

Лекція 8. Тема: ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ОСЕРЕДКІВ ПОЖЕЖ

На сьогоднішній день існує ряд фізико-хімічних методів, за допомогою яких можна вірогідно визначити ознаки осередку й установити причини виникнення пожеж. Майже усі вони ґрунтуються на можливості реєструвати структурні перетворення, що відбуваються під впливом високих температур і безпосередньо полум'я на пожежах.

Усі методики можна умовно розділити на ті, котрі використовуються на місці пожежі, і лабораторні. Як одні, так і інші спрямовані на визначення осередку пожежі встановлення причин виникнення пожеж.

Об'єктами досліджень є конструкційні й оздоблювальні матеріали, що потрапили під вплив температури, рідини, тверді речовини й електротехнічні об'єкти.

Метою досліджень відповідних речовин і матеріалів є виявлення ознак осередку - зон термічних ушкоджень температури і тривалості нагрівання в різних зонах пожежі, визначення й ідентифікація залишків ЛЗР і ГР, визначення можливості причетності до виникнення пожежі приладів і устаткування.

У залежності від об'єктів досліджень використовуються відповідні фізико-хімічні методи, деякі з яких використовуються для визначення характеру ушкодження різних матеріалів.

У процесі вигорання пожежного навантаження променева енергія полум'я приводить значному однобічному нагріванню матеріалів і конструкцій, у результаті чого в останніх відбуваються структурні зміни і руйнування. Чим ближче до полум'я, тим великі зміни відбуваються в матеріалах. Таким чином, їхній стан свідчить про спрямованість розвитку пожежі. Оскільки зміни в структурі і властивостях можуть бути непомітними візуально, їхнє виявлення і фіксація можливі тільки за допомогою інструментальних, фізичних і хімічних методів, які можна коротко охарактеризувати в порядку розгляду матеріалів - об'єктів дослідження.

Суть методу визначення електричного опору вугілля постійному струму за допомогою стандартного вимірювального приладу складається у вимірі його значення під тиском до 40 кг/см^2 , створеним мікропресом, у межах $1-10^8-10^9 \text{ Ом}$. Розрахунки параметрів горіння роблять по формулах.

Дослідження дозволили удосконалити математичний апарат методики, за рахунок чого знизилася погрішність підрахунків температури і тривалість її впливу на дерев'яні конструкції. Дана методика є найбільш доступною і результативною.

Для визначення параметрів обвуглювання деревини необхідно зробити виміру геометричних розмірів початкової товщини конструкції в напрямку теплового впливу на уцілілих елементах; відповідного розміру після припинення горіння в місці добору проби; товщини обвугленого шару .

Різниця між початковою товщиною конструкції і товщиною її уцілілого зрізу визначає втрату зрізу. Товщина обвугленого шару і втрата зрізу разом складають загальну глибину обвуглювання деревини.

З урахуванням глибини обвуглювання й електричного опору 1-3 мм у місці добору проби визначають параметри обвуглювання. При оцінці результатів необхідно робити виправлення на умови газового обміну при горінні і те, що коли глибина менше 2 мм, погрішності розрахованих значень можуть значно зростати. Необхідно також урахувати, що коли розрахункове значення температури менше 230°C , то імовірно, що обвуглений шар деревини утворився в результаті тління.

ПИТАННЯ 1. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІСТУ ЛЕТУЧИХ РЕЧОВИН

Складається у встановленні співвідношення маси летучих речовин, що виділяються протягом 7 хвилин при витримці тигля з вугіллям при температурі $800 \pm 5^\circ\text{C}$ в муфельній

печі, до маси вугілля. Параметри горіння розраховуються по існуючим формулах. Методика придатна до застосування, якщо залишковий процентний уміст летучих речовин у досліджуваному куті менш 50%.

Метод елементарного аналізу складається у визначенні складу вуглецю і водню в куті шляхом спалювання його в кварцовій пробірці, поміщеної в трубку, через яку безперервно пропускають кисень. Компоненти повного згоряння вугілля поглинаються ангидроном і аскаритом. Відзначено необхідність виконання не менш 4-5 визначень для усереднення отриманих даних у зв'язку з недостатньою збіжністю результатів рівнобіжних визначень вуглецю і водню в куті. Метод вимагає значних витрат часу до 8 годин на аналіз 3-5 рівнобіжних проб. За отриманими результатами аналізів розраховують температуру і тривалість горіння деревини в точці добору проби.

