

УДК 614.842.68

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ГЕЛЕВИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ГАСІННЯ СМІТТЄЗВАЛИЩ І ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

<https://doi.org/10.33269/nvcs.2022.2.122-133>

Кодрик, А. І., ORCID iD 0000-0002-3787-5674

Тітенко О. М., ORCID iD 0000-0002-4950-8580

Борисов, А. В. ORCID iD 0000-0001-6858-0492

Мороз, О. І. ORCID iD 0000-0002-8985-8593

Тимошенко, О. М., ORCID iD 0000-0001-7568-5030

Стилик І. Г., ORCID iD 0000-0002-8474-2014

*E-mail: andr.borisov@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції:

10.11.2022

Пройшла рецензування:

19.11.2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

безпека праці, полігони
ТПВ, пожежогасіння,
полімерні
гелеутворювальні сполуки,
в'язкість речовини,
газоподібні та рідкі
речовини, структура
сміттєзвалища

АНОТАЦІЯ

Розглянуто небезпеки, пов'язані з ліквідацією пожеж і надзвичайних ситуацій на об'єктах сміттєзвалищ та полігонів побутових відходів. Проведено аналіз вітчизняних і зарубіжних джерел за напрямом досліджень. Виявлено, що особливості гасіння цих об'єктів пов'язані зі складом та структурою горючих матеріалів, які можуть утворювати безліч осередків тління, мають спроможність до повторного займання та відносно низьке значення пожежного навантаження. Встановлено, що активну участь у підтриманні процесу горіння бере повітря, яке надходить з навколишнього середовища через пористу структуру сміттєзвалища. Зазначено, що наявні технології гасіння полігонів не є ефективними. Досліджено процес виходу продуктів згоряння крізь пористе тіло, яким є структура звалища. З огляду на це отримано інформацію про просторове розгалуження потоків нагрітих газів, на підґрунті чого розроблено схему проходження повітряних потоків від виходів. Визначено можливі шляхи підвищення ефективності ізолювання та гасіння пожеж полігонів побутових відходів. Як нову вогнегасну речовину пропонується розглянути водний розчин полімерної гелеутворювальної речовини типу ECOFLOC A-07 із додаванням поверхнево-активних речовин. Використання розчину гідрогелю у концентрації до 0,3 % у 2...3,5 рази підвищує коефіцієнт використання води порівняно із застосуванням лише води. У разі використання гелю під час гасіння вогнищ унеможливується повторне загоряння, навіть за подальшої дії відкритим полум'ям. Частки гелю перекривають повітряні канали, блокуючи доступ повітря через тіло, всередині тіла та на його поверхні температура не перевищує 80–100°C. Визначено ефективність використання гідрогелів щодо їх витрати та товщини гідрогелевих плівок різної в'язкості порівняно з водою. Змінюючи концентрацію гелеутворювальних добавок можна варіювати в'язкість, випаровуваність розчину та глибиною проникнення вогнегасної речовини до середовища. Наявність у складі гідрогелю солей калію призводить не тільки до збільшення коефіцієнта використання води до 5,4 рази, а й дає можливість поєднати ефективне охолодження осередку пожежі через збільшення ефективності використання води з інгібувальним ефектом. Вогнегасний розчин із добавкою полімерного гідрогелю під дією температури утворює полімерну плівку, яка збільшує адгезію як до палаючої, так і до поверхні, що захищається від загоряння, водночас ізолює її від доступу кисню, перешкоджаючи інтенсивному стіканню вогнегасної речовини, частково заповнюючи пористу структуру сміттєзвалища, має підвищені вогнегасні властивості та суттєво зменшує втрати вогнегасної речовини. Отримані результати свідчать про можливість застосування водних вогнегасних розчинів з використанням в'язких гідрогелів під час гасіння твердих речовин в атмосферних умовах, але зазначене потребує подальших досліджень.

Постановка проблеми. Полігони твердих побутових відходів (далі – ТПВ) є потенційно небезпечними об'єктами, на яких використовують та/або виготовляють, переробляють, зберігають чи транспортують небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші матеріали, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії [1–3].

Тіло полігону (рис. 1) не є цільною однорідною масою, воно завжди має повітряні кишені (канали) в тілі звалища, якими розподіляється повітря, що підтримує процес горіння. Кишені утворюються внаслідок складування великогабаритного сміття, недостатнього трамбування та відсутності пересипки маси, потоків після проходження атмосферної води, тому структура його постійно змінюється, що ускладнює роботи з його гасіння [4–7].

Гасіння пожеж полігонів побутових відходів має особливості, пов'язані зі складом та структурою горючих матеріалів, які можуть утворювати безліч осередків тління, мають спроможність до повторного займання та відносно низьке значення пожежного навантаження порівняно з техногенним. Отже, вирішення питання підвищення ефективності гасіння пожеж, які виникають на сміттєзвалищах і полігонах твердих побутових відходів, є надзвичайно актуальним.



Рисунок 1 – Найбільше звалище України - Грибовицьке – село Великі Грибовищі Жовківського району в декількох кілометрах від Львова

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Горіння на сміттєзвалищах виникає зазвичай через різке підвищення швидкості екзотермічних хімічних та біохімічних процесів, без зовнішнього джерела запалювання. У товщі сміттєзвалища акумулюється велика кількість горючих матеріалів, які виділяють шкідливі газоподібні та рідкі речовини, також наявна органіка – до 50%, що під час розкладання виділяє, зокрема, метан, який у разі займання активно підтримує горіння. Теплові потоки газових продуктів екзотермічних реакцій ініціюють механізми циркуляції газів у товщі звалища та введення свіжих повітряних мас, що за умови перевищення кількості тепла, яке виділяється під час екзотермічних реакцій, і кількості віддачі тепла в навколишній простір призводить до самозаймання горючих речовин.

