

УДК 614.84

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.41-52](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.41-52)

Г. І. Єлагін
Д.О. Кришталь
А.Г. Алексєєв
Н.М. Гавриленко
М.А. Куценко

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕГАСНОЇ ДІЇ ЗАСОБІВ ЗАПОБІГАННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖ НА ТОРФОВИЩАХ

Мета. З метою підвищення ефективності запобігання поширенню пожеж на торфовищах досліджено засоби на основі високопористих мінеральних носіїв, зокрема спученого вермікуліту, іммобілізованих вогнегасними солями. Особливу увагу приділено аналізу фізико-хімічного механізму їх дії, що включає фізичну стадію (вивільнення інгібітору з пор носія) та хімічну стадію (взаємодію інгібітору з активними частинками горіння).

Методика. Для визначення впливу складу засобів на механізм припинення горіння проведено топохімічний аналіз взаємодії інгібітору з радикалами та досліджено залежність повноти його вивільнення з пор носія від марки спученого вермікуліту та типу вогнегасної солі (амонійфосфат, діамонійфосфат) за температур, характерних для умов горіння торфу.

Результати. Встановлено, що пояснення механізму дезактивації активних частинок горіння шляхом їх адсорбції на поверхні інгібітору або гомолітичного розкладу молекул є недостатньо обґрунтованими. Найбільш переконливою є гіпотеза про взаємодію активних частинок з цілими молекулами інгібітору з утворенням комплексу, що делокалізує вільну валентність та суттєво знижує активність радикалів. Доведено, що від марки спученого вермікуліту повнота вивільнення інгібітору майже не залежить, проте кращі результати показав діамонійфосфат.

Наукова новизна. Удосконалено уявлення про фізико-хімічний механізм дії вогнегасних засобів на основі високопористих мінеральних носіїв. Обґрунтовано делокалізаційний механізм зниження активності вільних радикалів у процесі горіння, що забезпечує більш точне пояснення інгібуючого ефекту.

Практична цінність. Результати дослідження доводять ефективність використання діамонійфосфату як інгібітора горіння та окреслюють перспективні напрями подальших досліджень, зокрема пошук більш придатних високопористих носіїв для зменшення індукційного періоду початку дії засобу.

Ключові слова: торфовища, горіння торфу, інгібітори горіння, вогнегасні засоби високопористі носії, іммобілізація, спучений вермікуліт.

Вступ.

Болота – важлива частина екологічної системи нашої планети. Їх бездумне осушення шкодить довкіллю. На жаль, ще декілька десятків років тому осушення боліт вважалося справою прогресивною, яка збільшує площі, придатні для землеробства, і дозволяє перетворювати болота на джерело дешевого палива і ефективного органічного добрива. На сьогодні доведено, що такий підхід завдає набагато більше шкоди, ніж приносить користі. При своєму розвитку рослини поглинають вуглекислий газ. Рослинні залишки, відмираючи в умовах підвищеної вологості піддаються анаеробному розкладу, яке проходить без виділення цього газу. Більша частина відмерлої органіки сторіччями лишається у вигляді целюлози та лігнінів і лише протягом тисячоліть частина з них перетворюється у вугілля. Таким чином, болота по суті є акумуляторами

вуглекислого газу. При осушенні, до цих залишків забезпечується доступ повітря. Анаеробний розклад замінюється аеробним окисленням, вуглець реагує з киснем повітря і виділяється у вигляді карбону діоксиду, перетворюючи осушені болота з акумуляторів вуглекислого газу на потужне джерело його утворення, збільшення вмісту якого в атмосфері стає все більшою проблемою. Крім того, осушені болота стають схильними до загорання. Масштабні торфяні пожежі виникають у всьому світі, в Україні ця проблема виникає кожного літа. Особливість пожеж на торфовищі - недостатня кількість окисника і наявність у складі торфу сполук, які згоряють повільно. В результаті, повне згорання на торфовищі не відбувається, що призводить до виділення, крім карбону двооксиду, значної кількості чадного газу, інших отруйних речовин і канцерогенного диму рідких та твердих продуктів піролізу.

Пожежі на торфовищах завдають відчутної шкоди оточуючому середовищу і призводять до значних матеріальних збитків. Гасити ж ці пожежі і запобігати їх поширенню складно та дорого, до того ж розташовані торфовища здебільшого в місцях, віддалених від джерел водопостачання. Набагато дешевше запобігти поширенню пожежі. Між тим, засоби запобігання поширенню пожеж на торфовищах в основному зводяться до об'ємних і вартісних робіт з викопування ровів і заповнення їх різного роду негорючими матеріалами. Розробка і вдосконалення відносно недорогих і екологічно безпечних засобів запобігання поширенню пожеж на торфовищах – завдання актуальне з усіх точок зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Торф'яне родовище, торф'яник, рідко торфовик, - ділянка земної поверхні, для якої характерне надлишкове зволоження, наявність торф'яного покладу й рослинного покриву, що складається з вологофобних рослин-торфоутворювачів. Відмираючи, вони не піддаються повному розпаду, а у напіврозкладеному стані утворюють торф [1]. Торф'яники поширені по всьому світу: за полярним колом, в районах вічної мерзлоти, на високогір'ях, в прибережних районах, в тропічних лісах. Найбільші поклади торфу знаходяться в Росії, Канаді, Індонезії та Сполучених Штатах Америки [2]. В Україні, згідно державного балансу запасів корисних копалин, торф'яники займають близько 1,5 млн. гектарів, з балансовими запасами торфу 244115000 тон, небалансовими - 57199000 тон.

