Аерозолі малоефективні для гасіння матеріалів, горіння яких відбувається у тліючому режимі, або таких, що здатні горіти без доступу повітря. Їх застосування забороняється для приміщень, які на час початку гасіння не можуть покинути люди.

## 7 ВОГНЕСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД ТА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 7.1 Роль будівельних конструкцій у забезпеченні протипожежного захисту будівель

Будь-який будівельний об'єкт, створений над землею або під землею, зветься спорудою. Будівельний об'єкт, в якому є приміщення для діяльності людини, зветься будівлею.

*Споруди* призначені для виконання технічних завдань. До них відносяться підпірні стіни, канали і тунелі, ємнісні споруди водопостачання і каналізації, фундаменти під технологічне устаткування і теплові агрегати, відкриті кранові естакади, розвантажувальні залізничні естакади, транспортні і пішохідні галереї, етажерки і площадки під технологічне устаткування, бункери і засіки, силоси і силосні корпуси, водонапірні башти, транспортні споруди (мости, тунелі, естакади та ін.).

*Будівлі* за призначенням підрозділяються на *цивільні* (житлові та громадські) і *виробничі*.

Житлові – призначені для постійного або тимчасового проживання людей. Це мало- та багатоповерхові житлові будинки, готелі, гуртожитки, тимчасове житло та ін. Житлові будівлі проектуються на основі «ДБН В.2.2-15-2005. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення».

Громадські – призначені для тимчасового перебування людей у зв'язку з виконанням якихось функціональних процесів, які забезпечують життєдіяльність та розвиток суспільства. До них відносяться: заклади управління, проектування та науково-дослідницькі, освіти, культури, охорони здоров'я, спортивні, торгівельні, транспортні, комунального господарства, культові. Громадські будівлі проектуються на основі «ДБН В.2.2-9:2009. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення».



Промислові будівлі – такі, де люди перебувають тимчасово у зв'язку з виконанням технологічних процесів з випуску товарної продукції. До них відносяться цехи заводів і фабрик, депо, машинні зали електростанцій, котельні та ін. Їх проектують на основі «СНиП 2.09.02-85\* . Производственные здания и сооружения».

До промислових і цивільних будівель висуваються наступні основні вимоги: міцність, жорсткість і стійкість під впливом силових і кліматичних факторів, довговічність, вогнестійкість.

Міцність – здатність конструкції сприймати силові навантаження і впливи без руйнування. Вона, в основному, визначається міцністю будівельних матеріалів, тобто здатністю чинити опір механічним впливам (статичному та динамічному навантаженню, вібрації, ударам і т.п.), що обов'язково враховується при проектуванні конструкцій.

Жорсткість – здатність конструкції сприймати силові навантаження і впливи без зміни форми. Або, іншими словами, – здатність конструкцій здійснювати свої статичні функції з малими заздалегідь заданими величинами деформації. Деформацією називають зміну форми та розмірів тіла під впливом напружень.

Стійкість (тривкість) – здатність конструкції зберігати рівновагу при силових впливах. Вона забезпечується доцільним розміщенням елементів несучих конструкцій у просторі і міцністю їх з'єднання.

Довговічність будівель визначається терміном служби без утрати необхідних експлуатаційних якостей протягом заданого терміну служби. Для споруд, з точки зору граничного строку служби, розрізняють три ступені довговічності: перший – 100 років; другий – 50 років; третій – 20 років.

Переоцінити вплив будівельних конструкцій на механізм та динаміку розповсюдження пожеж неможливо. В умовах пожеж вони можуть руйнуватися протягом декількох годин чи навіть хвилин викликаючи руйнацію споруд в цілому. Прямий збиток від руйнування конструкцій одноповерхової виробничої будівлі площею 1 га перевищує 10 млн. грн.. Руйнування конструкцій також

призводить до руйнування інженерного та технологічного обладнання, що значно збільшує матеріальний збиток.

Стійкість будівельних конструкцій до впливу небезпечних факторів пожежі впливає на процес гасіння пожежі. Під час оцінки будівельних конструкцій у забезпеченні протипожежного захисту слід враховувати, що будівельні конструкції в умовах пожежі можуть не тільки руйнуватися, але й розповсюджувати полум'я своєю поверхнею, горіти, виділяти токсичні продукти горіння.

В зв'язку з цим до них висуваються вимоги по вогнестійкості та пожежній безпеці (таблиця 7.1).

Ступінь вогнестійкості – це нормована характеристика вогнестійкості будинків і споруд, що визначається межею вогнестійкості основних будівельних конструкцій. Межею розповсюдження вогню по будівельних конструкціях визначають розміри пошкодження конструкції у сантиметрах внаслідок її горіння за межами зони нагрівання – у контрольній зоні.

Будівлі та споруди за вогнестійкістю діляться на ступені (ДБН В.1.1-7:2016), які визначаються мінімальними межами вогнестійкості основних будівельних конструкцій та максимальними межами розповсюдження по них вогню.

Цей стандарт охоплює пожежно-технічну класифікацію будівельних матеріалів, конструкцій, протипожежних перешкод, зовнішніх пожежних драбин, сходів та сходових кліток, будинків і споруд, приміщень, а також загальні вимоги щодо забезпечення безпеки людей у разі виникнення пожежі, пожежної безпеки конструктивних та об'ємно-планувальних рішень, обладнання будинків, приміщень інженерно-технічними засобами захисту від пожежі.

Поширюється на нове будівництво, розширення, реконструкцію, технічне переоснащення, реставрацію, капітальний ремонт будинків і приміщень різного призначення.

Класифікація будівельних конструкцій за ступенем вогнестійкості наведена в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Ступінь вогнестійкості будівель та споруд

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
I, II	Будинки з несучими та огорожуючими конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів.
III	Будинки з несучими та огорожуючими конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, які захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не пред'являються вимоги щодо межі вогнестійкості та поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.
IIIа	Будинки переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса виконані з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп горючості Г1, Г2.
IIIб	Будинки переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса виконані з деревини, яка була піддана вогнезахисній обробці. Огороджувальні конструкції виконують із застосуванням деревини або матеріалів на її основі. Деревина та інші матеріали груп горючості Г3, Г4 огорожувальних конструкцій мають бути піддані вогнезахисній обробці або захищені від дії вогню та високих температур.
IV	Будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з деревини або інших горючих матеріалів, захищених від дії вогню та високих температур штукатуркою або іншими листовими, плитними матеріалами. До елементів покриттів не пред'являються вимоги щодо межі вогнестійкості та межі поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
Va	Будинки переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса виконані з металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції – з металевих профільованих листів або інших негорючих матеріалів з утеплювачем груп горючості Г3, Г4.
V	Будинки, до несучих і огороджувальних конструкцій яких не пред'являються вимоги щодо межі вогнестійкості та межі поширення вогню.