Оцінка режиму горіння деревини можлива також за допомогою **методу інфрачервоної спектроскопії**. Спектр вугілля знімають у таблетці з бромистим калієм, що одержують шляхом розтирання і подальшого пресування під тиском $4/10^3 - 1/10^4$ кг/см, що забезпечує спікання у прозору масу. Спектр записують на ІЧ-спектрометрі в діапазоні $2000-1000\text{см}^{-1}$, при цьому розрахункові смуги спектра ($1240, 1800\text{ см}^{-1}$) не повинні перевищувати границі поглинання 20-80%. Якісна оцінка режиму горіння в точці добору проби роблять по зовнішньому вигляді спектра. Зі збільшенням температури спектральна крива в область $2000-900\text{см}^{-1}$ "випрямляється". Для більш точної диференціації вугілля по режиму горіння в отриманих спектрах розраховують оптичну щільність смуги 1240 см^{-1} щодо базової лінії, проведеної паралельно осі 100% пропускання від екстремуму в області 1800 см^{-1} . Метод дозволяє одержати винятково якісну оцінку.

Термічний чи термогравітаційний аналіз (ТГА).

дозволяє диференціювати вугілля високотемпературного ($t > 600^\circ\text{C}$) і низькотемпературного ($300^\circ\text{C} < \text{ДО} < 500^\circ\text{C}$) піролізу. Це може бути корисним при визначенні зон низькотемпературного піролізу (тління) на деревині, що у ряді випадків відповідають осередку пожежі. Навішення вугілля (близько 50 мг) піролизують у керамічному чи платиновому тиглі в потоці гелію (120 мг/хв) при швидкості підвищення температури 6 град/хв. Вугілля відносять до низькотемпературним чи високотемпературної шляхом визначення відсотка втрати маси по кривій її втрати з урахуванням присутності відносно термостабільних елементів.

Метод флуоресцентної спектроскопії екстрактів дозволяє виявити проби вугілля дерев'яних елементів, що знаходяться в зоні досить тривалого (більше години) низькотемпературного піролізу.

Таким чином, методи виміру **електросопротивлення**, визначення змісту летучих речовин і елементарного аналізу можна віднести до кількісних, оскільки в результаті їхнього використання можна одержати конкретні значення параметрів горіння, а методи ТГА, УЧ - і флуоресцентної спектроскопії - до якісного. Метод виміру електричного опору виявився найбільш точним і зручним у практичному застосуванні.

Методи дослідження сталевих конструкцій і предметів.

Описана методика розрахована на дослідження об'єктів з найбільш розповсюджених конструкційних сталей від вуглеродистих, звичайної якості (від Ст.3 до Ст.6), до якісних сталей.

Залізо як елемент має дві кристалічні модифікації, а і g. Нижче 910°C є стійким а - залізо. яке має об'ємно-центровані кубічні ґрати, $a=2,6645\text{ \AA}$ (20°C) і щільність $7,874\text{ г/см}^3$ (20°C). Між 910°C и 1400°C є стійким g-залізо з гранецентрированими кубічними ґратами з параметром $a = 3,64\text{ \AA}$. Вище 1400°C g-залізо переходить у d-залізо зі структурою а-модифікації ($a=2,94\text{ \AA}$), стійке до температури плавлення. Характерною рисою а-заліза є феромагнетизм. При температурах вище 769°C (крапка Кюрі) феромагнетизм зникає при

збереженні структури α -заліза. Парамагнітне залізо, стійке в інтервалі 769-910°C, іноді називають δ -залізом.

