



**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ**

**Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля**

Національного університету цивільного захисту України

К. І. Мигаленко, Є. С. Ленартович,

С. В. Поздєєв, М. М. Семерак

МОНОГРАФІЯ

**РОЗВИТОК ПОЖЕЖ НА ТОРФ'ЯНИКАХ
ТА ТОРФОРІЗРОБКАХ**

ЧЕРКАСИ 2016

УДК 614.84
ББК 38.96-6П
Р-64

Мигаленко К. І., Ленартович Є. С., Поздєєв С. В., Семерак М. М.

Розвиток пожеж на торф'яниках та торфозробках – Вид. 1-е. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. – 140 с.

В даній монографії розглядаються сучасні методи боротьби з торф'яними пожежами та їх профілактики.

Розроблено методуку по обмеженню розвитку пожеж на торф'яниках та торфозробках. Застосувавши математичне моделювання процесів розвитку пожеж, запропоновані нові матеріали у якості вогнеперешкоди для обмеження торф'яної пожежі, виявлено залежність настання температури загорання на поверхні штабеля торфу від його форми та розроблено рекомендації, щодо застосування природних мінералів для локалізації та припинення торфових пожеж.

Дана монографія призначена для наукових, науково-педагогічних співробітників, докторантів, аспірантів (ад'юнктів), слухачів, курсантів, студентів та практичних підрозділів.

Рецензенти:

Завідувач кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління Черкаського державного технологічного університету, доктор технічних наук, професор Осипенко В.І.

Професор кафедри процесів горіння Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, доктор технічних наук, професор Костенко В.К.

Монографія рекомендована до друку Вченою радою Національного університету цивільного захисту України, протокол № 8 від 24 лютого 2016 року.

© Мигаленко К.І., Ленартович Є.С., Поздєєв С.В., Семерак М.М.

ЗМІСТ

ВСТУП		5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОЖЕЖ НА ТОРФ`ЯНИКАХ		6
1.1.	Основні причини виникнення пожеж на торф`яниках	6
1.2.	Гасіння пожеж на торф`яниках	8
1.3.	Протипожежні заходи на підприємстві видобутку торфу	14
1.4.	Пожежна небезпека торфу та торф`яного пилу на складах	17
1.5.	Пожежна безпека технологічного процесу сушіння і зберігання торфу	20
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ ПІДЗЕМНОГО ШАРУ ТОРФУ		25
2.1.	Фізико-хімічні властивості торфу	26
2.2.	Вибір моделі для проведення експериментів	30
2.3.	Визначення залежності водопроникності торфу від температури горіння	33
2.4.	Дослідження впливу задимленості на оточуюче середовище	39
2.5.	Прогноз поширення пожеж на торф`яниках	47
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ФАКЕЛА ПОЖЕЖІ		54
3.1.	Математичне моделювання теплового впливу пожежі на штабелі торфу при їх зберіганні	54
3.1.1.	Особливості зберігання фрезерного торфу.	54
3.1.2.	Постановка задачі	55
3.1.3.	Результати математичного моделювання температури у торфовому штабелі при пожежі у сусідніх штабелях	62
3.2.	Дослідження величини теплового потоку факела пожежі	67

РОЗДІЛ	РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ	
4.	ПРОТИПОЖЕЖНИХ ПЕРЕШКОД НА	
	ТОРФ`ЯНИКАХ	81
4.1.	Матеріали для припинення горіння	81
4.1.1.	Фізико-хімічні властивості бентонітової глини.	92
4.1.2.	Характеристика піску	99
4.2.	Розробка рекомендацій по створенню протипожежних перешкод на торф`яниках	104
4.2.1.	Математичне моделювання теплового впливу пожежі у торфовому пласті на протипожежну перешкоду	111
4.2.2.	Метод чисельного розв`язку задачі	115
4.2.3.	Результати математичного моделювання температури у пласті торфу із протипожежною перешкодою	120
	Висновки	129
	Список використаних джерел	132

Вступ

До основних багатств України відносяться ліси та торфовища. Вони займають понад 10 мільйонів гектарів території нашої держави. 31 % лісів і торфовищ розташовано в північному регіоні, 17 % – у східному, 10 % – у південному, 8 % – в південно-західному і 32 % – в західному регіоні. В лісах і на торфовищах виникає велика кількість пожеж, особливо в засушливі роки про що свідчать статистичні дані Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Так за останні 13 років виникло 497 пожеж під час яких загинуло 315 людей та знищено 52085 га території [1].

Пожежі завдають великих збитків державі, а при поганій організації боротьби з ними може постраждати і населення, яке проживає в зоні їх поширення.

В монографії наведені шляхи підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки торф'яників та торфорозробок шляхом застосування науково обґрунтованих заходів, які враховують особливості впливу теплофізичних параметрів торфу, технологічних параметрів торфорозробок і фізико-хімічних процесів їх горіння на розвиток пожеж на таких об'єктах.

Приведені результати досліджень процесу розвитку підземної пожежі на торф'яниках і торфорозробках та теплопередачі від осередку пожежі на інші ділянки торфу з урахуванням фізико-хімічних процесів горіння і променистого теплообміну, теоретично обґрунтовано вплив випромінювання на швидкість розповсюдження пожеж в штабелях і буртах на торфорозробках.

Розроблено проект рекомендацій, щодо застосування природних мінералів для локалізації та припинення торфових пожеж.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПОЖЕЖ НА ТОРФ`ЯНИКАХ.

1.1. Основні причини виникнення пожеж на торф`яниках.

Торфові пожежі виникають у результаті необережного поводження з вогнем, рідше – запалювання від блискавки і ще рідше – самозаймання сіна і торфу.

Торфові (грунтові або підземні) пожежі виникають частіше наприкінці літа, як продовження низових або верхових лісових пожеж. Заглиблення низової пожежі починається біля стовбурів дерев, потім поширюється у боки зі швидкістю від кількох сантиметрів до кількох метрів на добу. Дереву при цьому повністю гинуть внаслідок оголення і обгорання коренів.

Торфові пожежі можуть виникати незалежно від лісових у районах торфорозробок і торф`яних боліт. Горіння проникає у більш глибокі шари торфу і цьому сприяє наявність у ґрунті коріння.

Такі пожежі можуть виникати на ділянках з торф`янистими ґрунтами і ділянках із шаром підстилки 20 см і більше.

Вогню на поверхні ґрунту при підземних пожежах немає, лише інколи він пробивається з-під землі, але скоро зникає, виділяється тільки дим, який стелиться. На такі пожежі не впливають ні вітер, ні добові зміни погоди. Вони можуть тягнутися місяцями і в дощ, і в сніг.

Торф містить до 25 % бітумів. Під час пожежі вони зосереджуються біля поверхні, що горить, і при її охолодженні водою цементують частинки вугілля. Як наслідок, створюється водонепроникний шар, під яким залишається тління, що можливе при невисокому вмісті кисню у повітрі. Це явище утруднює гасіння торф`яної пожежі, оскільки вода не може проникнути до її осередку.

Небезпека торф`яних пожеж у тому, що в процесі горіння утворюються порожнини (часто з жаром) у вигорілому торфі, в які можуть провалюватися люди, тварини і техніка.

Такі пожежі наносять великі збитки народному господарству. Під час пожежі задимлюються великі території (що впливає на екологічну ситуацію регіону), тління торфу

продовжується довго, а для гасіння осередків горіння залучається велика кількість людей та техніки.

Розкриття особливостей впливу теплофізичних параметрів торфу, технологічних параметрів торфозробок і фізико-хімічних процесів їх горіння на процеси розвитку пожеж на торф'яниках та торфозробках є важливою науковою задачею, розв'язання якої є науковим підґрунтям підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки зазначених об'єктів, що і обумовило актуальність роботи.

Проблемою попередження та гасіння пожеж на торф'яниках та торфозробках займалось багато вчених: Грішин А.М., Ключ П.П., Шкарабура М.Г., Єлагін Г.І., Корольченко О.Я., Повзик Я.С., Конєв Е.В., Бурасов Д.М., Іпатьєв А.В., Ільюшонок А.В., Василевич А.Б., Суботін А.Н. та інші. Зокрема, Повзик Я.С. запропонував оконтурювати торфовища канавами із заповненням їх водою, але вони часто перешкоджають рухові пожежної техніки та особовому складу окремих рятувальних підрозділів та фахівцям при виконанні виробничих завдань, а також є недостатньо ефективними. За результатами аналізу літературних джерел було виявлено, що проблема профілактики пожеж на торфозробках та торфосховищах залишається актуальною. Недостатню увагу приділялось питанням задимленості територій під час пожеж на торф'яниках, а також поглибленням знань щодо закономірностей розвитку пожеж на таких об'єктах.

Загасити або попередити пожежу означає, створити такі умови, коли горіння стає неможливим у даній точці і в сукупності таких точок в даному місці. А для того, щоб знати, коли горіння стане неможливим, треба знати межі горіння за всіма складовими, необхідними для його реалізації. Процес горіння подають у вигляді класичного трикутника пожежі (рис. 1.1): горючий матеріал – окисник – джерело запалювання [2]. Схема передбачає, що досить вирізати одну з вершин трикутника, як горіння стане неможливим. Отже, для припинення горіння досить виключити з процесу горючий матеріал, окисник або джерело запалювання.

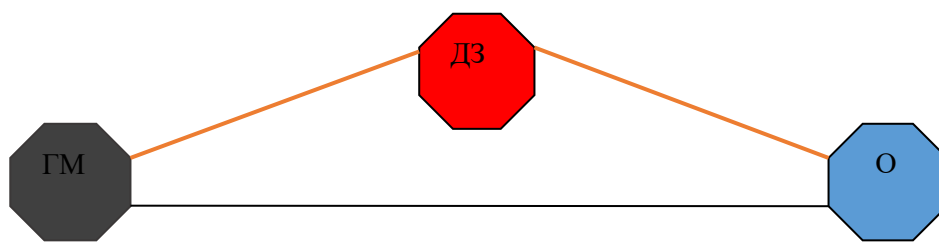


Рис. 1.1 Класичний трикутник пожежі.

При попередженні горіння з метою перетворення горючого матеріалу в негорючий застосовують різні просочувальні розчини.

Прикладами виключення із процесів горіння окисника можуть бути методи гасіння пожеж, засновані на ізолюванні осередку горіння від оточуючого середовища: використання для гасіння шерстяної ковдри (кошми), азбестової ковдри, ізолюючих пін [3].

Теоретично найцікавішим є виключення з процесу третьої вершини (третього кута) – джерела запалювання. Виникнення пожежі можливе за двома механізмами – самонагріванням до самоспалахування і примусовим спалахуванням. Розвиток пожежі йде виключно за механізмом примусового спалахування. Джерелом запалювання при розвитку пожежі здебільшого виступає полум'я, хоча неабияку роль відіграють і тепловипромінювання, і контакт горючого матеріалу з розпеченими продуктами горіння, і навіть передача тепла теплопровідністю.

Отже, щоб відсікти третій кут трикутника, треба знешкодити всі ці джерела, а для цього на практиці достатньо видалити факел полум'я. Для попередження горіння застосовують, наприклад, металеві сітки. При достатній густині сітки полум'я деякий час не переходить із одного її боку на інший, незважаючи на те, що тут є горюча суміш. Для припинення наявного горіння таку сітку досить розташувати біля «підніжжя» факела, між факелом і горючою сумішшю, а потім підняти сітку до відриву полум'я від суміші. Ще одним прикладом може бути відрив факела полум'я від газового фонтана вибухом.

1.2. Гасіння пожеж на торф'яниках.

Гасіння великих торфових пожеж розбивають на два етапи [3, 4]. На першому етапі затримують розповсюдження полум'я на всіх напрямках, створенням загороджувальних смуг. Якщо у

розпорядженні підрозділів ДСНС України недостатньо сил та засобів для одночасної локалізації пожежі на всіх напрямках, влаштовують загороджувальні смуги на головному фронті.

Для створення загороджувальних смуг техніку підрозділів ДСНС України та торфопідприємства розподіляють по периметру пожежі. Ширина загороджувальних смуг на головному фронті повинна досягати 20...40 м, на флангах 1,5-2 м, оскільки перекидання іскор в цих напрямках не здійснюється.

Для гасіння вогнищ торф'яного горіння рекомендується створення пересувних мобільних груп в складі 2-3 чоловік з числа особового складу добровільної пожежної дружини підприємства.

На другому етапі ліквідації торф'яної пожежі здійснюють гасіння торфу, що горить на поверхні полів видобування і в штабелях.

При підземних пожежах першочерговим завданням є обмеження розповсюдження горіння. З цією метою навколо пожежі влаштовують канали шириною 0,7-1,0 м, які заповнюються водою [3]. Для підвищення ефективності даного способу, узбіччя канав рекомендується засипати піском або мінеральним ґрунтом. В місцях, де є можливість подати воду, необхідно затопити вогнища горіння. Але такий спосіб локалізації потребує додаткової техніки та часу. Нарізані канали стають перешкодою рухові транспорту людей та тварин.

Слід прийняти до уваги, що підземні пожежі дуже важко ліквідувати. Є випадки, коли горіння на торфових масивах продовжується протягом декількох місяців.

Для торф'яних пожеж характерне гетерогенне горіння, при якому близько 50 % тепла витрачається на підсушування та нагрівання пограничного шару торфу або підстилки [5]. Торф'яні пожежі здатні до самозаглиблення в шари торфу, що надзвичайно ускладнює боротьбу з ними.

Для гасіння торф'яних пожеж застосовують два способи: 1) оконтурювання пожежі по периферії канавами глибиною до мінерального ґрунту, а при великій товщині торфу – до води в канаві; 2) застосуванням води з ПАР та спеціальних торф'яних стволів-пік (ТС-1; ТС-2) для промочування торфу по контуру пожежі.

Шрайберг Г. відзначає такі особливості торф'яних пожеж, які потрібно враховувати при їх гасінні: 1) стійкість процесу горіння, яка обумовлена малим розсіюванням тепла в атмосферу; 2) погане змочування торфу звичайною водою [6]. Євтюшкін Н.М. відмічав, що вода, маючи великий поверхневий наляг, не змочує 108 частинки розкладеного торфу через вміст в них до 18 % маслянистих бітумів [6]. Крім того, потрібна велика витрата води, щоб промочити шари торфу, які горять, до 400 % вологості. Для припинення горіння опрацьовано ефективний спосіб гасіння торф'яних пожеж, оснований на підвищенні змочувальної здатності води шляхом додання до неї ПАР (сульфанолу НП-1 та інші), які знижують поверхневий натяг від $72 \cdot 10^{-5}$ до $34 \cdot 10^{-5}$ Н/см².

Вченими Білорусії для локалізації й гасіння торф'яних пожеж створені нові вогнегасні та вогнезахисні хімічні речовини «Тофасил» та «Метафосил», що представляють собою суміші нерозчинних алюмосилікофосфатів у розчині амонійних фосфатів [7, 8]. Натурні випробування вогнегасної ефективності 8 % водних робочих розчинів вогнегасного хімічного складу проведені на двох модельних вогнищах горіння торф'яних пожеж. Результати натурних випробувань вогнегасних властивостей «Тофасила» показали, що його 8 % водний робочий розчин має високу змочувальну здатність торфу у вогнищах горіння – відносна вологість торфу після гасіння вогнищ горіння торф'яних пожеж істотно збільшилася.

Гасіння аерозоль-утворюючими сумішами є найсучаснішим засобом гасіння пожеж, засобом, який дозволяє швидко і ефективно гасити пожежі у першу чергу легкозаймистих і горючих рідин. При використанні генераторів вогнегасного аерозолу вимагається певна обережність, пов'язана з застосуванням зависі твердих частинок у повітрі, розпеченої до температури 800 °С і більше.

Вогнегасними властивостями володіють багато речовин, і природних, і штучного походження. Але на озброєння пожежних підрозділів приймаються далеко не усі з них.

Речовини, що приймаються на озброєння, повинні відповідати певним вимогам [3]:

- володіти високим ефектом гасіння при порівняно малій витраті;

- бути доступними, недорогими і простими у використанні;
- як самі гасячі речовини, так і продукти їх перетворень у зоні пожеж не повинні бути шкідливими для людей, тварин і матеріальних цінностей, тобто повинні бути екологічно чистими.

Це – загальні вимоги. Обираючи ж засіб, найбільш придатний для гасіння конкретної пожежі, для гасіння в умовах, що склалися, треба враховувати клас пожежі, зокрема тип матеріалу, що горить, і особливості даної пожежі.

Пожежі на відкритих просторах гасять по поверхні горіння. Основні засоби гасіння пожеж на відкритих просторах – вода, вода із змочувачами, піна середньої кратності.

Горіння факелу на свердловині (відкриті простори, класи В та С) ефективніше усього гасить порошковий струмінь, який подається у місце виходу газу із свердловини.

Горіння рідин у резервуарах (відкриті простори, клас В) гасять розпиленою водою, інертними газами, повітряно-механічними пінами середньої і низької кратності, вогнегасними порошками.

Пожежі розлитих горючих рідин (теж відкриті простори, клас В) – розпиленою водою, повітряно-механічними пінами середньої кратності, вогнегасними порошками. Дуже ефективно тут використання силікагелю або перліту, просочених галогеновуглеводнями.

Для гасіння ще одного виду пожеж на відкритих просторах класу В – горіння технологічних установок – застосовують розпилену воду, повітряно-механічні піни, газо-водняні струмені.

При горінні твердих матеріалів (відкриті простори, клас А: склад деревини, ліс, торф, степ і т.п.) переважно застосовують воду, іноді зі змочувачем.

Під час гасіння пожежі може змінюватись напрямок та сила вітру, внаслідок чого відбудеться перерозподіл фронтів пожежі. Враховуючи це необхідно локалізувати пожежу по всьому її периметру, зосереджувати основні сили на головному фронті. Необхідно також враховувати можливість перекидання іскор і утворення нових вогнищ пожежі. Для їх попередження встановлюється постійний нагляд за торфовим полем, а також створюється резерв сил та засобів.

Звичайно гасіння пожеж на полях видобування фрезерного торфу проводиться розпиленими струменями: чим дрібніше розпилені струмені, тим більший ефект отримується при гасінні торфових пожеж, особливо тих, що тільки розпочалися. Як показала практика, для гасіння розвинутих торфових пожеж краще використовувати компактні струмені води. Проводити гасіння методом заливу площ, що горять.

Гасіння штабелів і караванів кускового торфу, що горять, слід проводити напіврозпиленими струменями або кінцями компактних струменів.

При незначних площах пожежі ділення її на фронти не потрібно. Невеликі торфові пожежі локалізуються силами пожежної охорони підприємства, на озброєнні якої знаходиться відповідна техніка. Для гасіння вказаних пожеж рекомендується використання торфових стволів (ТС-1) [3]. Стволи заглиблюють з інтервалом 40-50 см в торфовий масив по всьому периметру пожежі. В якості вогнегасної речовини використовують воду або 0,5-0,6 % водний розчин сульфанолю.

Всі стволи рукавних ліній повинні бути максимально маневрені, для чого біля кожного ствола повинно бути не менше 4-5 чоловік. Запас рукавних ліній повинен бути не менше двох (40 м).

Гасіння великих торфових пожеж розбивають на два етапи. На першому етапі затримують розповсюдження полум'я на всіх напрямках, створенням загороджувальних смуг. Якщо у розпорядженні формування недостатньо сил та засобів для одночасної локалізації пожежі на всіх напрямках, влаштовують загороджувальні смуги на головному фронті.

Для створення загороджувальних смуг техніку формувань та торфопідприємства розподіляють по периметру пожежі. Ширина загороджувальних смуг на головному фронті повинна досягати 20-40 м, на флангах 1,5-2 м, оскільки перекидання іскор в цих напрямках не здійснюється.

Для гасіння вогнищ торф'яного горіння рекомендується створення пересувних мобільних груп в складі 2-3 чоловік з числа особового складу пожежної охорони підприємства.

На другому етапі ліквідації торфової пожежі здійснюють гасіння торфу, що горить на поверхні полів видобування і в штабелях.

Під час гасіння фрезерного торфу в розстилі і у караванах застосовують розпилені струмені води із стволів РС-50 і РС-70 [3]. Вода охолоджує торф, що горить, а також зволожує той, що не горить, і запобігає його загоранню. Ширина локалізації пожежі одним стволом з діаметром насадка 13 мм складає 10-15 м, а з діаметром насадка 19 мм – 20-30 м. Питома витрата води для гасіння торфу в розстилі становить 8-12, а на поверхні караванів – до 200 л/м².

Підземні пожежі на торфовищах гасять слабким розчином змочувачів ОП-7, ОП-10, НП-1 та інших з концентрацією 0,3-0,5 % за масою. Для гасіння цих пожеж застосовують стволи ТС-1 при глибині осередку горіння до 1 м і ТС-3, якщо торф горить на глибині до 2 м. Воду або розчини змочувачів подають до стволів під тиском 0,3-0,4 МПа. При цьому витрати води із змочувачами становлять 35-42 л/хв.

Гасіння пожеж на торфовищах дуже утруднює велика кількість попелу, що знаходиться у повітрі і переноситься вітром, тому необхідно всіх працюючих, особливо з підвітряного боку, забезпечити захисними окулярами і фільтруючими протигазами або респіраторами.

При підземних пожежах першочерговим завданням є обмеження розповсюдження горіння. З цією метою навколо пожежі влаштовують канали шириною 0,7-1,0 м, які заповнюються водою. Контурні канали риють за допомогою екскаваторів, плугів-канавокопачів в агрегаті з потужними тракторами. Однак цей спосіб гасіння малоефективний, оскільки при виході горіння на внутрішню стінку каналу можливий його перехід через каналу та подальше розповсюдження. Тому за станом каналів потрібен постійний нагляд. Недооцінка цього призводить до тяжких наслідків. Для підвищення ефективності даного способу, узбіччя каналів рекомендується засипати піском або мінеральним ґрунтом. В місцях, де є можливість подати воду, необхідно затопити вогнища горіння. Але такий спосіб локалізації потребує додаткової техніки та часу.

Нарізані канави становляться перешкодою рухові транспорту людей та тварин.

Слід прийняти до уваги, що підземні пожежі дуже важко ліквідувати. Є випадки коли, горіння на торфових масивах продовжується протягом декількох місяців.

Оконтурювання пожежі здійснюється за допомогою спеціальних торф'яних стволів-пік в агрегаті з мотопомпою МЛ-100 [3]. Торф'яний ствол-піка являє собою латунну трубку довжиною 1,3 м і діаметром 16 мм, яка закінчується знімним конусом. Зверху трубки є Т-подібна ручка. В нижній частині трубки є 40 отворів діаметром 3 мм, через них рідина під тиском надходить у нижні шари торфу. Оскільки в пожежі немає чітко вираженого фронту, гасіння починають з навітряного незадимленого боку. Якщо чітку межу горіння встановити важко, дотримуються всіх заходів перестороги. Ствол-піку із закритим краном певним зусиллям вводять на всю глибину прогорання торфу і відкривають кран. Через деякий час кран закривають, ствол-піку виймають і вводять знову через 30-40 см від попереднього місця. Час подачі в отвір води переважно залежить від глибини прогорання торфу. При кожному уколі стволом-пікою його потрібно тримати 1-2 хв, щоб торф навколо ствола-піки просочився в радіусі 20-25 см до глибини 1,0-1,3 м [3].

1.3. Протипожежні заходи на підприємствах видобутку торфу.

На підприємствах зберігання торфу, найбільш небезпечним вважається фрезерний торф. Умови зберігання торфу у штабелях та караванах представлені у рекомендаціях. Згідно з ними, штабель у якому зберігається торф повинен мати правильну геометричну форму з відповідним ухилом для стікання води. Найбільш поширеними геометричними формами штабелю фрезерного торфу є трикутна піраміда з прямокутною основою, зрізана піраміда з прямокутною основою та напівсфера.

Для підвищення протипожежної стійкості торфу, який зберігається у штабелях, на підприємстві по видобутку торфу проводяться спеціальні заходи щодо попередження процесу самозаймання. В цих цілях: своєчасно вивозять торф споживачам;

охолоджують та ущільнюють його в штабелях; ізолюють вогнища самозапалювання від проникнення повітря; контролюють рівень температури в штабелях.

Для охолодження торфу, його періодично перемішують штабелювальними машинами. При цьому відкриваються зони максимальних температур, внаслідок чого інтенсивність тепловіддачі зростає і торф охолоджується до температури навколишнього середовища.

Наприклад, в цілях зменшення інфільтрації повітря в штабелях, на Смоленському торфобрикетному заводі Чернігівської області проводять шарове ущільнення торфу спеціальними машинами з подальшим його зволоженням. Таке ущільнення торфу значно зменшує можливість його самозапалювання.

Для своєчасного прийняття мір проти самозапалювання фрезерного торфу на підприємстві здійснюється контроль за його температурою. У відповідності до діючої інструкції, замір температури розпочинають не пізніше 10 діб після початку робіт по складанню торфу і продовжують до закінчення ізоляційних робіт.

В цілому заходи щодо попередження виникнення пожеж в лісових масивах і на торф'яниках, проводяться в два етапи [9].

Перший етап – до настання пожежонебезпечного періоду.

На цьому етапі проводяться організаційні та інженерно-технічні заходи, основними з яких є:

- розробка керівництвом лісгоспів і направлення в райдержадміністрації на затвердження планів залучення населення, пожежної і інженерної техніки та транспортних засобів підприємств, установ і організацій для гасіння лісових пожеж (мобілізаційні плани);

- уточнення та затвердження складу бойових розрахунків, добровільних пожежних дружин;

- розробка планів контролювання пожежонебезпечних ділянок лісових масивів та місць масового відпочинку громадян;

- при досягненні IV і V класу пожежної небезпеки лісових масивів, встановлення цілодобового чергування лісових пожежних станцій та протипожежних сил лісгоспів та лісництв;

- розгортання широкої роз'яснювально-виховної роботи серед населення щодо дотримання правил пожежної безпеки та

попередження виникнення пожеж в лісових масивах і на торф'яниках.

Другий етап – з настанням пожежонебезпечного періоду.

На другому етапі проводяться інженерно-технічні заходи, заходи по охороні лісів та торфовищ від пожеж, по своєчасному виявленню лісових пожеж, проводиться інтенсивна роз'яснювальна робота серед населення з використанням всіх доступних засобів масової інформації.

Основними силами і засобами призначеними для своєчасного виявлення і гасіння лісових пожеж на території лісгоспів, лісництв є:

- служба лісової охорони, за працівниками яких закріплені ділянки лісових масивів, пожежні сторожі, а також усі їх працівники;

- лісові пожежні станції зі спеціально підготовленими командами, озброєними лісо-пожежною технікою, спеціальними вогнегасними речовинами, засобами зв'язку і автотранспорту;

- добровільні протипожежні формування створені на підприємствах лісгоспів;

- резервні пожежні команди, спеціально організовані з робітників і службовців лісгоспів та лісництв із закріпленою за ними технікою та інвентарем;

- підрозділи (загони) місцевої пожежної охорони сільських (селищних) рад, колективних сільськогосподарських підприємств;

- місцеві протипожежні сили (районів, міст).

Крім зазначених сил і засобів усі заготівельні, переробні та інші підприємства, організації і установи, які проводять роботи або мають у лісах поселення, склади, споруди, шляхи та інші об'єкти в разі виникнення біля них лісових пожеж зобов'язані негайно організувати їх гасіння своїми силами і засобами.

У разі неможливості ліквідувати пожежу зазначеними силами або пожежа по масштабах збільшилась, до гасіння пожежі залучається населення (згідно мобілізаційного плану), робітники та службовці місцевих підприємств, організацій та установ зі своєю пожежною технікою, інженерними та транспортними засобами.

Залучення додаткових сил пожежогасіння (наращування зусиль) здійснюється в разі недостатності наявних місцевих сил,

або коли пожежа досягла рівня регіональної. В даному випадку за рішенням (на той час) голови обласної комісії з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій на місце пожежі направляються зведені загони гасіння пожеж в лісових масивах і на торфовищах.

Підрозділи Збройних Сил України та інші військові формування до гасіння лісових і торф'яних пожеж можуть залучатись у відповідності до чинного законодавства.

Розвиток торфових пожеж обумовлюється комплексом кліматичних, метеорологічних, топографічних факторів. Він залежить від довжини засушливого періоду, швидкості вітру, інтенсивності сонячної радіації, часу доби, температури повітря, вологості, структури та щільності торфового масиву [10, 11].

1.4. Пожежна небезпека торфу та торф'яного пилу на складах.

Сухий і укладений в штабелі фрезерний торф самонагрівається під впливом, активно протікаючих в ньому: мікробіологічних, фізико-хімічних та екзотермічних процесів [12]. Дані процеси сприяють інтенсивному виділенню тепла і підвищенню температури на 2-3 °С за добу. Накопичення тепла в штабелях являється наслідком низької теплопровідності торфу. В склад торфу входять з'єднання, здатні окислюватись при температурі 60-70 °С. Тому його температура самозаймання низька й складає 225...280 °С [13]. Розкладання торфу з утворенням газоподібних продуктів починається вже при температурі 105 °С, при цьому торф перетворюється в суху пористу масу – напівкокс, який при взаємодії з киснем самозаймається.

Температура горіння торфу складає 1000 °С [14]. Нижня концентраційна межа поширення полум'я (НКМПП) для фрезерного торфу з вологістю 20 % й зольністю 5,4 % в зваженому стані, складає 20,2 кг/м³. При зниженні до певного значення вмісту горючої компоненти або окисника, тобто при виході за межі НКМПП або ВКМПП, енергія, яка необхідна для підпалювання такої суміші, стає нескінченно великою і спалахування стає неможливим. При концентрації горючого матеріалу, нижчій за НКМПП або вищій за ВКМПП, полум'я не поширюється. У

першому випадку бракує горючого матеріалу, у другому – кисню. Відомо, що при концентрації кисню в повітрі, меншій за 10-15 %, суміш вуглеводнів із таким повітрям горіти не буде. Щільність торфу, в залежності від рівня та виду залягання, складає 200-430 кг/м³.

Швидкість розповсюдження пожежі досягає 20-25 м/хв. Форма площі пожежі частіше всього буває кутовою з розширенням її по напрямку вітру [4].

В порах торф'яної маси знаходиться досить велика кількість повітря, тому торф має здатність тліти без доступу повітря, створюючи підземні прогари котрі, під час гасіння пожежі являють собою серйозну загрозу для людей та техніки. Швидкість розповсюдження підземних пожеж невелика і, як правило, не перевищує декількох метрів за добу [4].

У разі виникнення горіння від самозаймання торфу, вогонь поширюється усередині штабеля або бунту. Зовнішніми ознаками таких пожеж є виділення великої кількості диму з наступним просіданням штабелів (бунтів) у місці горіння.

Завдання по підвищенню протипожежної стійкості дільниць видобування та сушки торфу вирішуються комплексно при проектуванні та експлуатації торфових підприємств.

Торф'яний пил теж здатний до самозаймання, і причиною є тільки процес окислення. Під час літньої спеки створюються сприятливі умови для виникнення пожеж, навіть на не осушених торф'яниках. На швидкість розповсюдження пожеж сильно впливає швидкість вітру. На полях видобування торфу самозаймання відбувається від інтенсивного сонячного опромінення, яке може перевищувати значення мінімальної інтенсивності опромінення. Крім того, при такому опроміненні температура верхнього шару фрезерного торфу на 15-17 °С вище температури навколишнього середовища, внаслідок чого дрібні частинки торфу мають низький відсоток вологості й високу температуру, що сприяє легкому займанню (для торфу $t_{cz} = 225...280$ °С) від низькотемпературних джерел.