У будівлях I-го ступеню вогнестійкості всі конструктивні елементи негорючі, з високою межею вогнестійкості (0,5 -2,5 год.);

II-го ступеню - також негорючі, але з меншою межею вогнестійкості (0,25 - 2,0 год.);

III-го ступеню - будови, які мають основні несучі конструкції негорючі, а ненесучі (міжповерхові й перекриття на горищі) – важкогорючі (0,25 - 2 год.);

IV-го ступеню - будови, які мають всі конструкції важкоспалимі (0,25 - 0,5 год.);

V-го ступеню - всі конструкції горючі, межа вогнестійкості не нормується.

Під *вогнестійкістю будівельних конструкцій* розуміють їх здатність опиратися дії пожежі протягом якогось визначеного часу, зберігаючи при цьому свої експлуатаційні якості, тобто зберігати несучу або огороджувальну здатність.

Показником вогнестійкості будівельних конструкцій є межа вогнестійкості.

Межі вогнестійкості та межі розповсюдження вогню по будівельних конструкціях визначаються на основі випробування зразків у спеціальних печах.

**Межа вогнестійкості** будівельних конструкцій встановлюється часом (у хвилинах) від початку вогневого випробування (початку пожежі) до настання одного або послідовно декількох нормованих для даної конструкції, ознак граничних станів:

- втрати несучої здатності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати теплоізолюючої здатності (I).

**Втрата несучої здатності** означає руйнування конструкції, руйнування вузлів кріплення конструкції або виникнення (утворення) граничних деформацій.

**Втрата цілісності** – утворення у конструкції тріщин, через які можуть проникати продукти горіння або полум'я.

**Втрата теплоізолюючої** здатності означає підвищення температури на необігриваємій поверхні у середньому більше ніж на 140°C або в будь-якій точці цієї поверхні більше ніж на 180°C порівняно з початковою температурою або ж більше ніж на 220°C незалежно від початкової температури конструкції.

Межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються експериментальним (дослідним) шляхом на спеціальних установках або ж розрахунком для граничних станів (R) та (I) (табл.7.2).

Для колон, балок, ферм, стовпів межа вогнестійкості визначається тільки втратою несучої здатності конструкцій. Для зовнішніх несучих стін та покриттів – втратою несучої здатності та цілісності. Для ненесучих внутрішніх стін та перегородок – втратою цілісності та теплоізолювальної здатності. Для несучих внутрішніх стін та протипожежних перешкод – всіма трьома граничними станами.

Здатність будівельних конструкцій поширювати вогонь визначається межею поширення вогню. Будівельні конструкції за межею поширення вогню поділяють на три групи:

1. M0 (межа поширення вогню дорівнює 0 см);

2. M1 ( $M \leq 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M \leq 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій);

3. M2 ( $M > 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M > 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій).

Таблиця 7.2 - Мінімальні значення меж вогнестійкості будівельних конструкцій (R, E, I, мін) і максимальні значення меж поширення вогню по них (M, см)

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (в т.ч. горищні та над підвалами)	Елементи суміщених покриттів	
	Несучі і сходові клітки	самонесучі	зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, прогони	Балки, ферми, арки, рами
I	REI 150 M0	REI 75 M0	E 30 M0	EI 30 M0	R 150 M0	R 60 M0	REI 60 M0	RE 30 M0	R 30 M0
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E15 M1	EI 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M0	RE 15 M1	R 15 M0
IIIб	REI 60 M1	REI 30 M1	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 60 M1	R 45 M0	REI 45 M1	RE 15, M0 RE 30, M1	R 45 M1
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E15 M1	EI 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормуються	
IVa	REI 30 M1	REI 15 M1	E15 M2	EI 15 M1	R 15 M0	R 15 M0	REI 15 M0	RE 15 M2	R 15 M0
V	Не нормуються								

Примітка: Межі вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються у розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають як для несучих стін.

Слід зазначити, що в ДБН В. 1.1.7:2016 вводяться дві поправки до таблиці, згідно з якими в будинках II ступеня вогнестійкості виробничого та складського призначення категорії Г і Д допускається застосовувати колони з межею вогнестійкості R45. Крім того, у випадках, коли необхідна межа вогнестійкості конструкції становить R15 (RE15, REI15) відповідно до таблиці, допускається застосовувати металеві конструкції без вогнезахисту незалежно від їх фактичної межі вогнестійкості, за винятком випадків передбачених у нормативній документації.

Не завжди необхідні значення меж вогнестійкості, наведені в таблиці ДБН В. 1.1.7:2016 (табл.1), є остаточними. Так, наприклад, відповідно до ДБН В.2.2-24: 2009 при проектуванні висотних житлових і громадських будинків необхідно передбачати колони і балки перекриттів з мінімальною межею вогнестійкості R180, а косоури сходових маршів R90.

Будівельні конструкції і елементи, для яких нормуються показники вогнестійкості та здатності поширювати вогонь:

- стіни (несучі та сходових кліток, самонесучі, зовнішні не несучі, внутрішні не несучі - перегородки);
- колони;
- сходові площадки, косоури, сходи, балки та марші сходових кліток;
- перекриття міжповерхові;
- елементи суміщених покриттів: плити, настили, прогони, а також балки, ферми, арки, рами.

Вимоги безпеки вважають виконаними, якщо

$$P_{\phi} \geq P_{\text{вим}}, \quad (7.1)$$

де  $P_{\phi}$  – фактична межа вогнестійкості конструкції;

$P_{\text{вим}}$  – вимагаєма межа вогнестійкості конструкції, що встановлюється умовами безпеки або нормами.

**Вогнестійкість будівлі** – це здатність її опиратися руйнуванню в умовах пожежі. Існує класифікація будівель за ступенем вогнестійкості, де кожному ступеню відповідає перелік конструкцій, що мають межу вогнестійкості не меншу від вказаної.

Розрізняють фактичну ступінь вогнестійкості ( $B_{\phi}$ ) і вимагаєму ( $B_{\text{вим}}$ ). Фактична ступінь вогнестійкості будівлі визначається за найменшим показником вогнестійкості будівельної конструкції. Вимагаємий ступінь вогнестійкості

будівлі нормується. Умови безпеки виконуються при відповідності фактичного ступеня вогнестійкості вимагаємому.

Фактори, що визначають поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі:

- ступінь навантаження конструкцій та їх елементів;
- вид і кількість пожежного навантаження, що визначає температурний режим;
- теплове навантаження на конструкції;
- теплофізичні та фізико-механічні характеристики матеріалів, з яких виконані будівельні конструкції;
- умови нагрівання та способи з'єднання конструкцій.

Фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії на них нормативних навантажень. Величини нормативних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкції та умов їх експлуатації. Розрізняють навантаження: постійні та тимчасові. Тимчасові навантаження ділять на довготривалі, короткочасні та особливі.