У хімічному відношенні залізо - метал середньої активності. У сухому повітрі при нагріванні до температури 150-200 °C на поверхні компактного заліза створюється тонка захисна оксидна плівка, що попереджає його подальше окислювання. В вологому повітрі залізо легко окислюється і покривається іржею яка складається в основному з його гідротированого окисла. В умовах високих температур при пожежі має місце взаємодія кисню з металом, у результаті чого останній інтенсивно кородує (газова хімічна корозія), на його поверхні утвориться шар окалини. З кислотних з'єднань найбільш активні його дво- і тривалентні оксиди.

Методи визначення температури і тривалості теплового впливу шляхом дослідження складу окалини засновані на властивостях заліза і його оксидів. Високотемпературне окислювання конструкційних сталей, що приводить до формування щільного шару окалини, починається орієнтовно при температурі близько 700°C. З підвищенням температури ріст шаруючи інтенсифікується і відбувається по параболічному законі.

Окалина складається із шарів трьох оксидів заліза: вуститу (окису заліза Fe), магнетиту і гематиту (оксиду заліза Fe₂O₃), що розміщуються шарами після металу в цьому порядку. Зміст і співвідношення оксидів залежить від температури і тривалості її впливу на метал, так само як і товщина окалини.

Аналіз складу окалини здійснюється двома методами:

хімічним, з визначенням процентного вмісту в окаліні двовалентного (Fe³⁺) і тривалентного заліза (Fe²⁺), і рентгенографічним, з визначенням процентного вмісту в окаліні вуститу, магнетиту і гематиту.

Хімічний аналіз виробляється шляхом комплексного метричного титрування окалини, розчиненій в суміші сірчаної і соляної кислот. Зміст Fe²⁺ і Fe розраховують по формулах. Практика застосування методу підтвердила його високу точність.

Відповідно до комплексної методики визначення осередку пожежі, умови теплового впливу на металоконструкції, приблизну температуру і тривалість нагрівання визначають за допомогою номограм. Для цього використовують дані по середній товщині шаруючи окалини кожної проби і змісту в ній Fe²⁺.

На відповідній номограмі знаходять крапку перетинання кривої, що приблизно відповідає товщині шаруючи окалини, і кривої, що відповідає змісту в пробі Fe²⁺. З точки перетинання опускають перпендикуляри на осі абсцис і ординат, знаходять приблизні температуру і час нагрівання.

Для забезпечення точності визначення умов температурного впливу на металоконструкції необхідно максимально вірогідно визначити товщину шару і зміст окалини. Товщину шару окалини визначають багаторазовим виміром за допомогою мікрометра, а зміст Fe²⁺ виявляють комплексним титруванням. На дослідження беруть нав'ішення дробленої окалини масою 0,2-0,5 м (з точністю до 0,0001 г).

Рентгенографічний аналіз виконується на дифрактовимірювачі шляхом прямого порівняння, що базується на тім, що інтегральна інтенсивність дифракційного максимуму пропорційна об'ємному змісту присутньої фази. Температуру і тривалість її дії на метал визначають по номограмах і за допомогою розрахунків після одержання результатів змісту результатів змісту в окаліні вуститу, магнетиту і гематиту.

Магнітний метод полягає у вимірі струму розмагнічування на однотипних металевих виробках. При цьому оцінюється і порівнюється між собою ступінь розвитку дорекристалізаційних і рекристалізаційних процесів у сталевих виробках, що знаходилися в зоні впливу високих температур в умовах пожежі. За відносними показниками коерцетивної сили можна робити висновки про розміщення осередку пожежі. Коерцетивна сила (величина напруженості магнітного поля,

при якій дорівнює нулю намагніченість матеріалу, що виміряється по петлі гістерезису) і відповідна їй величина струму розмагнічування є найбільше структурне сприймання магнітними характеристиками матеріалу, при цьому для холоднотягнутих сталей характерне зменшення значень коерцетивної сили, тоді як для горячекатаних вони, під впливом вищих температур, зростають.

Одержання достовірного результату при вимірі залишкової намагніченості залежить від якості зачищення металу перед установленням магнітного перетворювача: поверхня повинна зачищатися шкребком до легкого срібlistого блиску.

Час температурного впливу практично не відбивається на показниках коерцетивної сили.

Охолодження металевих зразків у повітрі і струменями розпиленої води відбиваються на показниках коерцетивної сили майже однаково й одночасно впливають на них набагато менше, ніж суцільне водяне охолодження.