Під час росту рослини засвоюють двооксид вуглецю, поглинаючи його з атмосфери. Коли рослинні залишки відмирають, то в болотах вони потрапляють в середовище, збагачене киснем. Під дією анаеробних мікроорганізмів більша їх частина перетворюється в неоднорідну масу з полісахарів, геміцелюлози, целюлози, лігнінів і інших сполук, що містилися в рослинах, у тому числі тих, які мали у структурі сірку, фосфор, азот та інші хімічні елементи. Ця маса збагачена вуглецем, який був вилучений з атмосфери.

В осушених болотах рівень води знижується, що призводить до контакту цієї

маси з повітрям і запуску процесів аеробного окислення геміцелюлози, целюлози і до деякої міри лігнінів, з утворенням води і вуглекислого діоксиду. Торф'яники зі сховищ CO_2 перетворюються на джерело його викидів в атмосферу.

На осушених торфовищах дуже часто виникають пожежі. Особливо небезпечні штабельовані поклади висушеного торфу і ділянки, покинуті після фрезерного його видобутку, де подрібнений сухий торф – ідеальний матеріал і для самозаймання і для займання примусового. Пожежа, що виникає, в подальшому поширюється і поверхнею торф'яника і, головне, його глибинними шарами. Іноді вогонь, точніше тління, розповсюджується шарами, що розташовані на глибині до 5 метрів і більше. Торф'яні пожежі відзначаються вагомим економічними і екологічними наслідками. Втрати від таких пожеж складаються з витрат на безпосереднє гасіння пожежі і витрат, пов'язаних з порушенням екологічної безпеки.

Будь-який торф складається з целюлози, геміцелюлози, лігніну, бітумів, гумінових кислот та фульвокислот. В більшості випадків торф'яна маса містить також залишки меркаптанів, амінокислот, дисульфідів і сполук фосфору, які утворюються з фосфоліпідів, нуклеотидів, РНК та ДНК тварин і рослин та їх насіння. З продуктами горіння такої суміші в повітрі поширюється велика кількість речовин, небезпечних для довкілля. [3] На прикладі згорання зразків торфу Ірдинського родовища (Черкаська область України) було визначено, що при згоранні 1 кг такого торфу в повітря в середньому переходить близько 7 кг газоподібних продуктів і 0,1 кг твердих та рідких частинок. В газоподібних продуктах такі шкідливі речовини як: CO_2 (більше 1кг), CO (близько 0,4кг), SO_2 (близько 0,15кг) та NO_2 (близько 0,02кг), решта – азот, пари води та деяка кількість таких органічних сполук як NH_3 (аміак), H_2CO (формальдегід) і інші альдегіди, а також канцерогенні феноли, бензпірен та інші. Що стосується CO_2 , то у світовому масштабі об'єми його річних викидів від дренажу, пожеж та господарської експлуатації торф'яників прирівнюються до 10 відсотків річних об'ємів викидів від сумарного спалювання вугілля, нафти та газу. Тверді частинки

утворюють суспензії з газоподібними продуктами згорання, які перетворюються в їдкий і отруйний дим. При пожежах на торфовищах задимленість і токсичність значно перевищують відповідні показники лісових, степових і інших звичайних пожеж на відкритих просторах. Як було підраховано [4] згідно з діючою інструкцією [5,6], втрати за забруднення довкілля в цьому випадку складають 832000 грн за 1 га площі пожежі. І це, не враховуючи кислотних дощів від забруднення атмосфери діоксидом сульфуру та діоксидом нітрогену, пригнічення і знищення рослинності, зміни клімату та глобального потепління, до яких веде надмірний викид вуглекислого газу.

Гасити ж ці пожежі складно та дорого, до того ж розташовані торфовища здебільшого в місцях важкодоступних і віддалених від джерел водопостачання. В більшості випадків, залучати для доставки води автотранспорт нерационально, а часом, і неможливо. Мало придатні тут і звичайні засоби гасіння. Ізоляція зони горіння і тління від окисника тут не має сенсу. Осушений торф має під поверхнею кисень у своїй структурі і повітря ззовні в цьому випадку для горіння не потрібне. Створити на відкритому просторі потрібну концентрацію інертного газу чи хладону – неможливо. Вогнегасний порошок можна нанести лише на поверхню, до підшарових дільниць він не проникає. Єдине, що лишається, – вода. Але вона або просто не проникає під поверхню, або стікає струмочками в окремі діри глибоко під шар торфу. Тому води потрібно дуже багато, на 1м³ торфу потрібно більше 1м³ води, а торфовища, як правило, розташовані в місцях, віддалених від джерел водопостачання.

На торфовищах особливого значення набуває вислів про те, що набагато легше запобігти пожежі, ніж потім її гасити. Зараз для запобігання поширенню пожеж на торфовищах застосовуються зволоження торфовищ та способи, які базуються на фізико-хімічному механізмі зниження концентрації горючих речовин навколо зони горіння.