У [7] встановлено, що пожежна безпека сміття залежить від ущільнення полігонів ТПВ. Чим більша щільність сміття на полігонах, тим менша ймовірність виникнення пожеж унаслідок самозаймання. У роботі [4] виконано математичне моделювання процесу виходу продуктів згоряння крізь пористе тіло, яким є структура звалища. Це дало змогу отримати інформацію про просторове розгалуження потоків нагрітих газів, на основі яких розроблено схему (рис. 2) проходження повітряних потоків від виходів.

Згідно з результатами статистичної обробки та нашими вимірами [4] можна констатувати, що середнє значення коефіцієнта повітропроникності середовища сміттєзвалища складає близько 5000 Дарсі з відносною середньоквадратичною похибкою 9% та відносним граничним відхиленням 18% з довірчою ймовірністю 95%.

Були визначені наближені геометричні співвідношення між глибиною осередку пожежі (H), діаметром поверхні виходу продуктів згоряння (d), поверхні, через яку надходять свіжі маси повітря (кільце між D та d), та розроблена розрахункова модель горіння сміття під час займання в товщі сміттєзвалища.

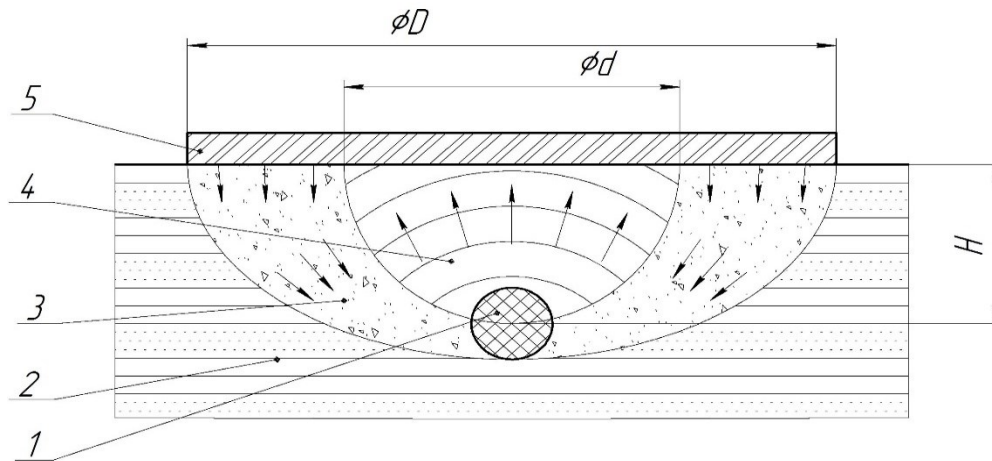


Рисунок 2 – Переріз сміттєзвалища у місці осередку пожежі.

1 – Осередок пожежі, 2 – переріз сміттєзвалища, 3 – потік повітря з навколишнього середовища, 4 – потік продуктів згоряння, 5 – шар захисного вогнегасного матеріалу

Активну участь у підтриманні процесу горіння бере повітря, яке надходить з навколишнього середовища через пористу структуру сміттєзвалища. Співвідношення між глибиною розташування одиночного осередку пожежі до максимального діаметра можливого підсосу повітря з поверхні становить 1:2. У разі дифузійного горіння концентрація компонентів горючої суміші в зоні реакції горіння залежить від вмісту кисню в повітрі, що надходить в зону реакції горіння, і швидкості надходження горючих парів або газів в цю зону. З огляду на це [5–8] для зниження концентрації компонентів горючої суміші в зоні реакції рекомендовано два способи.

Перший – змінити склад повітря, який надходить в зону реакції горіння, знизивши в ньому вміст кисню до критичного значення, або розбавити газоподібні продукти, які надходять в зону реакції, інертними добавками. Такий метод припинення горіння отримав назву флегматизації або розведення.

Другий – припинити або зменшити до критичного значення кількість окиснювача, який надходить в зону реакції горіння, або продуктів випаровування пального за допомогою ізоляції компонентів горючої суміші один від одного, або поверхні пального від теплового впливу зони горіння. Такий метод припинення горіння називається

ізоляцією і буде розглянутий нижче під час його використання для локалізації та гасіння пожежі на сміттєзвалищах і полігонах ТПВ.

Застосування цього методу є ефективним у разі тління, але можливе його використання й під час полуменевого горіння. Зазначимо, що за концентрації кисню нижче 14–18% за обсягом припиняється тільки полуменеве горіння, а можливе й тління. Отже, під час припинення горіння твердих речовин необхідно ще тривалий час підтримувати потрібну концентрацію повітря, перш ніж забезпечити доступ повітря в зону горіння. Ефективність гасіння пожежі цим способом залежить від швидкості руйнування ізолювального шару на нагрітій поверхні палаючої речовини.

Для ліквідації загорянь на полігонах ТПВ використовують воду, вогнегасні порошки та повітряно-механічну піну [5; 6; 8]. Основним матеріалом, безумовно, є вода. Нанесена вода не використовується повністю, більша її частина просочується до нижніх шарів тіла звалища та призводить до таких негативних побічних наслідків, як підмивання сміття, утворення пустот у тілі полігону, утворення у підшві полігону кислотних озер і, як наслідок, виникнення провалів та зсувів окремих масивів сміттєзвалища, а також підвищення вологості у товщі

сміттєзвалища, що активізує хімічні реакції речовин.

У разі застосування піни, яка має низьку або середню кратність, за підвищених температур відбувається випаровування води. Піна має невеликий термін життєздатності та не може тривалий час підтримувати потрібну концентрацію кисню, що знову може призвести до займання складових полігону.