У зваженому стані торф та торфовий пил вибухонебезпечні. Вибух торфового пилу являє собою інтенсивне горіння речовин, які знаходяться в газовому потоці при сушці або в повітрі приміщення

у зваженому стані. Найбільша швидкість розповсюдження полум'я при горінні торфового пилу складає 16-22 м/с при концентрації її в повітрі 1-2 кг/м³ [4].

Одним з важливих факторів визначення можливості вибуху пилу є величина її часток. Дрібнодисперсний пил має велику питому поверхню, що сприяє легкому прогріву. Великі фракції пилу здатні поглинати тепло від джерела запалення й тим самим гальмують процес горіння. При визначеному співвідношенні великого й дрібного пилу розвиток вибуху може бути неможливим. Дослідженнями встановлено, що торфовий пил з розміром часток 0,15 мм й більше (тобто 0,14 мм і т.п.) є вибухобезпечним. Пил, що осідає в «мертвих» просторах технологічного обладнання довгий час знаходиться в абсолютно сухому стані (вологість 2-3 %), що призводить до запалювання при взаємодії з джерелом тепла.

Також при $v \geq 10$ м/с (v – швидкість розвитку) крихти торфу, що горять, можуть легко підійматися повітряними потоками та переносяться на значні відстані (до 50 м), створюючи нові осередки пожеж. Особливо це характерно для полів фрезерного добування торфу.

При перегріві поверхні торф'яного болота променями сонця або в результаті недбалого поводження людей з вогнем виникає так звана торф'яна пожежа – загоряння торф'яного болота.

Улітку поверхня ґрунту може нагріватися до 52-54 °С. Крім того, досить часто ґрунтові торф'яні пожежі є розвитком низової лісової пожежі. У шар торфу в цих випадках вогонь заглиблюється з стовбурів дерев.

Торф'яні пожежі завдають величезної шкоди лісу, вони знищують органіку ґрунту, у вогні згорають коріння дерев, ліс падає й повністю гине.

Єдиний спосіб покінчити з торф'яними пожежами, на думку фахівців МДУ ім. Ломоносова у Росії, це наситити їх вологою. В усьому світі вироблені торфовища повертають під заболочування. Як правило, для видобутку торфу болото осушують, і на його місці залишаються іригаційні канали, по яких колись подавалася вода. Якщо перекрити основний або магістральний канал, то природні, поталі води зберуться знову. Через 2-3 роки місце буде знову заболоченим. Якихось спеціальних технологій для цього не

потрібно. Фахівцям гідрологам треба всього лише зрозуміти, де розташований стік і в яких місцях створити додаткові дамби, щоб вода збиралася не тільки в місці основного стоку, але й по всій території.

Ще одним способом профілактики торф'яних пожеж може стати відтворення раніше існуючих зрошувально-осушувальних систем, які дозволяють контролювати водний режим боліт [9]. Саме такі системи дозволили уникнути пожеж під час активної розробки торфу в Підмосков'ї, зокрема, у районі Шатурської ДРЕС, створеної ще на початку ХХ століття. Система була влаштована таким чином, що у випадку пожеж всі розробки, де добувався торф, негайно затоплювалися.

1.5. Пожежна безпека технологічного процесу сушіння і зберігання торфу.

В період енергетичної кризи, перспективним напрямком є використання торфу в якості палива. В Україні загальна площа торфовищ і земель із торфовим ґрунтом, включаючи деградовані торфовища, становить 0,9 млн. га [15].

У Львівській області площа торфополів складає 5443 га. Існує дві основні схеми видобутку торфу: порівняно тонкими шарами з поверхні землі й глибокими кар'єрами на всю глибину торф'яного шару. Відповідно першій із цих схем торф витягають, вирізуючи верхній шар, відповідно другій – екскаваторним (або кусковим) способом. Відповідно й торф по способу видобутку розділяють на відрізний (фрезерний) і кусковий. Видобування торфу здійснювалось екскаваторним та фрезерним способами. В залежності від кількості видобутого торфу – площі поділені на виробничі ділянки (400-500 га), які знаходяться на незначній відстані від населених пунктів та лісових масивів.

Торфовиробництво є пожежо- та вибухонебезпечним. Основним джерелом вибухонебезпеки при роботі брикетного заводу є торфовий пил, а пожежної небезпеки – зберігання в штабелях.

Відповідно до аналізу загорянь, які траплялися в попередні роки ймовірність виникнення пожеж в лісогосподарствах та на торфовищах на території області свідчать про те, що їх кількість та

загальна площа пов'язані з кліматичними та погодними умовами. Відсутність опадів та суха жарка погода сприяють виникненню пожеж та розповсюдженню їх на значні площі, а найімовірнішими щодо їх виникнення є площі близькі до населених пунктів.

Гасіння пожеж найбільш ефективно, якщо на самому початку створені штучні рубежі, які зупиняють їх розвиток по всіх напрямках.

Задачі з підвищення протипожежної стійкості вирішують комплексно при проектуванні, в ході будівництва та експлуатації торф'яних підприємств.

Для підвищення протипожежної стійкості торфопідприємств при їх проектуванні і їх будівництві територію полів ділять на окремі ділянки-квартали, влаштовуючи між ними протипожежні розриви, забезпечують поля вузькоколійними дорогами, проїздами для тракторів та машин, а також проходами для успішної евакуації людей і обладнання з небезпечних зон.

Площі полів добування торфу, які становлять 600-800 га і більше, необхідно розділяти протипожежними розривами на ділянках, які не перевищують 200 га. Такі ділянки значно обмежують розповсюдження пожежі. Досвід боротьби з пожежами підтвердив необхідність подібного розділення полів добування торфу.

Між окремими ділянками, полями сушки торфу і прилеглими до них лісовими масивами, або не використовуваними ділянками торф'яних родовищ передбачаються протипожежні розриви 75-100 м. Розриви між полями добування фрезерного торфу і селищами досягають 300 м. Протипожежні розриви очищають від рослинності, по внутрішньому краю розриву копають канали. На протипожежних розривах обладнують, для тракторів та машин, вузькоколіїні дороги або проїзди, які можна використовувати для доставки протипожежного обладнання.

В спекотні літні дні протипожежні розриви на торфополях періодично зволожуються. Для цього заглиблюють один з валових каналів і роблять з більшим, ніж звичайно поперечним перерізом. Цей канал повинен бути постійно заповнений водою для зволоження торфу та гасіння пожежі. Без виконання заходів з

протипожежної стійкості приймати торф'яні поля в експлуатацію забороняється.

Для попередження самозаймання фрезерного торфу штабелі ізолюють від проникнення в них повітря. Найчастіше для цього використовують сирий фрезерний дрібняк, який наносять на поверхню штабелів. Розрівнювання дрібняку по поверхні штабеля і його ущільнення виконують штабелювальними машинами.

В тепліший час розробляють нові, більш дешеві і ефективні способи ізоляції штабелів. Так наприклад, розроблені два варіанти тонкошарового ізоляційного покриття штабелів, яке складається з двох шарів. При першому варіанті внутрішній шар, який накладається безпосередньо на поверхню штабеля, виготовляють із сирого торфу (товщина шару після висихання 4-9 мм). Зовнішній шар, виконаний з бітумних матеріалів, накладають на внутрішній після його підсихання протягом 8-10 діб. При другому варіанті, ізоляційний шар становить 7 см, складається з інтенсивного переробленого вологого торфу вологістю 82-89 %. Такий шар повністю повітронепроникний. Для попередження від висихання і збереження захисних властивостей ізоляційний шар покривають фрезерним дрібняком вологістю 74-81 %, товщиною 5 см.

Для своєчасного вжиття заходів проти самозаймання фрезерного торфу необхідно контролювати його температуру. Згідно з діючою інструкцією, вимірювання температури в штабелях починають не пізніше ніж через 10 діб від початку робіт зі складування торфу і продовжують до завершення ізоляційних робіт. Виконують також контрольні заміри температури і перевіряють справність ізоляції штабелів добування минулих років, які залишилися на зберіганні. Температуру в штабелях вимірюють вмонтованим термометром або спеціальними термовизначниками.

Всім відомо, що пожежу набагато легше попередити ніж гасити. Профілактика торф'яних пожеж передбачає в першу чергу своєчасне виявлення пожежі наземною лісовою охороною (охороною підприємства) за допомогою пожежо-спостережних вишок. Кожна ділянка лісової чи торфової території повинна проглядатися не менше ніж з двох, а краще з трьох вишок, щоб якомога точніше і скоріше визначити місце пожежі.

Бажано, щоб комплекс заходів і дій, які направлені на попередження, локалізацію і ліквідацію пожежі проводились силами і засобами наземної державної лісової охорони, працівниками торфопідприємств, особовим складом підрозділів ДСНС та авіацією ДСНС України [16].

Для прийняття правильного рішення по гасінню пожежі на торфопідприємстві проводиться розвідка, яка встановлює напрямок і швидкість розповсюдження фронту і флангів пожежі, наявність загрози об'єктам, польовим гаражам, селам та штабелям торфу. Визначаються перешкоди, які можна використовувати для локалізації пожежі, ступінь загрози переходу вогню в прилеглі лісні масиви та сільськогосподарські угіддя.

Таким чином, на першій стадії гасіння пожежі потрібно створити перешкоди її розповсюдженню, шляхом видалення або зволоження сухого торфу по периметру горючої площі. На другій стадії необхідно вжити заходів для усунення горіння торфу на поверхні штабелів і полів.

Якщо встановлена небезпека поширення пожежі в сторону селища, штабелів торфу, складів горючих рідин та інших важливих ділянок, тоді керівництво штабу підсилює дільниці, які працюють на цьому напрямку, технікою засобами пожежогасіння і працівниками. При збільшенні швидкості розповсюдження задимлення на вирішальному напрямку, при дуже сильному вітрові, керівництво штабу, для запобігання нещасних випадків з людьми, може тимчасово, до зменшення швидкості вітру з підвітряної сторони, перевести техніку і людей на один із флангів.

Гасіння палаючого торфу на поверхні полів і в штабелях є складним процесом. Тому на гасіння повинні направлятись пожежні підрозділи торфопідприємств і всі технічні засоби, які є з залученням працівників.

Гасіння палаючих штабелів фрезерного торфу здійснюється водяними струменями і розчинами змочувачів. В середньому на один штабель при роботі двох стволів «Б» затрачається біля 6 годин. Це пояснюється тим, що торф'яний дрібняк дуже погано змочується водою. Значна частина води не проникає в глибину штабелів, а скочується до його підосви і розмиває його. Тому для промивання штабелів торфу найбільш доцільно застосовувати

стволи «А» або лафетні стволи, що сприяє більш ефективній і швидкій обробці штабеля протягом 4 годин.

Процес горіння штабелів торфу супроводжується щільним задимленням території торфополів, а також прилеглих лісових масивів та селищ. Для запобігання втрати орієнтації і оточення вогнем, заздалегідь позначаються і виділяються суходільні ділянки, валові канали та інші безпечні місця, куди при виникненні загрози слід відводити людей і техніку [17].

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ ПІДЗЕМНОГО ШАРУ ТОРФУ

Торф це горюча копалина, що відноситься до гумитів і представляє собою першу стадію перетворення рослинного матеріалу у вугілля [11]. Накопичується в болотах із залишків відмерлих рослин, що піддалися неповному розкладанню в умовах підвищеної вологості й утрудненого доступу повітря. При торфоутворенні головну роль грають процеси біохімічної гуміфікації, що протікають при участі мікроорганізмів; при цьому утвориться темно-кольорова аморфна речовина – гумус, відсотковий склад якого визначає ступінь розкладу торфу і так як і флористичний склад впливає на всі його найважливіші властивості. Основні структурні перетворення вихідного рослинного матеріалу завершуються в період його короточасного (4-7 років) перебування в межах торфогенного шару. Кольори торфу змінюються від жовтуватого-коричневого до чорно-сірого. Структура його більш волокниста у верхніх шарах і аморфна у нижніх шарах торфу (при ступені розкладу до 50-65 %). В умовах природного залягання вологість торфу становить 45-70 %, а іноді і 90 % [14]. Вміст мінеральних домішок змінюється від 2 до 4 % у верхових та від 4 до 18 % у низинних торфах. Хімічний склад торфу: С – 50-60 %; Н – 4,5-6,5 %; N – 0,8-2,9 %; О – 31-40 %; S – 0,1-1,5 %. Груповий склад торфу: бітуму 2-14 %; водорозчинних речовин при 50 °С – 0,4-2,2 %; при 100 °С – 1,4-4,1 %; речовин, що легко гідролізуються 11-47 %, у тому числі геміцелюлоз 6-22 %; гумінових кислот 8-47 %; фульвокислот 6-24 %; речовин, що важко гідролізуються 3-26 %, у тому числі целюлози 2-16 %; залишку, що не гідролізується (лігніну) 4-30 % [12]. Зі збільшенням ступеня розкладу зменшується кількість водорозчинних речовин, що легко гідролізуються, та зростає вміст гумінових кислот і залишку, що не гідролізується. Від бурого вугілля торф відрізняється підвищеним вмістом води та частин рослин (кори, стебел, коріння, листя), а в хімічному відношенні – наявністю цукрів, геміцелюлоз і целюлози. Відповідно до умов росту та накопичення рослин-торфоутворювачів розрізняють: верховий, низинний і перехідний типи торфів, що підрозділяють на підтипи (лісовий, лісо-болотний

та болотний) з видами (сфагновим, осоковим, деревним, очеретяним та ін.) у відповідності до переваги в їхньому складі залишків тих або інших рослин.

Низинні типи торфів найбільш багаті на мікроелементи. У торфі виявлено близько сорока мікроелементів, які складають 1 % від загальної зольності [11]. Мікроелементи в основному акумулюються в гуміновій частині торфу. Серед них зустрічаються такі як марганець, молібден, олово, цинк, нікель, кобальт, мідь, свинець, бор та інші. При випаданні радіоактивних опадів у верхніх шарах торфу накопичуються свинець, фосфор і калій, а їх вміст може бути до 6-9 кг/га.

За ботанічним складом можна робити висновки про водопоглинаючі властивості торфу. Ґрунтовий склад органічних речовин найбільш характерних видів торфу представлений в табл. 2.1. [14]

2.1. Фізико-хімічні властивості торфу.

Важливою характеристикою торфу є показчик ступені його розкладу. Велика кількість даних про геоботанічну, хімічну і фізичну природу торфу дозволяють в узагальненому вигляді характеризувати його як органогенну породу, що складається із продуктів розкладення рослин – торфоутворювачів, рослинних залишків, що не розклались та включень мінеральних речовин. В природному стані торф насичений водою, частина якої фізико-хімічно зв'язана з твердою речовиною, а друга утримується в ній механічно. Для торфу також характерним є наявність повітряного і газового середовища.

Структура та дисперсність торф'яної системи складна і багатофакторна. До складу торфу входять органічні речовини такі як бітуми, гумінові речовини, легко та важкогідролізуємий залишок, а до хімічних характеристик торфу відноситься елементарний склад органічної речовини торфу: вуглець, кисень, водень, азот і сірка.

Таблиця 2.1

Склад органічних речовин деяких видів торфу низинного та верхового типів, % на суху речовину.

Інвентарний номер	Вид торфу	R, %	Бітуми	Водорозчинні	Легкогідролізуємі	Гумінові			Важкогідролізуємі	Негідролізуємі залишок
						Всього	у тому числі кислоти			
							Гумінові	Фульвові		
Низинний тип										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Деревинний	45-50		2,9	30,6	55,2	38,5	16,7	2,1	9,2
73	Березовий	50	1,3	1,7	25,2	57,2	38,4	18,8	3,0	11,6
124	Деревинний	40-45	2,2	1,1	25,8	56,7	37,5	19,2	3,0	11,2
178	Березовий	45	3,8	0,8	21,9	61,0	35,3	25,7	2,6	9,9
182	>>	45	2,1	1,4	24,3	59,0	40,4	18,6	3,2	10,0
61	Дерев.-очерет.	35		0,8	21,4	55,2	31,7	23,5	3,8	18,8
11	Деревинно-осоковий	25		2,8	23,2	56,4	48,0	8,4	4,2	13,4
29	>>	35-40		2,3	28,8	52,4	39,2	13,2	4,9	11,6
103	>>	35-40		2,1	18,0	54,5	40,1	14,4	5,8	19,6
286	>>	35	3,1	2,7	27,1	54,0	34,6	19,4	4,7	8,4
438	Очеретовий	45		1,7	23,4	64,1	53,7	10,4	2,2	8,6
33	>>	45-50	2,7	4,7	27,1	54,0	39,4	13,4	3,3	8,8
62	>>	30-35	4,8	1,8	19,0	55,8	35,5	20,3	4,3	14,3
3	Осоковий	15-20		4,2	20,1	57,0	39,7	17,3	7,3	11,4
6	>>	30	3,9	0,4	21,7	59,4	42,3	17,1	3,2	11,4
39	>>	25-30	1,8	1,1	24,2	54,5	42,2	12,3	6,2	12,2
98	>>	20		0,4	26,8	51,4	41,0	10,4	5,6	15,8
346	>>	20	2,3	2,3	27,4	55,4	26,7	28,7	4,3	8,3
399	>>	35	3,7	3,6	26,9	49,7	30,7	19,0	3,5	12,6
387	Шейхцеровий н-ий	25	2,7	1,6	21,8	57,6	38,4	19,2	5,3	11,0
162	Осоково-гіпновий низ.	30-35	1,4	2,0	18,3	57,4	38,3	19,1	6,6	14,3
2	Осоково-сфагновий н-ий	15-20		4,4	21,6	61,6	39,1	22,5	6,6	5,8
120	Гіпновий низинний	35	2,8	0,8	19,7	50,7	34,0	16,7	6,3	19,7
161	Теж саме	25-30	3,4	1,5	23,3	47,5	31,0	16,5	7,0	17,3
90	Сфагновий низинний	30	2,8	1,3	29,1	51,8	31,9	19,9	5,9	9,1
Перехідний тип										
417	Деревинно-перехідний	45	5,6	2,2	30,8	42,2	23,1	19,1	5,1	14,1
337	Деревинно-осоковий перехідний	35	5,1	2,6	27,0	52,0	35,3	16,7	5,2	8,1

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	Осоковий перехідний	20-25		2,0	24,6	49,0	32,1	16,9	4,6	19,8
419	Теж саме	20	3,3	0,9	39,4	39,0	23,9	15,1	4,6	19,8
71	Осоково- гіпновий перехідний	15		1,4	27,8	52,2	28,5	23,7	7,9	10,7
95	Гіпновий перехідний	10		2,1	28,2	40,6	31,9	8,7	6,5	22,6
274	Теж саме	20	3,4	0,8	31,1	36,9	25,9	11,0	6,7	21,1
435	Сфагновий перехідний	15	3,3	1,4	39,7	40,6	22,3	18,3	6,5	8,5
Верховий тип										
422	Сосновий верховий	45	9,5	2,8	18,1	56,8	36,4	20,4	4,7	8,1
45	Сосновий- пушицевий	55-60	10,0	1,3	15,9	61,4	43,7	17,7	3,8	7,6
5	Сосново- сфагновий	35	8,9	4,1	31,9	37,7	27,0	10,7	4,5	12,9
46	Пушицевий	35	7,0	3,0	25,0	50,9	34,4	16,5	5,1	9,0
409	Пушицево- сфагновий	30	6,8	2,8	28,2	45,0	27,0	18,0	7,0	10,2
428	Шейхцериєво- сфагновий	25	5,1	1,8	36,5	35,4	19,8	15,6	3,9	17,3
44	Медіум-торф	15-20	3,7	1,4	46,2	40,0	25,4	14,6	5,2	3,5
369	>>	15-20	5,2	1,4	53,5	29,8	16,4	13,4	3,4	6,7
23	Фускум-торф	10	4,9	2,1	43,4	33,9	12,6	21,3	5,0	10,7
408	>>	15	3,5	1,8	41,1	37,2	20,6	16,6	6,1	10,3

Вміст бітумів залежить від типу торфу, а також від ступеня розкладу.

Із табл. 2.2 [14] видно, що чим глибше від поверхні – ступінь розкладу торфу вища, і відповідно – вищий вміст бітуму.

Для того щоб запобігти виникненню пожеж на звичайних торф'яниках, необхідно знати як причини загорань, так і фізичні властивості торфу. Відомо, що при вологості 20 % та температурі + 40 °С в торфах проходить анаеробний процес, на основі чого настає його самозапалення, яке переростає в пожежу. Горіння підтримується за рахунок притоку повітря до пор.

Характеристика торфу.

Глибина, см	Вид торфу	Ступінь розкладу, %	Вміст бітуму, %	Зольність, %
0-10	Сфагновий з пушицею	15	3,45	7,16
10-25	Сфагновий	20	3,51	7,20
25-50	Сфагновий	15	3,36	1,79
50-75	Пушицево-сфагновий	25	5,88	2,58
75-100	-\\-	35	7,32	2,67
100-125	-\\-	40	8,10	2,02
125-150	-\\-	45	7,95	2,04

Складові структури торфу відрізняються різноманітністю за вмістом, але здебільшого представлені бітумом А (2-14 %) [13]; речовинами, розчинними в воді при температурі 50 °С (0,4-2,2 %) і розчинними у воді при температурі 100 °С (1,4-4,1 %); речовинами, що легко гідролізуються (11-47 %), у тому числі геміцелюлози (6-22 %), гумінові кислоти (8-47 %), фульвокислоти (6-24 %); речовинами, що важко гідролізуються (3-26 %), в тому числі целюлоза (2-16 %) і залишком, що не гідролізується – лігніном (4-30 %) [13]. Крім того, до складу торфу входять залишки розкладу амінокислот і інших речовин, що містили азот, а також органічних сполук, що містили сульфур, здебільшого сульфур меркаптанний та дисульфідний, і фосфор, який в невеликих кількостях входить до складу білків насіння.

Бітум – це в основному високомолекулярні насичені (з формулою $C_{33}H_{68}$, $C_{35}H_{72}$ та ін.), ненасичені і жирно-ароматичні вуглеводні та їх оксигенові, нітрогенові та сульфурові похідні [12]. До складу бітумів входять також спирти (наприклад, $C_{27}H_{53}OH$), кислоти (наприклад, $C_{25}H_{51}COOH$), етери, естери, похідні абієтинової кислоти з конденсованими циклопарафіновими насиченими та ненасиченими ядрами [11], сесквитерпени – похідні конденсованих циклоолефінів [2] та інші. В загальному випадку відношення С:Н в бітумах складає від 6 до 12, відношення С:(О+S+N) – від 50 до 800 [11]. Речовини, розчинні у воді – це моносахариди, дисахариди та трисахариди загальною формулою

$C_5H_8O_5$ або $C_6H_{10}O_6$, геміцелюлози – низькомолекулярні полісахариди, целюлози – високомолекулярні полісахариди загальною формулою $(C_6H_{10}O_6)_n$ [2]. Гуміновими кислотами називають суміш органічних кислот – похідних багатоядерних ароматичних вуглеводнів з конденсованими ядрами, в яких відношення С:Н досягає 15 [12]. Фульвокислоти за властивостями схожі на гумінові кислоти, але мають меншу молекулярну масу. Лігнін – найменш вивчена частина рослинних залишків, яка являє собою нерегулярно побудований тримірний полімер розгалуженої структури жирно-ароматичного ряду [14].

При повному згоранні всіх перелічених вище речовин повинні утворюватися лише карбон діоксид, пари води, азот і невелика кількість оксидів сульфору та оксидів фосфору.

Наприклад, при повному згоранні моносахаридів за реакцією [2]

$C_5H_8O_5 + 4,5(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow 5CO_2 + 4H_2O + 16,92N_2$ з одної молекули органічної речовини повинно утворюватися 5 молекул карбон-діоксиду та 4 молекули води; від повітря в продукти згорання повинно переходити 16,92 молекули азоту.

Але в умовах недостатньої кількості окисника, звичайної для пожежі на торфовищах, повне згорання не відбувається. До того ж, як слідує з наведеного вище опису складу торфу, основні його складові частини представлені не геміцелюлозою та целюлозою, які горять відносно легко, а сполуками ароматичного, циклопарафінового та жирно-ароматичного рядів і сполуками тримірної полімерної структури. Обидві вказані причини приводять до того, що в продуктах горіння з'являється значна кількість отруйного карбон-оксиду (чадного газу) і твердих та рідких продуктів піролізу. Останні суспендуються у газоподібних продуктах горіння і, власне, утворюють їдкий та небезпечний дим. Таким чином, можна припустити, що при горінні зразків торфу з будь-якої глибини залягання токсичність диму буде більшою за токсичність диму інших пожеж на відкритих просторах. [18]

2.2. Вибір моделі для проведення експериментів.

Моделювання – дослідження об'єктів пізнання на їхніх моделях; побудова і вивчення моделей реально існуючих предметів

і явищ (живих і неживих систем, інженерних конструкцій, різноманітних процесів – фізичних, хімічних, біологічних, соціальних) і об'єктів (для визначення, уточнення їхніх характеристик, раціоналізації способів їхньої побудови і т.п.). Моделювання як пізнавальний прийом, невіддільне від розвитку знань.

При знаковому моделюванні моделями служать знакові утворення будь-якого виду: схеми, графіки, креслення, формули, графи, слова і пропозиції в деякому алфавіті (природної або штучної мови).

Найважливішим видом знакового моделювання є математичне (логіко-математичне) моделювання, здійснюване засобами мови математики і логіки. Моделювання нині придбало загальнонауковий характер і застосовується в дослідженнях живої і неживої природи, у науках про людину і суспільство.

Моделювання завжди використовується разом з іншими загальнонауковими і спеціальними методами. Насамперед моделювання тісно зв'язано з експериментом. Вивчення якого-небудь явища на його моделі можна розглядати як особливий вид експерименту: «модельний експеримент», що відрізняється від звичайного «прямого» експерименту тим, що в процес пізнання включається «проміжна ланка» – модель, що є одночасно і засобом, і об'єктом експериментального дослідження, що заміняє досліджуваній об'єкт. Модельний експеримент дозволяє вивчати такі об'єкти, прямий експеримент над якими утруднений, економічно не вигідний, або взагалі неможливий у силу тих або інших причин.

Дослідження знакових (зокрема, математичних) моделей також можна розглядати як деякі експерименти («експерименти на папері», розумові експерименти). Це стає особливо очевидним у світлі можливості їхньої реалізації засобами електронної обчислювальної техніки. Один з видів модельного експерименту – модельно-кібернетичний експеримент, у ході якого замість «реального» експериментального оперування з досліджуваним об'єктом знаходять алгоритм (програму) його функціонування, що і виявляється своєрідною моделлю поведінки об'єкта. Вводячи цей алгоритм у цифрову ЕОМ і, як говорять, «програючи» його,

одержують інформацію про поводження оригіналу у визначеному середовищі, про його функціональні зв'язки з мінливим «середовищем існування» [20].

Таким чином, можна насамперед розрізнити «матеріальне» (предметне) і «ідеальне» моделювання; перше можна трактувати як «експериментальне», друге – як «теоретичне» моделювання, хоча таке протиставлення, звичайно, досить умовно не тільки в силу взаємозв'язку й обопільного впливу цих видів моделювання, але і наявності таких «гібридних» форм, як «уявний експеримент».

При моделюванні більш-менш складних систем звичайно застосовують різні види моделювання.

Фізичне моделювання – вид моделювання, що складається в заміні вивчення деякого об'єкта або явища експериментальним дослідженням його моделі, яка має природу, таку ж, що і фізична [26]. У науці будь-який експеримент, проведений для виявлення тих або інших закономірностей досліджуваного явища або для перевірки правильності і границь застосовності знайдених теоретичним шляхом результатів, власне кажучи представляє собою моделювання, тому що об'єктом експерименту є конкретна модель, що володіє необхідними фізичними властивостями, а в ході експерименту повинні виконуватися основні вимоги, пропоновані до фізичного моделювання. У техніці фізичне моделювання використовується при проектуванні і спорудженні різних об'єктів для визначення на відповідних моделях тих або інших властивостей (характеристик) як об'єкта в цілому, так і окремих його частин. До фізичного моделювання вдаються не тільки з економічних міркувань, але і тому, що натурні випробування дуже важко або взагалі неможливо здійснити, коли занадто великі (малі) розміри натурального об'єкта або значення інших його характеристик (тиску, температури, швидкості протікання процесу і т.п.).

В основі фізичного моделювання лежать теорія подібності і аналіз розмірностей [27]. Необхідними умовами фізичного моделювання є геометрична подібність (подібність форми), фізична подібність моделі і натури: у однакові моменти часу, значення змінних величин, що характеризують явища для натури, повинні бути пропорційні значенням тих же величин для моделі. Наявність такої пропорційності дозволяє робити перерахування

експериментальних результатів, одержуваних для моделі, на натуру шляхом множення кожної з обумовлених величин на постійний для усіх величин даної розмірності множник – коефіцієнт подібності.

Теорія подібності – вчення про умови подібності фізичних явищ. Теорія подібності спирається на вчення про розмірності фізичних величин і є основою фізичного моделювання. Предметом теорії подібності є встановлення критеріїв подібності різних фізичних явищ і вивчення за допомогою цих критеріїв властивостей самих явищ [28].

Фізичні явища – процеси або системи подібні, якщо в подібні моменти часу в певних подібних точках простору значення змінних величин, що характеризують стан однієї системи, пропорційні відповідним величинам іншої системи. Коефіцієнт пропорційності для кожної з величин називається коефіцієнтом подібності.

Фізична подібність є узагальненням елементарного і наочного поняття геометричної подібності. При геометричній подібності існує пропорційність подібних геометричних елементів подібних фігур або тіл [29].

Умови подібності являють собою правила моделювання, які дають змогу дістати співвідношення між величинами в моделі та натурі, що можна використати для відшукування критеріїв подібності під час нормування рівнянь з однорідними функціями.

Необхідна умова подібності – лінійна відповідність між моделлю та натурою:

$$\chi_m = \chi_n \cdot \alpha_\chi, \quad (2.1)$$

де α_χ - масштаб (лінійний) моделювання.

Для в'язкої нестисливої рідини критерійне рівняння можна записати у вигляді:

$$\varphi(Fr; Eu; Re; Sh) = 0. \quad (2.2)$$

2.3. Визначення залежності водопроникності торфу від температури горіння.

Нами проведені дослідження торфовища, яке знаходиться на окраїні селища Ірдинь, Черкаської області. На відстані 83 м від торфовища росте змішаний ліс (дуб, береза, сосна) який з північно-західного боку переходить у хвойний. На узліссі розповсюджений

чистотіл, звіробій, тимофіївка, хвощ. Рослинність далі переходить у осоку, очерет. Проби відбирались від поверхні до глибини у 2,5 м у вигляді монолітів непорушної структури за методикою Доспехова Б.А. [30, 31]. З кожного із 6 монолітів відбиралось по 4 зразки за допомогою ріжучого кільця і гострого різачка (прямокутної форми). За ГОСТом 5182-85 [32] визначена питома маса зразків. Вона становить від 2,09 г/см³ до 1,18 г/см³ (по глибині), що в середньому дорівнює 1,6 г/см³ (результати досліджень занесені до табл. 2.4). За даними досліджень Гамаюнова Н.І. питома маса торфу склала 1,7 г/см³ [14]. У верхніх пластах пористість дорівнює 47 %, з глибиною збільшується до 54-60 %, а на глибинах після 1,0 м зменшується до 44 %. Це можна пояснити тим, що нижні шари мають більший ступінь розпаду ніж верхні.