Там, де дозволяє рельєф місцевості, зводять дамби, які затримують талі води та води опадів. Підйом рівня води затоплює торфовище. В патенті РФ № 2 438 738

[7] пропонується прокладати канали з уступами, на яких створювати свердловини і засипати їх фільтруючим матеріалом; після чого, заповнювати канали водою та підтримувати її рівень вище рівня уступів. Патентами України UA № 153448 [8] та UA № 104989 [9] пропонується по контуру пожежонебезпечних ділянок створювати стінки - бар'єри з буронабивних паль у ґрунтоцементній оболонці і/або азбестоцементних труб із водостійким захистом, верхній кінець яких має виступати над рівнем поверхні ділянки, а нижній занурюватися до рівня мінерального ґрунту або до рівня ґрунтових вод родовища. Палі потім заповнювати природним і/або штучним дисперсним вогнетривким матеріалом.

Недоліками всіх цих способів є великий об'єм земляних і будівельно-монтажних робіт та необхідність доставки десятків тон вартісних наповнювачів, таких як фільтруючі матеріали, поглинаючі полімери, азбестоцементні труби, бетонні плити і ін.

Між тим, більшість дослідників самоспалахування торфу в глибині торфовища вважає маловірогідним. В основному торф'яні пожежі виникають з вини людини і, рідше, під дією сонячних променів або блискавки. У будь-якому з цих випадків горіння починається на поверхні і вже потім поширюється вглиб. Отже, запобігати поширенню вогню треба не тоді, коли він вже набрав силу і вирує на поверхні та під нею, а в перші хвилини після виникнення, тобто саме на поверхні.

З цієї точки зору більш виправданим і значно дешевшим виглядає спосіб запобігання поширенню таких пожеж шляхом нанесення на поверхню торфовища родовища вогнегасного засобу, який складається з суміші подрібнених порід, що містять карбонати, оксид кремнію, глину та кремнієфтористий натрій [10, 11]. За теорією, при виникненні пожежі подібні суміші мають розкладатися з виділенням вуглекислого газу. Фізико-хімічний механізм гасіння пожежі цим способом полягає у заміщенні кисню повітря вуглекислим газом, тобто по суті у флегматизації горіння зниженням концентрації окисника. Але така флегматизація ефективна лише в закритих приміщеннях, на відкритому просторі

збіднене киснем повітря відразу замінюється свіжим. Крім того, компоненти суміші мають значну насипну масу, що приведе до швидкого занурення їх під поверхню, особливо при зволоженні цієї поверхні першим же дощем. чи навіть просто вранішньою росюю. В принципі, замість такої складної суміші можна було б розсіяти на поверхні торфовища вогнегасний порошок. Але ці порошки теж мають значну насипну масу, до того ж основна складова вогнегасних порошоків - водорозчинні солі. І перший же дощ теж змиє порошок з поверхні торфовища.

Проблему може вирішити вогнегасний засіб, який являє собою нерозчинний у воді подрібнений високопористий мінеральний носій (спучений вермікуліт), пори якого іммобілізовані вогнегасною сіллю, амонію фосфатом або діамонію фосфатом [12]. Пори такого носія мають настільки малий діаметр, що поверхневий натяг води не дозволяє їй проникнути всередину носія. Саме це створювало проблеми при виготовленні засобу, коли ці пори необхідно було заповнити розчином вогнегасної солі. Вихід було знайдено застосуванням вакуумної техніки. Гранули носія помішали в розчин вогнегасної солі і утримували під поверхнею цього розчину в закритій системі. При підключенні вакууму повітря виходило з пор і, проходячи крізь шар розчину, залишало систему. Подальше з'єднання системи з атмосферою приводило до заповнення звільнених від повітря пор розчином вогнегасної солі. В результаті отримували гранули, всередину яких вода при звичайних умовах проникнути і вимити вогнегасну компоненту неспроможна. Кожна гранула такого засобу вдвічі-втричі легша за воду і за торф, що запобігає занурюванню засобу під поверхню. Після нанесення такої засіб може роками лежати на поверхні, практично не змінюючись. У випадку ж виникнення горіння, під дією підвищеної температури вогнегасні компоненти десорбуються з пор носія (або розкладаються) і виходять на поверхню у вигляді летючих дрібнодисперсних частинок, які інтенсивно розподіляються над поверхнею

Вузким місцем цього засобу є досить тривалий індукційний період початку його дії, що пояснюється необхідністю нагріву

вогнегасної солі до потрібної температури, тобто до температури її десорбції і розкладу. Мінеральний же носій, має помітні теплоізолюючі властивості і прогрів стінок його капілярів вимагає декількох хвилин.. Ефективність і тривалість дії таких засобів залежать від їх складу, в першу чергу від співвідношення носій:вогнегасна сіль і від типу вогнегасної солі, які повинні обиратися з урахуванням фізико-хімічного механізму взаємодії цієї солі з елементами полум'я або тління.

Мета статті (постановка завдання).