**Постійні** – навантаження, котрі діють на будівельну конструкцію постійно. До них відносять: власна вага конструкцій, тиск ґрунту, вплив попереднього напруження конструкції і т.д.

**Довготривалі** – навантаження, що діють на конструкцію довгочасно: маса технологічного обладнання, тиск рідин та газів в резервуарах та трубопроводах, маса складаних вантажів і т.д.

**Короткочасні** – навантаження, що діють нетривалий час: маса людей; рухоме підйомно-транспортне обладнання; сніг, вітер (під час пожежі не враховують); маса матеріалів, що застосовують у монтажних, ремонтних та реконструкційних роботах і т.д.

**Особливі навантаження** – ті, що можуть з'явитися у виключних випадках: при сейсмічній та вибуховій дії; аварійні порушення технологічного процесу; різкі просадки ґрунтів.



Для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій застосовують постійні та довгочасно діючі навантаження, де межа вогнестійкості будівельних конструкцій знижується зі збільшенням діючих на них навантажень та підвищується при їх зменшенні.

Залежно від виду конструкції, умов її з'єднання з іншими будівельними конструкціями, схеми завантаження та невігідного сполучення (поєднання) діючих нормативних навантажень, в перерізах елементів конструкції та їх вузлах сполучення визначають максимальні значення вигинаючих моментів  $M_n$  та зусиль  $N_n$ . Розрахунок внутрішніх силових факторів ( $M_n, N_n$ ), що виконують за правилами опору матеріалів та будівельної механіки, називається статичним розрахунком конструкції.

**Пожежне навантаження** – це кількість теплоти, МДж, що виділяється при повному згоранні всіх горючих та важкогорючих речовин і матеріалів (в тому числі тих, що входять до складу будівельних конструкцій), які перебувають у приміщенні або можуть до нього надходити.

Пожежне навантаження визначається на основі:

- проектно-конструкторської документації;
- технологічних карт;
- натурального обстеження приміщень експлуатованих будівель;
- даних з пожежонебезпечних властивостей речовин та матеріалів, що надані довідковою літературою, спеціалізованими банками даних та результатами лабораторних та натурних випробувань.

У карті пожежного навантаження вказують:

- найменування, призначення і належність споруди;
- перелік приміщень та (або) пожежонебезпечної ділянки із зазначенням розміщення горючих і важкогорючих речовин і матеріалів;
- специфікація горючих і важкогорючих речовин і матеріалів у кожному приміщенні.

Опис пожежного навантаження включає:

- визначення кількості, виду, розташування і ступеня участі у можливій пожежі горючих та важкогорючих речовин та матеріалів;
- ескіз приміщення в плані із зазначенням розташування прорізів, а також розмірів приміщення і прорізів;
- перелік горючих та важкогорючих речовин і матеріалів, що є постійним та тимчасовим пожежним навантаженням розглядаємого приміщення, із зазначенням їх пожежонебезпечних властивостей, що сприяють утворенню, розвитку і розповсюдження можливої пожежі;
- розташування на ескізі приміщення пожежного навантаження із зазначенням розмірів площі та висоти об'єму, що зайняті горючими речовинами та матеріалами.

Для визначення розрахункового пожежного навантаження розробляється сценарій розвитку можливої пожежі. При цьому необхідно враховувати: розвиток площі горіння залежно від місця виникнення загоряння, а також виду і місця розташування горючих та важкогорючих речовин та матеріалів; їх швидкість та повноту згорання залежно від умов природної або вимушеної вентиляції; вплив на динаміку пожежі систем пожежегасіння. Розрахункова пожежне навантаження визначається на основі критеріїв пожежної безпеки, встановлених для найбільш несприятливого з точки зору цих критеріїв сценарію розвитку пожежі.

Поведінка будівельних конструкцій при пожежі визначається також температурним режимом пожежі та його тривалістю.

Кількісні значення температури в об'ємі приміщення, а також тривалість пожежі залежить від таких факторів, як: вид і кількість горючих речовин, тобто пожежного навантаження; розміщення пожежного навантаження у приміщенні; розмірів і конфігурації приміщення; розмірів проїомів в огорожуючих конструкціях і т.д. Це означає, що при одному й тому ж пожежному навантаженні можливі різні варіанти розвитку пожежі і кожному варіанту буде відповідати своя температурно-часова залежність. Зокрема, для одного й того ж приміщення при однаковому пожежному навантаженні температурний режим

пожежі і тривалість ( $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ) залежать від кількості проїм у огорожуючих конструкціях.

У випадку великої кількості проїмів температура у приміщенні досягає своєї максимальної величини  $t_{1\max}$  протягом короткого проміжку часу  $\tau_{1\max}$  (стадія розвитку пожежі). При цьому зниження температури на стадії затухання  $\tau_{13}$  відбувається також з великою швидкістю. Тривалість таких пожеж  $\tau_1$  – невелика. Мала кількість проїм в огорожуючих конструкціях сприяє збільшенню часу розвитку  $\tau_{2\max}$  і затухання пожежі  $\tau_2$ , а значення максимальної температури  $t_{2\max}$  нижче, ніж у першому випадку (рис. 7.1).

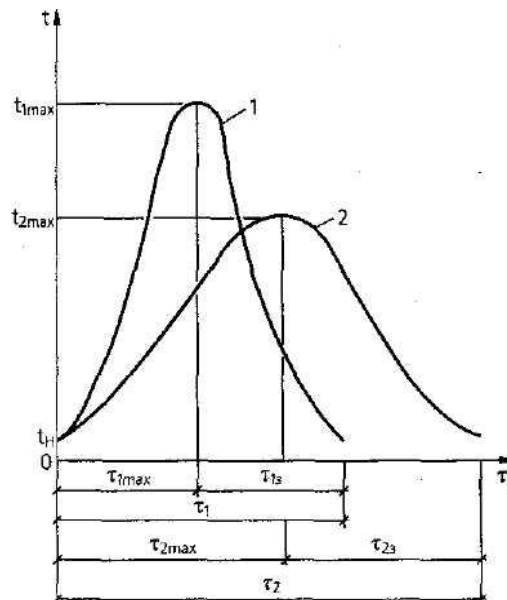


Рисунок 7.1 - Температурні режими пожежі в приміщенні: 1 – з великою кількістю проїмів в огорожуючих конструкціях; 2 – з малою кількістю проїмів в огорожуючих конструкціях.

Вид і кількість пожежного навантаження, що визначають максимальну температуру у приміщенні та тривалість пожежі, залежать від призначення будівлі.

Під час пожеж у житлових та адміністративних будівлях відмічалася температура 1000-1100° С, а тривалість пожежі – 1-2 години. Під час пожеж в

універмагах та в будівлях театрів спостерігалася температура 1100-1200° С, при цьому тривалість пожежі, в ряді випадків, перевищувала 2-3 години. Висока температура відмічалася під час пожеж у складських приміщеннях. Так, при пожежі складу горючих речовин і мастильних матеріалів, що тривала більше 2 годин, температура в приміщенні досягала 1300°С.