Таблиця 2.4

Фізичні властивості торфу

№ п/п	№ Бюкса L, см	Вага пухого бюкса G, г	Вага із сирим торфом G, г	Вага після висушування G, г	Вологість W, %	Середня густина в вологому ст., кг/м ³	Середня густина в сухому ст., кг/м ³	Щільність γ, кг/м ³	К-т пористості ε	n, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пласт 1										
1	5,5*6,5* 3,9	140,4	133,8	27,6	384	952	197	1933	8,81	44
2	5,2*5,2* 3,7	99,05	92,5	20,8	344	933	209	2050	8,81	36
3	14*5,5*3	231	194,8	31,7	514	843	137	1344	8,81	60
(Прямокутники)										
1	77*79*54	328	258	50,5	411	780	154	1511		57
2	93*84*45	351	287	55,2	420	810	157	1540		55
3	101*87*47	413	358	70,2	410	860	170	1668		56
Пласт 2										
1	7*6,2*3,1	134,5	106,70	22,35	377	793	166	1628		40
2	8,7*5,9* 3,4	174,5	120,70	25,90	366	691	148	1452		50
3	4,1*4,2* 5,6	96,4	75,00	11,65	543	778	121	1187		
4	4*5*2,9	58	48,30	9,50	408	832	164	1609	8,81	54

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пласт 3										
1	18	37,7	79,0	45,0	466	830	146	1432,3		57
2	20	37,2	81,8	45,1	465	890	158	1550		55
3	522	37,2	76,9	44,4	451	790	144	1413		56
Пласт 4										
1	3,6*6,3*3	68,8	66,70	17,3	286	969	251	2462		51
2	6*4,5*2,2	59,4	58,52	12,1	384	985	203	1991		61
3	5,8*4,5*3	78,3	72,02	14,9	383	920	190	1864		60
4	8,9*6,5*2,5	144,6	139,70	27,65	405	966	191	1874		42
Пласт 5										
1	5,5*5,5*3,3	99,8	72,45	9,50	622	726	95	932	8,81	21
2	5*5*3,3	82,5	73,50	9,75	653	890	118	1158	8,81	37
3	8*6*2,5	120	90,80	11,45	693	756	95	932	8,84	54
4	5*5,8*2,2	63,8	54,30	8,0	579	851	125	1226	8,81	65
Пласт 6										
1	7*6*3	126	135,7	25,8	426	1076	204	2001	8,81	49
2	7,5*6*2,5	111,5	98,8	14,60	577	886	131	1283	8,81	70
3	4,5*6*2,5	67,5	64,0	11,68	448	948	173	1697	8,81	60

Для прийняття профілактичних мір запобігання пожеж необхідно спочатку вивчити природу, основні фізико-хімічні, агрохімічні та інші властивості торф'яного масиву, бо торф'яники не однакові по ботанічному складу та за ступенем розкладання його рослинних залишків. Торф має високу вологоємність, що коливається в широких межах від 200 до 1200 % абсолютної вологості [14]. Нами встановлена вологість зразків за загальноприйнятою методикою [32] у межах від 344 до 693 % в залежності від глибини залягання та за ступенем розкладання торфу.

Але водопроникність може змінюватись за даними Лундіна К.П. [33] від 2-3 до 50-100 см/добу.

При проведенні експериментів нами використана фізична модель з лінійним масштабом $a=100$. У відкритому руслі рідина рухається під дією сил тяжіння і тертя. При рівномірному русі складова сили тяжіння урівноважується силами тертя. Під час моделювання природних і штучних русел у більшості випадків доводиться мати справу з нерівномірним рухом. Критеріями, що

визначають явища при цьому, є критерії Фруда і Рейнольдса. Масштаб швидкостей $\alpha_v = \sqrt{\alpha}$, а масштаб витрат $\alpha_Q = \alpha_v \cdot \alpha^2 = \alpha^{2,5}$ [34]. Якщо в натурі потік перебуває в автомобельній області, то для виконання критерію Рейнольдса потрібно, щоб на моделі число Re_m перевищувало його допустиме значення, при якому не буде істотної похибки в моделюванні. Згідно з дослідженнями О.П. Зегжда [34] таке число Рейнольдса можна визначити за наступною формулою:

$$Re_{R_d} = \frac{14 \cdot R_M}{\Delta_M \cdot \sqrt{\lambda_M}}, \quad (2.3)$$

де $Re_m = \frac{V \cdot R}{\nu}$ - число Рейнольдса, яке підраховане за гідравлічним радіусом;

Δ_M – еквівалент висоти виступів шорсткості, мм; λ_M – коефіцієнт гідравлічного опору; V – швидкість руху води, м/с; R – гідравлічний радіус; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

Результати досліджень водопроникності торфу

При дослідженні водопроникності нами було встановлено, що чим більший ступінь розкладання торфу, тим більший вміст бітуму та менша водопроникність. Так через абсолютно сухі зразки торфу, що були відібрані з глибин 1,5-2,0 м вода або зовсім не просочувалась, або водопроникність складала всього 1,5-2 см/добу.

Це пояснюється низькою пористістю зразків з високим ступенем розкладу торфу.

Для подальших досліджень були відібрані та висушені зразки торфу (рис. 2.1 та 2.2).



Рис. 2.1 Підготовка зразків.



Рис. 2.2 Сушіння зразків.

Розміри зразків до сушіння (в см):

1. 6,0x2,5x7,0 $W_1=105 \text{ см}^3$.
2. 7,5x3,5x5,5 $W_2=144,4 \text{ см}^3$.
3. 6,5x3,4x5,0 $W_3= 110,5 \text{ см}^3$.

Розміри зразків після висушування при +130 °С (в см):

1. 5,5x2,5x6,5, $W_1= 89,4 \text{ см}^3$.
2. 6,5x3,0x5,0, $W_2=97,5 \text{ см}^3$.
3. 5,5x3,0x5,0, $W_3= 82,5 \text{ см}^3$.

Як видно із результатів досліджень перший зразок зменшився в об'ємі у 1,2 рази, другий – у 1,5 рази і третій – у 1,3 рази, що в середньому становить 1,33.

При висиханні торфу в природних умовах зміна об'єму незначна. Звідси ми можемо зробити висновок, що при нагріванні торфу від +130 °С і більше проходить «спікання» торфу з утворенням щільної водонепроникної (гідроізоляційної) та твердої структури. Водопроникність висушених зразків була рівна нулю, чим і пояснюється явище поширення підземних пожеж на торфовищах після заливання водою поверхневого осередку горіння.

Кожен горизонт залягання торфу набуває хімічних, агрохімічних властивостей, які характерні для даних умов торфоутворення і знаходяться в генетично обумовленому взаємозв'язку. Торф, це дуже складна горюча речовина, тому багато факторів впливає на процес його горіння. Одним із таких факторів є бітум.

Вміст бітуму залежить від типу торфу і від ступеня його розкладу. У торфах України кількість бітумів складає 5,6-28,5 % при ступені розкладу 20-70 %. За елементним складом бітуми торфові містять (у розрахунку на органічну масу): вуглецю – 65-75 %, водню – 9-12 %, кисню – 12-22 %. Основні складові бітуму: віск, смоли, парафіни [35].

До складу торфу також входить гідроген, кисень, на місці яких, під час горіння утворюються порожнини [36], а де був бітум – тверді країки, що мають форму склепіння. За рахунок вмісту воску, смоли та парафіну, при нагріванні торфу, закриваються всі його пори. Під дією вогню, при температурі 49...75 °С починає плавитись віск, а при $t = 90 \text{ °С}$ – смоли (ті, що близькі до смол соснових), при температурі близькій до 120 °С – парафіни [33, 34]. Значить на початку горіння, коли температури ще не досягли

температур спалахування, для воску – 199 °С, для парафінів – 98 °С, а для смол 129-166 °С, вода охолоджує торф, що горить і змочує той, що не горить. Розплавлені віск, смоли і парафіни (складові бітуму торф'яного) охолоджуються, і ще щільніше закривають пори торфу.

Над порожниною створюється тверда «спечена» маса, що не дозволяє кисневі, а також і воді, при гасінні пожежі, проникати у нижчі шари торфу.

При дослідженні зразків торфу на водопроникність встановлено, що вона може змінюватись від 2...3 до 50...100 см/добу, це залежить від ступеня розкладання торфу та вмісту в ньому бітуму – чим більший ступінь розкладу та вміст бітуму, тим менша водопроникність торфу. Після моделювання пожежі і її гасіння в газодимокамері водопроникність зразків була рівна нулю.

Тому процес тління продовжується і так звана підземна пожежа на торф'яниках триває місяцями.

2.4. Дослідження впливу задимленості на оточуюче середовище.

При горінні торфу, до складу якого входить бітум, виділяється велика кількість диму. Його склад залежить від концентрації речовин, які містяться в торфі, глибини залягання, вологості, потужності торфовища та ін.

Торф (від німецького слова Torf, що значить теж саме) – горюча копалина, що являє собою першу стадію перетворення рослинного матеріалу на шляху до утворення вугілля. Накопичується в основному в болотах із залишків відмерлих рослин, що піддалися неповному розкладанню в умовах підвищеної вологості й утрудненого доступу повітря. При торфоутворенні головну роль відіграють процеси біохімічної модифікації; при цьому утворюється темно-кольорова аморфна маса – гумус, склад якого залежить від місця утворення і часу перебування в торф'яному шарі. Як і до будь-якого матеріалу рослинного походження, до складу торфу входять карбон, гідроген, кисень і невелика кількість нітрогену та сульфуру. Вміст мінеральних домішок коливається від 2-4% у верхових до 4-18% у низинних торфах [37]. Торф містить 50-60 % вуглецю. Теплота згорання

(максимальна) 24 МДж/кг. Торф'яні родовища по земній кулі розподілені нерівномірно відповідно до кліматичних і ґрунтово-ботанічних зон. Світові запаси торфу складають близько 500 мільярдів тон, з них більше 186 мільярдів тон, по оцінках фахівців, знаходяться на території Росії. В Азії їх зосереджено близько 50 %, у Європі – 31 %, у Північній Америці – 11 %, а 8 % – в інших частинах світу.

Розподіл торф'яних родовищ пов'язаний з географічною широтою, рельєфом і геоморфологічною будовою місцевості. В Україні виявлено понад 2500 родовищ торфу із середньою глибиною залягання 1,4 м і запасами більше 2260 мільйонів тон. На сьогодні в Україні вироблено більше 45 % розвіданих запасів.

У торфоутворенні беруть участь водорості найпростіші, дріжджові і цвілі. Ефективність процесу торфоутворення низька. Акумуляється менше 20 % маси відмерлої рослинності у вигляді торфу. Середня швидкість нагромадження торфу складає близько 1 мм на рік.

Торф придбав сумну популярність у зв'язку з підземними пожежами, відомими людству протягом тисячоліть.

При повному згоранні складових торфу, що наведені вище, повинні утворюватися лише карбон діоксид, пари води, азот і невелика кількість оксидів сульфуру та оксидів фосфору.

В умовах недостатньої кількості окисника, звичайної для пожежі на торфовищах, повне згорання не відбувається. До того ж, як впливає з наведеного вище опису складу торфу, основні його складові частини представлені не геміцелюлозою та целюлозою, які горять відносно легко, а сполуками ароматичного, циклопарафінового та жирно-ароматичного рядів і сполуками тримірної полімерної структури. Обидві вказані причини приводять до того, що в продуктах горіння з'являється значна кількість отруйного карбон оксиду (чадного газу) і твердих та рідких продуктів піролізу. Останні суспендуються у газоподібних продуктах горіння і, власне, утворюють їдкий та небезпечний дим. Таким чином, можна припустити, що при горінні зразків торфу з будь-якої глибини залягання токсичність диму буде більшою за токсичність диму інших пожеж на відкритих просторах.

Для досліджень вибрана фізична модель. При фізичному моделюванні на моделі відтворюються ті самі явища, що і в натурі, але в іншому масштабі, дотримуючись геометричної подібності з урахуванням критеріїв Вебера та Архімеда.

За фізичну модель пожежі обрано горіння зразків торфу Ірдинського родовища (Черкаська область), що відібрані з різної глибини його залягання, яка характеризує час старіння змертвілих залишків рослин. Дослідження проводилися в газодимокамері ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля об'ємом 205,7 м³. Маса зразків становила 14278 г, 19446 г та 25602 г. (рис. 2.3-2.5) Спалювання проводилося в потоці повітря, що забезпечував 10-кратний його обмін в камері.



Рис. 2.3 Проведення дослідів в газодимокамері.



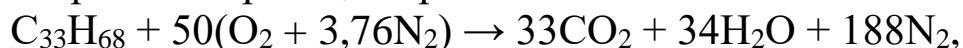
Рис. 2.4 Горіння торфу в газодимокамері.



Рис. 2.5 Тління торфу.

Навіть, якщо вважати, що зразки склалися лише з вуглеводнів (класу сполук, які для спалювання потребують

найбільшу кількість повітря), наприклад, вуглеводнів $C_{33}H_{68}$, то на повне спалювання такої кількості зразка при нормальних умовах, виходячи з рівняння реакції горіння



теоретично потрібно [2]:

від $14,278 \times 50 \times 4,76 \times 22,4 : 464 = 164 \text{ м}^3$

до $25,602 \times 50 \times 4,76 \times 22,4 : 464 = 294 \text{ м}^3$ повітря.

Навіть, якщо вважати, що кисень в повітрі при горінні торфу використовується на 30 % (зниження концентрації кисню в повітрі з 21 до 14 % об'ємних), кількість повітря ($2057 \times 0,3 = 617 \text{ м}^3$) в даних умовах забезпечувала повне спалювання зразка вуглеводню. Тим більше, повністю забезпечувалося повітрям спалювання зразків, в разі, якщо в молекулах, крім карбону та гідрогену, містився власний кисень і, отже, для спалювання потрібна б була менша кількість кисню з повітря [39].

Ступінь задимленості камери і концентрацію складових диму, що утворився, визначали у відповідності до ГОСТ 12.1.005-88 [40] за участю представників Черкаської районної санітарно-екологічної служби (СЕС) (рис. 2.6-2.7).



Рис. 2.6 Дослідження диму при горінні торфу.



Рис. 2.7 Визначення складових диму фахівцями СЕС.

При цьому для визначення масової кількості у повітрі карбон оксиду (CO) використовували газоаналізатор Аквілон-1-1, а для визначення масової кількості нітроген діоксиду (NO₂) та сульфур діоксиду (SO₂) – фотометричний метод. Результати досліджень наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Результати визначення задимленості камери при спалюванні зразків торфу Ірдинського родовища

№ зразка	Глибина залягання, м	Маса, г	Вміст					
			CO		NO ₂		SO ₂	
			мг/м ³	мг/г зразка	мг/м ³	мг/г зразка	мг/м ³	мг/г зразка
1	0-1,0	14278	29,3	0,422	1,32	0,019	9,43	0,14
2	1,0-1,5	19446	35,4	0,374	1,11	0,012	11,53	0,12
3	1,5-2,0	25602	35,0	0,281	1,11	0,009	10,48	0,08

Із 120-140 пожеж, які щоденно виникають в Україні, 30-40 припадає на торф'яні. Ці пожежі виникають, як у районах торфорозробок, так і в районах боліт, на яких роботи не

проводяться. Передумовою займання в першому випадку є наявність великої кількості висушеної торф'яної крихти – побічного продукту фрезерної розробки родовища. В другому випадку займання найчастіше пояснюється самонагріванням торф'яної маси, спричиненим реалізацією процесів життєдіяльності мікроорганізмів. Висока вологість і наявність великої кількості рослинних залишків створюють ідеальні умови для розмноження мікроорганізмів, які реалізують свій життєвий цикл, живлячись енергією, яку вони добувають саме з такого матеріалу. Процес живлення мікроорганізмів – процес екзотермічний, який в окремих випадках піднімає температуру середовища до значення в 60-70 °С. Подальше прискорення реакцій прямого окислення рослинної сировини викликає її обуглення. До виділення тепла свою частку додають екзотермічні процеси адсорбції кисню активованим вугіллям, яке утворилося [41]. Сумарна дія всіх процесів і наявність в порах торфу деякої кількості адсорбованого повітря спричиняє нагрів матеріалу до температури тління і, в подальшому, до самоспалахування. Пожежі на торф'яниках супроводжуються горінням під поверхнею. Крім небезпеки утворення під поверхнею розпечених порожнин, в які може провалитися людина чи тварина, це призводить до несподіваної появи полум'я та диму на нових, іноді досить віддалених ділянках. Задимленість значних територій, обумовлена горінням при недостатній кількості кисню, відноситься до неприємних особливостей торф'яних пожеж. Відомо, що дим негативно впливає і на оточуюче середовище і на стан здоров'я людей. Але цілеспрямовані дослідження процесу димоутворення при горінні торфу проведені в недостатньому об'ємі, про що свідчать розробки Богданова В.В. [41], Сізікова А.С. [42], Іпатьєва А.В. [43] та ін.

Як слідує з табл. 2.5 в середньому з 1 г торфу Ірдинського родовища в залежності від зразка в таких умовах у камері затримується

$29,3 \times 205,7 : 14278 = 0,422$ мг, $35,4 \times 205,7 : 19446 = 0,374$ мг та $35,0 \times 205,7 : 25602 = 0,422$ мг СО; $1,32 \times 205,7 : 14278 = 0,019$ мг, $1,11 \times 205,7 : 19446 = 0,012$ мг та $1,11 \times 205,7 : 25602 = 0,009$ мг NO₂ і $9,43 \times 205,7 : 14278 = 0,14$ мг, $11,53 \times 205,7 : 19446 = 0,12$ мг та

$10,48 \times 205,7 : 25602 = 0,08$ мг SO₂. В середньому: 0,359 г СО, 0,013 г NO₂ та 0,133 г SO₂.

При реальній пожежі торфовища одночасно може горіти шар торфу товщиною до 25-40 см [44]. При середній питомій густині торфу в 1,6 кг/м³ [45] це означає, що на 1 м² одночасно згорає 19,8 кг торфу, тобто для визначення кількості газів, які утворюються при горінні 1 м² торф'яника отримані значення треба помножити на 19800. Тобто, при горінні торф'яника безпосередньо над поверхнею в 1 м² утворюється 7,1 г СО, 0,26 г NO₂ та 2,6 г SO₂ [39].

В табл. 2.6 наведено розрахунок орієнтовної концентрації токсичних продуктів згорання у випадку підйому диму на висоту 1 м, 2 м та 4 м над поверхнею при застоюванні диму безпосередньо над поверхнею горіння і при поширенні його на площу 2, 4 та 8 м². Для порівняння наведено також значення ГДК цих продуктів у повітрі робочої зони.

Таблиця 2.6

Орієнтовна концентрація шкідливих речовин у повітрі при горінні торфу Ірдинського родовища, мг/м³

Висота над поверхнею, м	Поширення диму на площу, м ²	Об'єм, м ³	СО	NO ₂	SO ₂
1	2	3	4	5	6
1	1	1	7100	260	2600
	2	2	3550	130	1300
	4	4	1775	65	650
	8	8	887,5	32,5	325
2	1	2	3550	130	1300
	2	4	1775	65	650
	4	8	887,5	32,5	325
	8	16	443,7	16,2	162,5
4	1	4	1775	65	650
	2	8	887,5	32,5	325
	4	16	443,7	16,2	162,5
	8	32	221,8	8,1	81,2
ГДК в повітрі робочої зони			20,0	2,0	10,0

Наведені розрахунки доводять, що навіть при достатній кількості кисню, яка забезпечувалася в умовах досліду, концентрація шкідливих речовин безпосередньо над зоною горіння на висоті 1 м перевищуватиме значення ГДК в повітрі робочої зони: CO в 355 разів, NO₂ в 130 разів, SO₂ в 260 разів. І навіть при розповсюдженні диму на площу, в 8 разів більшу площі горіння, на висоті 4 м, концентрація шкідливих речовин перевищуватиме значення ГДК в повітрі робочої зони: CO в 10 разів, NO₂ в 4 рази, SO₂ в 8 разів. Зрозуміло, що горіння в реальних умовах, в умовах недостатньої кількості кисню, приведе до ще більшої забрудненості навколишнього середовища токсичними продуктами неповного згорання і продуктами піролізу компонентів торфу [39].

Ці продукти горіння речовин є токсичними і негативно впливають на живі організми: так, наприклад, SO₂ (сірчаний ангідрид) подразнює дихальні шляхи, викликаючи спазми бронхів, володіє загальною токсичною дією, а CO (оксид вуглецю) спричиняє захворювання серця, легень та центральної нервової системи [46].

Кожен день ми можемо спостерігати зміни у довкіллі, що спричинені діяльністю людини. Проблема забрудненості атмосферного повітря з кожним роком стає гострішою. Потужні підприємства частіше використовують сировину низької якості, що призводить до все більших викидів шкідливих компонентів в атмосферу. Збільшення кількості легкових автомобілів у містах призводить до підвищення загазованості міст. Це все особливо помітно в літній спекотний період. Якщо житлові масиви близько розташовані від лісу та торфовищ, то виникає ще одна загроза – задимленість території та забруднення атмосферного повітря токсичними продуктами неповного згорання торфу.

2.5. Прогноз пожеж на торф'яниках.

Через кожні 3-5 років повторюються засухи, які супроводжуються лісовими та торф'яними пожежами. Рідше бувають катастрофічні пожежі, від яких страждають цілі народи і держави. Вперше про це згадують вже в 994 році у староруських літописах. А в Ніконовському літописі про засуху 1092 року сказано так: «В се же лето вѣдро бяше яко изгораше земля, и мнози

боры возгорахуся сами и болота...». Про сильну засуху з пожежами XV сторіччя (1430-1431 рр.) сказано так: «Земля и леса горели и было много дыму от которого звери и птицы, и рыба в воде умирали, а люди очень страдали и умирали» [47].

Засухи розвиваються поступово на відміну від землетрусів, повеней та ураганів. Для того щоб розпочались пожежі в лісах і на болотах потрібно 3-4 тижні ясної сонячної погоди.

З усіх відомих видів пожеж найменшу швидкість мають торф'яні (від декількох дециметрів до кількох метрів за добу). На їх швидкість не впливають ні вітер, ні інші добові зміни погоди. Тому навіть невелике болото може диміти тижнями.

В умовах недостатньої кількості окисника, для пожежі на торфовищах, повне згорання не відбувається. Як слідує з наведеного опису складу торфу, основні його складові частини представлені не геміцелюлозою та целюлозою, які горять відносно легко, а сполуками ароматичного, циклопарафінового та жирно-ароматичного рядів і сполуками тримірної полімерної структури. Обидві вказані причини приводять до того, що в продуктах горіння з'являються значна кількість отруйного чадного газу і твердих та рідких продуктів піролізу. Останні суспендуються у газоподібних продуктах горіння і, власне, утворюють їдкий та небезпечний дим.

Торф, в місцях залягання, набуває хімічних, агрохімічних властивостей, які характерні для даних умов торфоутворення і знаходяться в генетично обумовленому взаємозв'язку. Так-як торф являється дуже складною горючою речовиною, тому є безліч факторів, що впливають на процес його горіння. Бітум є одним із таких факторів.

В залежності від типу торфу і від ступеня його розкладу вміст бітуму змінюється. При ступені розкладу торфу 20-70 %, вміст бітумів становить 5,6-28,5 %. За елементним складом бітуми торфові містять (у розрахунку на органічну масу): вуглецю – 65-75 %, водню – 9-12 %, кисню – 12-22 %. До складу бітуму входять: віск, смоли, парафіни [48].

Під час горіння торфу утворюються порожнини, а де був бітум – тверді крайки, що мають форму склепіння бо до складу торфу також входить водень, кисень. За рахунок вмісту воску, смоли та парафіну, при нагріванні торфу, закриваються всі його

пори. Під дією вогню, при температурі 49-75 °С починає плавитись віск, а при $t = 90$ °С – смоли (ті, що близькі до смол соснових), при температурі близькій до 120 °С – парафіни [49]. На початку горіння, коли температури ще не досягли температур спалахування, для воску – 199 °С, для парафінів – 98 °С, а для смол 129-166 °С, вода охолоджує торф, що горить і змочує той, що не горить. Розплавлені віск, смоли і парафіни (складові бітуму торф'яного) охолоджуються, і ще щільніше закривають пори торфу. За рахунок цього над порожниною створюється тверда водонепроникна маса, що не дозволяє воді під час гасіння пожежі проникати у нижчі шари торфу, а процес тління продовжується і так звана підземна пожежа на торф'яниках триває місяцями (рис. 2.8).



Рис. 2.8 Задимленість території при підземній пожежі на Ірдинському торфовищі, Черкаської області.

При фізичному моделюванні на моделі відтворюються ті ж самі явища, як і в натурі, але в іншому масштабі, тобто необхідно дотримуватися геометричної подібності. Для відтворення фізичного явища, необхідно дотримуватися критерії подібності Вебера і Архімеда [51].

$$\frac{\rho_n v_n^2 l_n}{\sigma_n} = \frac{\rho_m v_m^2 l_m}{\sigma_m} = We, \quad We_n = We_m, \quad (2.4)$$

де We – критерій Вебера, який повинен бути рівним для моделі та природи; σ – коефіцієнт поверхового натягу (капілярні сили), Н/м ($\text{кг}/\text{с}^2$); ρ – щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$; v – швидкість, м/с; l – довжина, м.

Індекс «м» відноситься до моделі, а – «н» до природи.

$$\frac{g_n l_n}{v_n^2} \cdot \frac{(\rho - \rho_1)_n}{\rho_{1n}} = \frac{g_m l_m}{v_m^2} \cdot \frac{(\rho - \rho_1)_m}{\rho_{1m}} = Ar, \quad Ar_n = Ar_m. \quad (2.5)$$

де Ar - критерій Архімеда; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; $\rho - \rho_1$ - різниця щільності двох середовищ (підйомна сила нагрітого повітря).

Для дослідження відбиралися зразки торфу з глибини 2,0 м, зі ступенем розкладання – 55 %, обсягами: 7920 см^3 , 8100 см^3 , 12500 см^3 і 11250 см^3 .

При дослідженні торфу у газодимокамері час полум'яного горіння зразків склав 10 хв після чого зразок почав тліти (рис. 2.9). Тління продовжувалось 4 год 5 хв, при чому, об'єми зразків зменшились на 5820 см^3 , 6000 см^3 , 8930 см^3 та 8500 см^3 . Звідси, середня швидкість об'ємного поширення тління буде становити 1,1 $\text{см}^3/\text{хв}$. Цим пояснюється такий довгий період гетерогенного тління.

Під час пожежі на торф'яниках полум'яне горіння переходить у гетерогенне тління. Потім тління переходить в полум'яне горіння, коли воно прогріває тверду речовину до температури, що починається її піроліз, або виділення з неї горючих летючих компонентів. І знову, коли в твердій речовині, що горіла, більше немає чому розкладатись або випаровуватись, полум'яне горіння переходить у гетерогенне тління. Ось чому нам доводиться спостерігати полум'яне горіння торфу на сусідніх ділянках через якийсь період часу після гасіння пожежі. [50]



Рис. 2.9 Вигляд торфу після тління.

Використавши матеріали Черкаської гідрогеологічної експедиції (плани торфовищ та глибини залягання торфу по створах), визначені об'єми торфу кожного створу і площі поширення підземної пожежі на торф'янику в басейні р. Тясмин, Черкаської області (рис. 2.10). Для цього визначили площі торфових залягань, а результати обчислень занесені у табл. 2.7.

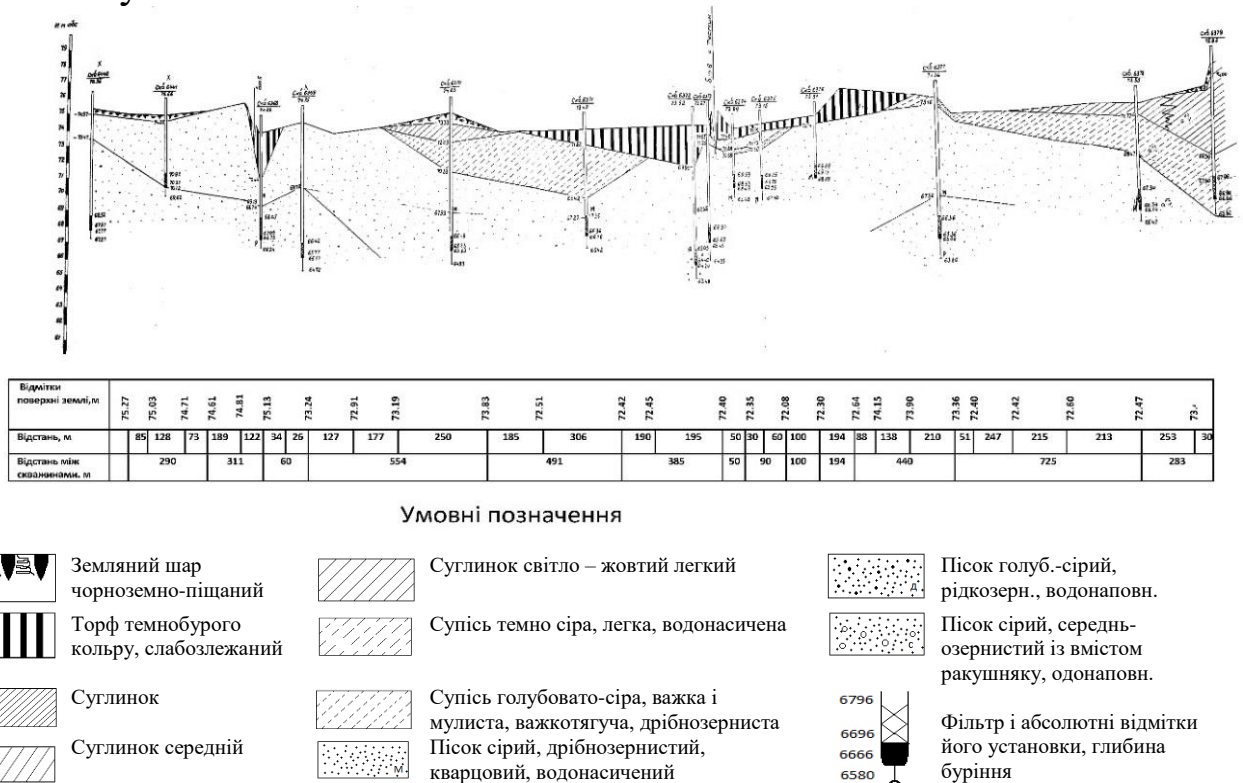


Рис. 2.10 Подовжній профіль створу IV-IV.