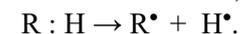
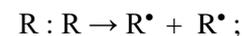
Метою роботи є аналіз фізико-хімічного механізму придушення полум'я та тління на торфовищах засобами на основі високопористих носіїв, іммобілізованих вогнегасними солями, і визначення залежності індукційного періоду та терміну дії цих засобів від їх складу. Задачі:

1. Провести аналіз механізму взаємодії засобів на основі високопористих носіїв, іммобілізованих вогнегасними солями, з полум'ям та тлінням сухого торфу.
2. Дослідити залежність повноти розкладу і десорбції вогнегасних солей з пор носія від температури і складу засобу.
3. Проаналізувати отримані результати та визначити напрямки подальших досліджень, спрямованих на удосконалення засобів попередження поширення пожежі на торфовищах.

Виклад основного матеріалу.

Вплив інгібіторів на припинення горіння вимагає чіткого розуміння механізму їх дії.

На сьогодні вважається доведеним, що і полум'яне горіння і тління відбуваються з проміжним утворенням активних частинок, які виникають в результаті гомолітичного розкладу молекули горючої речовини при потраплянні в систему надлишку енергії, зокрема при підпалі:

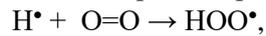


Наприклад, молекула метану руйнується з утворенням метилу і гідрогену:

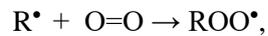
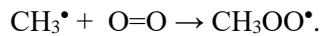
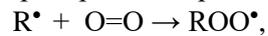


Ці частинки, їх називають вільними радикалам, надзвичайно активні і звичайно існувати у вільному вигляді більше, ніж 10^{-8} частки секунди не здатні. Вони миттєво реагують з молекулами кисню,

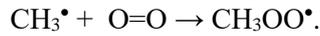
руйнуючи подвійний зв'язок цих молекул. В результаті виникають гідрогенпероксидні:



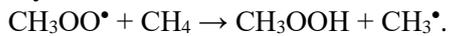
та алкілгідропероксидні радикали:



наприклад, метилгідропероксид:



Але ці радикали теж мають вільну валентність і миттєво руйнують свіжу молекулу горючої речовини з утворенням нової молекули (наприклад, метилгідропероксиду) і нового вільного радикалу:



Розрив пари електронів вимагає витрат енергії, а утворення нової пари – її виділення. Якщо при цьому утворення нової молекули дає більше енергії, ніж її потрібно для розриву старої, процес розвивається лавиноподібно, за ланцюговим механізмом. Один вільний радикал може започаткувати мільярди перетворень молекул кисню і молекул горючої речовини за одну секунду.

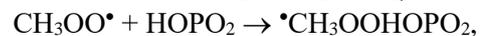
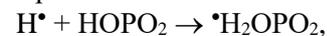
Фізико-хімічний механізм припинення горіння інгібуючими засобами полягає в їх здатності дезактивувати ці активні частинки горіння. Оскільки, зазвичай для припинення горіння такий засіб вводиться у кількості 2-3% від об'єму зони горіння, зрозуміло, що ні про охолоджуючу, ні про ізолюючу дію мови тут бути не може. Немоżliве зниження такою кількістю інгібатору концентрації горючих речовин і окисника, тобто флегматизуюча дія припинення горіння в цьому випадку теж неможлива.

Інгібітор дезактивує саме активні частинки, вільні радикали. Детальна топохімія цього процесу викликає дискусію. Положення про розклад інгібатору в зоні горіння з утворенням в свою чергу вільних радикалів, які вибірково реагують з вільними радикалами горіння, - викликає обґрунтовані заперечення. І активних частинок горіння і фрагментів гомолітичного розкладу інгібатору кожної миті виникає одна-дві на мільярди цілих молекул. Вірогідність їх зустрічі в середовищі мільярдів цілих молекул окисника і молекул парів горючих речовин практично дорівнює нулю. Положення про адсорбцію і концентрування активних

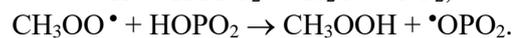
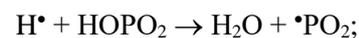
частинок на поверхні інгібатору із взаємною дезактивацією їх – теж доказів не має. Вилонити за мить дві частинки з мільярдів цілих молекул нездатна ніяка селективність.

Більш вірогідними є погляди, що панують в суміжній галузі, хімії високомолекулярних сполук. Дію інгібаторів полімеризації (гідрокінонів і ін.) пояснюють не взаємодією активних частинок між собою, а їх реакцією з цілими молекулами інгібатору, яких в системі не одна-дві на мільярд цілих молекул, а два-три відсотка від об'єму. Відриваючи від молекули інгібатору атом або групу атомів з неспареним електроном активна частинка перетворюється у стабільну молекулу. В молекулі ж інгібатору неспарений електрон з'являється.