Ступінь пошкодження конструкцій в умовах пожежі залежить не тільки від температури пожежі, але й від часу її розвитку і затухання. У випадку малого проміжку часу в межах стадії розвитку пожежі будівельні конструкції не завжди встигають прогрітися до значення критичних температур, за досягнення яких вони перестають задовольняти вимоги протипожежних норм. Збільшення цього часу може сприяти досягненню конструкцією своєї межі вогнестійкості. Необхідно відмітити, що «відмова» залізобетонних конструкцій, які перебувають в умовах пожежі, може відбутися не тільки на стадії її розвитку, але й на стадії загасання. Тому час, протягом якого відбувається загасання пожежі, також впливає на поведінку будівельних конструкцій.

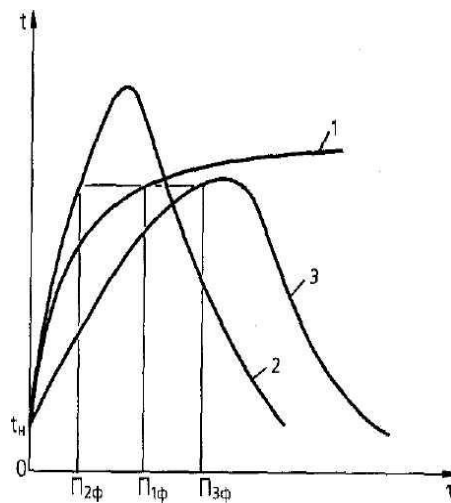


Рисунок 7.2 - Криві прогріву конструкцій: 1- при «стандартній» пожежі; 2, 3- при реальних пожежах

В даний час спостерігається тенденція оцінювати вогнестійкість будівельних конструкцій при дії реального температурного режиму пожежі, оскільки цей режим може значно відрізнятися від стандартного. На рис. 6.2 показані криві прогрівання конструкції при реальному температурному режимі

пожежі, котрі в межах стадії розвитку пожежі можуть розташовуватись вище або нижче кривої прогрівання конструкції при стандартному режимі. У першому випадку (крива 2) межа вогнестійкості конструкції при реальному режимі пожежі менша ніж при стандартному (крива 1), а значить, вимоги пожежної безпеки не буде виконано. У другому випадку (крива 3) умова пожежної безпеки виконується, але при цьому не завжди можуть задовольнятися вимоги економічного характеру.

Вплив пожежі на будівельні конструкції визначається видом пожежі, її температурним режимом та тривалістю.

Вид пожежі визначається залежно від величини пожежного навантаження, її розміщення по площі та параметрів приміщення. Розрізняють види пожеж: локальна; об'ємна, що регулюється пожежним навантаженням; об'ємна, що регулюється вентиляцією.

Інтенсивність нагрівання конструкцій під час дії пожежі залежить від теплофізичних характеристик конструкційних матеріалів. До них відносяться: коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{tem}$ , Вт/м\*К; питома теплоємність  $C_{tem}$ , Дж/кг\*К; коефіцієнт температуропровідності  $\alpha_{tem}$ , м<sup>2</sup>/с.

Крім того, важливою характеристикою, що використовується в розрахунках конструкцій на вогнестійкість, є ступінь чорноти поверхні матеріалу  $\epsilon$ , а також характеристика проникності, вологопереносу та ін.

Для різних матеріалів залежність  $\lambda_{tem}$  та  $C_{tem}$  від температури їх нагрівання  $t$  носить лінійний характер і виражається наступним чином:

$$\begin{aligned}\lambda_{tem} &= A + Bt; \\ C_{tem} &= C + Dt.\end{aligned}\tag{7.2}$$

де А, В, С, Д – коефіцієнти, що залежать від матеріалу. Значення коефіцієнтів А та С дані при початковій температурі  $t_n$ . Ці формули отримані шляхом апроксимації експериментальних результатів, отриманих при випробуванні різних матеріалів (табл. 6.3).

Таблиця 7.3 - Теплофізичні характеристики деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Середня щільність( в сухому стані), $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda_{\text{тем}}$ , Вт/(м×К)	Питома теплоємність, $C_{\text{тем}}$ , Дж/(кг×К)	Ступінь чорноти, $\varepsilon$
Сталь вуглецева	7800	48-0,0365t	440+0,48t	0,74
Цегла глиняна звичайна	1580	0,34+0,00017t	710+0,42t	0,94
Важкий бетон на вапняковому заповнювачі	2250	1,14-0,00055t	710+0,83t	0,625
Цементно-піщана штукатурка	1930	0,62-0,00033t	770+0,63t	0,867
Суха гіпсова штукатурка	900	0,23+0,00035t	849+0,59t	0,89
Мінераловатні плити	125	0,049+0,000184t	582+0,63t	0,92
Фосфатне вогнезахисне покриття по сталі	200	0,026+0,00016t	1250+0,63t	0,92

Значення  $\lambda_{\text{тем}}$  залежать також від щільності матеріалу  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>. Зі збільшенням температури матеріалів густиною вище 1800 кг/ м<sup>3</sup> спостерігається зниження значень  $\lambda_{\text{тем}}$  і для цих матеріалів у формулу значення коефіцієнту В підставляються зі знаком “мінус”.

Для більш пористих матеріалів зі щільністю не більше 1800 кг/ м<sup>3</sup> зростання температури матеріалу сприяє зростанню значень  $\lambda_{\text{тем}}$ . При цьому у формулі величина коефіцієнту В матиме знак “плюс”. Для матеріалів з різною щільністю величина питомої теплоємності зростає зі збільшенням температури матеріалу. Вміст води у пористих матеріалах також впливає на зміну  $\lambda_{\text{тем}}$  та  $C_{\text{тем}}$ . Зі збільшенням вмісту води у матеріалі значення цих теплотехнічних характеристик зростає, при цьому значення:  $\lambda_{\text{тем}}$  - за експоненціальним законом, а  $C_{\text{тем}}$ - за лінійним.

Але оцінювати вогнезахисну ефективність тих або інших матеріалів лише за характеристиками  $\lambda_{tem}$  та  $C_{tem}$  не доцільно.

Для оцінки цієї ефективності необхідно знати коефіцієнт температуропроводності, що визначається за формулою

$$\alpha_{tem} = \frac{\lambda_{tem}}{C_{tem}}. \quad (7.3)$$

Зі зменшенням значення  $\alpha_{tem}$  вогнезахисний ефект матеріалу зростає.

Характер зміни  $\lambda_{tem}$  та  $C_{tem}$  залежно від вологості пористого матеріалу дозволяє спростити врахування впливу цієї вологості на коефіцієнт температуропроводності.