Ліквідація цих недоліків призводить до високих витрат води на гасіння, проведення операцій з додаткового гасіння осередків пожежі, що виникають після основного гасіння, та висування особливих вимог до водних вогнегасних речовин для їх гасіння.

Згідно з [5] у США використовують методи гасіння на основі запобігання потрапляння повітря на тліючу площу або охолодження займистого матеріалу. Дослідження пожеж, проведених у США [5], показало, що основним методом пожежогасіння є екскавація (викопування) відходів, які горять (40%), та накриття їх ґрунтом (29%) (рис. 3). Пожежогасіння водою використовується регулярно (17%), проте не так, як ґрунтовий метод, і завжди поєднується з ґрунтовим накриттям, екскавацією або разом. Зазначено, що нездатність погасити пожежу водою можливо пов'язана з подвійним впливом води на охолодження палаючих твердих відходів, а саме: це стимулювання його зменшення, але сприяння температурному зростанню. Також вода переважно може протікати через тверді відходи та витікати із площі тління. Введення інертного газу майже не використовувалося, лише щодо 3% звалищ повідомляли про введення (використання) інертного газу. Майже щодо 11% повідомляли про використання інших методів, а саме – накриття відходів піною або геомембраною та виключення (не використання) системи вилучення звалищного газу. Зазначимо, що в Україні такий аналіз не проводився.



Рисунок 3 - Методи гасіння в США

Цілі досліджень, постановка завдання. Підвищення ефективності водних вогнегасних розчинів можливе через застосування комбінованих вогнегасних речовин із використанням нового покоління гелеутворювальних речовин, так званих гідрогелів [9–12], які істотно полегшили роботу з їх використання, стали більш надійними і безпечними для навколишнього середовища та пристосувань. Гідрогель – це зшитий сополімер калієвої і амонійної солей акрилової кислоти, в якому немає солі натрію, що негативно впливає на металеві та інші поверхні.

Під час змішування з водою полімер миттєво її адсорбує, що за впливу особливих активаторів призводить до швидкої фазової інверсії емульсії, що звільняє аніонний полімер, який починає активно поглинати велику кількість води, водночас збільшуючи в'язкість розчину води залежно від концентрації гелевого концентрату. Концентрацію гелю у водних розчинах змінювали від 0,01 до 0,4% залежно від подальшого призначення розчину. Отриманий гель може використовуватися для гасіння пожеж твердих горючих матеріалів, пожеж екосистем, полігонів побутових відходів.

Залежно від фізико-хімічних показників, що визначають призначення, продукт класифікують як вогнегасну речовину або засіб вогне-, теплозахисту.

Гідрогель не випаровується і щільно накриває вогнище загоряння. Перевагою застосування гідрогелів [9; 11] є їх висока

оперативна вогнезахисна дія. Зв'язуючи воду на молекулярному рівні, гель у 15 разів підвищує охолоджувальну здатність води, утворює захисне покриття на поверхні твердих горючих матеріалів, локалізує та ліквідує осередки горіння. Одного літра концентрату достатньо для обробки масиву площею 24...40 м². Він протистоїть вогню протягом 24 год. Крім того, на відміну від піни та інших токсичних порошків, які застосовуються для гасіння пожеж, гідрогель екологічно безпечний. Отриманий гель може використовуватися для гасіння пожеж твердих горючих матеріалів, пожеж екосистем, полігонів побутових відходів.

Потребує дослідження властивість розчину полімеру «прилипати» до палаючої поверхні, захищає поверхні від загоряння, ізолюючи її від доступу кисню, його інгібувальні властивості через вміст калію у складі та здатність до гальмування інтенсивного стікання розчину з поверхні. Попередньо встановлена його можливість багаторазово виділяти та адсорбувати водні розчини.

Застосування вогнегасного розчину з використанням гідрогелів потенційно має переваги:

- після нанесення розчину на поверхню через адгезивні властивості він залишається на поверхні сміттєзвалища тривалий час, забезпечуючи уникнення повторного займання;
- через значну його щільність та схильність до адгезії зі складовими полігону кількісна його потреба є значно меншою за воду;
- змінюючи концентрацію гелю у розчині, можна регулювати глибину його проникнення у тіло звалища.

Величина поверхневого натягу [11–12] у першому наближенні залежить тільки від вмісту ПАВ та його критичної величини, що наближено дорівнює 0,1 %, практично незалежно від вмісту інших компонентів. Величина відносної здатності до прилипання гідрогелю на основі полімерного гелеутворювача може досягати значних величин, від 7 до 8 разів порівняно з водою. У разі

додавання до цього ж складу 5 % ПАВ здатність до прилипання знижується до показника відносної (щодо води) здатності від 3 до 4 разів.

Висока відносна здатність до прилипання вогнегасної речовини на основі гідрогелю значно збільшує величину адгезійного та охолоджувального шару поверхні порівняно з водою. Захисний шар гідрогелю містить велику кількість води, яка прилипає до стінок, що може надійно захистити поверхні від нагріву. Це свідчить про можливість використання водного розчину полімерного гелеутворювача ECOFLOC F-07 сумісного з ПАР та мінеральними високодисперсними добавками фракційністю 20...60 меш, з концентрацією у воді від 0,01 до 0,4 % (далі – гідрогель) під час захисту й гасіння пожеж сміттєзвалищ і полігонів побутових відходів та потребує проведення досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Досліджувалися можливість використання як добавки до водних вогнегасних розчинів для гасіння повітропроникних матеріалів, якими є сміттєзвалища та полігони побутових відходів, вологого утримувального полімеру Ecofloc A-07 у вигляді розчину водорозчинних прозорих гранул, які підвищують адгезію розчину та здатні до плівкоутворення під час потрапляння на гарячу поверхню. Концентрацію гелю у водних розчинах змінювали від 0,01 до 0,4% залежно від подальшого призначення розчину.