Таблиця 2.7

Параметри торфовища

№ створу	Потужність пласта		Площа пласта S, м ²	Загальна площа S _{заг} , м ²
	L, м	h, м		
I - I	20	0,5	10	
	30	0,8	24	
	303	1,5	454,5	
	400	0,6	240	
	770	0,9	693	1421,5
II - II	60	2,8	168	
	400	1,8		
	250	0,5	845	
	384	0,6	230,4	
	350	1,5	525	1768,4
III - III	325	1,5	487,5	
	395	1,5	592,5	
	156	1,5	234	
	150	0,3	45	1359
IV - IV	135	0,6	81	
	225	0,8	180	
	420	0,7	294	
	355	2,2	781	
	125	1,8	225	
	599	0,9	539,1	
	470	1,5	705	
	203	0,3	60,9	2866
V - V	1368	1,8	2462,4	
	175	0,5	87,5	
	1120	0,3	336	
	424	0,8	339,2	
	511	2	1022	
	405	1,8	729	4976,1

Враховуючи лабораторні дані досліджень швидкості вигорання (об'ємного поширення тління) торфу визначаємо обсяги тління за час (наприклад, через 1, 3 та 24 години). Потім знаючи товщину шару торфу по створу (рис. 2.10) визначаємо площі вигорання торфовища за цей час і ширину розповсюдження пожежі

(приймаючи, що піддається тлінню квадрат, наприклад площею $0,33 \text{ см}^2$, отримуємо ширину $0,6 \text{ см}$). При переході від лабораторної моделі на натуру необхідно ввести коефіцієнт модельного масштабу $\alpha=100$. Результати заносимо в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Прогноз поширення підземної пожежі

			Лівий берег			Правий берег						Лівий берег			Правий берег					
Час, год			1	3	24	1	3	24	1	3	24	1	3	24	1	3	24	1	3	24
Товщина шару, м			2.0	2.0	2.0	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	2.0	2.0	2.0	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7
Об'єм, см^3			Площа пожежі, м^2									Розповсюдження пожежі по ширині, м								
66	198	1584	0,33	0,99	7,92	2,2	6,6	52,8	0,9	2,8	22,6	0,6	1,0	2,8	1,5	2,6	7,3	1,0	1,7	4,8

Як видно із табл. 2.8, чим менша потужність пласта торфу, тим швидше він вигорає при підземній пожежі. Так при потужності пласта торфу $2,0 \text{ м}$ за добу пожежа пошириться на $2,8 \text{ м}$ з лівого берега р. Тясмин. А з правого берега ми спостерігаємо, що при зменшенні потужності пласта торфу збільшується швидкість поширення підземної пожежі в бік міста. Так при потужності пласта $0,7 \text{ м}$ вона становить $4,8 \text{ м/добу}$, а при потужності $0,3 \text{ м}$ – $7,3 \text{ м/добу}$ [47].

При складанні прогнозів для натурних умов необхідно враховувати і фізичні властивості торфу даного створу (вологість, пористість, ступінь розкладання). Скласти більш точні прогнози можливо, розробивши математичну модель підземного процесу горіння торфу.

Знаючи процес розвитку пожежі на торф'янику можна скласти прогнози поширення підземної пожежі та забрудненості навколишнього середовища токсичними продуктами неповного згорання торфу, які допоможуть правильно вибрати диспозицію сил та засобів пожежних підрозділів.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИН ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ФАКЕЛА ПОЖЕЖІ

3.1. Математичне моделювання теплового впливу пожежі на штабелі торфу при їх зберіганні.

3.1.1. Особливості зберігання фрезерного торфу.

При зберіганні торфу на підприємствах, що використовують його у якості палива, найбільш небезпечним вважається фрезерний торф, тобто торф, який був видобутий з торфовища шляхом вирізання його із пласта спеціальними фрезами [52, 53]. Щодо умов зберігання торфу у штабелях та караванах існують рекомендації [52, 53]. Згідно із ними штабель у якому зберігається торф повинен мати правильну геометричну форму з відповідним ухилом для стікання атмосферної вологи. Найбільш поширеними геометричними формами штабелю фрезерного торфу є трикутна піраміда з прямокутною основою, зрізана піраміда з прямокутною основою та напівсфера. На рис. 3.1 показані три основні типи штабелів, в яких зберігається фрезерний торф.

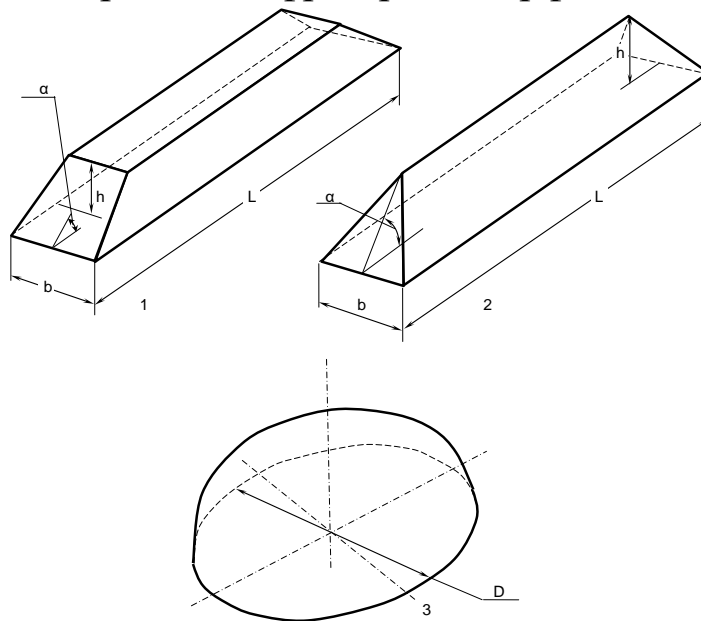


Рис. 3.1 Типи геометричних конфігурацій штабелів торфу при його зберіганні на підприємствах, де його використовують у якості палива:

1 – зрізана піраміда; 2 – піраміда; 3 – напівсфера.

Згідно зі всіма протипожежними інструкціями [52, 53] геометричні розміри штабелів та параметри їх розташування зведені до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розміри штабелів торфу різної геометричної конфігурації при їх зберіганні на складах підприємств, де його використовують у якості палива

Тип геометрії штабеля	Висота, м		Ширина, м		Довжина, м		Кут нахилу, °		Діаметр, м	
	Максимальна	Рекомендована	Максимальна	Рекомендована	Максимальна	Рекомендована	Максимальний	Рекомендований	Максимальний	Рекомендований
Зрізана прямокутна піраміда	7	2,5	20	20	30	20	80	60	-	-
Прямокутна піраміда	7	3	30	20	30	20	80	60	-	-
Напівсфера	-	-	-	-	-	-	-	-	20	10

Важливим параметром для моделювання температурного впливу пожежі є протипожежний розрив між штабелями. Згідно з багатьма рекомендаціями мінімальний протипожежний розрив становить 5 м.

В рекомендаціях [52, 53] наведена схема взаємного розташування штабелів, згідно з якою їх треба розташовувати по два штабелі, зберігаючи при цьому протипожежні розриви. Таким чином, можливі три сценарії пожежі на складі, де зберігається торф.

3.1.2. Постановка задачі.

Для вирішення поставлених нами задач щодо прогнозування поведінки системи, що складається з торфового штабелю, охопленого пожежею та штабелю торфу без пожежі необхідна розробка математичного апарату для визначення температурних розподілів на поверхні штабелю без пожежі. Результатом

прогнозування у даному випадку є час за який досягається температура займання у штабелі, не охопленому пожежею. Тепловою задачу поширення тепла у описаній системі можна сформулювати з огляду на три можливі сценарії розвитку пожежі. Перший сценарій полягає у виникненні та розвитку пожежі у сусідньому штабелі, що знаходиться з боку одного з торців. Другий сценарій розвитку пожежі розуміє займання у боковому штабелі. Третій сценарій передбачає розвиток пожежі у двох сусідніх штабелях.

Аналіз поставленої задачі показує, що вона є надто складною і потребує, у суворій постановці, залучення сумісного термогазодинамічного аналізу та аналізу теплопровідності, і крім цього необхідно замкнути записану систему рівнянь інтегральним рівнянням теплообміну випромінюванням. В такій постановці цю задачу вирішувати можна тільки чисельно із залученням спеціалізованих програмних комплексів, що поєднують у собі можливості проведення такого аналізу у сумісній постановці. Крім цього, така постановка задачі розуміє залучення потужної комп'ютерної техніки. Щоб зробити розрахунок більш простим потрібно зробити декілька спрощуючих припущень. Нами пропонується ввести у модель такі положення.

1. Пожежа у сусідньому штабелі є розвиненою і має форму факела із певною поверхнею та сталою усередненою температурою, яка складає 750 °С.

2. У випадку штабелю із конфігурацією у вигляді піраміди та зрізаної піраміди, поверхня факелу є плоскою, а у випадку конфігурації напівсфери – поверхня факелу є циліндричною.

3. Теплофізичні властивості торфу можуть залежати від температури.

4. Теплообмін між факелом та штабелем з огляду на те, що проміжок між штабелями добре вентильється, має тільки променисту складову, яка істотно превалює.

5. Умова запалення і початку поширення пожежі у штабелі без пожежі є досягнення у відповідній розрахунковій області температури запалення.

На рис. 3.2 показані схеми розрахункових областей для трьох сценаріїв пожежі у штабелях, що мають геометричну конфігурацію зрізаної піраміди.

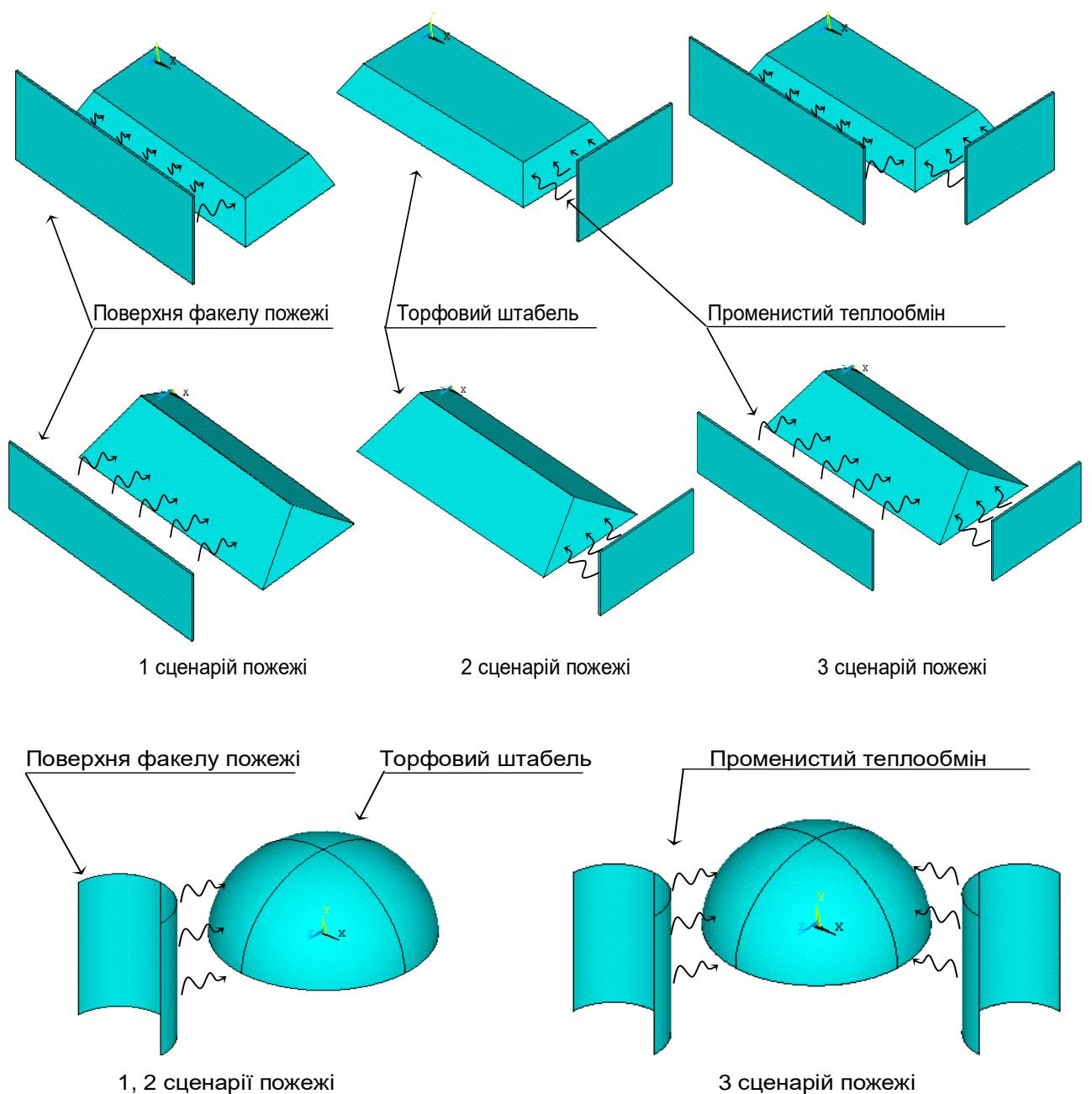


Рис. 3.2 Геометричні схеми теплової взаємодії між факелом та торфовим штабелем із різними конфігураціями відповідно до сценарію пожежі.

При розгляді теплообміну між факелом пожежі та торфовим штабелем застосовуються граничні умови III роду, що відповідають закону Стефана-Больцмана [54 - 66].

Для розрахунку можна використати рівняння нестационарної теплопровідності. Рівняння теплопровідності для тривимірної

розрахункової області (див. рис. 3.2) можна записати у такому вигляді [54 - 66]:

$$C_v(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3.1)$$

де $C_v(T)$ – питома об'ємна теплоємність торфу, Дж/м³; $\lambda(T)$ – теплопровідність торфу, Вт/(м·К); τ – час, с; T – температура, К.

Тепловий вплив на розрахункову область з боку зони підвищеної температури, яка утворюється у області, де торф пласту згорів і віддав тепло, може бути описаний граничними умовами (ГУ) III роду, що записуються у вигляді:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0,3m} = \alpha_B (T_P - T_W), \quad (3.2)$$

де α_B – коефіцієнт променистого теплообміну, Вт/(м²·°С); T_P , T_W – відповідно температури пожежного середовища і поверхні протипожежної перешкоди, °С; x – поточна просторова координата.

Коефіцієнт теплообміну враховує дію інфрачервоного випромінювання і визначається за таким загальним рівнянням [51, 15-17]:

$$\sum_{j=1}^N (\delta_{ij} - \varphi_{ij}) \sigma T_j^4 = \sum_{j=1}^N \frac{1}{A_j} \left(\frac{\delta_{ij}}{\varepsilon_j} - \varphi_{ij} \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_j} \right) q_j \quad (3.3)$$

де δ_{ij} – параметр, який дорівнює 0, якщо $i \neq j$, и дорівнює 1, якщо $i = j$; q_j – поверхневий тепловий потік через i -ту поверхню, яка обмінюється випромінюванням з j -тою поверхнею; φ_{ij} – променеві форм-фактори, залежні від взаємного розташування i -тої і j -тої площ поверхонь, які обмінюються випромінюванням, і визначаються за формулою:

$$\varphi_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i. \quad (3.4)$$

У формулі (3.4) використовуються такі величини:

θ – кут між нормаллю до елемента і лінією, яка з'єднує елементи i та j ;

r – відстань між центрами елементів i та j .

Початкові дані, що використовуються згідно з [67, 68] для розрахунків зведені до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Початкові дані до розрахунку температурного розподілу у системі торфовий штабель – факел пожежі

Початкова температура штабеля, °С	Температура оточуючого повітря, °С	Температура заpalення торфу, °С	Температура факелу торфової пожежі, °С	Ступінь чорноти поверхні штабеля	Ступінь чорноти факела
20	20	225	720	0,9	1

Теплофізичні властивості торфу можна прийняти згідно з рекомендаціями [67 - 70]. Згідно із цими рекомендаціями прийняті теплофізичні характеристики подані у табл. 3.3 (де W – вологість торфу, %).

Таблиця 3.3

Теплофізичні характеристики торфу

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(T)$, Вт/(м·°С)	Питома теплоємність, $c_p(T)$, Дж/(кг·°С)	Густина, кг/м ³
Теплофізичні характеристики торфу		
$\lambda = (0,585 - 0,495W + 0,987W^2) T^{0,2}$	$c_p = (765,0 - 1577,8W) \times \exp[(0,64 \cdot 10^{-3} + 0,0175W)T]$	400

Рівняння нестационарної теплопровідності (3.1) разом із рівняннями (3.3) та (3.4) для даного випадку не має аналітичних розв'язків і може бути вирішено тільки чисельно [54 - 57]. Для його розв'язку нами був використаний метод кінцевих елементів [71-86].

Використовуючи вищевказаний математичний апарат нами була розроблена розрахункова методика для реалізації сформульованих умов. Згідно із цією методикою розрахунок проводиться з використанням таких процедур.

1. Будується геометрична модель з прикладанням ГУ відповідно до рис. 3.1 та рис. 3.2.

2. Організовується цикл, в ході якого змінюється час впливу пожежі.

3. Розрахунок продовжується до тих пір, поки температура в будь-якій точці захищеної ділянки торфого штабелю не досягає температури займання торфу.

4. Розрахунок повторюється для штабеля з іншими геометричними параметрами.

Для реалізації такого алгоритму були створені кінцево-елементні схеми, які наведені на рис. 3.3 – 3.5.

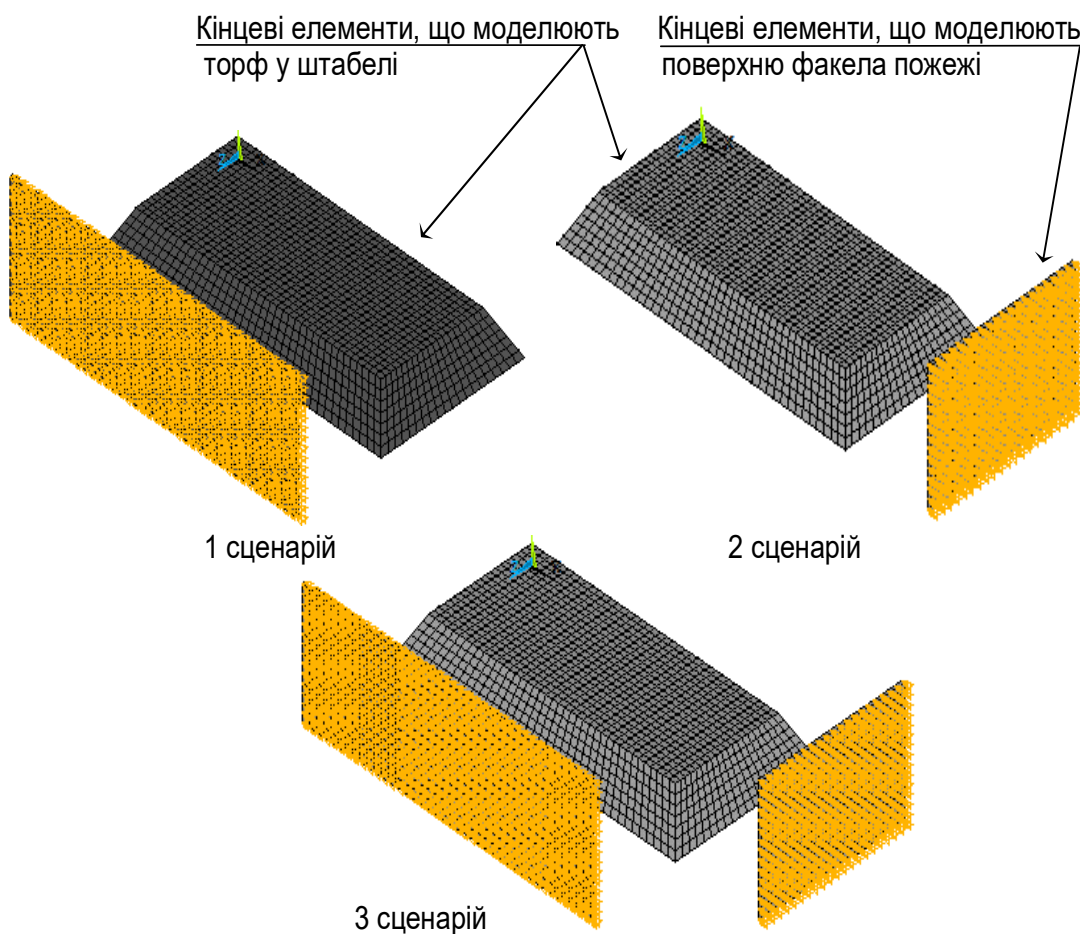


Рис. 3.3 Кінцево-елементні схеми теплової взаємодії між факелом та торфовим штабелем у вигляді зрізаної піраміди.

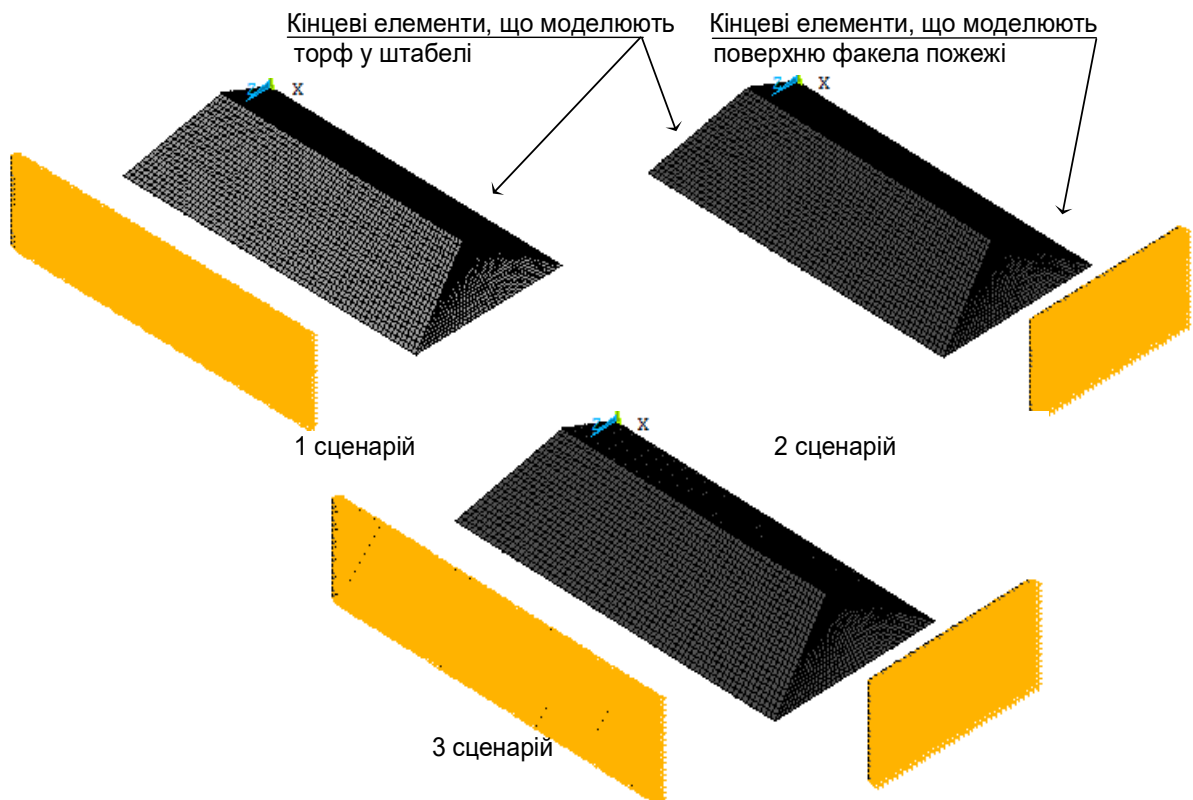


Рис. 3.4 Кінцево-елементні схеми теплової взаємодії між факелом та торфовим штабелем у вигляді чотирикутної піраміди.

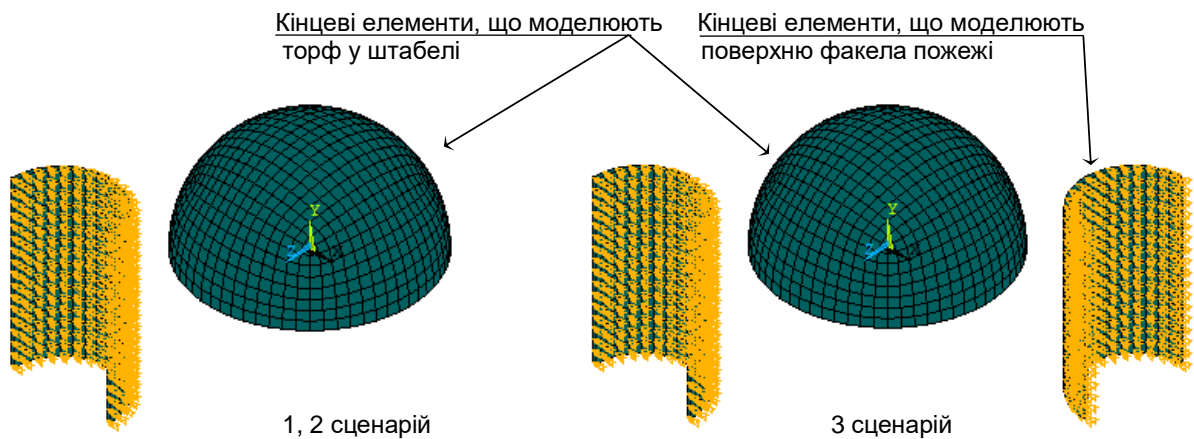


Рис. 3.5 Кінцево-елементні схеми теплової взаємодії між факелом та торфовим штабелем у вигляді напівсфери.

При реалізації обчислювального процесу були прийняті параметри алгоритму чисельного інтегрування, що подані у табл. 3.4.

Параметри обчислювального процесу

Параметр обчислювального процесу	Одиниці виміру	Значення
Тип аналізу		Нестационарний
Автоматичний вибір кроку інтегрування		Включений
Часовий крок інтегрування	с (хв)	30 (0,5)
Найменший часовий крок	с	10
Найбільший часовий крок	с	30
Максимальна кількість ітерацій		1000
Спосіб прикладання навантаження		Ступінчастий
Тип обчислювальної схеми		Неявна
Просторовий крок (середній)	м	0,5
Точність збіжності обчислень	(%)	0.005 (0,5)

3.1.3. Результати математичного моделювання температури у торфовому штабелі при пожежі у сусідніх штабелях.

Використовуючи вищеописаний математичний апарат, були отримані результати. Якісна картина температурних розподілів у різні моменти часу для різних сценаріїв пожежі наведена на рис. 3.6 – 3.11.

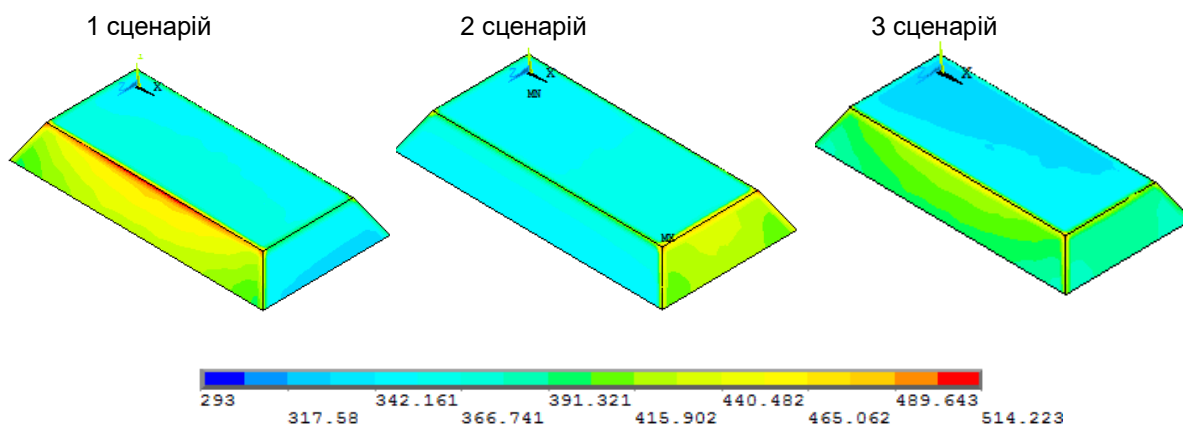


Рис. 3.6 Розподілення температури (К) на поверхні штабелю торфу у формі зрізаної піраміди на 10 хв розвитку пожежі.

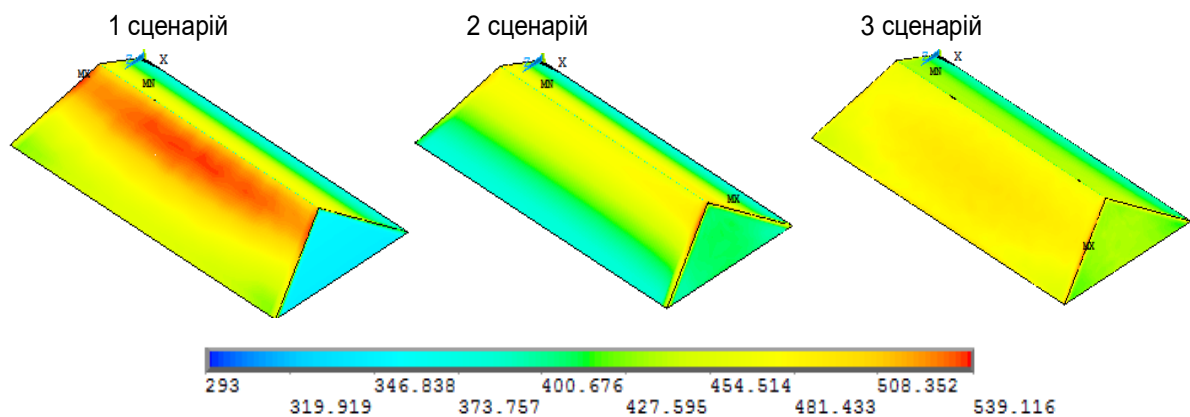


Рис. 3.7 Розподілення температури (К) на поверхні штабелю торфу у формі чотирикутної піраміди на 10 хв розвитку пожежі.

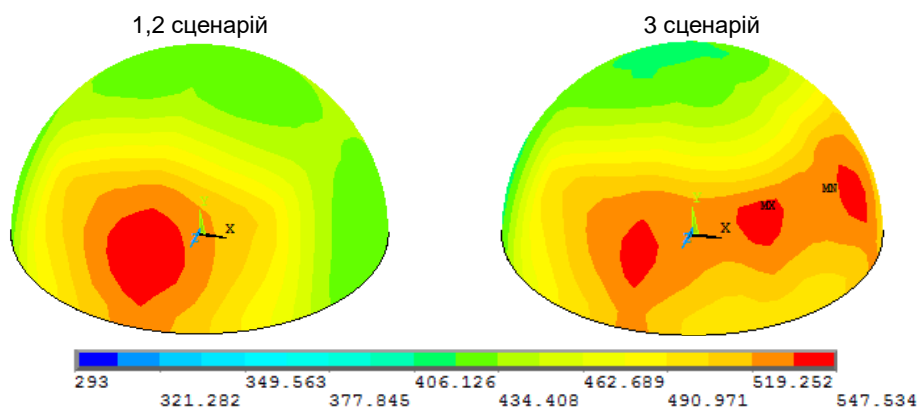


Рис. 3.8 Розподілення температури (К) на поверхні штабелю торфу у формі напівсфери на 20 хв розвитку пожежі.

Аналіз температурних розподілень, поданих на вказаних рисунках показує, що найбільш небезпечним є 3-й сценарій, коли пожежа відбувається з двох боків штабеля.