Значення ступеня чорноти матеріалу  $\epsilon$  змінюються від 0 – для прозорих та білих поверхонь до 1 – для абсолютно чорної поверхні. Чим менше значення ступеня чорноти, тим менше поглинання поверхнею конструкції падаючого на неї теплового потоку. Ступінь чорноти залежить від температури. Так, для сталі при зміні її температури від 100°C до 300 °C значення ступеня чорноти мало змінюється та складає 0,4, а зі збільшенням температури до 400°C ступінь чорноти досягає величини 0,85.

При подальшому збільшенні температури значення ступеня чорноти практично не змінюється.

Теплофізичні характеристики для деяких будівельних матеріалів подані у таблиці 6.2.

У формулах (табл.7.2) для визначення  $\lambda_{tem}$  та  $C_{tem}$  приведені значення

$$t = t - t_n \text{ або } t = T - T_n, \quad (7.4)$$

де  $t_n=20^\circ\text{C}$ , а  $T_n=273\text{ K}$ .

На несучу здатність та деформативність будівельних конструкцій, що перебувають в умовах пожежі, впливають фізико-механічні властивості матеріалу, що змінюються залежно від температури нагрівання конструкції.

Зокрема, такі властивості визначаються межею міцності (R) та модулем пружності (E) матеріалу, з якого виконані конструкції.

При зміні температури від 20 °С до 200-300 °С межа міцності деяких марок сталей і бетону збільшується: в першому випадку за рахунок зниження технологічних напружень, а в другому за рахунок зменшення вільної вологи у порах бетону.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, тобто деформативність конструкції при цьому зростає.

У загальному вигляді нормовану міцність (розрахунковий опір) матеріалів для оцінки меж вогнестійкості металевих та залізобетонних конструкцій слід виконувати за формулою

$$R_{tem} = \frac{R_n \gamma_{tem}}{\gamma}, \quad (7.5)$$

де  $R_n$  – нормативний опір матеріалу;

$\gamma_{tem}$  – коефіцієнт, що враховує зміну міцності матеріалу від температури;

$\gamma$  – коефіцієнт надійності по матеріалу, що встановлюється із умов збігу значень меж вогнестійкості конструкцій, визначених експериментальним та розрахунковим методами.

Межа міцності деревини при збільшенні температури її нагрівання також знижується.

Зміна межі міцності деревини (сосни та ялини) в залежності від температури визначалася на основі короткочасних випробувань малих чистих (без пороків) зразків.

При переході від малих чистих зразків до натурних дерев'яних конструкцій необхідно враховувати: наявність у матеріалі пороків (сучки, тріщини і т.ін.), з котрих виконані дерев'яні конструкції; тривалість дії температури на дерев'яну конструкцію, що перебуває в умовах пожежі. Вплив цих факторів на міцність деревини конструкції натурних розмірів, яка піддається впливу температурного режиму, враховується відповідними коефіцієнтами.

Таким чином, розрахункові опори деревини для визначення межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій обчислюють з урахуванням вже названих факторів із застосуванням тимчасових опорів.



$$R_f = R_{ep} m_n m_\delta m_{cl} m_{dl} \gamma_{tem}, \quad (7.6)$$

де  $R_{ep}$  – тимчасовий опір деревини при стандартних умовах (температурі 20°C та відносній вологості деревини – 12%);  $m_n$  – коефіцієнт, що враховує наявність пороків деревини;  $m_\delta$  – коефіцієнт, що враховує розміри перерізів;  $m_{cl}$  – коефіцієнт, що враховує товщину дошок;  $m_{dl}$  – коефіцієнт, що враховує тривалість дії температури на конструкцію;  $\gamma_{tem}$  – коефіцієнт, що враховує вплив температури на міцність деревини.

Значення розрахункового опору клеєної та цільної деревини  $R_f$  залежно від характеру її роботи у конструкціях та їх елементах розглядатимуться далі.

Модуль пружності конструкційних матеріалів при збільшенні температури – знижується. Ця зміна враховується коефіцієнтом

$$\beta_{tem} = \frac{E_{tem}}{E}, \quad (7.7)$$

де  $E_{tem}$  – модуль пружності при підвищених температурах;  $E$  – модуль пружності при початковій температурі 20°C.

Важливе значення для аналізу поведінки конструкцій в умовах пожежі має характер їх деформацій.

Деформації бетону від теплового розширення і усадки визначаються за результатами нагрівання бетонних пустих циліндрів. Температурне розширення бетону в основному залежить від температурних деформації його заповнювачів. Величина температурних деформацій у важких бетонів на гранітному щебені у два рази більша температурних деформацій легких бетонів на заповнювачі у вигляді керамзиту.

Деформації температурного розширення арматурних сталей зростають із зростанням температури до 700 С.

Стосовно сталевих конструкцій, а також сталеві арматури у залізобетонних конструкціях значення загальної деформації при пожежі залежить від деформації температурного розширення, зміни модуля пружності, а також деформації повзучості.

Під поняттям температурна повзучість розуміють зміну деформацій у часі під впливом постійних значень температури і прикладеного навантаження.

Основні фактори, що обумовлюють величину та швидкість повзучості, є величини напруження, температури, а також тривалість (час) їх впливу. Із цих факторів головним є рівень напруження, який впливає на швидкість повзучості при визначеній температурі. Зі збільшенням величини напруження швидкість температурної повзучості зростає.

На вогнестійкість будівельних конструкцій суттєво впливає умова їх нагрівання та способи з'єднання конструкцій між собою.

Залежно від умов нагрівання розрізняють: однобічне, трибічне та чотирибічне нагрівання конструкції.

Однобічному нагріванню в умовах пожежі піддаються стіни, перегородки, а також пласкі конструкції перекриття та покриття.

Трибічному нагріванню можуть піддаватися стержньові несучі конструкції, до яких відносять балки перекриттів і покриттів, арки, рами, верхні пояси ферм, колони крайнього ряду, а також ребра панелей (ребристих).

Колони середніх рядів в умовах пожежі піддаються обігріву з чотирьох боків.

Умови нагрівання при пожежі суттєво впливають на несучу здатність будівельної конструкції. Наприклад, несуча здатність металеві балки при однобічному обігріві знижується із меншою швидкістю, ніж при трибічному обігріві. При однакових зовнішніх геометричних розмірах і умовах обігріву на несучу здатність конструкції в умовах пожежі впливає масивність цієї конструкції. Зі збільшенням маси конструкції збільшується її теплоємність, а, відтак, і час прогрівання конструкції до температури, при якій спостерігається вичерпання несучої здатності.

Несуча здатність конструкції в умовах пожежі залежить від способу її з'єднання з іншими конструкціями та способу спирання. В будівництві використовуються статично визначені та невизначені конструкції. При нагріванні статично невизначених конструкцій в них з'являються додаткові температурні напруження.

Вплив цього фактору на поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі залежить від матеріалу, з якого виконана ця конструкція. Наприклад, у статично невизначених металевих конструкціях ці напруження можуть призвести до втрати несучої здатності при температурі 100° С.