Корцитиметри КРМ-Ц відрегульовані по контрольних металевих зразках, тому показники, отримані за допомогою різних приладів, будуть мати різні значення. З огляду на цю обставину, а також неможливість ідентифікації марок сталі металевих елементів і конструкції, величину температурного впливу на них у результаті пожежі, при визначенні осередку пожежі необхідно мати у виді відносність значень цих показників, зіставляючи їх із зовнішніми ознаками прояву температурного впливу на метал.

У зв'язку з наявністю різних залежностей зміни коерцетивної сили від температури для різних марок сталі, магнітний метод може застосовуватися як інструментальне підтвердження версій про особливості виникнення і розвитку пожежі. При цьому необхідно визначати характер зміни коерцетивної сили досліджуваних металевих предметів і конструкцій з урахуванням непрямих ознак температурного впливу на них і значення вихідного показника на неушкоджених металевих елементах.

Метод визначення величини і тривалості температурної дії за допомогою коерцетивної сили має свої недоліки, що обумовлені:

- відсутністю первинної інформації про марку сталі і характер залежності коерцетивної сили від температури, яку необхідно визначити в ході вимірів, порівнюючи з непрямими ознаками температурного впливу;
- відносністю показників коерцетивної сили, оскільки вони не показують величини температурного впливу під час пожежі, а лише дають відповідь, де цей вплив було великим чи меншим.

У цілому цей метод може використовуватися для дослідження як високоякісних, так і низькоякісних сталевих конструкцій і предметів з метою підтвердження особливостей виникнення і розвитку пожеж по непрямим ознакам температурного впливу. До його достоїнств можна віднести визначену експресність, що дозволяє одержувати результати вже в ході огляду місця пожежі.

ПИТАННЯ.2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБГОРІЛИХ ЗАЛИШКІВ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТЬ (ЛКП)

Методика, описана в, розрахована на дослідження найбільше широко використовуваних типів лакофарбових покриттів (ЛКП) - масляних, алкідних (пентафталевих, гліфталевих), нитроцелюлозних, їхніх композицій, а також основних різновидів покриттів з водоемульсійних фарб.

ЛКП **деструктурують** при температурах нижче 600-700°C, Помітне зниження маси плінкоутворювача до 10-12% відбувається в **нитроцелюлозних** покриттях при ізометричному нагріванні вже при 150°C, у ПФ і МА покриттях при температурі 200°C. У **водоемульсионних** покриттів (вінілацетатних, акрилатних, латексних) помітне зменшення органічної маси до 20% відбувається при 250-300°C, вона послідовно зменшується зі збільшенням температури і тривалості нагрівання. Органічна складова

даних покриттів практично вигорає при 500°C та в інтервалі температур 500-700°C зменшення маси покриттів практично не спостерігається. Однак, при температурі 700-800°C і вище починається процес розкладання карбонатів кальцію (крейди), що входять у рецептуру, що обумовлює додаткову втрату маси.

Протікання зазначених вище процесів приводить до послідовного зниження в пробах ЛКП змісту термолабільних компонентів і, відповідно, збільшення зольності обугленого залишку фарби. Залежність величини зольності від температури і тривалості їх піролізу в різних пробах дає можливість виявляти зони термічних ушкоджень пофарбованих конструкцій.

Процес термічного розкладання ЛКП обумовлює не тільки кількісні, але і якісні зміни у плівкоутворювачі. Окремі фрагменти його структури відрізняються по термостабільності і розкладаються з різною швидкістю в різних температурних інтервалах. Крім цього, на визначених етапах піролізу утворюються, а потім вигорають карбонізовані структури. Ці зміни функціонального складу ЛКП під впливом температури найкраще фіксуються методом ІЧ-спектроскопії.

Метод визначення зольності складається в нагріванні до 550°C протягом 1,5 години фіксованої маси навішення ЛКП із наступним визначенням утрат маси і розрахунком зольності НЦ-, МА- і ПФ-покриттів. Зольність водоемульсійних покриттів визначають у два етапи. Слід зазначити, що метод не дає визначеної відповіді про температуру і час її впливу на ЛКП.