Якщо порівнювати час настання небезпечної температури займання на поверхні торфового штабеля, можна зазначити, що найскоріше така температура настає на поверхні штабеля із формою зрізаної піраміди. Трохи повільніше температура займання досягається на поверхні штабеля пірамідальної форми. Найбільш безпечною формою торфового штабеля є напівсфера, оскільки в цьому випадку температура займання досягається майже удвічі повільніше, ніж у перших двох випадках.

Точка з найбільшою температурою є незмінною для всіх сценаріїв пожежі. Для штабеля із формою зрізаної піраміди, точка

на поверхні із найбільшою температурою є однією із її вершин, яка розташована ближче до поверхні факелу. Точка із максимальною температурою розташована у вершинах штабеля пірамідальної форми.

Для сферичного штабелю точка з найбільшою температурою знаходиться біля середини між його вершиною та основою.

На рис. 3.9 наведені графіки зміни максимальної температури на поверхні штабелів різної форми із рекомендованими розмірами (див. табл. 3.1).

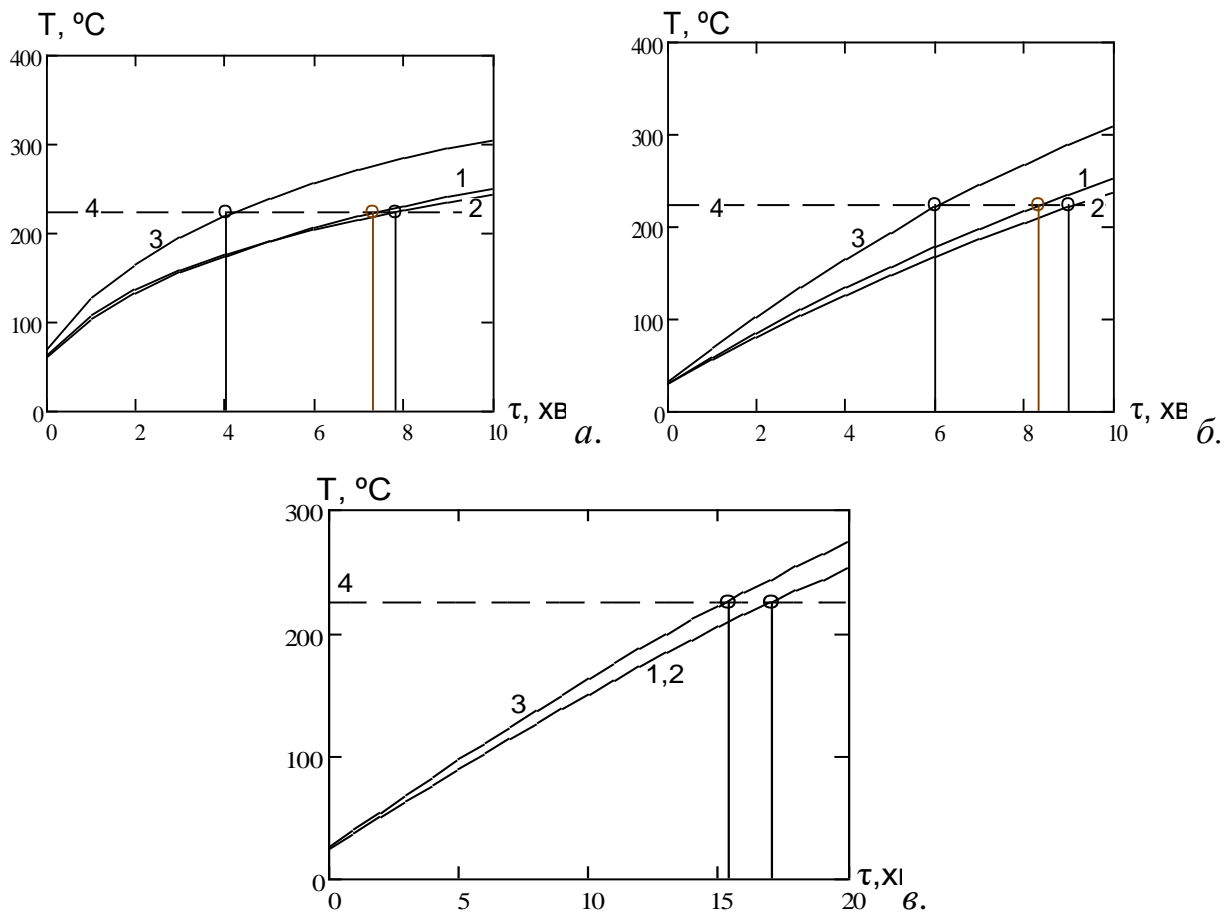


Рис. 3.9 Графіки зміни максимальної температури на поверхні штабелів різної форми із рекомендованими розмірами (1 – 1 сценарій пожежі, 2 – 2 сценарій пожежі, 3 – 3 сценарій пожежі): а – форма штабеля є зрізаною пірамідою; б – пірамідальна форма штабеля; в – форма є напівсферою.

На рис. 3.9 вертикальними лініями із маркерами позначений час досягнення небезпечної температури. Цифрами 1 – 3 позначені

відповідні сценарії пожежі, а цифрою 4 позначений рівень небезпечної температури займання торфу (див. табл. 3.2)

У табл. 3.5 наведений час настання небезпечної температури на поверхні штабелів різної форми у залежності від сценарію пожежі.

Таблиця 3.5

Час настання небезпечної температури на поверхні штабелів торфу різної геометричної форми при різних сценаріях пожежі

Геометрична форма торфового штабеля	Час настання небезпечної температури, хв		
	1 сценарій пожежі	2 сценарій пожежі	3 сценарій пожежі
Зрізана піраміда	7,3	7,8	4
Піраміда	8,3	9	6
Напівсфера	17		15,4

Дані табл. 3.5 показують, час настання небезпечної температури на поверхні штабеля у формі зрізаної піраміди і на поверхні пірамідального штабеля майже не відрізняються.

Нами були проведені додаткові дослідження впливу геометричних параметрів форми штабеля на час досягнення небезпечної температури на його поверхні. Наші дослідження показали, що найбільш суттєвий вплив на час досягнення небезпечної температури для штабелів у формі пірамід має кут нахилу торцевих граней, а для сферичного штабелю – його діаметр основи.

Для виявлення впливу були побудовані відповідні графіки залежності часу настання небезпечної температури від відповідних геометричних параметрів, які варіювалися у межах інтервалів, що регламентовані даними, наведеними у табл. 3.5. На рис. 3.10 наведені побудовані графіки отриманих залежностей часу досягнення небезпечної температури на поверхні пірамідальних штабелів від кута нахилу торцевої грані до горизонтальної поверхні у результаті розрахунку із використанням запропонованої математичної моделі.

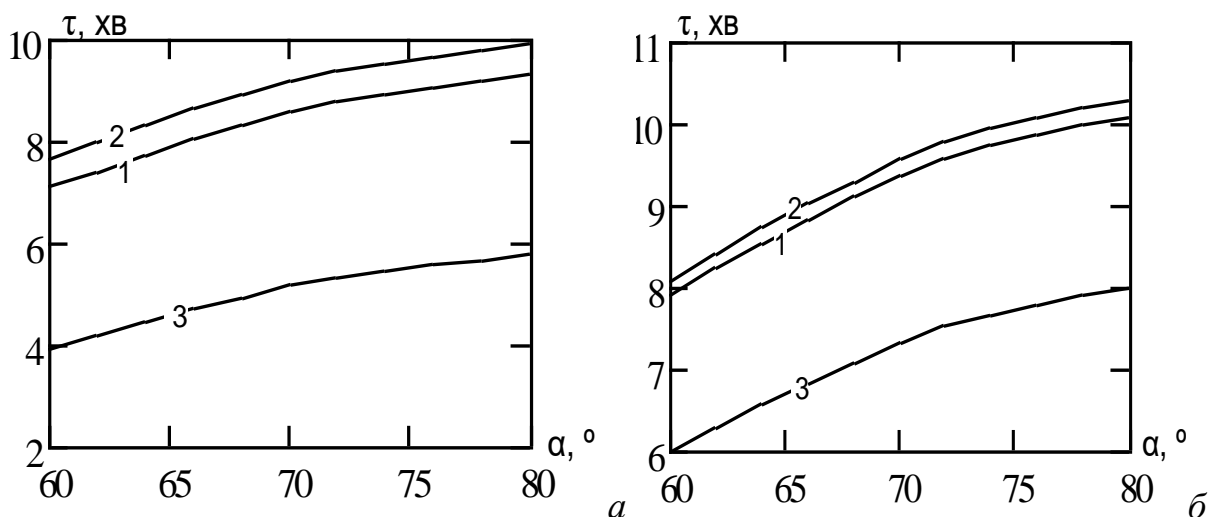


Рис. 3.10 Графіки залежностей часу досягнення небезпечної температури на поверхні пірамідальних штабелів від кута нахилу торцевої грані до горизонтальної поверхні (1 – 1 сценарій пожежі, 2 – 2 сценарій пожежі, 3 – 3 сценарій пожежі): а – форма штабеля є зрізаною пірамідою; б – пірамідальна форма штабеля.

Аналізуючи графіки на рис. 3.10, можна помітити важливу особливість, що полягає у збільшенні часу досягнення небезпечної температури при збільшенні кута нахилу торцевих граней штабеля. Причому збільшення кута нахилу граней до максимально можливого значення може збільшити час настання небезпечної температури до 5-6 хв.

На рис. 3.11 наведені побудовані графіки отриманих залежностей часу досягнення небезпечної температури на поверхні штабелів сферичної форми від діаметра основи штабеля у результаті розрахунку із використанням запропонованої математичної моделі.

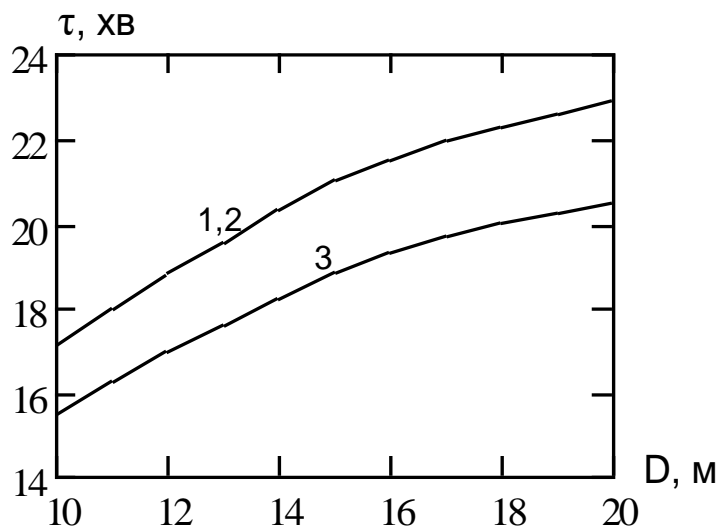


Рис. 3.11 Графіки залежностей часу досягнення небезпечної температури на поверхні штабелів сферичної форми від діаметра основи штабеля (1 – 1 сценарій пожежі, 2 – 2 сценарій пожежі, 3 – 3 сценарій пожежі).

Графіки на рис. 3.11 показали, що при збільшенні діаметра основи сферичного штабеля можна суттєво збільшити час настання небезпечної температури на його поверхні. Так при збільшенні діаметра основи штабеля від рекомендованого до максимально можливого можна збільшити означений час на 4 хв.

Отримані дані можна використовувати для прогнозування розвитку пожежі та розробки засобів її локалізації.

3.2. Дослідження величини теплового потоку факела пожежі.

Теплообмін між факелом пожежі і навколишніми предметами та механізмами здійснюється завдяки теплопровідності, конвекції та випромінювання. Із збільшенням температури факела, випромінювання збільшується, оскільки зростає його внутрішня енергія. Залежність інтенсивності випромінювання від температури значно більша, ніж від теплопровідності і конвекції. При високих температурах (500°C і більше) поширення тепла променевим теплообміном є переважаючим порівняно з конвекцією і теплообміном. Випромінювальні характеристики факела полум'я та його структура залежать від складу горючого матеріалу [87].

Під час горіння штабеля торфу виділяється велика кількість тепла, значна частина якого передається до навколишніх штабелів та будівель. Величина теплового потоку залежить від температури полум'я, його форми і площі, відстані до тіл, що нагріваються, кутових коефіцієнтів випромінювання та ступеня чорноти полум'я і тіл. Тому визначення і дослідження величини теплового потоку, що нагріває сусідні штабелі, і дослідження динаміки їх нагріву є актуальною задачею.

Інтенсивність і величина нагріву навколишніх предметів, штабелів залежить від величини теплового потоку, обумовленого пожежею. При дослідженні теплообміну випромінювання між факелом і будівлями та торф'яними штабелями необхідно визначити долю енергії випромінювання факела, яка поглинається конструкціями та штабелями. Якщо факел рухається вгору паралельно до сусіднього штабеля то цей потік визначається за формулою [88].

$$q = \varepsilon_{зв} \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{2-1}, \quad (3.5)$$

де $\varepsilon_{зв} = \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1}$ – зведений ступінь чорноти системи полум'я-штабель; $\varepsilon_1 = 0.93$ - ступінь чорноти поверхні сусіднього штабеля; $\varepsilon_2 = 0.7$ – ступінь чорноти поверхні штабеля, що горить; φ_{2-1} – частина повної енергії випромінювання факела, яка поглинається поверхнею штабеля; T_1 – температура поверхні штабеля, K ; T_2 - температура факела, K .

1. Якщо висота факела c , висота штабеля b , а відстані між ними r , то кутовий коефіцієнт випромінювання визначаємо за формулою [89].

$$\varphi_{2-1} = \frac{2}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{1}{2 \cdot A \cdot B} \right) \cdot \ln \left(\frac{(1+A^2) \cdot (1+B^2)}{1+A^2+B^2} \right) + \frac{\sqrt{1+A^2}}{A} \cdot \arctg \left(\frac{B}{\sqrt{1+A^2}} \right) + \frac{\sqrt{1+B^2}}{B} \cdot \arctg \left(\frac{A}{\sqrt{1+B^2}} \right) \right], \quad (3.6)$$

де $A = \frac{a}{r}$, $B = \frac{b}{r}$.

2. Якщо на площині на якій стоїть штабель на віддалі r , виникає невелике полум'я, площина якого паралельна боковій поверхні штабеля, то кутовий коефіцієнт записується у вигляді:

$$\varphi_{2-1}^* = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\frac{A}{\sqrt{1+A^2}} \cdot \arctg \left(\frac{B}{\sqrt{1+A^2}} \right) + \frac{B}{\sqrt{1+B^2}} \cdot \arctg \left(\frac{A}{\sqrt{1+B^2}} \right) \right] \quad (3.7)$$

3. Якщо на площині, що проходить через основу штабеля розміри якого $a \times b$ на відстані r , виникає пожежа то кутовий коефіцієнт визначається за формулою:

$$\varphi_{2-1}^{**} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\arctg\left(\frac{b}{r}\right) - \frac{\frac{r}{b}}{\sqrt{\left(\frac{a}{b}\right)^2 + \left(\frac{r}{b}\right)^2}} \cdot \arctg\left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a}{b}\right)^2 + \left(\frac{r}{b}\right)^2}}\right) \right]. \quad (3.8)$$

За формулами (3.5)...(3.8) проведені розрахунки кутових коефіцієнтів в залежності від r , при $a=2$ м, $b=3$ м. Розрахунки представлені графічно на рис. 3.12.

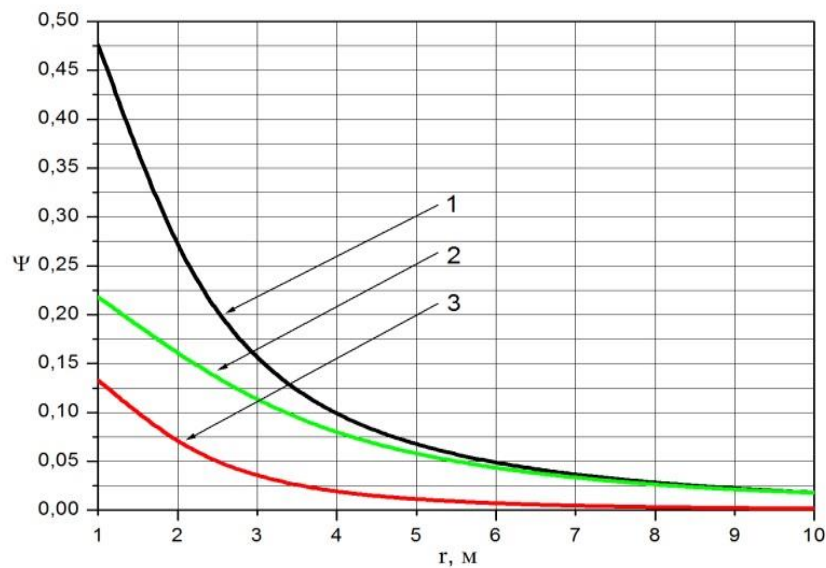


Рис. 3.12 Залежність величини кутового коефіцієнту від відстані r між штабелем та площиною полум'я де: 1 – кутовий коефіцієнт при φ_{2-1} ; 2 - кутовий коефіцієнт при φ_{2-1}^* ; 3 - кутовий коефіцієнт при φ_{2-1}^{**}

За формулою (3.5) проведені розрахунки величини теплового потоку q в залежності від температури поверхні торф'яного штабеля. При цьому враховано, що температура горіння торфу $T_2=1150$ К. Результати розрахунків представлені на рис. 3.13.

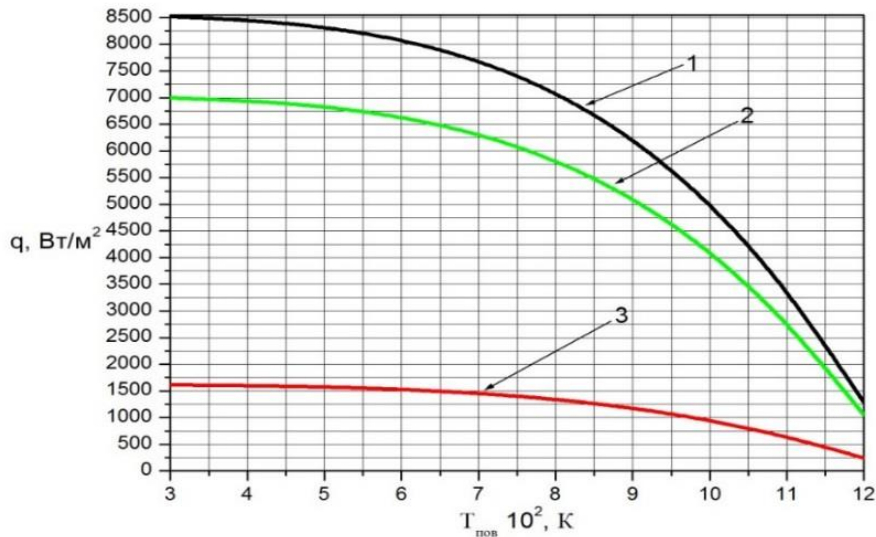


Рис. 3.13 Розподіл теплового потоку при зміні температури на поверхні штабеля де: 1 - тепловий потік при φ_{2-1} ; 2 - тепловий потік при φ_{2-1}^* ; 3 - тепловий потік при φ_{2-1}^{**}

Аналіз рис. 3.13 показує, що найбільший тепловий потік падає на торф'яний штабель коли площа полум'я паралельна його боковій поверхні (крива 1). При малих відстанях r (3...6 м) між факелом полум'я і штабелем торфу потік є найбільшим. Із збільшенням відстані, величина потоку зменшується, і при $r=12$ м становить $1,5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$.

Знаючи величину теплового потоку, який падає на поверхню штабеля, можемо визначити і дослідити процес нагріву штабеля торфу. Для знаходження та дослідження аналітичних виразів нестационарного температурного поля запишемо розв'язок диференціального рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial t(x,\tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x,\tau)}{\partial x^2}, \quad (3.9)$$

З використанням граничної умови другого роду

$$\lambda \frac{\partial t(x,\tau)}{\partial x} + q = 0, \quad (3.10)$$

Застосовуючи перетворення Лапласа знайдемо розв'язок рівняння (3.9).

Розглядаючи задачу теплопровідності з граничними умовами другого роду одержано рівняння для знаходження температури в штабелі, що нагрівається.

$$t(\tau, x) = \frac{q}{\lambda} \cdot \int_x^{\infty} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) dx \quad (3.11)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$; a – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – час, с ; $\operatorname{erfc} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_x^{\infty} e^{-x^2} dx$. За формулою (3.11) проведені розрахунки температури на боковій поверхні штабеля ($x=0$) при $r=4$ м. Результати представлені графічно на рис. 3.14.

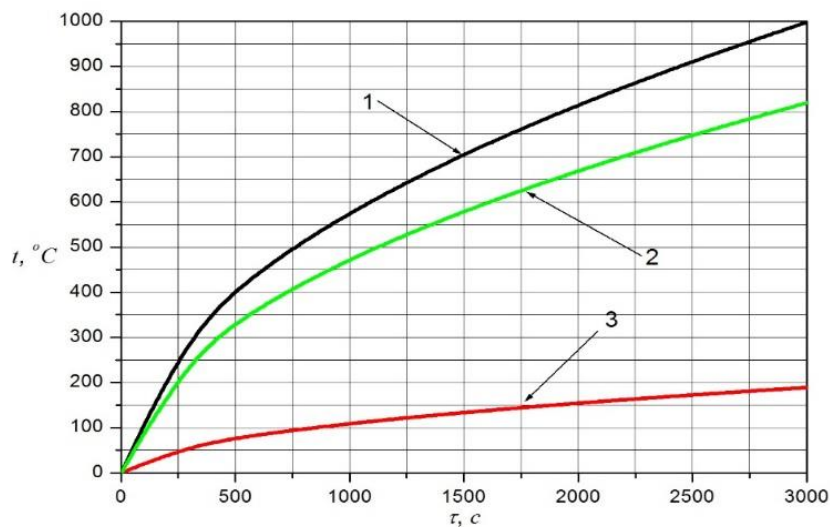


Рис. 3.14 Зміна температури на поверхні штабеля з плином часу де:
 1 - температура на поверхні штабеля при φ_{2-1} ; 2 - температура на поверхні штабеля при φ_{2-1}^* ; 3 - температура на поверхні штабеля при φ_{2-1}^{**}

З аналізу рисунку видно, що величина температури залежить від кутових коефіцієнтів та величини часу. Якщо торф нагріється до критичної температури, він загориться. [97]

Важливим є дослідження теплового потоку факела в необмеженому об'ємі, тобто при горінні штабелів торфу та сусідніх будівель. Випромінювання факела створює небезпеку для життя і здоров'я людей, а також утруднює дії пожежників, пожежної техніки, засобів призначених для гасіння пожеж.

Під час пожежі будівель і споруд, відкритих складів на торфорозробках виділяється велика кількість тепла, значна частина якого передається до навколишніх тіл. Величина теплового потоку залежить від температури полум'я, його форми і площі, відстані до тіл, що нагріваються, кутових коефіцієнтів випромінювання та ступеня чорноти полум'я і тіл.

Інтенсивність і величина нагріву навколишніх предметів, пожежної техніки, будівель і споруд залежить від величини теплового потоку, обумовленого пожежею. При дослідженні теплообміну випромінювання між факелом і штабелями торфу, необхідно визначити долю енергії випромінювання факела, яка поглинається конструкціями та об'єктами. Оскільки факел рухається вгору паралельно штабелю, то цей потік визначається за формулою [82, 87, 90] (3.5), а на рис. 3.15 зображена схема взаємного розміщення штабеля «1» і факела «2».

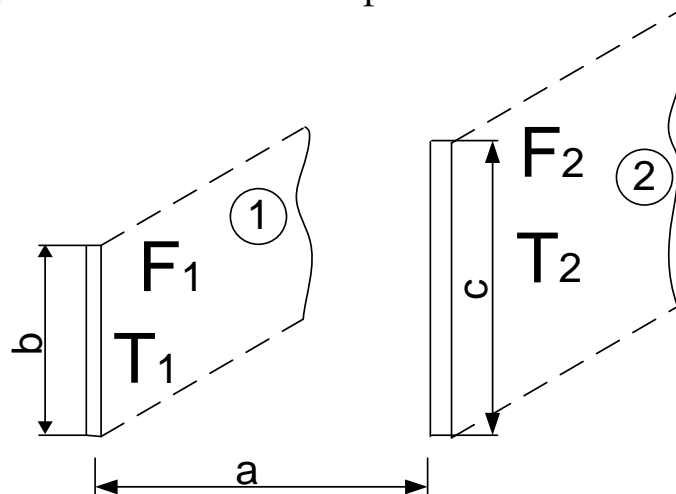


Рис. 3.15 Схема взаємного розміщення штабеля «1» і факела «2».

Якщо висота факела рівна c , висота штабеля b , а відстань між ними рівна a , то кутовий коефіцієнт випромінювання рівний [88]:

$$\phi_{2-1} = \frac{1}{2 \cdot \frac{c}{a}} \left(\sqrt{\left(\frac{b+c}{a}\right)^2 + 4} - \sqrt{\left(\frac{b-c}{a}\right)^2 + 4} \right) \quad (3.12)$$

За формулою (3.12) проведені розрахунки величини теплового потоку, що падає на поверхню штабеля (модуля) в залежності від відстані a та величини температури T_1 і T_2 . Розрахунки проведені для таких параметрів:

1) $c = 3 \dots 10 \text{ м}$, $b = 0,5 \text{ м}$, $a = 0,1 \dots 50 \text{ м}$, $T_1 = 300 \text{ К}$ $T_2 = 1473 \text{ К}$ $\varepsilon_1 = 0,27$, $\varepsilon_2 = 0,96$. Результати зображені графічно на рис. 3.16.

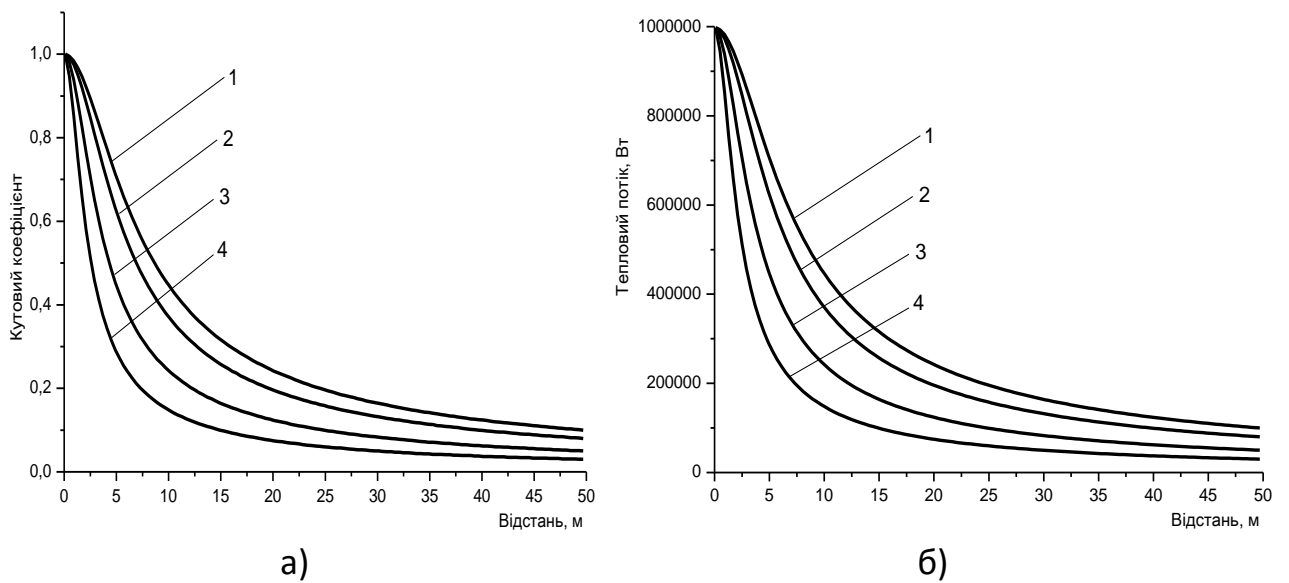


Рис. 3.16 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від висоти полум'я і відстані між штабелем і факелом 1 - при висоті полум'я 10 м; 2 - при - 8 м; 3 - при - 5 м; 4 - при - 3 м.

2) $c = 3 \dots 10 \text{ м}$, $b = 0,5 \text{ м}$, $a = 0,1 \dots 50 \text{ м}$, $T_1 = 300 \text{ К}$ $T_2 = 1147 \text{ К}$ $\varepsilon_1 = 0,27$, $\varepsilon_2 = 0,7$. Результати зображені графічно на рис. 3.17.

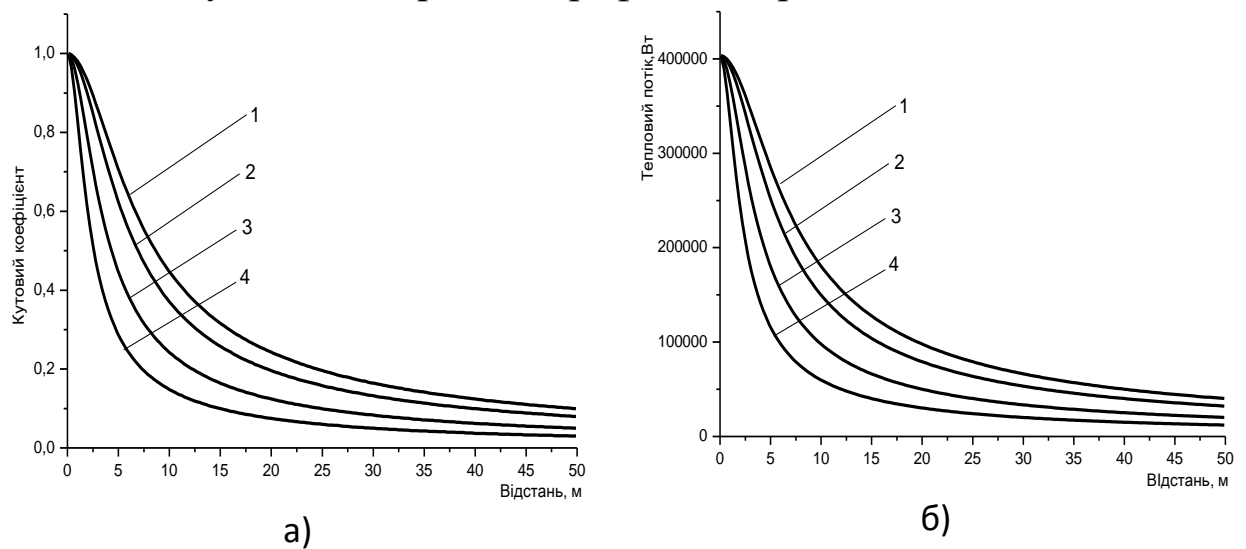


Рис. 3.17 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від висоти полум'я і відстані між штабелем і факелом 1 - при висоті полум'я 10 м; 2 - при - 8 м; 3 - при - 5 м; 4 - при - 3 м.

3) $c = 3 \dots 10 \text{ м}$, $b = 0,5 \text{ м}$, $a = 0,1 \dots 50 \text{ м}$, $T_1 = 300 \text{ К}$ $T_2 = 1473 \text{ К}$ $\varepsilon_1 = 0,27$, $\varepsilon_2 = 0,86$. Результати зображені графічно на рис. 3.18.