В той же час, нагрівання статично невизначених залізобетонних конструкцій призводить до перерозподілу зусиль у них і позитивно впливає на їх несучу здатність при пожежі. Збільшення кількості сторін спирання плоских будівельних конструкцій, наприклад плити міжповерхового перекриття, також сприяє збільшенню межі вогнестійкості цих конструкцій.

Однією з базових вимог до будівельних конструкцій, є вимога відповідності конструкцій своєму призначенню і заданим умовам експлуатації протягом необхідного часу. Ця відповідність будівельних конструкцій до вимог обумовлюється розрахунком.

Суть цього розрахункового методу в установленні для конструкцій так званих граничних станів і у забезпеченні конструкцій розрахунковим шляхом до настання цих станів.

## 7.2 Розрахункові схеми визначення меж вогнестійкості будівельних конструкцій

**Граничним** називається такий стан конструкції, при досягненні якого вона перестає задовольняти поставленим до неї вимогам у процесі експлуатації або монтажу, тобто конструкція втрачає здатність опиратися зовнішнім впливам або отримує недопустимі деформації.

Розрізняють граничні стани першої групи та другої групи.

**Граничні стани першої групи** включають стани, котрі призводять до втрати несучої здатності або до повної непрацездатності конструкції в умовах її експлуатації.

До граничних станів цієї групи відносяться: загальна втрата стійкості форми, втрата стійкості положення; руйнування будь-якого характеру; перехід в змінену форму; якісна зміна конфігурації; стани, за яких виникає необхідність припинення експлуатації в результаті його повзучості. А також надмірних здвигів у з'єднаннях.

**Граничні стани другої групи** включають стани, настання яких ускладнює нормальну експлуатацію конструкції або призводить до її недовговічності.

До таких станів відносяться недопустимі переміщення, а також утворення або розкриття тріщини (у залізобетонних конструкціях).

Розрахунок за методом граничних станів створений на врахуванні всіх факторів, що визначають дійсну роботу конструкцій, будівель і споруд. Основними з цих факторів є: фактор змінності навантажень; фактор нестабільності властивостей матеріалу; фактор умов роботи.

Параметри, що визначають ці фактори, мають випадковий, імовірнісний характер.

Можливе відхилення величини навантаження, що діє на конструкцію, від його нормативної величини враховується коефіцієнтом надійності по навантаженню  $\gamma_f$ . Розрахунок конструкцій за **граничними станами першої групи** виконується на основі розрахункових навантажень (розподіленого –  $q$  або зосередженого  $P$ ):

$$q = q_n \gamma_f; \quad (7.8)$$

$$P = P_n \cdot \gamma_f, \quad (7.9)$$

де  $q_n$  та  $P_n$  – величини нормативних навантажень.

Розрахунок конструкцій за *граничними станами другої групи* виконується при дії нормативного навантаження, тобто при  $\gamma_f = 1$ .

Основні нормовані характеристики міцності конструкційних будівельних матеріалів – це нормативні і розрахункові опори, значення яких визначаються на основі даних стандартних випробувань з урахуванням статистичної змінності показників міцності і різного ступеня забезпеченості (довірчої ймовірності) по мінімуму. Для нормативного опору  $R_n$  пропонується забезпеченість не нижче 0,95 (95%).

На рис.6.3 показана крива нормального розподілу (крива Гауса) показників міцності, побудована за результатами короточасних стандартних випробувань кількості малих зразків –  $n$ , прийнятої за 100%.

На вісі абсцис відкладаються значення міцності  $R$ , а на вісі координат відсоток  $n$  виконання тої чи іншої міцності.

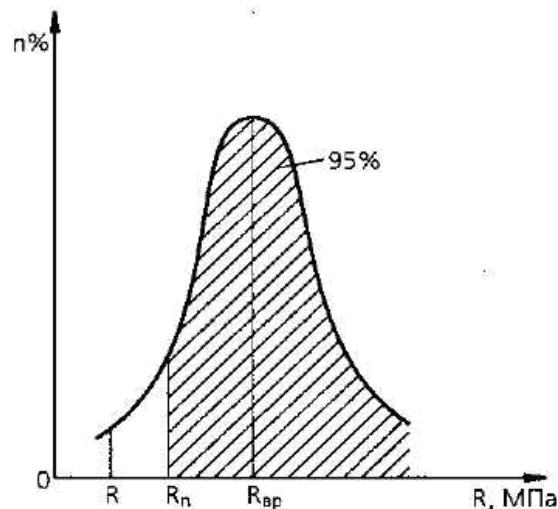


Рисунок 7.3 - Крива нормального розподілення (крива Гауса).

Найбільший відсоток випадіння відповідає середньому арифметичному значенню отриманих при випробуванні величин тимчасового опору:

$$R_{тим} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n}. \quad (7.10)$$

Проте спостерігається випадіння показників міцності як у більший, так і в менший бік порівняно із  $R_{тим}$ . Якщо за нормовану величину міцності прийняти

значення  $R_{тим}$ , можливо досягти забезпеченість 0,5 (50%), що не є достатнім. Значення нормативного опору  $R_{тим}$  вибирається таким чином, щоб зі 100% випробуваних зразків 95% повинні мати міцність не менше нормативного опору.

Розрахунок конструкцій за граничними станами першої групи виконується із застосуванням розрахункових опорів матеріалів

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (7.11)$$

де  $\gamma_m$  – коефіцієнт надійності по матеріалу ( $\gamma_m \geq 1$ ).

Коефіцієнт надійності по матеріалу дозволяє врахувати вплив неоднорідності матеріалу на його міцність під час переходу від малих стандартних зразків до конструкцій натурних розмірів. Таким чином, застосування розрахункових опорів дозволяє створити забезпеченість від 0,99 до 0,999 (99-99,9%).

Для врахування особливостей дійсної роботи матеріалів, конструкцій та з'єднань вводиться коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c$ .

Залежно від призначення, ступеня відповідальності та строку служби (капітальності) всі будівлі і споруди діляться на три класи, що враховується коефіцієнтом надійності за призначенням конструкції  $\gamma_n$ , значення якого приймається рівним: 1,0; 0,95; 0,9.

Під час виконання розрахунків за граничними станами другої групи значення коефіцієнтів  $\gamma_m$ ,  $\gamma_c$  приймаються рівними одиниці.

Для конструкцій, що розраховуються за граничними станами першої групи, розрахункові зусилля та згинаючі моменти в елементах конструкції  $N(M)$  не повинні перевищувати їх несучу здатність  $\Phi$ , тобто

$$N(M) \leq \Phi. \quad (7.12)$$

У формулі значення  $N(M)$  та  $\Phi$  представлені у вигляді наступних функцій:

$$N(M) = f[P_n(q_n); \gamma_f; \psi_n] \quad (7.13)$$

$$\Phi = f\left(\frac{S; R_n \gamma_c}{\gamma_m \gamma_n}\right) \quad (7.14)$$

де  $S$  – геометрична характеристика перерізу (площа, момент інерції, момент опору і т.д.).