Досліджувалися зміни в'язкості гідрогелю залежно від концентрації, його текучості та можливості проникнення у тіло повітропроникної структури, захисні властивості від відкритого полум'я, ефективність під час пожежогасіння. В основі вимірювання в'язкості вогнегасної речовини на основі гідрогелю близьких до верхньої межі діапазону лежить метод Стокса. Проведено фільмування падіння кульки в середовищі вогнегасної речовини

з фіксуванням часу падіння та довжини шляху падіння кульки.

На основі [13–14] виведена система рівнянь для визначення значень

$$\begin{cases} \omega(t) = \frac{D_s^2 \cdot (\rho_F - \rho) \cdot g}{18 \cdot \mu} \left(1 - \exp \left(- \left(\mu \cdot \frac{12}{D_s^2 \cdot \rho_F} \right) \cdot t \right) \right) \\ L = \int_{t_0}^{t_{fin}} \omega(t) \cdot dt \end{cases}$$

де: $\omega(t)$ – поточна швидкість кульки, м/с;

D_s – діаметр сталеві кульки, м;

ρ, ρ_F – густина випробуваної рідини та сталі, кг/м³;

$g=9.81$ м·с⁻² – прискорення вільного падіння;

μ – величина динамічної в'язкості випробуваної рідини, Па·с;

динамічної в'язкості залежно від максимальної швидкості тіла в умовах досліду

t – поточний час, с;

L – довжина падіння кульки, м.

Була визначена залежність в'язкості гідрогелевого середовища від долі гелеутворювача. Результати експериментів подані у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність динамічної в'язкості гідрогелевого середовища від долі гелеутворювача на полімерній основі.

№	Вода, %	Вміст гелеутворювача%	Динамічна в'язкість, Па·с
1	100	0	0.001
2	99.99	0.01	0.0125
	99.9975	0.025	0.038
3	99.95	0,05	0.067
4	99,9	0,1	0.0125
5	99.8	0.2	0.107
6	99.7	0.3	0.868
7	99.6	0.4	21.375

У графічному вигляді залежність в'язкості гідрогелю, близької до верхньої межі діапазону, зображена на рис. 4.

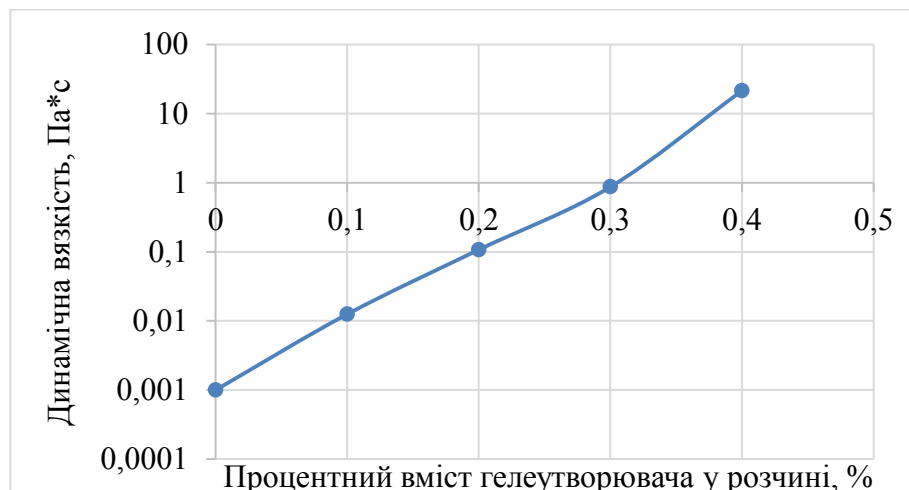


Рисунок 4 – Залежність динамічної в'язкості гідрогелевого середовища від частки гелеутворювача на полімерній основі

Використовуючи цей метод була визначена залежність в'язкості розчину у разі додавання у гідрогелеве середовище

ПАР. Встановлено, що додавання ПАР зменшує динамічну в'язкість приблизно удвічі, наприклад додавання 1,5%

піноутворювача у 0,2% розчин гідрогелю зменшує вязкість з 0,123 Па·с до 0,063 Па·с.

Рух рідини у пористому середовищі описується законом Дарсі [15], що має вигляд:

$$0 = -\vec{\nabla} \cdot p + \rho \cdot \vec{g} - \frac{\mu}{k_{pen}} \cdot \vec{\omega}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-2}, \quad (1)$$

де, k_{pen} – коефіцієнт Дарсі, або коефіцієнт проникності, що залежить від фізико-хімічних властивостей пористого середовища та визначається експериментально, м^2 , (Д);

ρ – густина рідини, що просочується крізь пористе середовище сміттєзвалища, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

g – величина прискорення земного тяжіння, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;

μ – динамічна в'язкість рідини, що просочується, Па·с;

ω – швидкість потоку рідини, що просочується крізь пористе середовище, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

З огляду на початкові умови відсутності градієнта тиску та розв'язуючи

рівняння (1) для нашого випадку в одновірному просторі (вертикальному), отримаємо величину швидкості потоку рідини, що просочується крізь пористе середовище сміттєзвалища:

$$\omega = k_{pen} \cdot \frac{\rho \cdot g}{\mu}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \quad (2)$$

Експериментально було встановлено залежність динамічної в'язкості від процентного вмісту гелеутворювача [11]:

$$\mu(p) = \mu_{H_2O} + 0.105 \cdot (p)^{2.679}, \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad (3)$$

де, μ_{H_2O} – динамічна в'язкість води, Па·с, p – процентний вміст гелеутворювача, %.

З огляду на формули (1), (2), (3) отримуємо залежність швидкості просочування рідини залежно від її в'язкості, що ілюструється рис. 5.