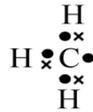
На перший погляд, нічого не змінилося, і ланцюгова реакція перерватися не повинна. Але різниця полягає у тому, що, на відміну від невеликих за розмірами активних частинок горіння з малою загальною кількістю електронів, значні за розмірами молекули інгібатору мають на зовнішніх орбітах атомів значно більшу кількість електронних пар, які мають змогу обмінюватися орбіталами всередині молекули. Згідно з теорією резонансу вільний електрон тут «делокалізується», він має можливість мігрувати всередині молекули. Утворений з молекули інгібатору радикал існує у вільному вигляді значно довший час, навіть цілі секунди. За цей час система встигає охолотитися і нові активні частинки не утворюються. Коли невеликий вільний радикал зустрічається з молекулою інгібатору, він приєднується до цієї молекули, утворюючи комплекс:



або відриває від неї атом чи групу атомів:



В обох випадках у новому радикалі вільний електрон має для делокалізації значно кращі умови. Якщо у радикалі з водню (H) електрон взагалі тільки один, а у радикалі з метану на зовнішніх орбітах атомів в сумі лише 7 електронів, 6 з яких знаходяться на стабільних орбіталах:



то при інгібуванні горіння, наприклад, солями фосфорної кислоти, на трьох енергетичних рівнях утворених нових радикалів, крім неспареного електрону, розташовані ще 7 пар електронів. І кожен таку пару один неспарений електрон має змогу тимчасово роз'єднати, не виходячи за межі молекули і без обміну енергією з оточуючим середовищем.

Таким чином, аналіз фізико-хімічного механізму припинення горіння інгібуючими засобами доводить, що для забезпечення ефективності застосування порошкових засобів їх не треба обов'язково розкладати, достатньо просто забезпечити достатньо рівномірний розподіл засобу в об'ємі зони горіння.

Ефективність дії засобу в першу чергу залежить від його типу і складу. Вогнегасною компонентою в засобах на основі високопористих носіїв, іммобілізованих вогнегасними солями, є фосфорнокислі солі амонію, амонійфосфат та діамонійфосфат.

Амонійфосфат розкладається на метафосфорну кислоту, аміак та воду при температурі 250°C:



Діамонійфосфат менш стійкий. Вже при температурі 155°C, одночасно з плавленням, він розкладається на амонійфосфат та аміак. Інгібуючими властивостями володіють всі фосфоровмісні сполуки, і нерозкладені солі, і продукти їх розкладу. Для припинення горіння інгібітор повинен контактувати безпосередньо з активними частинками горіння, тобто знаходитись в їх зоні. Отже, незалежно від того, десорбується вогнегасна сіль з пор носія нерозкладеною, чи спочатку розкладається, а десорбуються її фрагменти, для впливу на горіння або тління сіль та продукти її розкладу повинні вийти з порожнин назовні. Таким чином, механізм гасіння в даному випадку включає обидва

процеси: фізичний (десорбцію) та один (взаємодію інгібітору чи його фрагментів з активними частинками горіння) або два (розклад солі і потім взаємодію інгібітору чи його фрагментів з активними частинками горіння) хімічні. Хімічні процеси проходять з великими швидкостями, десорбція ж вимагає попереднього прогріву носія, який тепло проводить погано. Отже, ефективність застосування такого вогнегасного засобу напряму залежить від швидкості і повноти десорбції вогнегасних солей або їх фрагментів з пор носія. В свою чергу, ця швидкість залежить від марки носія та умов десорбції, і може бути визначеною за динамікою втрати маси зразка при умовах, близьких до тих, що складаються при виникненні пожежі на торфовищі. .

Для досліджень було обрано спучений вермікуліт виробництва ТОВ «Укрвермікуліт» двох марок: FINE UE та FINE ZU, які відрізняються технологією спучування, і, як результат, кількістю та розмірами відкритих пор. Дослідження проводилися при температурах 200, 400, 600 та 800°C. Як було визначено раніше [12], час гасіння полум'я таким засобом складав 8-15 хвилин, в залежності від складу засобу. Тому в цьому дослідженні часом витримки при кожній температурі було обрано 10 хвилин. В промисловості спучений вермікуліт виготовляють з природного вермікуліту при температурі близько 1000°C, і теоретично до температури у 800°C масу він втрачати не повинен. Але під час зберігання і транспортування цей пористий матеріал адсорбує пил та вологу, які при визначенні втрати маси можуть стати джерелом похибок. Тому одночасно проводилися «холості» визначення, нагріванням в тотожних умовах зразків неіммобілізованого носія. Отримані результати, наведені в таблицях 1 та 2, і були використані як поправки при розрахунку втрати маси вогнегасної солі під час проведення досліджень з десорбції таких солей (таблиці 3-6).

Таблиця 1

Втрата маси зразків при нагріванні зразків спученого вермікулиту марки FINE ZU

№ з/п	Температура, °С	Маса зразка, г	Втрата маси		
			г	%	Середня, %
1	2	3	4	5	6
1	200	6,654	0,293	4,4	4,6
2	200	7,174	0,344	4,8	
3	400	6,654	0,326	4,9	5,1
4	400	7,174	0,373	5,2	
5	600	6,654	0,372	5,6	5,6
6	600	7,174	0,402	5,6	
7	800	6,654	0,419	6,3	6,5
8	800	7,174	0,473	6,6	

Таблиця 2

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікулиту марки FINE UE при нагріванні