Зміна силових факторів, несучої здатності елементів та конструкцій, а також настання граничного стану показані на рис.7.4.

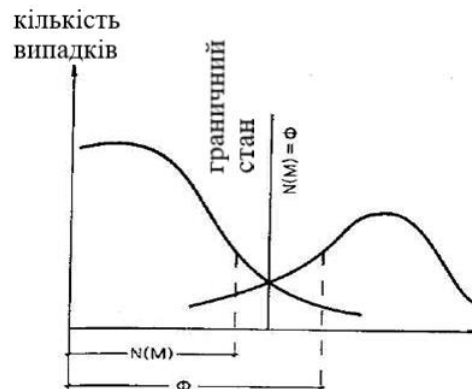


Рисунок 7.4 - Настання граничного стану при зміні силових факторів ( $N, M$ ) та несучої здатності конструкцій та їх елементів ( $\Phi$ ).

Врахування розрахунку конструкцій за граничними станами другої групи:

$$f \leq f_u, \quad (7.15)$$

де  $f$  – прогин або переміщення елемента або конструкції, представлений у вигляді функції

**Несуча здатність в умовах пожежі** – властивість конструкції зберігати свої функції, сприймаючи власну вагу, прикладені нормативні навантаження, а також температурні зусилля, що виникають в умовах вогневого впливу. Для несучих конструкцій (колони, балки, ферми, арки, рами) граничним станом за

вогнестійкістю є тільки втрата їх несучої здатності. Залежно від виду матеріалу та характеру роботи конструкції граничний стан за вогнестійкістю може настати в результаті крихкого руйнування матеріалу або за рахунок розвитку великих незворотних деформацій.

Межа вогнестійкості будівельної конструкції із умови втрати її несучої здатності настає при

$$N_n(M_n) = \Phi_{tem}, \quad (7.16)$$

де  $N(M)$  – внутрішні силові фактори у розрахункових перерізах конструкції (зусилля або згинаючий момент) від дії нормативного навантаження;  $\Phi_{tem}$  – несуча здатність конструкції, що перебуває в умовах пожежі, дорівнює  $N_{p,tem}(M_{p,tem})$ .

Порівняно з формулами (6.13, 6.14) внутрішні силові фактори  $N(M)$  у даній формулі визначаються при значеннях коефіцієнтів надійності  $\gamma_f$  та  $\psi_n$ , які дорівнюють одиниці, а значення несучої здатності  $\Phi_{tem}$  обраховується при значенні коефіцієнта –  $\gamma_n = 1$ .

Значення коефіцієнта надійності по матеріалу  $\gamma_m$  під час визначення несучої здатності  $\Phi_{tem}$  також приймається рівним одиниці, за виключенням арматури і бетону у залізобетонних конструкціях.

На відміну від вказаних формул 13 та 14 значення коефіцієнта умов роботи  $\gamma_c$  під час несучої здатності  $\Phi_{tem}$  приймається рівним коефіцієнту  $\gamma_{tem}$ , що враховує зниження міцності матеріалу під дією температури.

Для згинаємих конструкцій слід вважати, що граничний стан настав, якщо: прогин досягнув величини  $L/20$ ;

швидкість наростання деформацій досягла  $L^2/9000 h$  (см/хв.),

де  $L$  – проліт, см;

$h$  – розрахункова висота перерізу, см.



Для вертикальних конструкцій граничним станом слід вважати умову, якщо вертикальна деформація досягає  $L/100$  або швидкість наростання вертикальних деформацій досягне 10 мм/хв. для зразків висотою  $(3\pm 0,5)$  м.

Суть розрахунку межі вогнестійкості будівельних конструкцій полягає у визначенні часу, по завершенні якого в умовах високотемпературного впливу при пожежі настає один із граничних станів.

Для конструкцій, що виконують одночасно несучі та огорожуючі функції, необхідно визначити час від початку пожежі до настання граничного стану за несучою та теплоізолюючою здатністю, а за межу вогнестійкості прийняти мінімальне із отриманих значень.

Розрахунок межі вогнестійкості будівельних конструкцій складається із двох частин: теплотехнічної та статичної (за міцністю).

**Теплотехнічна частина** має за мету визначити температурні поля у розрахунковому перерізі елемента або конструкції при дії на них температурного режиму пожежі. При цьому використовуються рівняння нестационарної теплопровідності твердого тіла із врахуванням зміни теплофізичних характеристик матеріалів, із яких виконана конструкція, залежно від температури. Рішення теплотехнічної частини дозволяє визначити межу вогнестійкості із умови настання граничного стану за теплоізолюючою здатністю, що характерно для огорожуючих конструкцій.

Для визначення межі вогнестійкості із умови настання граничного стану за несучою здатністю необхідно також виконувати **статичну (за міцністю) частину** розрахунку. У статичній частині обраховують несучу здатність конструкцій, що нагріваються при пожежі, з урахуванням зміни характеристик міцності матеріалів при високих температурах.

У загальному вигляді схема розрахунку межі вогнестійкості конструкції за втратою її несучої здатності показана на рис. 7.5.

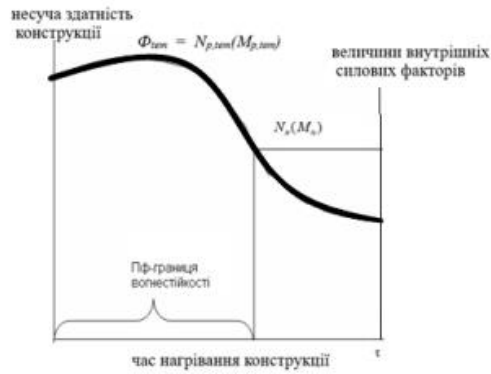


Рисунок 7.5 - Загальна схема розрахунку межі вогнестійкості конструкції по втраті її несучої здатності

По вісі абсцис відкладений час нагрівання конструкції  $\tau$ , а по вісі ординат – несуча здатність конструкції  $\Phi_{tem} = N_{p,tem}(M_{p,tem})$  та величини внутрішніх силових факторів у вигляді діючого зусилля  $N_n$  (розтягу або стиснення) або згинаючого моменту  $M_n$  від дії нормативного навантаження. Межа вогнестійкості визначається при виконанні рівності за формулою

$$N_n(M_n) = \Phi_{tem}, \quad (7.17)$$

Для побудови графіку на рис.6.5 проводиться наступна послідовність розрахунку:

- завдаються окремими періодами час нагрівання конструкції  $\tau_1 \dots \tau_i$ ;
- для заданих періодів часу теплотехнічним розрахунком визначають температуру у перерізі конструкції;
- статичним розрахунком для цих проміжків часу визначають несучу здатність  $\Phi_{tem1} \dots \Phi_{temi}$  конструкції з урахуванням зміни механічних характеристик матеріалу;
- будується графік зниження несучої здатності конструкції у часі,  $\Phi_{tem} - \tau$ ;
- за графіком визначається межа вогнестійкості  $P_{\phi}$ , тобто час, по завершенню якого несуча здатність конструкції знизиться до

величини внутрішніх силових факторів  $N_n(M_n)$  від нормативного навантаження.