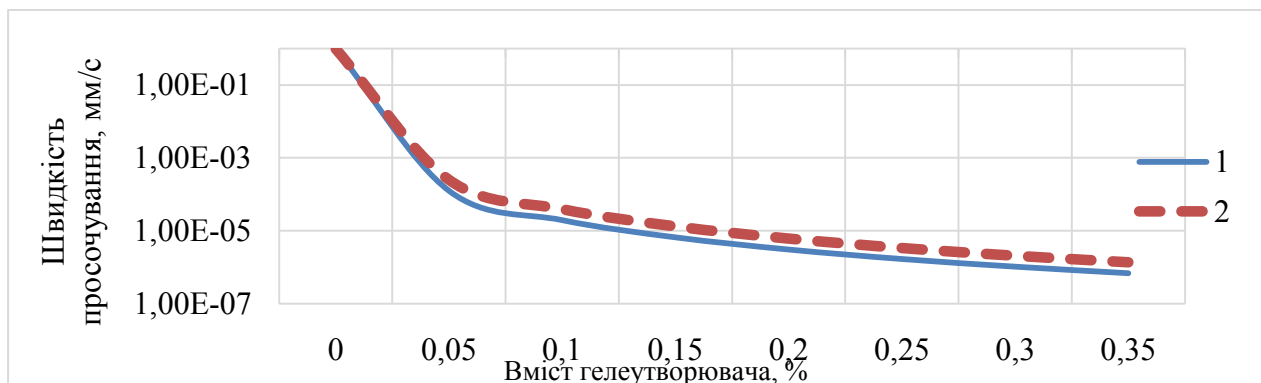


Рисунок 5 – Залежність швидкості дренажу крізь пористе середовище сміттєзвалища від процентного вмісту гелеутворювача, де: 1 – суміш гелеутворювача з водою; 2 – суміш гелеутворювача з водою з добавкою ПАВ

Досліджували проникнення водного розчину полімерного гелеутворювача ECOFLOC A-07, сумісного з ПАР та мінеральними високодисперсними добавками, фракційності 20...60 меш, з концентрацією у воді від 0,025 до 0,3 % (далі – гідрогель) у товщину пористого тіла соснової деревини фракційністю 3...15 мм та товщиною 1,5 мм. Визначали час займання дослідних зразків соснової деревини у кількості 4,5 г, розміщених у металевому деку зі співвідношенням його

висоти та зовнішнього діаметра як 1:2. Наносили 50 г вогнегасного розчину, давали витримку протягом 30 с, зважували та розміщували над полум'ям газової горілки (рис. 6 а,б) та фіксували час можливого займання. Визначений час займання сухої деревини склав 40 с, деревини, обробленої водою, – 135 с. Збільшення концентрації гелю у розчині підсилює захисний ефект.

Відомо [11], що у разі використання розчину з концентрацією гелю 0,025% та

вище починає збільшуватися величина умовної полімерної плівки, а частинки гелю, наповнені водою, під дією полум'я починають повільно зменшуватися у розмірах з утворенням захисної плівки, звільняючи воду, яка випаровується, займання не відбувається. Водночас температура на поверхні зразка не перевищує 100 °С за температури полум'я 800–850°С.

На рис. 6 наведено фото процесу визначення часу захисту деревини, обробленої розчином полімерного гелеутворювача, та загальний вид деревини у разі перебування під впливом полум'я. На рис. 6 с можна побачити частки гелю, який ще зберіг свої властивості утримуватися на поверхні разом із водою. Таким чином, водний розчин із концентрацією гелю більш ніж 0,03 % можна застосовувати як захисну речовину.



а)



б)



с)



д)

Рисунок 6 – Процес визначення часу займання деревини, обробленої розчином полімерного гелеутворювача

а) вид деревини після 60 с дії полум'я; в) вид деревини після 400 с дії полум'я; с) вид зверху на деревину після 500 с дії полум'я; д) вид знизу на деревину після 500 с дії полум'я

У разі застосування (використання) гелю під час гасіння вогнищ унеможливується повторне загоряння (рис. 6 с,д) навіть у разі подальшої дії відкритим полум'ям. Частки гелю перекривають повітряні канали, блокуючи доступ повітря через тіло, всередині тіла та на його поверхні температура не перевищує 80–100°С.

Проведено дослідження виявлення ефективності застосування гелевих розчинів під час гасіння пожеж порівняно з водними розчинами. У табл. 2 наведені результати експериментальних досліджень з визначення вогнегасної ефективності вогнегасних розчинів під час гасіння модельних вогнищ класу А для різних типів вогнегасної речовини.

Таблиця 2 – Результати експериментів щодо гасіння модельних вогнищ 1А та 2А

№ складу	Вага до, г	Вага після, г	Витрата, г	Вода, %	ПАВ, %	Полім. гелеутв. %	Тип вогнища	Збито полум'я, с	Умовні витрати на биття полум'я, г	Ефективність гасіння	Результат
1	13720	8320	5400	99.5	0.2	0.3	1А	32	2880	223.44	Погаш.
2	13620	7050	6570	99.8	0.2	0	1А	57	6242	103.10	Погаш.
3	13740	5845	7895	98.7	1	0.3	2А	20	1316	489.04	Погаш.
4	13340	4760	8580	94.0	6	0	2А	90	6435	100.00	Погаш.

З огляду на отримані дані побудовано залежності умовної маси витраченої водної вогнегасної речовини (далі – ВВР) на ліквідацію відкритого полум'я в перерахунку на модельне

вогнище 2А та відносної ефективності ВВР під час ліквідації відкритого полум'я в перерахунку на модельне вогнище 2А відповідно до номера складу вогнегасної речовини (рис. 7 та рис. 8).