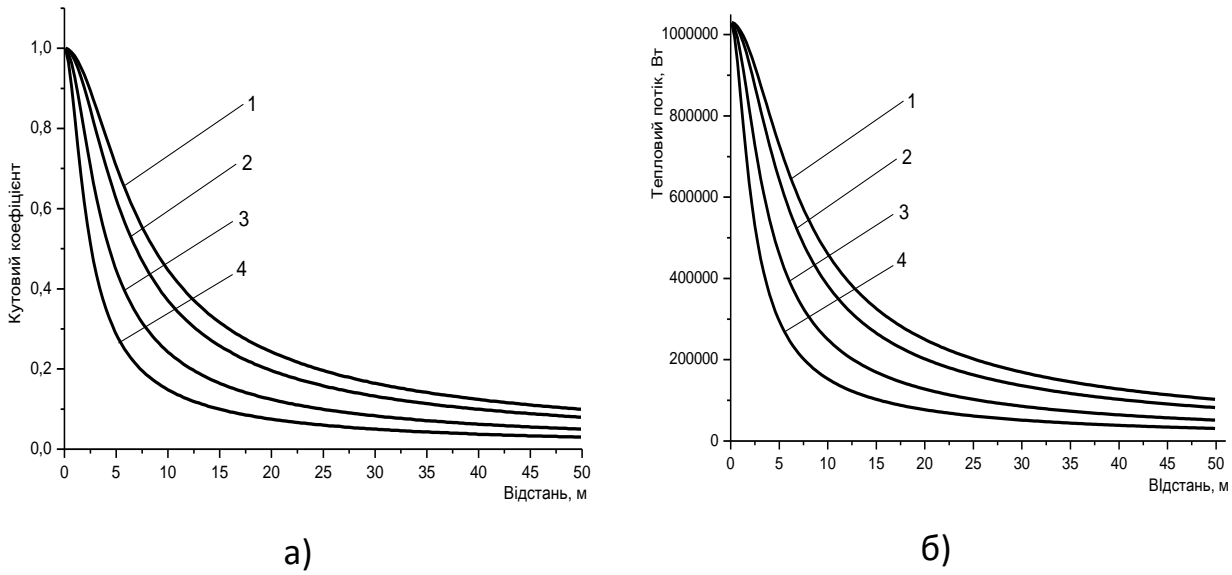


Рис. 3.18 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від висоти полум'я і відстані між штабелем і факелом
 1 - при висоті полум'я 10 м; 2 - при - 8 м; 3 - при - 5 м; 4 - при - 3 м.

4) $c = 3 \dots 10$ м, $b = 0,5$ м, $a = 0,1 \dots 50$ м, $T_1 = 300$ К $T_2 = 1273$ К $\varepsilon_1 = 0,27$, $\varepsilon_2 = 0,85$. Результати зображені графічно на рис. 3.19.

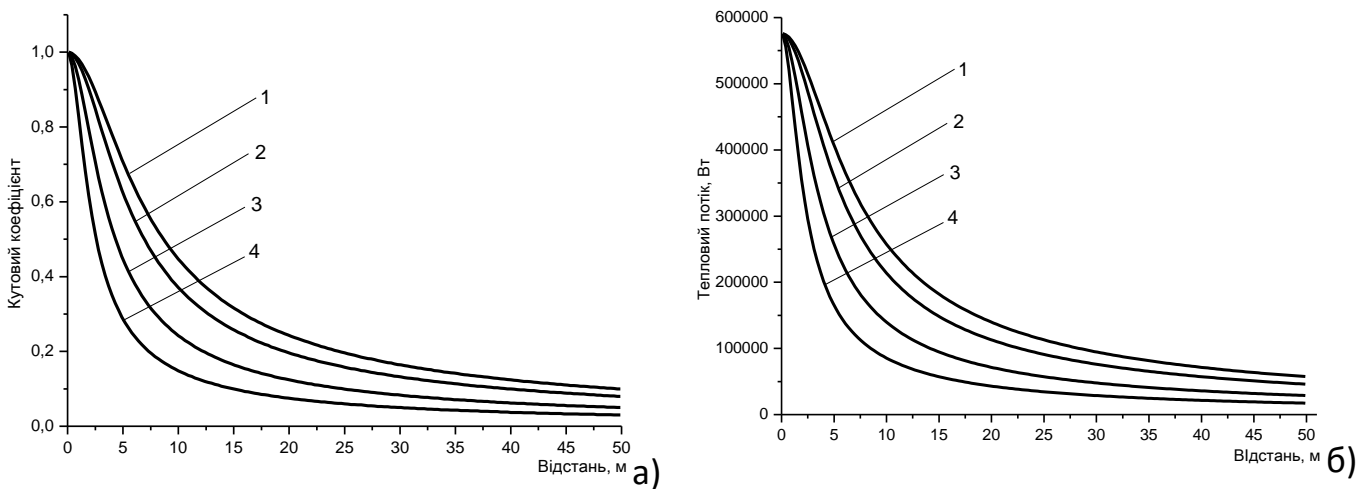


Рис. 3.19 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від висоти полум'я і відстані між штабелем і факелом
 1 - при висоті полум'я 10 м; 2 - при - 8 м; 3 - при - 5 м; 4 - при - 3 м.

Величина теплового потоку, що падає на поверхню штабеля, в значній мірі залежить від температури полум'я та чорноти факела і поверхні штабеля. При збільшенні відстані між ним і факелом, а

також зменшенні висоти факела величина теплового потоку різко зменшується.

Знаючи величину теплових потоків, які падають на штабель, можемо визначити і дослідити процес його нагріву в часі.

Розглянемо випадок, коли площини факела пожежі і поверхні штабеля розташовані під прямим кутом рис. 3.20.

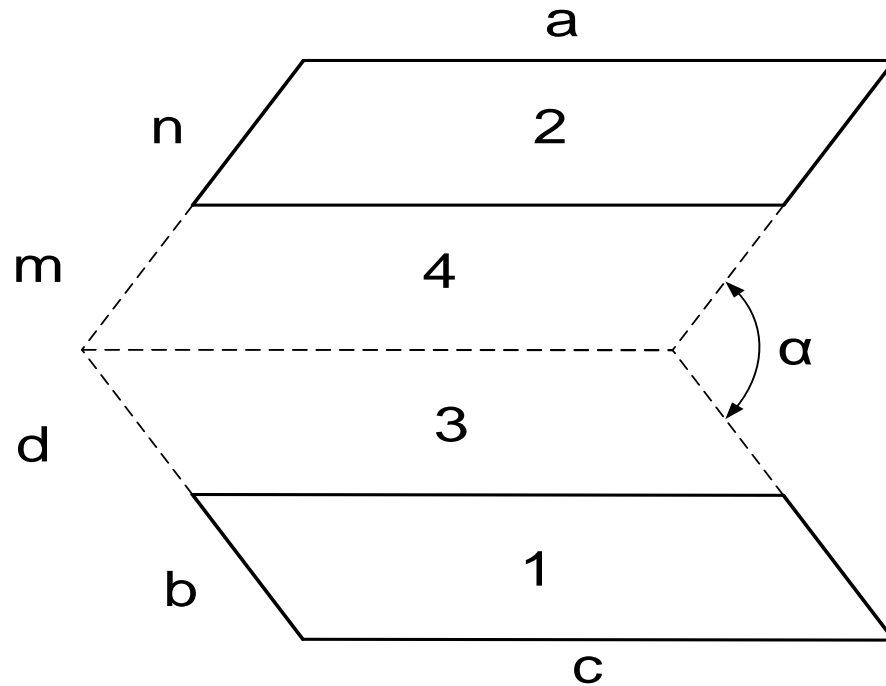


Рис. 3.20 Схема взаємного розміщення штабеля «1» і факела «2».

Якщо висота факела рівна n , довжина і ширина штабеля $b \times c$, а відстань між ними рівна a , то кутовий коефіцієнт випромінювання рівний:

$$\phi_{12} = \left[\frac{S_{13}}{S_1} (\phi_{1324} - \phi_{134}) + \frac{S_3}{S_1} (\phi_{34} - \phi_{324}) \right] \quad (3.13)$$

де $S_{13} = c \cdot (a+b)$ - площа, на яку падає тепловий потік, m^2 ; S_1 - площа штабеля, m^2 ; S_3 - площа перед штабелем, на яку падає тепловий потік від полум'я, m^2 .

$$\phi_{1324} = \frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{m+n}{c}\right)} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{m+n}{c} \right) \operatorname{arctg} \left[\frac{1}{\left(\frac{m+n}{c}\right)} \right] + \frac{b+d}{c} \operatorname{arctg} \left[\frac{1}{\left(\frac{b+d}{c}\right)} \right] - \\ & - \sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \operatorname{arctg} \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2}} \right] + \\ & + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{\left[1 + \left(\frac{m+n}{c}\right)^2 \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2 \right]}{1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2} \cdot \frac{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2}}{\left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{m+n}{c}\right)^2 \right]} \right] + \\ & + \frac{1}{4} \ln \times \frac{\left[\left(\frac{b+d}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{b+d}{c}\right)^2}}{\left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2 \right]} \right] \end{aligned} \right]$$

$$\phi_{324} = \frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{m+n}{c}\right)} \cdot \left(\frac{m+n}{c}\right) \cdot \operatorname{arctg} \left[\frac{1}{\left(\frac{m+n}{c}\right)} \right] + \frac{d}{c} \cdot \operatorname{arctg} \left[\frac{1}{\left(\frac{d}{c}\right)} \right] - \sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2}} \right) +$$

$$+ \frac{1}{4} \ln \left[\begin{aligned} & \frac{\left[1 + \left(\frac{m+n}{c}\right)^2 \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{c}\right)^2 \right]}{1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2} \cdot \frac{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2}}{\left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{m+n}{c}\right)^2 \right]} \right] \times \\ & \times \frac{\left[\left(\frac{d}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{d}{c}\right)^2}}{\left[\sqrt{\left(\frac{m+n}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{c}\right)^2 \right]} \right] \end{aligned} \right]$$

$$\begin{aligned}
\phi_{134} = & \frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{m}{c}\right)} \cdot \left(\frac{m}{c}\right) \cdot \arctg \left[\frac{1}{\left(\frac{m}{c}\right)} \right] + \frac{b+d}{c} \cdot \arctg \left[\frac{1}{\left(\frac{b+d}{c}\right)} \right] - \sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \cdot \arctg \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2}} \right] + \\
& + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{\left[1 + \left(\frac{m}{c}\right)^2 \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2 \right] \cdot \left[\left(\frac{m}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{m}{c}\right)^2} \right]}{1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{m}{c}\right)^2 \right]} \right] \times \\
& \times \left[\frac{\left(\frac{b+d}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{b+d}{c}\right)^2}}{\left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{b+d}{c}\right)^2 \right]} \right] \\
\phi_{34} = & \frac{1}{\pi \cdot \left(\frac{m}{c}\right)} \cdot \left(\frac{m}{c}\right) \cdot \arctg \left[\frac{1}{\left(\frac{m}{c}\right)} \right] + \frac{d}{c} \cdot \arctg \left[\frac{1}{\left(\frac{d}{c}\right)} \right] - \sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \cdot \arctg \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2}} \right] + \\
& + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{\left[1 + \left(\frac{m}{c}\right)^2 \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{c}\right)^2 \right] \cdot \left[\left(\frac{m}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{m}{c}\right)^2} \right]}{1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{m}{c}\right)^2 \right]} \right] \times \\
& \times \left[\frac{\left(\frac{d}{c}\right)^2 \cdot \left[1 + \left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \right]^{\left(\frac{d}{c}\right)^2}}{\left[\sqrt{\left(\frac{m}{c}\right)^2 + \left(\frac{d}{c}\right)^2} \right]^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{c}\right)^2 \right]} \right]
\end{aligned}$$

За формулою (3.11) з урахуванням виразу (3.13) проведені розрахунки величини теплового потоку, що падає на поверхню

штабеля в залежності від віддалі a та величини температури T_1 і T_2 .
 Розрахунки проведені для таких параметрів:

1) $n=0,5...10\text{ м}$, $b=1,5\text{ м}$, $d=0,1...50\text{ м}$, $T_1=300\text{ К}$ $T_2=1473\text{ К}$ $\varepsilon_1=0,27$,
 $\varepsilon_2=0,96$. Результати зображені графічно на рис. 3.21.

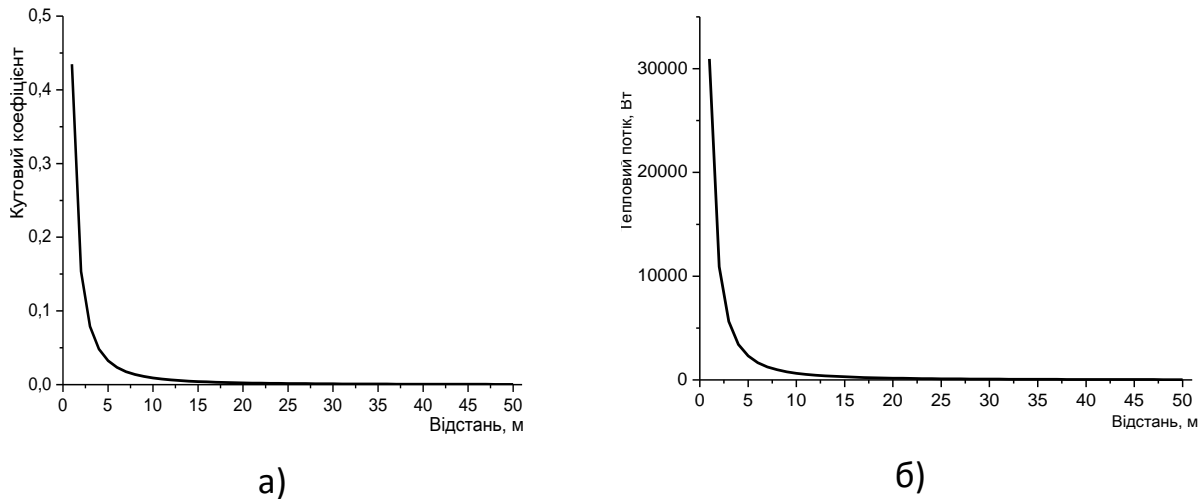


Рис. 3.21 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від відстані між штабелем і факелом при висоті полум'я 10 м.

2) $n=0,5...10\text{ м}$, $b=1,5\text{ м}$, $d=0,1...50\text{ м}$, $T_1=300\text{ К}$ $T_2=1147\text{ К}$ $\varepsilon_1=0,27$,
 $\varepsilon_2=0,7$. Результати зображені графічно на рис. 3.22.

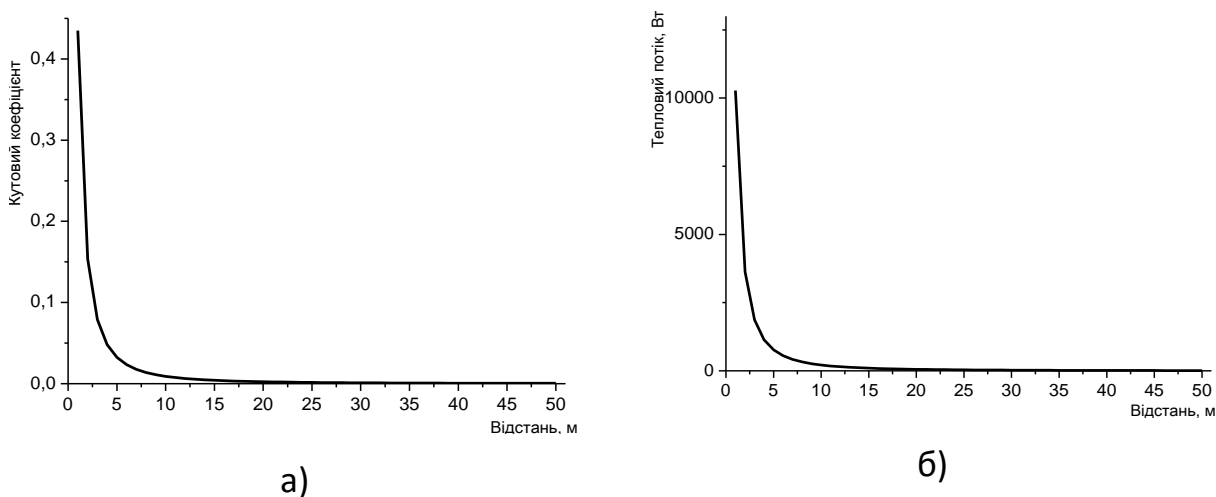


Рис. 3.22 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від відстані між штабелем і факелом при висоті полум'я 10 м.

3) $n=0,5...10$ м, $b=1,5$ м, $d=0,1...50$ м, $T_1=300$ К $T_2=1473$ К $\varepsilon_1=0,27$, $\varepsilon_2=0,86$. Результати зображені графічно на рис. 3.23.

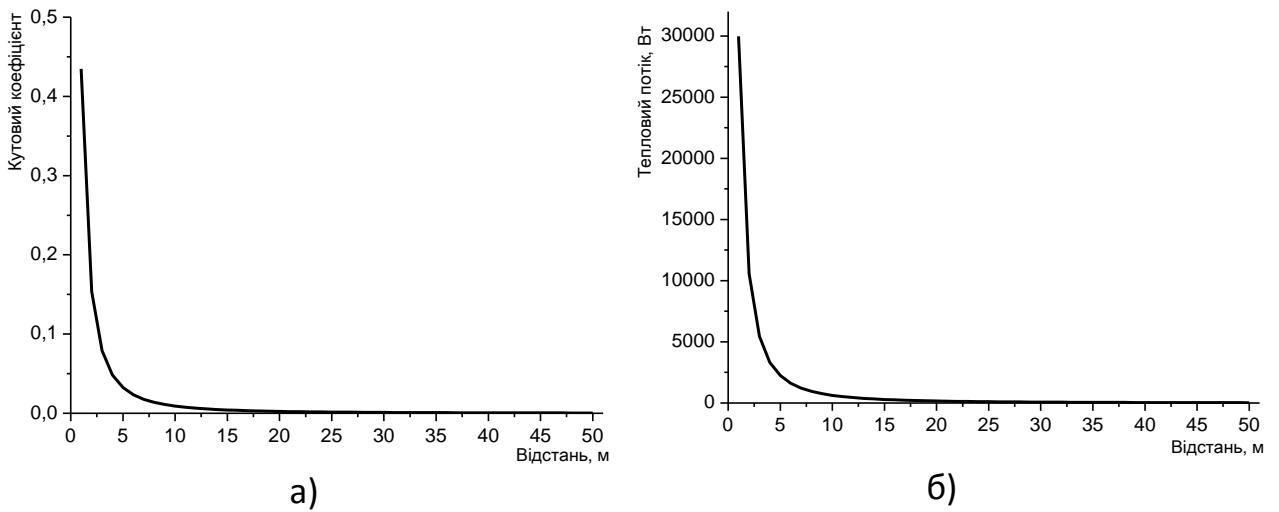


Рис. 3.23 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від відстані між штабелем і факелом при висоті полум'я 10 м.

4) $n=0,5...10$ м, $b=1,5$ м, $d=0,1...50$ м, $T_1=300$ К $T_2=1273$ К $\varepsilon_1=0,27$, $\varepsilon_2=0,85$. Результати зображені графічно на рис. 3.24.

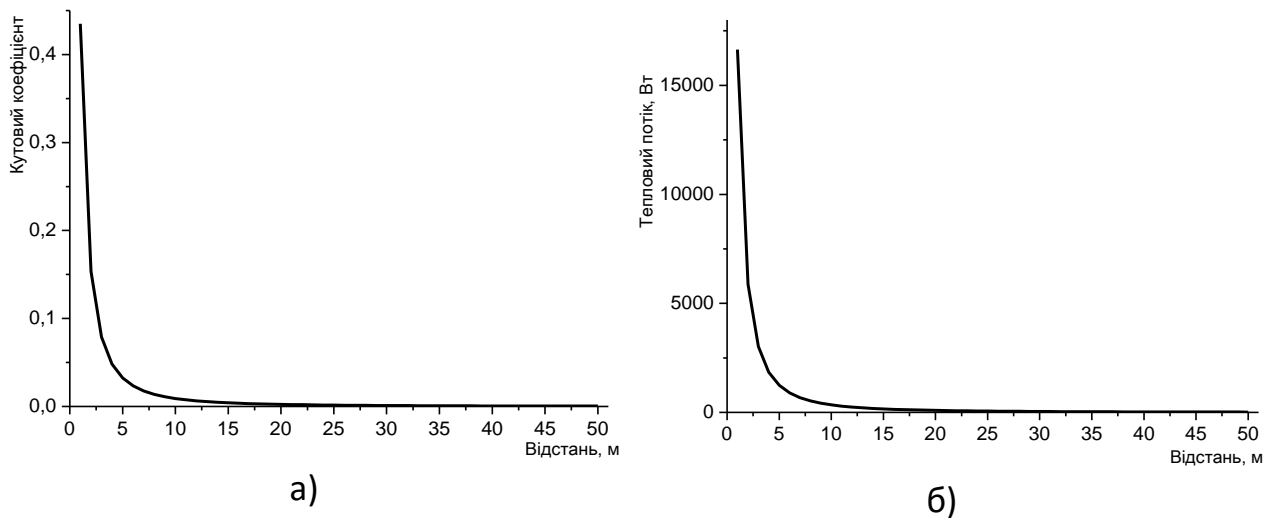


Рис. 3.24 Графіки залежності кутового коефіцієнту (а) та теплового потоку (б) від відстані між штабелем і факелом при висоті полум'я 10 м.

Аналіз проведених досліджень показує, що величина теплового потоку, що падає на поверхню штабеля, в значній мірі залежить від температури полум'я та чорноти поверхонь штабеля і

факела. При збільшенні віддалі між ним і факелом, а також зменшенні висоти факела величина теплового потоку різко зменшується. При цьому слід зауважити, що в основному нагрівається передня частина штабеля, що чітко видно з отриманих графіків рис. 3.22...3.24.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ПЕРЕШКОД НА ТОРФ'ЯНИКАХ.

4.1. Матеріали для припинення горіння Механізм припинення горіння

Горіння – це екзотермічна реакція окислення речовини, яка супроводжується виникненням полум'я і свіченням та (або) виділенням диму. Складовими процесу горіння є горючий матеріал, окисник і джерело запалювання. Звичайно, ці складові представляють у схемі класичний трикутник. Схema передбачає, що досить вирізати одну з вершин трикутника, як горіння стане неможливим. Отже, для припинення горіння досить виключити з процесу горючий матеріал, окисник або джерело запалювання [2].

Кажучи про відсутність однієї з трьох складових процесу горіння, треба розуміти, що будь-яке видалення стовідсотковим не буває. Розбираючи конструкції будівлі, перекриваючи ковдрою доступ повітря, збиваючи вибухом полум'я, мети ви досягаєте не обов'язково при абсолютному видаленні даної складової. Досить її зменшити до певного значення. Згідно з тепловою теорією згасання, полум'я зменшується при порушенні умов теплової рівноваги у зоні горіння, коли витрати тепла перевищують його виділення за рахунок реакції горіння. Горіння припиняється тоді, коли в зоні горіння температура знизиться до деякого критичного значення. У більшості випадків це значення становить 1000 °С [2].

Джерелом запалювання на пожежі, що вже виникла, є полум'я, яке передає теплову енергію сусіднім ділянкам горючого матеріалу механізмами випромінювання, конвекції або прямої теплопередачі. У відповідності з цим, для гасіння пожежі треба знизити до критичного значення кожен із цих видів передачі енергії.

Чим вища температура горіння, тим більше енергії передається кожним із указаних шляхів. Отже, універсальним методом зниження передачі енергії є зниження температури горіння до значення, нижчої ніж температура згасання. Досягається це на основі чотирьох відомих принципів припинення горіння:

- охолодження зони горіння, або речовини, що горить;
- розведення речовин – учасників реакції горіння, тобто зниження їх концентрації;
- ізоляція реагуючих речовин (горючого або окисника) від зони горіння;
- хімічне гальмування реакції горіння.

Ліквідацію, або, точніше, зниження до критичного значення кожного з видів передачі енергії доцільніше усього проводити з допомогою вогнегасних засобів. В теорії горіння, як вогнегасні засоби розглядаються речовини й матеріали, які безпосередньо вводяться у зону горіння і створюють умови для припинення горіння.

Класифікація вогнегасних засобів

Класифікують вогнегасні засоби за двома ознаками: за агрегатним станом і за механізмом дії. За агрегатним станом розрізняють газоподібні, рідкі і тверді вогнегасні засоби. До газоподібних відносяться: азот, аргон, карбон діоксид, а також відпрацьовані гази двигунів, найчастіше списаних двигунів літаків. До рідких – вода і її розчини, а також хімічна і повітряно-механічна піна. Тверді вогнегасні засоби – це природні сипучі матеріали (пісок, глина, земля), а також спеціальні порошкові суміші (ПС). До твердих можна віднести і снігоподібну вуглекислоту – заморожений до $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ карбон діоксид [2].

Класифікація вогнегасних засобів за механізмом припинення горіння є до деякої міри умовною: кожен із таких засобів у певній мірі проявляє усі чотири ефекти: охолодження, розведення, ізоляції і хімічного інгібування. Точно виділити частку дії, сказати, наприклад, що пісок проявляє на 64 % охолоджуючий ефект, на 24 % ізолюючий, на 7 % ефект розведення і на 5 % хімічного гальмування, неможливо. Але, як правило, один з ефектів для кожної речовини виражений набагато виразніше ніж інші. За цією ознакою, засіб і відносять до того чи іншого виду:

- ті, що охолоджують зону реакції або горючі речовини (в основному, вода і її розчини);
- ті, що розводять речовини у зоні реакції горіння (інертні гази, відпрацьовані гази, водяний пар та інші);
- ті, що ізолюють речовини (горючі або окислюючі) від

зони горіння (хімічна і повітряно-механічна піна, негорючі сипучі матеріали, листові матеріали і та інші);

- ті, що гальмують реакцію горіння, хімічно дезактивуючи активні радикали та іони (хладони, вогнегасні порошки та інші).

Розглянемо охолоджуючі вогнегасні засоби і механізми припинення ними горіння. Застосовуючи охолоджуючі вогнегасні засоби, треба знати, в яку саме зону їх подавати. Найбільш повноцінно охолоджуючий засіб використовується при безпосередньому охолодженні зони горіння, зони хімічної реакції. Охолодження учасників реакції – горючої речовини і окисника (повітря) має менше значення. Дія окисника від температури практично не залежить, так як зміна тепловмісту повітря на фоні теплового ефекту реакції горіння – практично непомітна. Те саме стосується охолодження горючих газів. Деякий сенс має охолодження рідин. Але не тому, що змінює їх тепловміст, а тому, що зниження температури викликає зниження тиску пари насиченої рідини і, відповідно, зниження концентрації парів у повітрі. Охолодивши рідину до температури, нижчої НТМПП, можна досягти згасання полум'я по причині відсутності у зоні горіння достатньої кількості парів.

Те саме стосується охолодження перед фронтом полум'я поверхні твердого горючого матеріалу. Попереджається нагрів цього матеріалу до температури піролізу (розкладу) і, отже, попереджається вихід у зону горіння газоподібних горючих речовин. У випадку ж гетерогенного горіння, охолодження поверхні взагалі співпадає з охолодженням зони горіння, так як при гетерогенному процесі поверхня горючого матеріалу і є зоною, де протікає хімічна реакція окиснення.

Речовини, які застосовують як охолоджуючі засоби, переважно, це вода і водні розчини. Іноді до охолоджуючих засобів відносять тверду (снігоподібну) вуглекислоту. Але, не зважаючи на дуже низьку температуру такого снігу, до $-74\text{ }^{\circ}\text{C}$, теплота його випаровування (точніше, сублімації, тобто прямого переходу з твердого стану у газоподібний, без проміжного утворення рідини) і теплоємність – відносно

невеликі, відповідно, 569 кДж/кг та 0,844 кДж/кг·К. Для води ж ці значення складають відповідно 2236 кДж/кг та 4,187 кДж/кг·К. Не дуже високою є і швидкість сублімації твердого вуглекислого газу, так що охолоджуюча дія цього вогнегасного засобу поступається його флегматизуючому ефекту.

Отже, у найбільшій мірі механізму гасіння охолодженням відповідають вода і її розчини. Застосуванню води, як засобу гасіння пожеж, сприяють її властивості і її поширеність. Основною перевагою води є велике значення теплоти її випаровування - 2236 кДж/кг. Випаровуючись, 1 кг води забирає від зони горіння або від охолоджуваного матеріалу більше 2200 кДж тепла. Крім того, і просто нагріваючись до певної температури, вода забирає помітну кількість тепла. Теплоємність води складає 4,187 кДж/кг·К. Це означає, що 1 кг води при нагріванні тільки на 1 °С забирає більше 4 кДж теплоти. Крім охолоджуючого ефекту, вода діє, як флегматизуючий засіб. 1 кг рідкої води займає об'єм 1 л, а 1 кг водяної пари – 1300 л.

Контакт води з більшістю речовин до великих неприємностей не приводить. Розкладатись на водень і кисень вода може тільки при температурі, більшій за 1700 °С. Температура ж горіння деревини, пластмас і інших твердих матеріалів не перевищує 1300 °С. Отже, до утворення гримучого газу (суміші водню з киснем) у звичайних умовах справа, як правило, не доходить.

За виключенням лужних металів, гідридів і карбідів металів, елементоорганічних і деяких інших сполук, більшість речовин із водою не реагують. Вода може зіпсувати якусь поверхню або товар, може розчинити (наприклад, сіль або цукор). Але так, щоб спровокувати вибух або горіння, вона реагує з дуже невеликою кількістю матеріалів. Правда, крім хімічної дії, компактний струмінь води має помітну ударну силу, що може викликати вибух нітрогліцерину, концентрованої розчину пероксиду водню, або іншої пероксидної сполуки.

Переваги води, як вогнегасного засобу:

- має велику теплоту випаровування і відносно велику теплоємність, у результаті чого, відводить тепло скоріше і з

більшою ефективністю ніж будь-який інший засіб;

- широко розповсюджена і має невелику вартість;
- при транспортуванні не вимагає якихось запобіжних заходів захисту: випадкові виливи води ні до яких негативних наслідків не приводять;

- у вигляді струменю може подаватися на досить великі відстані, не вимагаючи обов'язкового наближення персоналу до зони горіння;

- має задовільну проникаючу здатність у місця, які важкодоступні для інших засобів, наприклад, для порошків;

- не отруйна і у більшості випадків хімічно нейтральна;

- дає змогу за допомогою насосів великого тиску передавати на значні відстані енергію для руйнування певних конструкцій із метою забезпечення доступу до осередку горіння;

- змочування водою, зволоження поверхонь і ділянок перед фронтом полум'я дозволяє затримати, а іноді і повністю попередити, поширення полум'я.

Недоліки води, як вогнегасного засобу:

- вода не гасить пожежі рідких легколетючих сполук, температура кипіння яких нижча за 80 - 90 °С;

- існують речовини, які з водою реагують або, змішуючись, виділяють велику кількість тепла (лужні метали, сірчистий ангідрид і інші);

- вода має досить високу температуру застигання – 0 °С, а пожежі доводиться гасити і зимою. Поки вода тече з певною швидкістю, вона при даній мінусовій температурі не застигає. Але варто на пару хвилин зупинити насос, припинити подачу, як утворюється льодяна кірка, а потім і льодяна пробка.