**Розрахунок межі вогнестійкості** будівельних конструкцій виконують з урахуванням наступних припущень:

- розрахунку піддається окремо взята конструкція або конструктивний елемент без урахування зв'язку з іншими конструкціями, тобто не враховується сумісна робота конструкцій будівлі чи споруди;
- конструктивні елементи в умовах дії температурного режиму, представленого у вигляді залежності середньооб'ємної температури від часу, нагріваються однаково по всій довжині або висоті;
- витоками тепла по торцях конструкції нехтують;
- температурні напруження у конструкції, що з'явилися в результаті її нерівномірного прогрівання і в силу зміни пружно-пластичних властивостей матеріалу, не враховуються.

Решта припущень, які використовують при розв'язанні теплотехнічної та статичних задач по визначенню межі вогнестійкості металевих, дерев'яних і залізобетонних конструкцій, розглядаються в наступному розділі.

Можливість розрахункової оцінки часу настання граничних станів по вогнестійкості можна представити у вигляді трьох основних схем (рис.7.6).

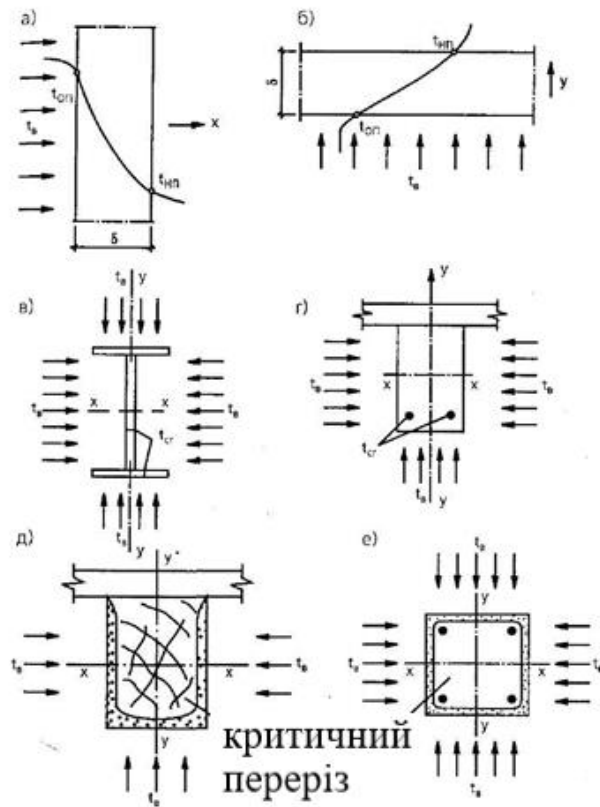


Рисунок 7.6 - Розрахункові схеми по визначенню фактичної межі вогнестійкості будівельних конструкцій:

а, б – вертикальних та горизонтальних огорожуючих конструкцій (розрахункова схема 1);

в, г – металевої та залізобетонної балок (розрахункова схема 2);

д, е – дерев'яної балки та залізобетонної колони (розрахункова схема 3).

**Розрахункова схема 1** застосовується для оцінки межі вогнестійкості по втраті теплоізолюючої здатності вертикальних та горизонтальних огорожуючих конструкцій (перегородки, плити перекриттів, внутрішні стіни).

Згідно даної схеми (рис.7.6, а, б), межа вогнестійкості конструкції настане у момент часу  $\tau = \Pi_{\phi}$ , коли при заданих умовах високотемпературного впливу та теплофізичних характеристиках матеріалу температура на необігріваємії поверхні  $t_{нп}$ , змінюючись від початкового значення  $t_{н}$  стане рівною допустимому значенню.

**Розрахункова схема 2** застосовується для розрахунку межі вогнестійкості незахищених і захищених металевих конструкцій, а також залізобетонних згинаємих конструкцій. При цьому вирішується задача по визначенню часу, по завершенню якого на поверхні металевих конструкцій або робочої арматури залізобетонних конструкцій встановиться критична температура  $t_{cr}$  (рис.7.6, в, г). Під критичною температурою розуміють температуру конструкції або її елементу, по досягненні якої настає граничний стан за несучою здатністю.

**Розрахункова схема 3** застосовується для визначення межі вогнестійкості будівельної конструкції по критичній площі її перерізів. Існують конструкції, граничний стан яких при пожежі настає в результаті втрати їх несучої здатності через зменшення розмірів розрахункового перерізу. До таких конструкцій відносяться, зокрема, дерев'яні конструкції, розміри перерізів яких зменшуються в результаті обвуглювання деревини (рис. 7.6, д).

Внаслідок зменшення розмірів перерізу напруження у перерізі збільшуються і при досягненні ними величини межі міцності прогрітої деревини конструкція втрачає свою несучу здатність.

По цій розрахунковій схемі також визначають межу вогнестійкості центрально-стиснутих кам'яних та залізобетонних конструкцій. При нагріванні стиснутих залізобетонних елементів частина перерізу прогрівається вище температури, по досягненні якої бетон втрачає свою міцність, що сприяє зменшенню розмірів перерізу, здатного сприймати діючі навантаження (рис. 6.6, е).

Зменшення розмірів перерізу призводить до зниження несучої здатності кам'яних та залізобетонних конструкцій при пожежі. Переріз дерев'яних, а також центрально-стиснутих кам'яних та залізобетонних конструкцій, по досягненні якого в результаті дії температурного режиму пожежі настає граничний стан, називається критичним перерізом, а розміри цього перерізу – критичними.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дагіль В.Г., Нуянзін В.М. Вогнестійкість будівель, споруд та будівельних конструкцій: Навчальний-методичний посібник. – Черкаси: АПБ, 2008. – 37с.
2. Звіт про науково-дослідну роботу. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/upload/9/6/2/4/2017-4-25-zvit-osvita-i-nauka-7-pozezna-taktika.pdf>
3. Тарахно О.В. Теорія розвитку та припинення горіння. Практикум. Частина 1: / О.В. Тарахно, Д.Г . Трегубов, К.В. Жернокльов, А.І. Шепелева, В.В. Коврегін — Х.: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2010. – 309 с..
4. Осипенко В.І., Поздєєв С.В., Тищенко І.Ю. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур: Навчальний посібник. – Черкаси: 2011. – 170 с.
5. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій: Навчальний посібник/ О.В. Васильченко, Ю.В. Квітковський, О.В. Миргород, О.А. Стельмах. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 488 с.