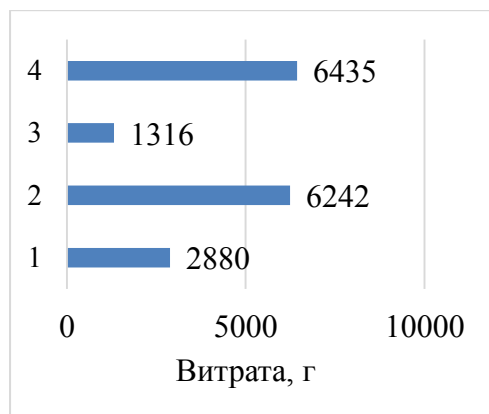


Рисунок 7 – Умовна маса витраченої ВВР на ліквідацію відкритого полум'я в перерахунку на модельне вогнище 2А відповідно до номера складу вогнегасної речовини



Рисунок 8 – Відносна ефективність ВВР під час ліквідації відкритого полум'я в перерахунку на модельне вогнище 2А відповідно до номера складу вогнегасної речовини

Висновки та напрями подальших досліджень. Отримані результати досліджень вказують, що додавання до водних розчинів гелеутворювальних сполук водопоглинального полімеру типу Esofloc F-07 підвищує вогнегасну ефективність розчину. Отже, під час гасіння пожеж полігонів побутових відходів, змінюючи концентрацію (в'язкість) гелю у розчині, можна регулювати глибину проливу вогнегасної речовини, фіксуючи її на встановленій відстані та ізолюючи від кисню прошарки, що лежать нижче, та цим підвищити ефективність гасіння. Також

слід відзначити утворення захисних плівок на поверхнях під час гасіння. На рис. 9 наведено погашене модельне вогнище з утвореними на поверхнях захисними плівками та частками гідрогелю, частково наповненими водним розчином. Отримані результати свідчать про можливість застосування водних вогнегасних розчинів з використанням в'язких гідрогелів під час гасіння твердих речовин в атмосферних умовах без зміни температури і додавання антирозчинників.



Рисунок 9 – Відкладання краплин гідрогелю та утворення полімерної плівки на поверхні модельного вогнища під час гасіння розчином гідрогелю

Експериментально доведено, що порівняно з водою вогнегасні розчини на основі модифікованих систем та нових технологій їх продукування мають ряд переваг, що полягають в суттєвому збільшенні коефіцієнта ефективного використання води внаслідок адгезії гелевих краплин до поверхонь, підвищенні вогнезахисної дії через утворення під час подавання на полум'я пористого шару або плівки. Зазначене ускладнює займання та захищає горючий матеріал через свою низьку теплопровідність та ізолювання від доступу кисню повітря, що важливо у разі гасіння поверхневих пожеж класу А. Залежно від фізико-хімічних показників, що визначають призначення, гідрогель можливо класифікувати як вогнегасну речовину або засіб вогне-, теплозахисту. Для гасіння пожеж потрібна одна концентрація, для вогне-, теплозахисту – інша. Концентрація також залежить і від характеристик вогнища пожежі. Гідрогель також можна застосовувати як профілактику для захисту поверхонь під час наближення пожежі, захищати ці місця від загоряння.

Змінюючи концентрацію гелеутворювальних добавок можна варіювати в'язкістю, випаровуваністю розчину та глибиною проникнення вогнегасної речовини до середовища. Чим більше в'язкість гідрогелю, що стікає з вертикальної стінки, тим товща гідрогелева плівка і менша його витрата. Порівняно з водою ефективність використання гідрогелів у 2 ... 4 рази вища через підвищення коефіцієнта

використання води та утворення у разі гасіння поверхневих плівок.

Як нову вогнегасну речовину пропонується розглянути водний розчин полімерної гелеутворювальної речовини типу ECOFLOC A-07 з додаванням поверхнево-активних речовин. Використання розчину гідрогелю у концентрації до 0,3 % у 2...3,5 рази підвищує коефіцієнт використання води порівняно із застосуванням тільки води. Наявність у складі гідрогелю калію призводить не тільки до збільшення коефіцієнта використання води до 5,4 раз, а й дає можливість поєднати ефективне охолодження осередку пожежі внаслідок збільшення ефективності використання води з інгібувальним ефектом через використання поташу.

Вогнегасний склад з добавкою полімерного гідрогелю під дією температури утворює полімерну плівку, яка збільшує адгезію як до палаючої, так і до поверхні, що захищається від загоряння, водночас ізолює її від доступу кисню, перешкоджаючи стіканню вогнегасної речовини, має підвищені вогнегасні властивості та суттєво зменшує втрати вогнегасної речовини.

Під час гасіння великих пожеж на полігонах ТПВ характерним є явище повторного займання раніше погашених ділянок під дією теплових потоків від непогашених ділянок пожежі. У разі використання гелю під час гасіння вогнищ загоряння ймовірно виключення повторного загоряння, навіть за подальшої дії відкритим полум'ям.