- при застиганні, вода, на відміну від органічних рідин, суттєво збільшує об'єм (на 9 %). Тиск, що розвивається при цьому, розриває не тільки гумові і брезентові рукави, а навіть тонкі металеві труби;

- збитки, які потужний струмінь води завдає будівлям, приміщенням, цінному майну і т.п. можуть досягати великих розмірів;

- деревина, папір, тканина і деякі інші матеріали

адсорбують і утримують велику кількість води, у результаті чого стають дуже важкими. Це не тільки псує речі, а може викликати небезпечний обвал перекриття;

- жирні поверхні, поверхні пилу гуми, пилу бурого вугілля і деякі інші погано змочуються водою і погано пропускають її всередину. Для того, щоб вода пробилася крізь полум'я до поверхні такого пилу, треба або подати більше води, або додавати до неї змочувач;

- вода має низьку в'язкість, тому значна її частина витікає з місця пожежі, істотно не впливаючи на процес припинення горіння.

Повністю забороняється використовувати воду для гасіння:

- легких металів, внаслідок небезпеки утворення гримучого газу (суміш кисню з воднем, який утворюється внаслідок взаємодії металу з водою);

- карбідів металів, внаслідок небезпеки утворення ацетилену;

- металоорганічних сполук, внаслідок утворення горючих вуглеводнів;

- розпечених до білого кольору металів і вугілля; так, як вода при таких умовах може розкластися на водень і кисень, які можуть утворити гримучий газ, або кисень може утворити з вуглецем чадний газ [91].

Ізолюючі вогнегасні засоби – це речовини або матеріали, які створюють ізолюючий шар між зоною горіння і горючим матеріалом, або між зоною горіння і повітрям. До засобів, які переважно діють по ізолюючому механізму, відносять насамперед піну високої кратності. Помітною ізолюючою дією володіють всі піни, вогнегасні порошки, пісок, тальк і т.п. тверді матеріали; а також газоподібні гасячі засоби.

До ізолюючих вогнегасних засобів можна віднести також бентонітові глини.

Бентоніти, колоїдні глини, що складаються в основному з мінералів групи монтморилоніту $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot n_2O$ [37]. Монтморилоніт, глинистий мінерал з підкласу шаруватих силікатів з перемінним хімічним складом $(Ca, Na)(Mg, Al, Fe)_2[(Si, Al)_4O_{10}]$

$(\text{OH})_2 \cdot n_2\text{O}$. Структура монтморилоніту відрізняється симетричним додаванням пачок шарів (як у пірофіліту). Між «пірофілітовими» пакетами розміщуються молекули міжшарової води й атоми обмінних основ Ca, Na та ін. Характерно велика відстань між пачками шарів утворює щільні глинисті маси. Колір білий до рожевого і сіро-синього відтінків, бурий, червоний, зеленуватий (у залежності від домішок). Твердість по мінералогічній шкалі близько 1; щільність близько 1800 кг/м^3 . При змочуванні сильно набухає у зв'язку з проникненням води в проміжки між шарами структури.

Бентонітові глини одержали назву від форту Бентон, розташованого в штаті Вайомінг (США), де перший їх промисловий видобуток був розпочатий наприкінці минулого століття. У наступному періоді інтерес до бентонітових глин значно зріс, і родовища були виявлені майже на всіх континентах нашої планети. Бентонітами варто називати незалежно від генезису тонкодисперсні глини, що складаються не менш чим на 60-70 % з мінералів групи монтморилоніту, що володіють високою сполучною здатністю, адсорбційною і каталітичною активністю. Бентонітові глини застосовуються в грудках або у виді глинопорошку. Бентонітовий порошок являє собою продукт сушіння і тонкого помелу природного матеріалу – бентонітової глини, що зберегла усі свої колоїдно-хімічні властивості. Глинопорошки мають ряд переваг перед глинами в грудках, зокрема диспергування (набрякання) дрібних частинок відбувається швидше і повніше, ніж великих; транспортування глинопорошку, особливо на великі відстані, обходиться дешевше; механізація та автоматизація готування суспензій.

Бентоніти являють собою монтморилонітові і є різновидом білих чи сукновальних глин. Характеризуються рядом цінних властивостей, таких, як високе набрякання у воді, здатність зберігати додану форму, тонка дисперсність, володіють миючою, емульгуючою та згущуючою здібностями, що обумовлюється властивостями ведучого мінералу цих глин – монтморилоніту; останній підрозділяють на лужний - з високим вмістом Na_2O і лужноземельний – утримуючий переважно CaO, MgO [92].

Хімічний склад бентонітів показаний в табл. 4.1.

Хімічний склад бентонітів

З'єднання	Частка, %	З'єднання	Частка, %
SiO ₂	58,25	MgO	3,62
Al ₂ O ₃	14,27	P ₂ O ₃	0,18
Fe ₂ O ₃	4,37	S	0,14
FeO	0,5	K ₂ O	1,2
Ti ₂ O	0,36	Na ₂ O	2,25
Ca	2,07		

Більш точну якісну характеристику природних бентонітів по одних тільки результатах їхнього хімічного аналізу дати важко. Для порівняно чистих бентонітів зміст окремих компонентів, зокрема окисів кремнію й алюмінію, і їхнє молекулярне співвідношення є характеризуючою ознакою. Виходячи з теоретичної формули монтморилоніту молекулярне співвідношення окисів кремнію й алюмінію не повинне бути нижче 1:4; для мінералів гідрослюдиної групи це співвідношення близьке 1:3 і каолінітовій 1:2.

Натрієвий бентоніт – один з різновидів монтморилонітових глин природного походження. Кристалічні ґрати монтморилоніту складаються з трьох шарів: два зовнішніх шари кремнекисневих сіток з атомами кремнію в центрах і внутрішній шар із щільно укладених атомів чи кисню гідроксильних груп, між якими розташовані атоми алюмінію. Сполучення цих шарів утворює шаруваті пакети, зв'язані між собою обмінними катіонами Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ і водою. При перевазі іонів натрію в бентоніті в процесі гідратації сила взаємних зв'язків зменшується настільки, що пакет пластинок розпадається на окремі частки, відбувається сильне збільшення загального обсягу глини, приблизно в 14-16 разів. Коли цей процес відбувається в замкнутому просторі, виникає напружений стан у структурі гелю, що утвориться, за рахунок чого водопроникність матеріалу сильно знижується.

Загальними властивостями бентонітових глин є дисперсність, гарна адсорбційна здатність, набрякаємість, зв'язуюча здатність.

За хімічним складом розрізняють два види бентонітів: лужні (із перевагою обмінного натрію) та лужноземельні (із перевагою обмінного кальцію).

Що стосується бентопорошків, то їхня якість і віднесення до різних марок визначається, по-перше, якістю вихідної глини, по-друге, методами технологічної переробки. У процесі виробництва можливе підвищення якості глинопорошків (модифікація) шляхом обробки глин різними реагентами під час помелу. Значно поліпшують якість бентопорошків, наприклад, уведення кальцинованої соди Na_2CO_3 і акрилових полімерів. Ефект модифікації виражається в підвищенні в'язкості глинистої суспензії за рахунок додаткового диспергування глини, збільшення обсягу зв'язаної води, в'язкості дисперсійного середовища і посилення гелеутворювання. У залежності від застосування, бентопорошки повинні відповідати визначеним якісним характеристикам, відповідно до Державних стандартів і Технічних умов даної галузі.

Бентоніти є важливим видом мінеральної сировини, що широко застосовується в промисловості, медицині, сільському господарстві та у багатьох інших галузях. Бентоніти використовуються в нафтодобувній, нафтопереробній і нафтохімічній галузях промисловості, як каталізатор і сорбент для очищення нафтопродуктів. Це відносно дешевий, стійкий матеріал із простою регенерацією.

В хімічній промисловості бентоніти широко застосовуються, як каталізатори (чи носії каталізаторів), сорбенти, коагулянти, наповнювачі, відбілювачі глини.

Для хімічної та нафтохімічної промисловості потреба в бентонітових глинах становить близько 0,3 % обсягу загального споживання бентонітів.

Знаходить він своє застосування і в будівництві при виготовленні керамзиту, морозостійкої та міцної цегли й черепиці; при виготовленні водостійких завіс та екрануючих матеріалів у водосховищах, дамбах, зрошувальних каналах, каналізаційних та індустріальних резервуарах, підземних спорудах; в якості ін'єкційних рідин у гідротехнічному та шахтному будівництві; при будівництві доріг, як водоізолююча основа при укладанні асфальту; як заземлюючий матеріал при будівництві електротехнічних споруд. У будівельній промисловості можуть використовуватись високодисперсні низькосортні бентоніти та бентонітоподібні глини, що має певний економічний ефект.

Традиційно значним споживачем бентонітових глин є служба буріння. Наприклад, у США саме служба буріння споживає близько 20 % від загальної кількості бентонітів, в Україні – близько 10 %. У країнах СНД для цих цілей використовувалося 25 % об'єму загального споживання бентонітових глин. У бурінні часто застосовуються і дешеві бентонітоподібні та полімінеральні глини, додавання до яких 3-10 % бентонітових глин дозволяє отримати високоякісні розчини [93].

Бентонітовий порошок, що одержують помелом висушеної глини, застосовується для готування формувальних сумішей у ливарному виробництві для виготовлення відповідальних заготівель з високою чистотою обробки (блоки двигунів, корпусу коробок передач і ін. в автомобільній промисловості).

Буріння глибоких свердловин у нафтовій і газовій промисловості при пошуково-розвідувальних роботах, тампонаж неможливий без застосування бентонітового порошку (бурові і тампонажні розчини). Основні показники бентонітових порошків наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Основні показники бентонітових порошків

Найменування показника	Норми для марок			Методи випробувань
	ПБВ	ПБГ	ПБД	
Вихід розчину глинистої суспензії з в'язкістю 20 МПа·с, м ³ /т, не менше	12,0	8,0	5,0	ТУ РА 67120621 Р245-95
Масова доля вологи, % не більше	10,0	10,0	10,0	
Ситовий аналіз суспензії, залишок на ситі %, з сіткою №05, не більше	0	0	0	
Ситовий аналіз суспензії, залишок на ситі %, з сіткою №0071 не більше	10,0	10,0	10,0	

У природі бентонітові глини нерідко утворюють великі родовища, що мають промислове значення. В даний час відоме значне число родовищ бентонітів по усьому світі. Подібні родовища є в США, Франції, Індії, Греції, Росії, Грузії, Вірменії й інших країн. Найвідомішими родовищами країн ближнього зарубіжжя вважаються Гумбрийське та Асканське в західній Грузії, Огланлинське в Туркменістані, Тари-Варське в Татарстані, Зиряновське на Уралі. На Україні розповсюджені в Черкаській,

Закарпатській, Тернопільській, Хмельницькій областях та у АР Крим [91, 94].

На території України виявлено близько 110 родовищ і проявів бентонітових глин усіх генетичних типів. В основному переважають бентоніти вулканогенно-осадового, поствулканічного, осадового й елювіального походження. Родовища нерівномірно розподілені на території України (табл. 4.3-4.4). Наприклад, основні ресурси цеолітів і високоякісних лужних бентонітів виявлені тільки на південному заході країни в Закарпатській області. Найбільшим родовищем України є Черкаське (тут знаходяться 86 % всіх запасів України), інші родовища – Бережанське, Біловодське, Великочернетчинське, Горбківське, Григорівське, Ільницьке, Кудринське, Курцівське, Махновщинське, Пижівське (Новоушицький район), Пісковське, Сорищенське, Хижинське, Чабановське. Станом на 2002 на Держбаланс було поставлено лише 6 – Бережанське, Горбківське, Кудринське, Курцівське, Пижівське, Черкаське, але реально (станом на 1999 рік) розробляються лише 3 – Горбківське, Кудринське та Черкаське [95]:

Таблиця 4.3

Потужності родовищ бентонітової глини в Україні

Родовище	Категорії А+В, тисяч тон	Категорія С ₁ , тисяч тон	Категорія С ₂ , тисяч тон	Запаси, %	Видобуток, тисяч тон	Видобуток, %
Горбківське	3617	3985	0	12,48	0	0
Кудринське	0	375	221	0,62	0	0
Черкаське	14075	38276	0	85,93	127	100
Всього	17692	42636	221	99,02	127	100

Таблиця 4.4

Видобуток бентонітових глин в Україні за роками:

Рік	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Тисяч тон	422	300	162	64	51	65	142	122	127	145	139

В останні роки виконуються геологічні розвідки на Григорівському родовищі (Донбас), Павлівській та Шиманівській ділянках (Дніпропетровська область), Пілявському родовищі (Вінницька область); ведуться пошуково-оціночні роботи в Полтавській, Сумській та Харківській областях; проводиться попередня розвідка в Хустському та Рахівському районах, розвідки Киштинської ділянки та Ільницького родовища (Закарпатська область); проводиться детальна розвідка на Босівській та Ріпкинській ділянках Черкаського родовища [96].

4.1.1. Фізико-хімічні властивості бентонітової глини.

Черкаське родовище – родовище бентонітових глин, розташоване в Лисянському районі Черкаської області, найбільше в Україні і Європі та одне з найбільших у світі; тут знаходиться понад 90 % всіх запасів бентонітів в Україні. Відкрите у 1954 році, детально розвідане в 1958–1960 роках, розробляється з 1974 року відкритим способом. З 2004 року впроваджено принцип селективної вибірки глини, що дозволяє суттєво підвищити якість продукції. Розробкою родовища займається ПАТ «Дашуківські бентоніти». Пропонується надати родовищу статус геологічної пам'ятки регіонального значення.

Загальна площа родовища 643,4 км². Воно складається з декількох ділянок: Дашуківської (основної, тут наразі ведеться активна розробка), Ріпкинської (мітяться поклади лужних бентонітів), Босівської.

Родовище відноситься до боярської товщі верхнього міоцену, складається з 5 шарів глин різного мінерального та хімічного складу і промислової значимості. На сьогодні найбільш інтенсивно розробляється другий продуктивний шар, складений з монтморилонітових глин, які мають широке застосування в різних промислових сферах. Глина утворилась внаслідок перемиву кір вивітрювання основних та ультра-основних порід кристалічного фундаменту в напівзакритому водному басейні пізньоміоценового часу. Кар'єр, де видобувається бентоніт, має площу 16 га. Він витягнутий в північно-західному напрямку, має розмір 800×200 м, глибина понад 50 м, має 5 уступів. Геологічні запаси оцінюються у приблизно 10 млрд тон. Загальна промислова площа становить

приблизно 120 км². Балансові запаси родовища станом на 1982 рік становили 104,7 млн тон, станом на 2010 рік складають 49,4 млн тон; видобуток станом на 2009 рік – 213,6 тис. тон.

Глини залягають на глибині 10-40 м. Потужність продуктивної товщі від 0,5 до 43 м [92].

Середня потужність шару глин – 12.93 м. Глина має темно-сірий колір, щільна, в'язка, комкувата, а в нижній частині шару – закарбоната. Карбонати, у вигляді світлих землистих накопичень розміром від часток мм до 5-7 см, кам'янистих вкраплень білого, сірого, бурого кольорів від часток до 2-3 см, у вигляді тонкорозсіяних включень.

За даними хімічного аналізу рядових і пошарових проб, вміст CO₂ коливається від 1,05 % до 10,71 % при середньому вмісті 5.95 %.

За даними мінерального аналізу в глинах присутній кварц, середній вміст якого – 9,6 %, кальцит середній вміст – 10,9 %, доломіт спостерігається не у всіх свердловинах і їх вміст не перевищує – 2,5 %. Домішка польового шпату не перевищує – 2 %, вміст гіпсу коливається від 1 % до 7,5 %. В деяких свердловинах в незначній кількості присутня гідрослюда. Підтвердженням присутності гідрослюди в шарі є підвищений вміст K₂O, що коливається від 0,9 % до 1,87 %.

Глина першого шару вміщує 70-80 % монтморилоніту погано скристалізованого.

По сумі обмінних катіонів, вони відносяться до груп з низькою і середньою сумою обмінних катіонів, а за значенням числа пластичності – до групи високо пластичних. Масова доля сульфідної сірки в глинах не перевищує 0,2 %.

За гранулометричним складом глини відповідають вимогам ГОСТа 3226-93 [93] (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Гранулометричний склад глини

Кількість проб	Залишок на ситі, %		
	0.4	0.16	0.1
Норма по ГОСТ 3226-93	Не більше 0.5	Не більше 5.0	Не менше 80
Середнє по 7 пробах	0.5	1.34	98.12

Глини першого шару віднесені до полімінеральних і оцінені у відповідності до ТУ 39-01-08-657-81. В таблицях 4,6 і 4,7 наведені результати досліджень глини першого шару, як сировини для виробництва бурових розчинів.

На основі результатів випробувань видно, що в більшості проб (99,8 %) вихід розчину з ефективною в'язкістю становить не менше 5 м³/т і відповідає сорту П-6. Вміст піску менше 6 % по 210 з 212, що становить 99 %, тільки в 2 пробах – вміст піску більше 6 %. Таким чином 99 % глин першого шару відповідають вимогам ТУ 01-08-39-657-81, що говорить про їх придатність до приготування бурових сумішей для тампонажу свердловин.

Таблиця 4.6

**Властивості глин Вотилевської ділянки Черкаського родовища
(по рядових пробах)**

№ п/п	№ свердловини	№ проб	Інтервал випробування, м.			№ пластів і його класифікація	Скляні CO ₂ , %	Скляні S _{pln} , %	Скляні Fe ₂ O ₃ , %	Скляні Na ₂ O + K ₂ O, %	Скляні CaO + MgO, %	Скляні Al ₂ O ₃ , %	Скляні SiO ₂ , %	Скляні TiO ₂ , %	Скляні SO ₃ , %	п п п, %
			від	до	всього											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	7128	1	25.5	27.5	2.0	I	4,46	0,01	5,20	2,25	7,94	11,56	60,1	0,75	-	12,33
2	7128	2	27.5	29.5	2.0	I	5,75	0,013	6,30	2,65	8,68	12,0	55,5	0,85	-	13,71
3	7128	3	29.5	32.0	2.5	I	6,33	0,013	5,80	2,22	11,77	12,8	54,8	0,85	-	10,68
4	7128	4	32.0	33.0	1.0	II	6,28	0,016	6,15	1,91	11,33	13,63	50,0	0,80	-	16,17
5	7128	5	33.0	34.0	1.0	II	5,21	0,013	6,50	2,08	10,29	13,62	50,4	0,88	-	15,35
6	7128	6	34.0	35.0	1.0	II	6,80	0,01	6,25	1,07	12,21	14,89	52,7	0,80	-	10,14
7	7128	7	35.0	36.0	1.0	II	7,56	0,006	5,50	1,29	11,50	12,32	52,8	0,84	-	15,80
8	7128	8	36.0	37.0	1.0	II	7,48	0,003	5,85	3,18	12,29	9,96	50,1	0,92	-	16,8
9	7128	9	37.0	38.0	1.0	II	8,10	0,006	5,70	2,77	13,62	13,02	47,5	0,78	-	17,57
10	7128	10	38.0	39.0	1.0	II	6,11	0,02	5,45	2,29	10,43	12,50	53,0	0,77	-	15,40

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
11	7128	11	39,0	40,0	1,0	II	6,90	0,01	5,95	2,28	12,10	12,60	48,4	0,81	-	17,48
12	7128	12	40,0	41,0	1,0	II	6,25	0,013	6,40	2,06	10,97	14,66	49,0	0,92	-	16,42
13	7128	13	41,0	42,0	1,0	II	5,13	0,006	6,50	0,54	8,78	13,81	53,7	0,68	-	15,6
14	7128	14	42,0	43,0	1,0	II	14,6	0,01	5,25	0,65	19,82	10,31	38,6	0,84	-	2,94
15	7128	15	43,0	44,0	1,0	II	8,0	0,01	6,00	0,83	11,98	16,41	47,8	0,59	-	17,45
16	7128	16	44,0	44,7	0,7	II	8,64	0,01	5,65	1,56	15,50	14,02	45,3	0,27	-	19,22
17	7128	17	44,7	45,7	1,0	III	8,01	0,01	7,05	2,23	8,09	8,74	47,0	0,41	-	20,29
18	7128	18	45,7	46,7	1,0	III	1,40	0,013	8,0	1,64	8,88	11,78	54,0	0,28	-	15,60
19	7128	19	46,7	47,7	1,0	III	0,32	0,01	7,60	1,49	8,70	9,53	55,0	0,33	-	16,76
20	7128	20	47,7	48,7	1,0	III	0,82	0,006	7,90	1,75	7,23	12,44	52,7	0,82	-	16,69

Таблиця 4.7

Фізико-хімічні властивості глин (компонованих проб по пластах продуктивного шару свердловин)

№ п/п	№ свердловин	№ проб рядових	Інтервал випробування			№ проб	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	TiO ₂ , %	CaO, %	MnO, %	K ₂ O, %	Na ₂ O, %	SO ₃ , %
			від	до	Погуж-ність										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	7128	4-22	32.0	50.9	18.9	II-IV	52.03	13,3	5,93	0,62	8,15	3,68	1,15	0,34	0,06
2	7128	1-3	25.5	32.0	6.5	I	51,74	15,20	5,91	0,69	6,37	3,63	1,28	0,42	0,03
3	7128	4-16	32.0	46.7	12.7	II	47,91	14,66	5,56	0,78	10,24	3,25	0,98	0,40	0,05
4	7128	17-21	44.7	49.3	4.6	III	55,71	12,91	6,64	0,84	1,35	6,90	1,19	0,26	0,03
5	7128	22	49.3	50.9	1.6	IV	63,27	13,63	5,23	0,88	1,97	4,78	2,07	0,36	0,03
6	7128	23	51.3	52.0	0.7	V	72,0	8,48	5,05	-	1,34	3,2	2,29	0,83	0,16

№ п/п	CO ₂ , %	ППП, %	H ₂ O, %	FeO, %	Набухальність, %	Водопоглинання, %	Запісоченість	Число пластичності	Сум. обм. кат.			Межа міцності при стисканні		Марка ГОСТ36277	Запісоченість	Коефіцієнт мод.	Група	Седиментація	Сорт ТУ-39-01-08-657-81	Довговічність	
									Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺	В сухо- му стані	В вол. ста- ні								
1)	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
1	2,38	13,99	6,35	-	16,9	1,0	108	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5,64	13,20	9,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	7,38	15,28	7,70	-	17,5	1,8	145	3,0	-	-	-	2,0	0,98	НК	6,0	87	6М	-	Б-6М	-	
4	7,85	10,75	8,25	-	16,5	0,2	118	0,3	-	-	-	3,4	0,64	НК	0,6	-	-	0	П-6	-	
5	0,48	8,65	9,20	-	20,5	1,5	134	0,2	-	-	-	3,0	0,59	Пн2Г8	0,2	70	-	-	П-6	-	
6	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,70	0,80	-	28,4	-	3	-	НК	-	

4.1.2. Характеристика піску.

В якості заповнювача щілин в торф'яних монолітах використовується природній пісок, який представляє собою сипучу суміш зерен крупністю від 0,14 до 5 мм, яка виникла в результаті природного руйнування твердих гірських порід. В залежності від гірської породи, з якої утворюється пісок, його хімічний склад може бути різноманітним. Найчастіше зустрічаються піски, які в основному складені із кварцу з домішкою зерен польового шпату і слюди. Рідше зустрічаються піски із вапняків, ракушняків та інших. Природні піски в залежності від умов залягання розподіляють на річкові, морські і гірські.

Штучні піски отримують шляхом подрібнення твердих і щільних гірських порід, а також відвальних металургійних шлаків.

Якість піску визначається в основному зерновим складом і вмістом шкідливих домішок [24]. Зерновий (гранулометричний) склад піску має велике значення. Чим крупніший пісок, тим більша його пористість. Зерновий склад піску характеризується вмістом у ньому зерен різноманітного розміру. Для визначення зернового складу піску використовується стандартний набір сит з отворами (мм): 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14, через які сіють пісок.

Величина повних залишків на ситах і є характеристикою зернового складу піску. За результатами ситового аналізу піску, можна визначити модуль крупності зерен M_k за формулою:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100$$

За зерновим складом піски діляться на крупні, середні, дрібні і дуже дрібні:

Назва піску	Повний залишок на ситі №0,63%	M_k
Крупний -----	більше 50 -----	більше 2,5
Середній -----	30 – 50 -----	2,5 – 2
Дрібний -----	10 – 30 -----	2 – 1,5
Дуже дрібний -----	менше 10 -----	1,5 – 1

Випробування піску проводилось з метою перевірки на відповідність продукції вимогам ДСТУ Б.В.2.7-32-95 [99] за ГОСТ 8735-88 [100].

Випробування проводились з 30 січня по 05 лютого 2006 р. в БВЛ ЧДТУ. Результати досліджень занесені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Результати випробувань піску

Найменування показників	Одиниці виміру	Кількісна характеристика	
		За НД	Фактична
п. 4.5. Модуль крупності		1 – 4	1,48
п. 4.4.1. Дійсна густина зерен	г/см ³	не менше 1100	2,64
п. 4.4.2. Насипна густина в стандартному не ущільненому стані, висушеному до постійної маси	кг/м ³	не менше 1100	1445
п. 4.4.2. Насипна густина в стані природної вологості	кг/м ³		1290
п. 4.4.2. Пустотність в висушеному стані	%		45,3
п. 4.4.2. Пустотність в природному стані	%		51,2
п. 4.6. Вміст пиловидних і глинистих часток	%	не більше 3,00	2,10
п. 4.3. Вологість	%		5,7
п. 4.6.1. Вміст глини в грудках	%	не більше 0,35	0,02
п. 4.8. Вміст органічних домішок	колір еталону	низький, дуже низький	відповідає
п. 4.5. Наявність зерен розміром від 5 до 10 мм	%	не більше 10	0,25
п. 4.5. Вміст зерен розміром менше 0,16 мм	%	не більше 15	5,40

Чим нижча пустотність піску, тим вища його середня питома маса ρ , тому за величиною ρ можна оцінити якість зернового складу піску. Середня питома маса сухого кварцового піску в сипучому стані коливається в межах 1500–1550 кг/м³, а при ущільненні – 1600–1700 кг/м³.

Застосування комбінованих засобів припинення горіння

Кожен з вогнегасних засобів найбільш ефективно діє при гасінні певної пожежі, пожежі певного класу, горінні певного виду горючих матеріалів. Але ситуація, коли горить тільки один вид матеріалу, спостерігається дуже рідко. Частіше пожежа займає досить велику площу із значним і різноманітним пожежним навантаженням. Кожен тип такого навантаження при горінні оптимально гаситься своїм вогнегасячим засобом. У таких випадках раціональним є застосування комбінованих засобів. Комбінування дозволяє враховувати переваги кожного з них, а також використовувати ефект синергізму, тобто підсилюючої дії одного засобу на інший.

Найбільш перспективним є комбінування дешевих носіїв із дорогими, але ефективними інгібіторами. Характерним у цьому відношенні є застосування азотно-механічних та вуглекислотно-механічних пін із добавками хладонів. Така комбінація значно ефективніша ніж повітряно-механічна піна, або просто подача хладону: вона поєднує і охолоджуючі якості, інгібуючі та ізолюючі. До того ж, при руйнуванні такої піни вивільнюється не кисень, який здатен підтримувати горіння, а азот, який флегматизує систему.

Існує два способи застосування комбінованих засобів гасіння [2]:

- змішування компонентів в одному (комбінованому) засобі гасіння;
- окрема подача різних вогнегасних засобів у зону горіння.

У першому випадку складають придатні для гасіння певного типу пожеж теоретично обґрунтовані і експериментальне перевірені рецептури.

У другому – різні вогнегасні засоби подають у зону горіння одночасно або послідовно.

Власне кажучи, будь-який із гасячих засобів виявляє комбіновану дію. Навіть чиста вода припиняє горіння і охолодженням (найбільше), і ізоляцією (покриваючи поверхню шаром води), і флегматизацією (розведенням концентрації

горючого і окисника парами води), і інгібуванням (хоча тут цей механізм мабуть найменш помітний).

Хімічна піна складається із вуглекислого газу і водного розчину натрій сульфату та поверхнево-активних речовин. Найбільше вона виявляє ізолюючу здатність, але у значній мірі вуглекислий газ флегматизує зону горіння, водні розчини охолоджують її, а натрій сульфат і поверхнево-активні речовини діють як інгібітори.

У повітряно-механічних пінах, на відміну від хімічних, бульбашки заповнені не вуглекислим газом, а повітрям. При руйнуванні такої піни повітря не тільки не флегматизує зону горіння, а, навпаки, збільшує концентрацію кисню. Заміна в повітряно-механічних пінах повітря на інертний газ (азот, аргон, вуглекислий газ або, ще краще, хладон) скорочує час гасіння у 2-3, а у випадку застосування хладонів навіть у 10 разів. Такі комбіновані піни припиняють горіння не тільки вуглеводнів і подібних рідин, а і рідин гідрофільних - спирту, ацетону і т.п.

Іншим прикладом високої ефективності комбінованих засобів є силікагельні порошки, насичені галогенопохідними вуглеводнів (порошки марки СИ) Вважається, що гасіння відбувається за рахунок ізолюючої здатності порошку силікагелю і інгібуючої дії галогенопохідного, яке випаровується з силікагелю. Силікагель - матеріал дорогий і досить важкий, він тоне у бензині і подібних рідинах, тому його ефективність, як ізолятора є короткочасною. Доцільніше у таких випадках застосовувати спучений порошок перліту, матеріал і дешевший і легший, який плаває на поверхні горючої рідини і ізолює її від зони горіння. Інгібітор, адсорбований перлітовим порошком, вводиться у кількості від 2 до 50 % від маси такого засобу.

Недоліками комбінованих засобів є їх висока вартість, складність рецептури та інструкцій по застосуванню.

Комбінування різних вогнегасних засобів дозволяє використовувати переваги кожного з них, а також – ефект синергізму, тобто підсилювання дії одного у присутності іншого.

Модифікація властивостей води

Для модифікації тих чи інших властивостей води, для покращання того чи іншого показника готуються водні розчини.

Для збільшення морозостійкості до води додають солі або органічні речовини, наприклад, спирти. Найчастіше, як добавки використовуються калій карбонат, поташ (K_2CO_3), магній хлорид ($MgCl_2$), кальцій хлорид ($CaCl_2$), етиленгліколь ($HOCH_2CH_2OH$). Зниження точки застигання водного розчину залежить від природи добавки і її кількості [2].

40 % розчин поташу ($K_2CO_3 \cdot 1,5H_2O$) має точку застигання $-36,5\text{ }^\circ\text{C}$.

Розчини натрій хлориду (харчової солі, $NaCl$) застигають при температурах: $-2\text{ }^\circ\text{C}$ для 3 % розчину; $-3\text{ }^\circ\text{C}$ для 5 % розчину; $-4\text{ }^\circ\text{C}$ для 7 % розчину і $-21\text{ }^\circ\text{C}$ для 22 % розчину.

Розчини кальцій хлориду ($CaCl_2$) – при температурах: $-2\text{ }^\circ\text{C}$ для 5 % розчину, $-15\text{ }^\circ\text{C}$ для 20 % розчину і до $-51\text{ }^\circ\text{C}$ для 30 % розчину.