№ з/п	Температура, °С	Маса зразка, г	Втрата маси		
			г	%	Середня, %
1	2	3	4	5	6
1	200	10,548	0,148	1,4	1,6
2	200	8,452	0,144	1,7	
3	400	10,548	0,200	1,9	2,0
4	400	8,452	0,177	2,1	
5	600	10,548	0,232	2,2	2,3
6	600	8,452	0,211	2,5	
7	800	10,548	0,253	2,4	2,5
8	800	8,452	0,220	2,6	

Таблиця 3

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікулиту марки FINE ZU, іммобілізованого амонійфосфатом (0,42 г/г)

№ з/п	Температура, °С	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	10,933	4,591	0,668	0,503	0,165	3,6	3,7
2	200	8,489	3,565	0,525	0,390	0,135	3,8	
3	400	10,933	4,591	2,156	0,558	1,598	34,8	35,0
4	400	8,489	3,565	1,749	0,498	1,251	35,1	
5	600	10,933	4,591	4,005	0,612	3,393	73,9	74,2
6	600	8,489	3,565	3,203	0,547	2,656	74,5	
7	800	10,933	4,591	4,334	0,711	3,623	78,9	79,3
8	800	8,489	3,565	3,466	0,635	2,831	79,4	

Таблиця 4

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікуліту марки FINE ZU, іммобілізованого діамонійфосфатом (0,42 г/г)

№ з/п	Температура, °С	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	8,393	3,525	0,545	0,386	0,159	4,5	4,7
2	200	5,698	2,393	0,377	0,262	0,115	4,8	
3	400	8,393	3,525	2,113	0,428	1,685	47,8	48,2
4	400	5,698	2,393	1,454	0,297	1,157	48,3	
5	600	8,393	3,525	3,216	0,470	2,746	77,9	78,4
6	600	5,698	2,393	2,209	0,326	1,883	78,6	
7	800	8,393	3,525	3,694	0,546	3,148	89,3	89,6
8	800	5,698	2,393	2,529	0,378	2,151	89,8	

Таблиця 5

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікуліту марки FINE UE, іммобілізованого амонійфосфатом (0,44 г/г)

№ з/п	Темпера-тура, °С	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	7,334	3,227	0,246	0,117	0,129	4,0	4,2
2	200	6,889	3,031	0,507	0,110	0,130	4,3	
3	400	7,334	3,227	1,506	0,147	1,359	42,1	42,3
4	400	6,889	3,031	1,426	0,138	1,288	42,5	
5	600	7,334	3,227	2,441	0,169	2,272	70,4	70,6
6	600	6,889	3,031	2,304	0,158	2,146	70,8	
7	800	7,334	3,227	2,568	0,183	2,385	73,9	74,3
8	800	6,889	3,031	2,430	0,172	2,255	74,4	

Таблиця 6

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікуліту марки FINE UE, іммобілізованого діамонійфосфатом (0,44 г/г)

№ з/п	Темпера-тура, °С	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	7,583	3,337	0,294	0,121	0,173	5,2	5,4
2	200	8,344	3,671	0,335	0,133	0,202	5,5	
3	400	7,583	3,337	1,797	0,152	1,665	49,9	50,1
4	400	8,344	3,671	1,998	0,167	1,831	50,3	
5	600	7,583	3,337	2,844	0,174	2,770	83,0	83,2
6	600	8,344	3,671	3,253	0,192	3,061	83,4	
7	800	7,583	3,337	3,233	0,190	3,043	91,2	91,4
8	800	8,344	3,671	3,567	0,208	3,359	91,5	

Як впливає з даних, наведених в таблицях 1 - 6, спучений вермікуліт при нагріванні до температури 800°C за 10 хвилин втрачає від 1,6 до 6,5 % маси (в

залежності від марки і партії), тобто виділяє пил та вологу, адсорбовані ним під час зберігання та транспортування. Вермікуліт, іммобілізований амонієвими солями

фосфорної кислоти, до температури 200°C - 300°C в основному теж десорбує пил та вологу. Інтенсивне виділення амонію і діамонійфосфатів та продуктів їх розкладу починається при температурі в 400-500°C. При цьому помітної різниці в швидкості вивільнення вогнегасної компоненти засобом на основі FINE UE і засобом на основі FINE ZU не помічено. Що ж стосується солей амонію, то діамонійфосфат (або фрагменти його розкладу) при всіх температурах і у випадку обох носіїв десорбуються інтенсивніше, ніж амонійфосфат. До температури 800°C засіб з діамонійфосфатом здатний виділити в зону горіння близько 90% наявного в ньому інгібітору.

Пожежі на торфовищах починаються за примусовим фізико-хімічним механізмом, тобто в перші хвилини вони займають невелику площу, але відразу досягають температур у 800-900°C. Швидкість поширення цієї пожежі невелика, 150-200 м за годину. Отже, за 10-12 хвилин, необхідних для прогріву носія і виходу з його пор вогнегасних компонентів, джерело полум'я буде мати умовний радіус 15-20 м, тобто з великою часткою вірогідності знаходиться у межах досяжності десорбованих з носія дрібнодисперсних частинок вогнегасних солей або фрагментів їх розкладу. Цю вірогідність треба збільшувати. Отже, задля підвищення надійності і ефективності дії цього засобу, подальші дослідження мають бути спрямовані на зменшення часу, необхідного для вивільнення діючої компоненти з пор носія з тим, щоб вивільнення інгібітору починалося протягом часу, за який пожежа не встигне поширитися на значну площу.