Таким чином, перспективним є використання водного гелевого розчину для гасіння пожеж полігонів ТПВ, однак для його практичного застосування необхідно провести додаткові дослідження з подавання гідрогелів у натурних умовах. Потрібно дослідити залежності фізико-хімічних властивостей та вогнегасної здатності гідрогелю у разі зміни фракційності його складових, додавання до робочого розчину антикоагулянтів та визначення терміну його придатності до використання. Також потрібно розробити рекомендації щодо практичного застосування гідрогелю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки : постанова Верховної Ради України від 05.03.1998 р. № 188/98-ВР. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-вр#Text> (дата звернення : 21.10.2022).
2. Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів : наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 16.02.2010 р. № 39. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039662-10#Text> (дата звернення : 21.10.2022).
3. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування : ДБН В.2.4-2-2005 [Чинний з 01.01.2006]. Київ: Держбуд України, 2005. 32 с.
4. Звіт про науково – дослідну роботу (заключний) «Провести дослідження та розробити спосіб використання заливальних карбамідних порошків для гасіння пожеж твердих речовин методом ізоляції» / Нікулін О.Ф., Кодрик А.І., Новіков О.В., Тітенко О.М. К.: УкрНДІЦЗ ДСНС України. 2017. 171 с. № ДР 0116U001821.
5. Пожежі на звалищах, їх величина, характеристики та локалізація. Підготовлено для Федерального агентства з надзвичайних ситуацій та пожеж адміністрації США. Національний центр даних щодо пожеж. 05.2002.
6. Бобков С. А., Бабуринов А. В., Комраков П. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. Москва. 2014. 214 с.
7. Гогланд В., Брамруд Т., Персон И. Физические, биологические и химические эффекты несортированных фракций твердых промышленных отходов в хранилище отходов топлива. Управление отходов и исследования. 14. 1996. С. 197–210.
8. Bowes P. C. Самонагревание : оценка и контроль рисков. Amsterdam : WF Бринтон, 1984.
9. Андрюшкин А. Ю. Эффективность применения вязких гидрогелей при тушении горящих твердых веществ. Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т.29. №2. С. 53–62. doi : 10.18322 / PVB.2020.29.02.53-62F.
10. Халыпов Р. Гидрогель для пожаротушения ГП-1 на основе сополимера акриловой кислоты и стирола. ISSUU : вебсайт. URL: https://issuu.com/antonberezovskiy/docs/2011_12_31_halyarov/ (дата звернення : 24.10.2022).
11. Звіт про науково-дослідну роботу (заключний) «Наукове обґрунтування підвищення ефективності гасіння пожеж за рахунок модифікації складів водних вогнегасних речовин та способів їх подавання» / Кодрик А. І., Тітенко О. М., Борисов А. В., Мороз А. І. К. : ІДУ НДЦЗ ДСНС України. 2021. 239 с.
12. Kodrik A. Theoretical Prerequisites for Creating a Fire-Extinguishing Solution Based on Water-Absorbing Polymer Ecoflocf-07 for Extinguishing Fires in Ecosystems. et al. Key Engineering Materials. 2022. Vol. 927. P. 87–104. doi.org/10.4028/p-647f1v.
13. Ерємина Р. М., Скворцов А. И., Мутыгуллина А. А Экспериментальные задачи общего физического практикума по молекулярной физике и термодинамике. Процессы переноса. Жидкости и твердые тела. Казань : Казан. ун-т, 2015. 42 с.
14. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Т. 2. №1. М. : «Наука». 1960. 600 с.
15. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации. М. : Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ. 2017. С. 24–29.

REFERENCES

1. Pro Osnovni napriamy derzhavnoi polityky Ukrainy u haluzi okhorony dovkillia, vykorystannia pryrodnykh resursiv ta zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky [About the main directions of the state policy of Ukraine in the field of environmental protection, use of natural resources and ensuring environmental safety]: postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy vid 05.03.1998 r. № 188/98-VR. *Ofitsiyni veb-portal parlamentu Ukrainy*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-вр#Text> [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii z vyznachennia morfologichnoho skladu tverdyykh pobutovykh vidkhodiv [On the approval of Methodological recommendations for determining the morphological composition of solid household waste]: nakaz Ministerstva z pytan zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 16.02.2010 r. № 39. *Ofitsiyni veb-portal parlamentu Ukrainy*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039662-10#Text> [in Ukrainian].
3. Polihony tverdyykh pobutovykh vidkhodiv. Osnovni polozhennia proektuvannia [Solid household waste landfills. Basic provisions of design]. (2005). DBN V.2.4-2-2005 [Chynnyi z 01.01.2006]. Kyiv: Derbud Ukrainy [in Ukrainian].
4. Nikulin, O. F., Kodryk, A. I., Novikov, O. V., Titenko, O. M. (2017). Zvit pro naukovu – doslidnu robotu (zakliuchnyi) «Provesty doslidzhennia ta rozrobyty sposib vykorystannia zalyvalnykh karbamidnykh poroplastiv dlia hasinnia pozhhez tverdyykh rechovyn metodom izoliatsii» [Report on scientific and research work (final) «Conduct research and develop a method of using pouring urea porous plastics for extinguishing fires of solid substances by the isolation method»]. K.: UkrNDITSZ DSNS Ukrainy. № DR 0116U001821 [in Ukrainian].
5. Pozhezhi na zvalyshchakh, yikh velychyna, kharakterystyky ta lokalizatsiia [Landfill fires, their size, characteristics and localization]. (Traven 2002). Pidhotovleno dlia Federalnoho ahentstva z nadzvychainykh sytuatsii ta pozhhez administratsii SShA. Natsionalnyi tsentr danykh shchodo pozhhez [in Ukrainian].
6. Bobkov, S. A., Baburnov, A. V., Komrakov, P. V. (2014). Fyzyko-khymycheskye osnovy razvytiya y tusheniya pozharov [Physico-chemical basis of fire development and extinguishing]. Moskva [in Ukrainian].
7. Hohland, V., Bramrud, T., Person, Y. (1996). Fyzycheskye, byolohycheskye y khymycheskye efekty nesortirovannykh fraktsiy tverdyykh promyshlennykh otkhodov v khranylyshche otkhodov toplyva [Physical, biological and chemical effects of unsorted fractions of solid industrial waste in fuel waste storage]. *Upravlenye otkhodov y yssledovaniya*, 14, 197–210 [in Russian].
8. Bowes, P. C. (1984). Samonahrevanye: otsenka y kontrol ryskov [Self-heating: risk assessment and control]. Elsevier, Amsterdam, WF Brynton [in Ukrainian].
9. Andriushkyn, A. I. (2020). Efektivnost pryimeneniya viazkykh hydrohelei pry tushenyy horiashchykh tverdyykh veshchestv [Effectiveness of application of viscous hydrogels in extinguishing burning solid substances]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 29, (2), 53-62. doi:10.18322/PVB.2020.29.02.53-62F [in Russian].