Метод ІЧ-спектроскопії дозволяє по отриманих Р-спектрах установити орієнтований тип покриття, розрахувати спектральні коефіцієнти, величину спектрального критерію і побудувати зони термічних ушкоджень. Даний метод дозволяє досить точно визначити діапазон температур, що діяли на ЛКП.

Методи дослідження матеріалів на основі гіпсу, вапна і цементу.

До неорганічних зв'язувальних речовин відносять матеріали, що при додаванні води утворюють пластичне тісто, здатне в результаті фізико-хімічних процесів згодом твердіти, переходячи у твердий камнеподібний стан. Зв'язувальні речовини використовують для готування бетонів, будівельних розчинів, а також штучних кам'яних матеріалів і виробів. Неорганічні зв'язувальні речовини, що використовуються в звичайному будівництві, поділяються на повітряні і гідралічні. Повітряні в'язучі речовини здатні твердіти і зберігати свою міцність тільки в повітрі (повітряне вапно, гіпс). Гідралічні в'язучі речовини здатні твердіти; зберігати міцність не тільки на повітрі, але й у воді (портландцемент, інші види цементів).

При дії високої температури (520 - 580°C) на твердий вапняний розчин відбувається дегідратація хімічно зв'язаної води із Са і дисоціація СаСО, за рахунок чого знижується його міцність.

Дисоціація вуглекислого кальцію інтенсивно відбувається при нагріванні до 900°C и вище. Оксид кальцію, що утвориться, схильний до вторинної гідратації, що супроводжується збільшенням обсягу і руйнування твердого вапняного розчину, у результаті чого він утрачає свою міцність.

Аналогічно вапняному розчину відбуваються зміни в гіпсі: значна втрата міцності з руйнуванням структури в результаті дегідратації при 400°C. Нагрівання до 700°C приводить до повної втрати міцності.

Хімічні перетворення силікатів у цементах обумовлюють подібні зміни стану цементного каменю під впливом високих температур.

В УкрНДПБ МНС України проведені експерименти і дослідження зразків матеріалів на основі сполучних методом ІЧ-спектрометрії, за результатами яких підтверджена можливість оцінки ступеня термічного впливу на ці матеріали.

ПИТАННЯ 3. МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СЛІДІВ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ І ГОРЮЧИХ РІДИН У РЕЧОВИХ ДОКАЗАХ

В усіх ЛЗР і ГР в умовах пожежі відбуваються глибокі фізико-хімічні перетворення в результаті випару або вигорання, тому вони залишаються на конструкціях і предметах найчастіше лише в обмежених кількостях.

Наявність залишків визначається **органолептичним способом**. За допомогою нескладної операції запах для більшої впевненості можна підсилити, особливо коли він заглушається іншими. Пробу з носієм сліду рідини (грунт, обпилювання, стружку) поміщають у скляну ємність з додаванням декількох кристалів перманганату калію, доливають небагато води, щільно закривають і нагрівають до 50-70°C. Після цього сторонні запахи не так явно відчуються і, відкривши ємність, наявність запаху ЛЗР чи ГР визначають більш упевнено. Запах бензину здатний зберігатися на дереві протягом 2-х діб, гасу - ще довше.

Застосування **газового аналізу** дозволяє визначити місця з найбільшою концентрацією парів рідин по наявності СП-груп. Експериментально перевірено, що газоаналізатор 102-ФА-01-М, оснащений дифузором, здатний фіксувати залишки ЛЗР і ГР протягом 4-5 годин після зупинки горіння.

Ефективним є дослідження на місці пожежі слідов ЛЗР і ГР в ультрафіолетових променях **методом люмінесценції**. Яскравість і колір плям люмінесценції дозволяють досить точно розрізнити вид рідини.

Кольори люмінесценції дуже залежать від матеріалу носія, тому рекомендується проводити дослідження після перенесення (екстрагування) сліду на нейтральний носій, що не викривляє люмінесценцію рідини, найкраще на білий фільтрувальний папір чи на білу порцеляну.