Обговорення результатів.

1. Більшість існуючих засобів пожежогасіння для запобігання пожежі на

торфовищах непридатні або мало ефективні. Оптимальними можуть бути засоби на основі спученого вермікуліту, іммобілізованого амонієвими солями фосфорної кислоти.

2. Фізико-хімічний механізм інгібування горіння такими засобами складається з двох стадій: фізичної десорбції вогнегасних компонентів з пор носія і хімічної взаємодії цих компонентів з вільними радикалами - активними частинками горіння, результатом якої є утворення нового вільного радикалу із значно меншою активністю.

3. Стадією, яка в даному випадку лімітує процес припинення горіння є фізична стадія; десорбція, яка вимагає попереднього прогріву мінерального носія.

4. При прогріві повнота десорбції амонієвих солей фосфорної кислоти від типу спученого вермікуліту практично не залежить.

5. При однакових температурах діамонійфосфат вивільнює інгібітори горіння з пор носія з більшою повнотою, ніж амонійфосфат.

6. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на скорочення часу прогріву носія, що може бути досягнуто заміною спученого вермікуліту іншим високопористим носієм мінерального або органічного походження.

Висновок.

У цій роботі проведено аналіз фізико-хімічного механізму придушення полум'я та тління на торфовищах засобами на основі високопористого мінерального носія (спученого вермікуліту), іммобілізованого вогнегасними солями (амонієвими солями фосфорної кислоти) і визначено залежність повноти виділення інгібітору з пор носія від їх складу.

В.К.Словінський. Оцінка кількості шкідливих речовин в продуктах згорання при пожежі на торфовищах, та екологічних втрат внаслідок такої пожежі. Colloquium-journal №4 (163), 2023, Część 1, С. 52-57, (Warszawa, Polska)

4. «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру». Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 року № 175.

5. «Про затвердження Порядку встановлення нормативів збору за забруднення

Список літератури

1. Катерина Борисенко. Торф&арос;яники, чому вони горять і їх справжня цінність. <https://life.Pravda.com.ua/columns/2020/04/17/240641/>.

2. Мігаленко К. І., Слагін Г. І., Ленартович Є. С. Дослідження продуктів згорання зразків торфу Ірдинського родовища Черкаської області. Вісник Черкаського державного технологічного університету, № 2, 2008. С.134 – 137.

3. І.О.Несен, Г.І.Слагін, М.А.Куценко, О.С.Алексеева, О.М.Нуязін, А.Г.Алексеев,

навколишнього природного середовища і стягнення цього збору. Постанова кабінету міністрів України від 1 березня 1999 р. № 303.

6. Спосіб обмеження розповсюдження пожеж на торф'яниках Патент України UA № 135418 МПК А62С 2/06, публ. 25.06.2019, бюл. № 12

7. Спосіб профілактики пожежонебезпечної площі торф'яного родовища Патент України UA № 104989 МПК А62С 2/08, публ. 25.02.2016, бюл. 4.

8. Кирилів Я. Б., Ковалишин В. В., Сукач Р. Ю. Пожежна небезпека торф'яників торфорозробок та методи і засоби підвищення ефективності їх гасіння. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

9. Спосіб запобігання поширення пожежі на торфовищі Патент України UA № 153448 МПК А62С 3/02, публ. 05.07.2023, бюл. № 27.

References

1. Borysenko, K. (2020). Torfianyky, chomu vony horiat i yikh spravzhnia tsinnist [Peatlands: Why they burn and their true value]. *Ukrainska Pravda*. Life. <https://life.pravda.com.ua/columns/2020/04/17/240641/> (in Ukrainian).

2. Mihalenko, K. I., Yelagin, H. I., & Lenartovych, Ye. S. (2008). Doslidzhennia produktiv zghorannia zrazkiv torfu Irdynskoho rodovyshcha Cherkaskoi oblasti [Study of combustion products of peat samples from the Irdyn deposit of Cherkasy region]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*, (2), 134–137. (in Ukrainian).

3. Nesen, I. O., Yelagin, H. I., Kutsenko, M. A., Aleksieieva, O. S., Nuianzin, O. M., Aliksieiev, A. H., & Slovinskyi, V. K. (2023). Otsinka kilkosti shkidlyvykh rehovyn v produktakh zghorannia pry pozhezhi na torfovyyshchakh ta ekolohichnykh vtrat vnaslidok takoi pozhezhi [Assessment of the amount of harmful substances in combustion products during

peatland fires and environmental losses as a result of such fire]. *Colloquium-journal*, 4(163), Part 1, 52–57. Warszawa, Poland. (in Ukrainian).

4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2002). Pro zatverdzhennia Metodyky otsinky zbytkiv vid naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii tekhnogennoho i pryrodnoho kharakteru [On approval of the Methodology for assessing losses from the consequences of man-made and natural emergencies]. Resolution No. 175, February 15, 2002. (in Ukrainian).

5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (1999). Pro zatverdzhennia Poriadku vstanovlennia normatyviv zboru za zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho sere dovyyshcha i stiahnennia tsoho zboru [On approval of the Procedure for establishing standards for environmental pollution charges and their collection]. Resolution No. 303, March 1, 1999. (in Ukrainian).