10. Khaliapov, R. Hydrogel dlia pozharotusheniya HP-1 na osnove sopolymera akrylovoi kysloty y styrola [Hydrogel for fire extinguishing GP-1 based on a copolymer of acrylic acid and styrene]. *ISSUU: vebseit*. Retrieved from https://issuu.com/antonberezovskiy/docs/2011_12_31_halyapov/ [in Russian].
11. Kodryk, A. I., Titenko, O. M., Borysov, A. V., Moroz, A. I. (2021). Zvit pro naukovo-doslidnu robotu (zakliuchnyi) «Naukove obgruntuvannya pidvyshchennia efektyvnosti hasinnia pozhezh za rakhunok modyfikatsii skladiv vodnykh vohnehasnykh rehovyn ta sposobiv yikh podavannya» [Report on research work (final) «Scientific substantiation of increasing the efficiency of extinguishing fires due to the modification of the compositions of water fire extinguishing substances and their delivery methods»]. K.: IDU NDTsZ DSNS Ukrainy [in Ukrainian].
12. Kodrik, A. (2022). Theoretical Prerequisites for Creating a Fire-Extinguishing Solution Based on Water-Absorbing Polymer Ecofloc-07 for Extinguishing Fires in Ecosystems. et al. *Key Engineering Materials*, 927, 87–104. doi.org/10.4028/p-647f1v.
13. Erëmyna, R. M., Skvortsov, A. Y., Mutshullyna, A. A. (2015). Eksperimentalnye zadachy obshchego fizycheskogo praktikuma po molekuliarnoi fizyke y termodinamike. Protsessy perenosa. Zhydkosti y tverdye tela [Eksperimentalnye zadachi obshchego fizycheskogo praktikuma po molekulyarnoi fizike i termodinamike. Protsessy perenosa. Zhidkosti i tverdie tela]. Kazan: Kazan. un-t [in Russian].
14. Abramovich, H. N. (1960). Prykladnaia hazovaia dynamika [Applied gas dynamics]. 2(1), M: «Nauka» [in Russian].
15. Leontev, N. E. (2017). Osnovy teoryi fyltratsyy [Fundamentals of Filtration Theory]. M: Yzd-vo TsPY pry mekhanyko-matematicheskom fakultete MHU [in Russian].

POSSIBILITIES OF USING POLYMER GEL SOLUTIONS WHILE EXTINGUISHING LANDFILLS AND SOLID HOUSEHOLD WASTE LANDFILLS

A. Kodryk, O. Titenko, A. Borysov, O. Moroz, O. Tymoshenko, I. Stylyk

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS: ANNOTATION

labor safety,
solid waste
landfills, fire
extinguishing,
polymer gelling
compounds,
viscosity of
substances,
gaseous and
liquid
substances,
structure of
landfill, today's
issue.

The dangers associated with the elimination of fires and emergency situations at the objects of landfills and household waste landfills are considered. An analysis of domestic and foreign literary sources was carried out according to the direction of the research. It was found that the characteristics of quenching of these objects related to the composition and structure of combustible materials, which can form many centers of combustion and have the ability to re-ignite, have a relatively low value of the fire load compared to man-made fires. Air that comes from the environment through the porous structure of the landfill takes an active part in supporting the combustion process. It is noted that the existing landfill extinguishing technologies are not effective. The process of exiting combustion products throughout the porous body, which is the structure of the landfill, was considered, which provided information about the spatial branching of heated gas flows, on the basis of which a scheme for the passage of air flows from the exits was developed. Possible ways of increasing the efficiency of isolation and fire extinguishing of household waste landfills are indicated. As a new fire-extinguishing substance, it is proposed to consider an aqueous solution of a polymeric gel-forming substance of the ECOFLOC A - 07 with the addition of surface-active substances. The use of a hydrogel solution in a concentration of up to 0,3% increases the ratio of water use by 2...3.5 times compared to the use of water itself. Using the gel while extinguishing fires, re-ignition is excluded, even with further exposure of open flame. The gel particles blockade the air channels, blocking the access of air through the body, the temperature in the middle of the body and on its surface does not exceed 80-100°C. The effectiveness of the use of hydrogels in terms of their consumption and the thickness of hydrogel films of different viscosities in comparison with water is indicated. By changing the concentration of gel-forming additives, you can vary the viscosity, evaporation rate of the solution, and the depth of penetration of the fire-extinguishing agent into the medium. Compared to water, the efficiency of using hydrogels is 2 ... 4 times higher due to the increase of the coefficient of water use and the formation of surface films during extinguishing. The presence of potassium salts in the hydrogel leads not only to an increasing of water using coefficient to 5.4 times, but also makes it possible to combine effective cooling of the fire source by increasing the efficiency of water use with an inhibitory effect. The fire-extinguishing solution with the addition of polymer hydrogel under the influence of temperature forms a polymer film that increases adhesion both to the burning part and to the surface that is protected from ignition, at the same time isolates it from oxygen access, preventing the intensive flow of the fire-extinguishing substance, partially filling the porous structure of the landfill, has increased fire-extinguishing properties and significantly reduces the loss of fire-extinguishing substance. The results obtained during the research indicate the possibility of using aqueous fire extinguishing solutions with the use of viscous hydrogels while extinguishing of solid substances in atmospheric conditions, but further research is needed.