Для одержання ефекту люмінесценції застосовують випромінювач ОЛД-41 зі світлофільтром УФС-6 чи прилад "Спектр ДО", що безпосередньо використовується для експрес-аналізу істинності цінних паперів.

Характер люмінесценції ЛЗР і ГР при використанні випромінювача ОЛД зі світлофільтром УФС-6.

Кваліфіковане визначення виду рідини вимагає використання більш складних методів: інфрачервоної (ІЧ), ультрафіолетової (УФ) і флуоресцентної спектроскопії, а також газорідинної і тонкошарової хроматографії (ГРХ, ТШХ). Відповідне устаткування є в окремих дослідно-випробувальних лабораторіях і експертно-криміналістичних відділах УВС.

ПИТАННЯ 4. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІДИН, ТВЕРДИХ РЕЧОВИН

У випадку, коли є необхідність установлення причетності до виникнення пожежі чи загибелі людей речовин і матеріалів, властивості яких невідомі, застосовують **стандартні методи визначення пожежонебезпечних параметрів**: групи горючості, температури запалення, концентраційних і температурних границь поширення полум'я, температури тління, коефіцієнта поширення полум'я, показника токсичності продуктів горіння полімерних матеріалів і інших.

Значну групу експертних задач по справах про пожежі складає визначення природи, властивостей, походження виявлених у осередку пожежі речовин (злитків металів, продуктів термічного розкладання і т.і.), дані про які цілком відсутні. У цих випадках вони досліджуються методами **емісійного, спектрального, лазерного, мікроспектрального, рентгеноспектрального чи флуоресцентного аналізів**. Для встановлення природи кристалічних речовин застосовуються **рентгеноструктурний чи електрографічний аналізи**; аморфних речовин - **молекулярна спектроскопія**,

люмінесценція, спектроскопія комбінованого розсіювання, електронний парамагнітний резонанс.

Елементний аналіз, скажемо, дозволяє диференціювати злитки металу білого кольору (алюміній) як матеріал жил кабельних виробів, чи арматури будівельних конструкцій.

Методи дослідження оплавлених металевих провідників і електротехнічних виробів.

Практично за кожним фактом виявлення під час огляду пожежі залишків проводів і кабелів з оплавленими жилами висувається версія про причетність до виникнення пожежі аварійних режимів в електроустановках. У таких випадках для рішення питання про первинність чи вторинності аварійних режимів місця оплавлень досліджуються шляхом рентгеноструктурного фазового аналізу і металографії.

Для проведення електричних вимірів на місці пожежі (з метою установлення величини напруги і сили струму в електромережі, цілісності плавких уставок запобіжників, спіралей ТЕНів і наявності їхнього контакту з корпусом нагрівача, визначення величини електричного опору) використовуються комбіновані прилади типу Ц-4315, мости переносні типу ММВ із межами вимірів від 0,05 Ом до 50 кОм, мегометри типу М416 з межами вимірів від 0,1 до 1000 мОм. За допомогою авометрів фіксується, наприклад, опір нагрівальних спіралей трубчастих електронагрівників, на підставі якого визначаються потужність і токові навантаження в проводах живлення ТЕН. Спочатку виміряється опір між контактними стрижнями спіралі і корпусом нагрівача. Якщо електричний контакт відсутній, вимірюють величину опору між двома контактними стрижнями, до яких приєднані кінці спіралі.

Цілісність плавких вставок електрозапобіжників звичайно перевіряється омметром, а також візуальним оглядом для визначення нестандартних плавких елементів - "жучків".

Вимір опору ізоляції мережі здійснюється за допомогою мегометрів, один затиск якого ("Л") з'єднують з металевією жилкою проводу, а іншої ("З") заземлюють, після чого крутять ручку приладу. Стрілка відхилиться і укаже величину опору ізоляції струму, що проходить через землю й ізоляцію проводу.

Для виміру опору ізоляції між двома проводами затиски мегометра з'єднують з жилами обох проводів і створюють у даній схемі напругу.

Схеми підключень зазначених приладів і способи вимірів приводяться на їхніх кришках чи корпусах в інструкціях з їх експлуатації.