6. Patent UA No. 135418. (2019). Sposib obmezhenia rozpovsiudzhennia pozhezhi na torfianyky [Method of limiting the spread of fires in peatlands]. IPC A62C 2/06. Published 25.06.2019, Bulletin 12. (in Ukrainian).

7. Patent UA No. 104989. (2016). Sposib profilaktyky pozhezhonebezpechnoi ploshchi torfianoho rodovyyshcha [Method of preventing fire-hazardous area of peat deposit]. IPC A62C 2/08. Published 25.02.2016, Bulletin 4. (in Ukrainian).

8. Kyryliv, Ya. B., Kovalyshyn, V. V., & Sukach, R. Yu. (n.d.). Pozhezha nebezpeka torfianykyv torforozrobok ta metody i zasoby pidvyshchennia efektyvnosti yikh hasinnia [Fire hazard of peat extraction sites and methods and means of increasing the effectiveness of their extinguishing]. In *Nadzvychaini sytuatsii: bezpeka ta zakhyst* (Proceedings of the IX All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation). Cherkasy: ChIPB im. Heroiv Chornobylia, NUTSZ Ukrainy. (in Ukrainian).

9. Patent UA No. 153448. (2023). Sposib zapobihannia poshyrennia pozhezhi na torfovyyshchi [Method of preventing fire spread on peatland]. IPC A62C 3/02. Published 05.07.2023, Bulletin 27. (in Ukrainian).

Слагін Георгій Іванович - кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2577-6430>

E-mail: GYelagin@ukr.net

Кришталь Дмитро Олександрович – кандидат наук з державного управління, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-4574>

E-mail: kryshtal_dmytro@nuczu.edu.ua

Алексеев Анатолій Глібович - кандидат хімічних наук, доцент, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії з дослідження проблем управління у сфері цивільного захисту навчально-наукового інституту цивільного захисту, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4114-5807>

E-mail: agalex@ukr.net

Гавриленко Наталія Миколаївна - науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1681-7360>

E-mail: gavrnn@ukr.net

Куценко Марія Анатоліївна - кандидат економічних наук, доцент, докторант, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6879-9187>

E-mail: kutsenko_maria@ukr.net

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF FIRE-EXTINGUISHING ACTION OF MEANS FOR PREVENTING THE SPREAD OF FIRES IN PEATLANDS

Purpose. *In order to improve the effectiveness of preventing the spread of fires in peatlands, means based on highly porous mineral carriers, in particular expanded vermiculite immobilized with fire-extinguishing salts, were studied. Special attention was given to the analysis of the physico-chemical mechanism of their action, which includes a physical stage (release of the inhibitor from the pores of the carrier) and a chemical stage (interaction of the inhibitor with active combustion particles).*

Methodology. *To determine the influence of the composition of the means on the mechanism of fire suppression, a topochemical analysis of the interaction of the inhibitor with radicals was carried out, and the dependence of the completeness of its release from the pores of the carrier on the grade of expanded vermiculite and the type of fire-extinguishing salt (ammonium phosphate, diammonium phosphate) was studied under temperatures characteristic of peat combustion conditions.*

Results. *It was established that explanations of the mechanism of deactivation of active combustion particles through their adsorption on the surface of the inhibitor or homolytic decomposition of molecules are insufficiently substantiated. The most convincing hypothesis is the interaction of active particles with whole inhibitor molecules, resulting in the formation of a complex that delocalizes the free valence and significantly reduces the activity of radicals. It was proven that the completeness of inhibitor release hardly depends on the grade of expanded vermiculite; however, diammonium phosphate showed better results.*

Scientific novelty. *The understanding of the physico-chemical mechanism of action of fire-extinguishing means based on highly porous mineral carriers has been improved. The delocalization mechanism of reducing the activity of free radicals during combustion was substantiated, which provides a more precise explanation of the inhibiting effect.*

Practical value. *The research results confirm the effectiveness of using diammonium phosphate as a combustion inhibitor and outline promising directions for further studies, particularly the search for more suitable highly porous carriers to reduce the induction period of the agent's action.*

Keywords: *peatlands, peat combustion, combustion inhibitors, fire-extinguishing means, highly porous carriers, immobilization, expanded vermiculite.*

Georgiy Yelagin - Candidate of Chemical sciences, senior staff scientist, leading research worker of the Research Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2577-6430>

E-mail: GYelagin@ukr.net

Dmytro Kryshtal – Candidate of Sciences in Public Administration, Senior Research Scientist Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-4574>

E-mail: kryshtal_dmytro@nuczu.edu.ua

Alekseev Anatoly - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Research worker of the Research Laboratory for the Study of Management Problems in the Field of Civil Defense of the Educational and Scientific Institute of Civil Defense of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4114-5807>

E-mail: agalex@ukr.net

Nataliia Havrylenko – Research worker of the Research Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire Safety of the National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1681-7360>

E-mail: gavrnn@ukr.net

Maria Kutsenko - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Doctoral Student at the National University of Civil Defense of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6879-9187>

E-mail: kutsenko_maria@ukr.net