Застосування солей має як позитивні, так і негативні наслідки. Добавка невеликих кількостей деяких солей (1-5 %) за рахунок додаткового інгібуючого ефекту викликає зниження часу гасіння у два-три рази. Подальше збільшення концентрації солі ефекту не дає. Підвищення вогнегасної дії за рахунок добавок солей пояснюється їх інгібуючою дією; скоріше всього каталітичним впливом на реакцію обриву ланцюга при реалізації ланцюгового механізму горіння. З іншого боку, добавки солей і неіоногенних речовин підвищують вартість вогнегасячого засобу. Крім того, більшість із цих добавок викликає корозію ємностей при зберіганні розчинів і обладнання при їх використанні [2].

Для збільшення проникливості води, для того, щоб вона затримувалася на поверхнях, а не стікала з них без всякої користі, до води додають змочувачі. Це – речовини, які відносяться до поверхнево-активних. Найважливіша їх особливість – зниження поверхневого натягу води. Найпростіші змочувачі – мило, пральні порошки і пасти. Крім того, використовують полімерні неіоногенні сполуки, переважно поліетиленгліколі (поліоксиетилені) різного ступеню полімеризації.

Застосування змочувачів ефективно тоді, коли розчин досягає

поверхні. У зоні полум'я вода з розчину випаровується, тому при подачі розчину безпосередньо у полум'я - ніякого додаткового ефекту від змочувача не спостерігається. Найбільший ефект досягається при гасінні бавовни, куп паперу і деревної тирси. Звичайна концентрація змочувача – 0,5-5 %. Добавки змочувачів, як і добавки антифризів, збільшують вартість гасячих засобів. Більшість із них сприяє корозії, а деякі мають і токсичні властивості.

У зв'язку з тим, що вода має низьку в'язкість, значна її частина витікає з місця пожежі, істотно не впливаючи на процес припинення горіння. Якщо збільшити в'язкість води до $2,5 \cdot 10^{-3}$ м/с, то значно знизиться час гасіння і коефіцієнт її використання збільшиться більш ніж у 1,8 рази. Для цих цілей використовують добавки з органічних з'єднань, наприклад, карбоксиметилцелюлозу [2].

4.2. Розробка рекомендацій по створенню протипожежних перешкод на торф'яниках.

При випробуванні зразків у газодимокамері шляхом створення штучної пожежі, нами використовувались моноліти торфу зі щілинами заповненими піском з модулем крупності $M_k=1,48$ та постійною об'ємною масою в не ущільненому стані (дивись табл. 4.6) 1445 кг/м^3 та зразки із заповненням щілин 10 % водяно-глинистою суспензією.

На рис. 4.2, 4.3 зображені зразки, що підготовлені для експерименту, а на рис. 3б зображено процес горіння зразків у газодимокамері.

Горіння відкритим полум'ям продовжувалось 10 хвилин, після чого почалось тління протягом 2,5 години поки прогорання не досягло щілин у зразках. Бокові стінки зразків, до щілин, мали товщини 4; 5 і 7 см із суспензією та 5; 4 і 4 см – із піском.

За 10 хвилин горіння товщина стінок зменшувалась на 0,5 см і відповідно за 2,5 години тління – до 0.

На рис. 4.4 показані зразки після проведення експерименту у газодимокамері. З рис. 4.4 а видно, що тління з лівого боку досягло піску у щілині і вогонь далі не поширився. Те ж саме видно і на рис. 4.4 б, як обгорів торф навколо щілини з суспензією.

Звідси можна зробити висновки, що для захисту важливих об'єктів (поля із зерновими культурами, будь-які будівлі чи інші об'єкти) можна захистити шляхом проведення наступного профілактичного заходу – нарізати щілини, що відсікають об'єкт від торфовища до мінеральної основи і заповнити:

- 1) піском з $M_k \leq 1,48$;
- 2) водяно-глинистою 10 % суспензією.



Рис. 4.1. Горіння зразків торфу в газодимокамері.



а)

Рис. 4.2. Моноліт зі щілиною, що заповнена 10 % суспензією.
а) вид з боку; б) вид зверху.



б)

Рис. 4.2. Моноліт зі щілиною, що заповнена 10 % суспензією.
а) вид з боку; б) вид зверху.



а)

Рис. 4.3. Моноліт торфу зі щілиною, що заповнена піском.
а) зразок без піску; б) зразок з піском.



б)

Рис. 4.3. Моноліт торфу зі щілиною, що заповнена піском.
а) зразок без піску; б) зразок з піском.



а)

Рис. 4.4. Зразки торфу після експерименту.
а) зразок з піском; б) зразок з глиною.



б)

Рис. 4.4. Зразки торфу після експерименту.

а) зразок з піском; б) зразок з глиною.

При дослідженні водопроникності торфу було встановлено, що через абсолютно сухі зразки торфу, що були відібрані з глибин 1,5-2,0 м вода або зовсім не просочувалась, або водопроникність складала всього 1,5-2 см/добу. Це дуже важлива властивість торфу, яка дає нам можливість пояснити чому після гасіння пожежі через якийсь час знову з'являється осередок горіння. Вода, якою гасять пожежу, не просочується у нижні шари і, при попаданні повітря, з тліючого осередку розгорається пожежа. Для запобігання таких явищ необхідні профілактичні заходи. На наш погляд одним з них є проведення кольматації найбільш небезпечних, з точки зору пожежної безпеки, ділянок торфовищ.

Під кольматацією ґрунтів розуміють процес заповнення простору в порах більш мілкими пилюватими та глинистими частинками, що знаходяться у завислому стані у воді, що фільтрується. Результатом кольматації є зменшення активної пористості, знижується доступ повітря, що сприяє припиненню

горіння. Кольматувати можна породи, що мають велику кількість пор та тріщин [101].

Є два способи кольматації. Один в рухомій воді, а другий у спокійній. Більш ефективним способом є другий, тому що при спокійній воді розчин глини вносять не в локальну ділянку, а відразу по всьому периметру.

Необхідну кількість глини для кольматації можна визначити за формулою [102]:

$$P = 18 \cdot D \cdot S, \quad (4.1)$$

де P – кількість глини, кг; D – середній діаметр частинок ґрунту, мм²; S – площа кольматації, м².

Процес кольматації проходить природним шляхом. Водоутримуюча та фільтраційна спроможність торфу відіграє велику роль при розгляді питань попередження гасіння пожеж.

Під час вбирання води ґрунтами сили тертя та сили опору ґрунтового повітря відносно невеликі, а переважають капілярні сили. Висота капілярного підняття води для різних ґрунтів наводиться в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Висота капілярного підняття води.

Ґрунт	Висота активного підйому, м	Повна висота
Глина	0,5 – 0,8	2 – 4,0
Суглинок	0,5 – 0,6	1,5 – 3,0
Важкий, середній і легкий	0,4 – 0,6	1,2 – 2,0
Супісь	0,3 – 0,5	0,8 – 1,2
Торф низинний	0,3 – 0,8	0,8 – 2,5
Пісок	0,1 – 0,5	0,2 – 1,0

Сили тертя і опору відіграють роль на другій стадії вбирання – інфільтрації.

Швидкість вбирання визначається за наступною формулою [45]:

$$U = \alpha \cdot K \cdot t^{\alpha-1} \quad (4.2)$$

Висота капілярного підняття:

$$H = K \cdot t^{\alpha} \quad (4.3)$$

де U – швидкість вбирання мм/хв; t – час від початку вбирання, с; K – параметр, що має розмірність швидкості вбирання; α – редуційний параметр $\alpha < 1$.

Значення коефіцієнтів фільтрації K , м/добу: для торфу верхового 0,1-0,5; низинного 0,01-1,0; для піску дрібнозернистого 0,01-1,0; крупнозернистого 1,0-100,0.

Це свідчить, що для верхового та низинного торфу можна використати формули (4.2) і (4.3) для розрахунків швидкості вбирання та глибини проникання глинистих частинок у шари торфу.

Для захисту прилеглих територій від торф'яної (грунтової чи підземної) пожежі та забезпечення безперервного руху пожежних машин при гасінні пожеж необхідно нарізати щілини спеціальною технікою на відповідну глибину та ширину у торфі до мінерального ґрунту [102].

Можна використовувати бурові установки, які відносяться до спецтехніки. Це такі машини, як траншеєкопачі, ґрунторізи на базі «Т-10 М (Т-170)», «ДТ-75» чи на будь-якій іншій базі; малогабаритний ручний траншеєкопач ТКМГ-1200. Ширина прорізуваної щілини чим менша – тим краще. Можна використовувати ширину від 140 мм до 210 мм ріжучого ланцюга. А глибина прорізуваної щілини навпаки, чим більша – тим краще. По границі торф'яне болото має глибину до ґрунту від 1,5 до 2 м. Відповідно й бурову установку треба вибирати, щоб прорізувана щілина була хоча би глибиною від 1,5 м.

4.2.1. Математичне моделювання теплового впливу пожежі у торфовому пласті на протипожежну перешкоду.

Для обмеження поширення пожежі у торфовому пласті є перспективним застосування перешкод з насипного неспалимого матеріалу, що має низьку теплопровідність [47]. Для реалізації таких перешкод формується вузький рів, який може бути заповнений річковим піском, або бентонітовою глиною. Дані матеріали можуть бути видобуті у місцевих кар'єрах. При виконанні таких перешкод необхідно прогнозувати час їх ефективної роботи. На основі цих прогнозів можна рекомендувати товщини таких перешкод у залежності від використовуваних матеріалів.

Для вирішення поставлених нами задач щодо прогнозування поведінки системи торфовий пласт – перешкода необхідна розробка математичного апарату для визначення температурних розподілів у шарах торфового пласти та запропонованої перешкоди. Теплову задачу поширення тепла у описаній системі можна сформулювати у такій постановці.

1. Пожежа у торфовищі поширюється зверху вниз із певною сталою швидкістю.
2. Температура у області, де торф повністю згорів є сталою і дорівнює середньому сталому значенню.
3. Теплофізичні властивості торфу та матеріалу перешкоди можуть залежати від температури.
4. Температура у зоні горіння торфу є сталою.
5. Теплообмін між зоною підземної пожежі та матеріалом протипожежної перешкоди має тільки променисту складову, оскільки він має превалюючу частку.
6. Умова запалення і початку поширення пожежі у торфовому пласті, що є захищеним протипожежною перешкодою, є досягнення у відповідній розрахунковій області температури запалення.

На рис. 4.5 показана геометрична конфігурація розрахункової області.

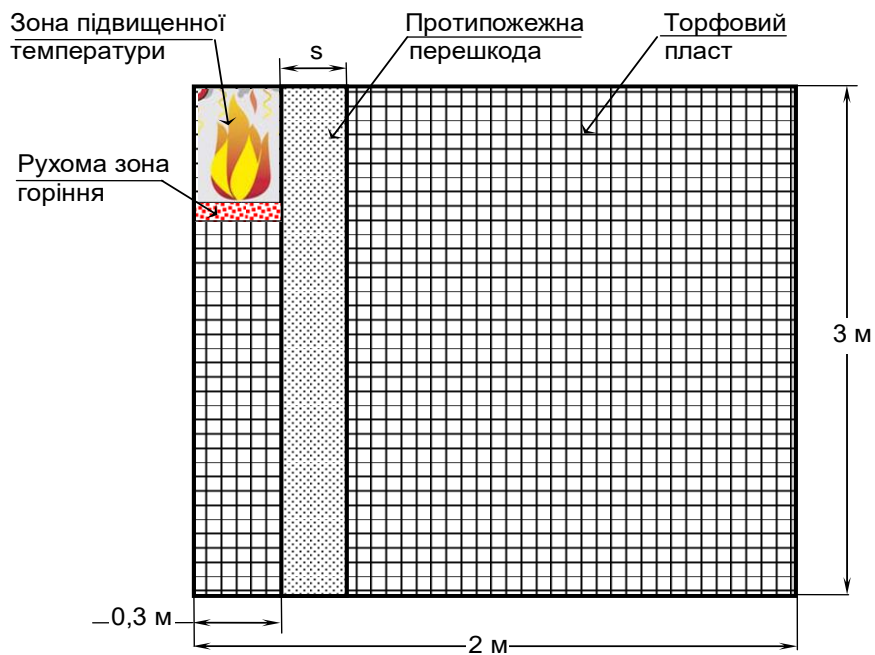


Рис. 4.5 Геометрична конфігурація розрахункових областей системи торфовий пласт – противопожежна перешкода.

На рис. 4.6 подана схема прийнятих граничних умов (ГУ).

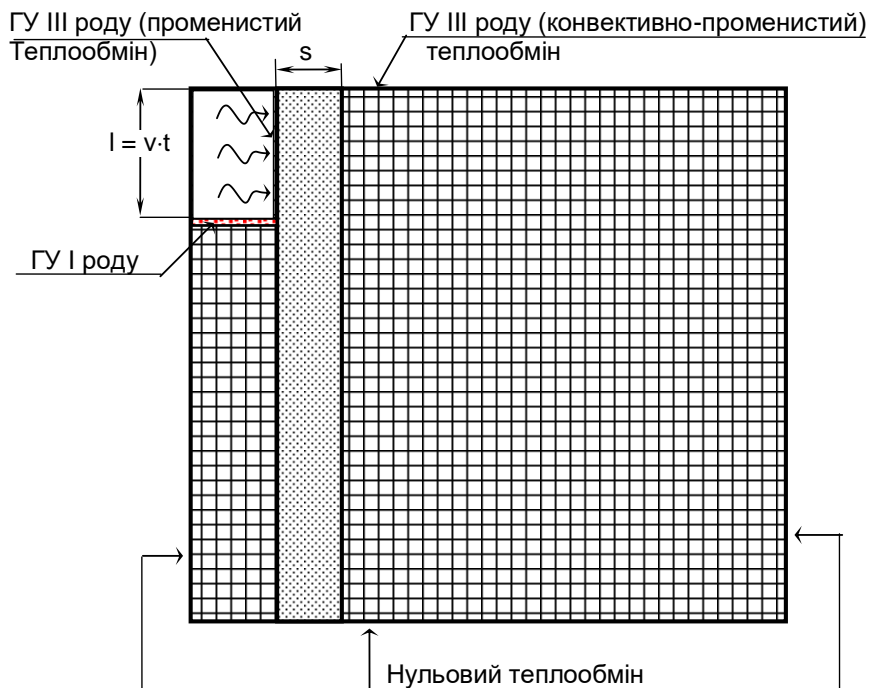


Рис. 4.6 Схема прийнятих граничних умов у розрахунковій області.

Для розрахунку можна використати рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами I та III роду. Рівняння теплопровідності для двовимірної розрахункової області можна записати у такому вигляді [54-57]:

$$C_V(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (4.4)$$

Тепловий вплив на розрахункову область з боку зони підвищеної температури, яка утворюється у області, де торф пласту згорів і віддав тепло, може бути описаний граничними умовами (ГУ) III роду, що записуються у вигляді:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0,3m} = \alpha_B (T_P - T_W), \quad (4.5)$$

де α_B – коефіцієнт променистого теплообміну, Вт/(м²·°C); T_P , T_W – відповідно температури пожежного середовища і поверхні протипожежної перешкоди, °C; x – поточна просторова координата.

Коефіцієнт теплообміну враховує дію інфрачервоного випромінювання і визначається за формулою [44 - 57]:

$$\alpha_B = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \sigma \cdot \frac{T_W^4 - T_P^4}{T_W - T_P} \quad (4.6)$$

де ε – ступінь чорноти поверхні перешкоди; $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² °C⁴) – стала Стефана-Больцмана; $\varphi = 1$ – форм-фактор випромінювання.

Тепловий вплив у розрахунковій області з боку зони горіння може бути описаний ГУ I роду (див. рис. 4.5). ГУ I роду може бути представлено виразом:

$$T_W \Big|_{y=L-l} = T_\Gamma, \quad (4.7)$$

де T_Γ – температура горіння торфу;

$l = v \cdot t$ – висота пласту, де торф повністю вигорів.

Умова тепловіддачі через поверхню перешкоди та торфового пласту, де горіння не поширюється у атмосферу, можна описати граничною умовою III роду у такому вигляді:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=L} = \alpha_k (T_A - T_W), \quad (4.8)$$

де T_A – температура оточуючого середовища; α_k – коефіцієнт теплообміну, що враховує дію конвекції та інфрачервоного випромінювання.

Початкові дані, що використовуються згідно з [67, 68] для розрахунків зведені до табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Початкові дані до розрахунку температурного розподілу у системі торфовий пласт – протипожежна перешкода

Початкова температура пласту, °C	Температура оточуючого повітря, °C	Температура горіння торфу, °C	Температура запалення торфу, °C	Температура осередку торфової пожежі, °C	Ступінь чорноти поверхні перешкоди	Ступінь чорноти поверхні ґрунту	Коефіцієнт теплообміну між ґрунтом та повітрям,	Швидкість поширення фронту горіння торфу, мм/хв
20	20	475	225	720	0,7	0,9	9	2

Теплофізичні властивості торфу та матеріалів протипожежної перешкоди можна прийняти згідно з рекомендаціями [67-70, 104-110]. Згідно із цими рекомендаціями прийняті теплофізичні характеристики подані у табл. 4.11.

Теплофізичні характеристики торфу та матеріалів пожежної перешкоди

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(T)$, Вт/(м·°С)	Питома теплоємність, $c_p(T)$, Дж/(кг·°С)	Густина, кг/м ³
Теплофізичні характеристики торфу		
$\lambda = (0,585 - 0,495W + 0,987W^2) T^{0,2}$	$c_p = (765,0 - 1577,8W) \times \exp[(0,64 \cdot 10^{-3} + 0,0175W)T]$	400
Теплофізичні характеристики піску		
1,9	1700	1650
Теплофізичні характеристики бентонітової глини		
0,7	2500	1360

Рівняння нестационарної теплопровідності (4.4) для даного випадку не має аналітичних розв'язків і може бути вирішено тільки чисельно [54-66]. Для його розв'язку нами був використаний метод кінцевих елементів [67, 68].

4.2.2. Метод чисельного розв'язку задачі.

Рівняння (4.4) може бути розв'язане методом кінцевих елементів [67, 68]. Для нелінійного стаціонарного завдання (при рівності нулю матриці похідних температур ($\{\dot{T}\} = 0$) можна записати розв'язну систему нелінійних рівнянь у матричному виді:

$$[\mathbf{K}(T)] \{T\} = \{Q(T)\}, \quad (4.9)$$

де $[\mathbf{K}(T)]$ – матриця теплопровідності; $\{Q(T)\}$ – вектор вузлових теплових потоків, обумовлених зовнішнім тепловим навантаженням. У більш загальному виді можна записати:

$$\{P(T)\} = \{Q(T)\}, \quad (4.10)$$

де $\{P(T)\}$ – вектор внутрішніх вузлових теплових потоків, обумовлений густиною теплових потоків елемента.

Дана система рівнянь розв'язується ітераційним методом, відомим як метод Ньютона-Рафсона. При використанні даного методу мінімізується нев'язність:

$$\{\Phi\} \equiv \{Q(T)\} - \{P(T)\} \rightarrow \{0\}. \quad (4.11)$$

Метод Ньютона-Рафсона заснований на застосуванні усічених рядів Тейлора до залишкового вектору нев'язності.

Цим досягається лінеаризація системи рівнянь (4.9) у вигляді:

$$[K_T^{(i-1)}] \{\Delta T^{(i)}\} = \{Q^{(i)}\} - \{P^{(i-1)}\}. \quad (4.12)$$

При цьому виконуються рівноважні ітерації ($i=1, 2, 3, \dots$), і визначаються нові значення температур на кожній ітерації з вираження:

$$\{T^{(i)}\} = \{T^{(i-1)}\} + \{\Delta T^{(i)}\}. \quad (4.13)$$

Процес виконання ітерацій триває доти, поки не досягається прийнятна збіжність.

У рівнянні (4.12), записаному вище, матриця $[K_T]$ називається дотичною матрицею або якобіаном. Коефіцієнти дотичної матриці визначаються вираженням:

$$[K_T^{(i-1)}] \equiv \left(\frac{d\{\Phi\}}{dT} \right)_{i-1}. \quad (4.14)$$

Розкладання вектору $\{\Phi\}$ в усічений ряд Тейлора має вигляд:

$$\{\Phi^{(i)}\} \cong \{\Phi^{(i-1)}\} + \left(\frac{d\{\Phi\}}{dT} \right)_{i-1} \{\Delta T^{(i)}\}, \quad (4.15)$$

де $\{\Delta T^{(i)}\} = \{T^{(i)}\} - \{T^{(i-1)}\}$.

При нелінійному нестационарному аналізі метод Ньютона-Рафсона комбінується з методом інтегрування за часом, що приводить до наступної системи рівнянь:

$$[\bar{K}^{(i-1)}] \{\Delta T^{(i)}\} = \{Q^{(i)}\} - \{\bar{P}^{(i-1)}\} \quad (4.16)$$

де $[\bar{K}]$ - еквівалентна матриця теплопровідності; $\{\bar{P}\}$ - еквівалентний вектор внутрішнього теплового потоку.

В рівнянні (28) $\{Q(T)\}$ – вектор вузлових теплових потоків, що визначається при перевизначенні вектору зовнішнього заданого

теплового потоку $\{\mathbf{Q}_{0n}\}$ та еквівалентної матриці теплопровідності $[\mathbf{K}(T)]$. $\{\mathbf{P}\}$ – еквівалентний вектор вузлових внутрішніх теплових потоків, який визначається при перевизначенні еквівалентної матриці теплопровідності $[\mathbf{K}(T)]$, що визначаються шляхом чисельного інтегрування за часом вектору $\{\Delta\mathbf{T}^{(i)}\}$ методом Ейлера з використанням формули:

$$\{\mathbf{T}_{n+1}\} - \{\mathbf{T}_n\} = \Delta t_n (1 - \zeta) \{\mathbf{T}_n\} + \Delta t_n \zeta \{\mathbf{T}_{n+1}\}, \quad (4.17)$$

де Δt_n – крок інтегрування за часом; ζ - параметр Ейлера, рівний 0,5, що значить, що виконується реалізація неявної обчислювальної схеми Кранка-Ніколсона.

Еквівалентна матриця теплопровідності $[\mathbf{K}(T)]$ визначається з виразу:

$$[\mathbf{K}_n(T)] = \frac{1}{\zeta \Delta t_n} [\mathbf{C}_n(T)] + [\mathbf{K}_n(T)], \quad (4.18)$$

де $[\mathbf{C}_n(T)]$ и $[\mathbf{K}_n(T)]$ - відповідно матриці теплоємностей та коефіцієнтів теплопровідності.

Для перевизначення $\{\mathbf{Q}(T)\}$ використаний вираз:

$$\{\mathbf{Q}_n(T)\} = \{\mathbf{Q}_{0n}\} + \frac{1 - \zeta}{\zeta} [\mathbf{C}_n(T)] \{\mathbf{T}_n\} - [\mathbf{K}_n(T)] \{\mathbf{T}_n\}. \quad (4.19)$$

$\{\mathbf{Q}_{0n}\}$ - вектор зовнішнього заданого теплового потоку, який визначається за формулою:

$$\{\mathbf{Q}_{0n}\} = \{\mathbf{Q}_n^{\text{конв}}\} + \{\mathbf{Q}_n^{\text{излуч}}\}, \quad (4.20)$$

де $\{\mathbf{Q}_n^{\text{конв}}\}$ – поточний вектор конвективного поверхневого вузлового теплового потоку, який визначаються за формулою:

$$\{\mathbf{Q}_n^{\text{конв}}\} = \alpha_\kappa (\{\mathbf{T}_{Wn}\} - \{\mathbf{T}_{Pn}\}) \mathbf{A}_e; \quad (4.21)$$

$\{\mathbf{Q}_n^{\text{излуч}}\}$ – поточний вектор променистого поверхневого вузлового теплового потоку, який визначаються за формулою:

$$\{\mathbf{Q}_n^{\text{конв}}\} = \varepsilon \sigma (\{\mathbf{T}_{Wn}^4\} - \{\mathbf{T}_{Pn}^4\}) \mathbf{A}_e; \quad (4.22)$$

$\{\mathbf{T}_{Wn}\}$ – вектор поверхневих вузлових температур;

$\{\mathbf{T}_{Pn}\}$ – вектор, члени якого дорівнюють температурі пожежного середовища, визначуваний за відповідним температурним режимом.

За наявності порожнини з взаємним теплообміном поверхонь через випромінювання, вирішується рівняння обміну енергією випромінюванням у вигляді:

$$\sum_{j=1}^N (\delta_{ij} - F_{ij}) \sigma T_j^4 = \sum_{j=1}^N \frac{1}{A_j} \left(\frac{\delta_{ij}}{\varepsilon_j} - F_{ij} \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_j} \right) q_j \quad (4.23)$$

де δ_{ij} – параметр, який дорівнює 0, якщо $i \neq j$, і дорівнює 1, якщо $i = j$; q_j – поверхневий тепловий потік через i -ту поверхню, яка обмінюється випромінюванням з j -тою поверхнею; A_j – площа j -тої елементарної площадки поверхні, що здійснює елементарний теплообмін; F_{ij} – променеві форм-фактори, залежні від взаємного розташування i -тої і j -тої площ поверхонь, які обмінюються випромінюванням, і визначаються за формулою:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i. \quad (4.24)$$

У формулі (43) використовуються такі величини:

θ - кут між нормаллю до елемента і лінією, яка з'єднує елементи i та j ; r - відстань між центрами елементів i та j .

Використовуючи даний математичний апарат нами була розроблена розрахункова методика для реалізації умов, що сформульовані у п 4.3.1. Згідно із цією методикою розрахунок проводиться з використанням таких процедур.

1. Будується геометрична модель з прикладанням ГУ відповідно до рис. 4.5 та рис. 4.6.

2. Організовується цикл в ході якого фронт температури відповідний ГУ (4.7) зміщується донизу із швидкістю поширення фронту горіння.

3. Для здійснення відповідної зміни розрахункової області застосовується принцип «смерті кінцевих елементів», який полягає у виключенні кінцевих елементів, що відповідають деструктованому шарові торфу унаслідок горіння, з розрахункової схеми.

4. Розрахунок продовжується до тих пір, поки температура в будь-якій точці захищеної ділянки торфового пласту не досягає температури займання торфу.

5. Розрахунок повторюється для перешкоди з іншими товщинами та іншим матеріалом.

Для реалізації такого алгоритму була створена кінцево-елементна схема, яка наведена на рис. 4.7.

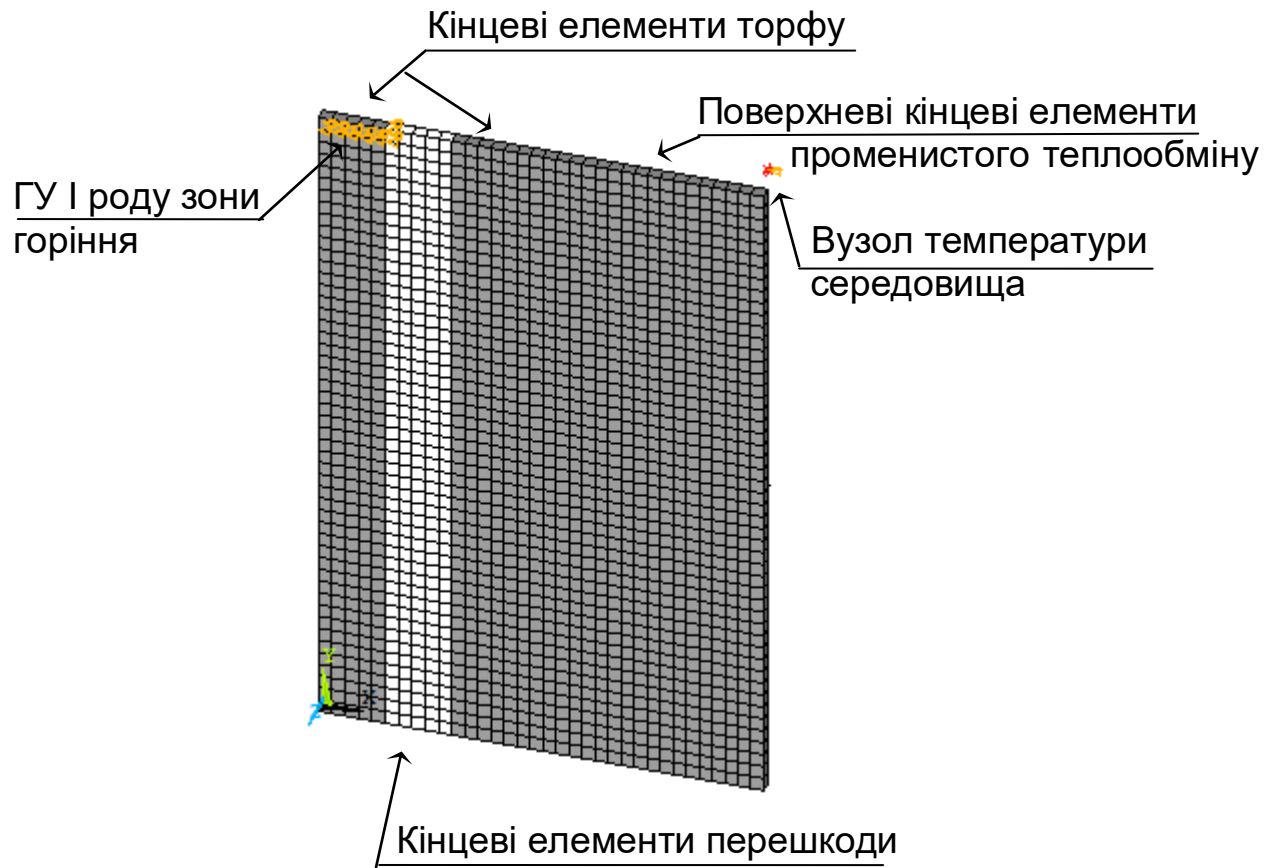


Рис. 4.7 Кінцево-елементна схема торфового пласту із протипожежною перешкодою.

При реалізації обчислювального процесу були прийняті параметри алгоритму чисельного інтегрування, що подані у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Параметри обчислювального процесу

Параметр обчислювального процесу	Одиниці виміру	Значення
Тип аналізу		Нестаціонарний
Автоматичний вибір кроку інтегрування		Включений
Часовий крок інтегрування	с (хв)	1800 (30)
Найменший часовий крок	с	30
Найбільший часовий крок	с	1000
Максимальна кількість ітерацій		1000
Спосіб прикладання навантаження		Ступінчастий
Тип обчислювальної схеми		Неявна
Точність збіжності обчислень	(%)	0.005 (0,5)

4.2.3. Результати математичного моделювання температури у пласті торфу із протипожежною перешкодою.

Використовуючи вищеописаний математичний апарат, були отримані результати. Якісна картина температурних розподілів у різні моменти часу наведена на рис. 4.8.

Температурні розподіли, подані на рис. 4.9 показують високу ефективність запропонованих технічних рішень щодо протипожежного захисту торфовищ від поширення пожеж. Можна побачити, що перешкода з піску є ефективним захистом від поширення пожежі у торфовищі, оскільки температура у захищеній ділянці піднімається до небезпечного значення за 24,5 годин за умов інтенсивного горіння торфу поряд з перешкодою.

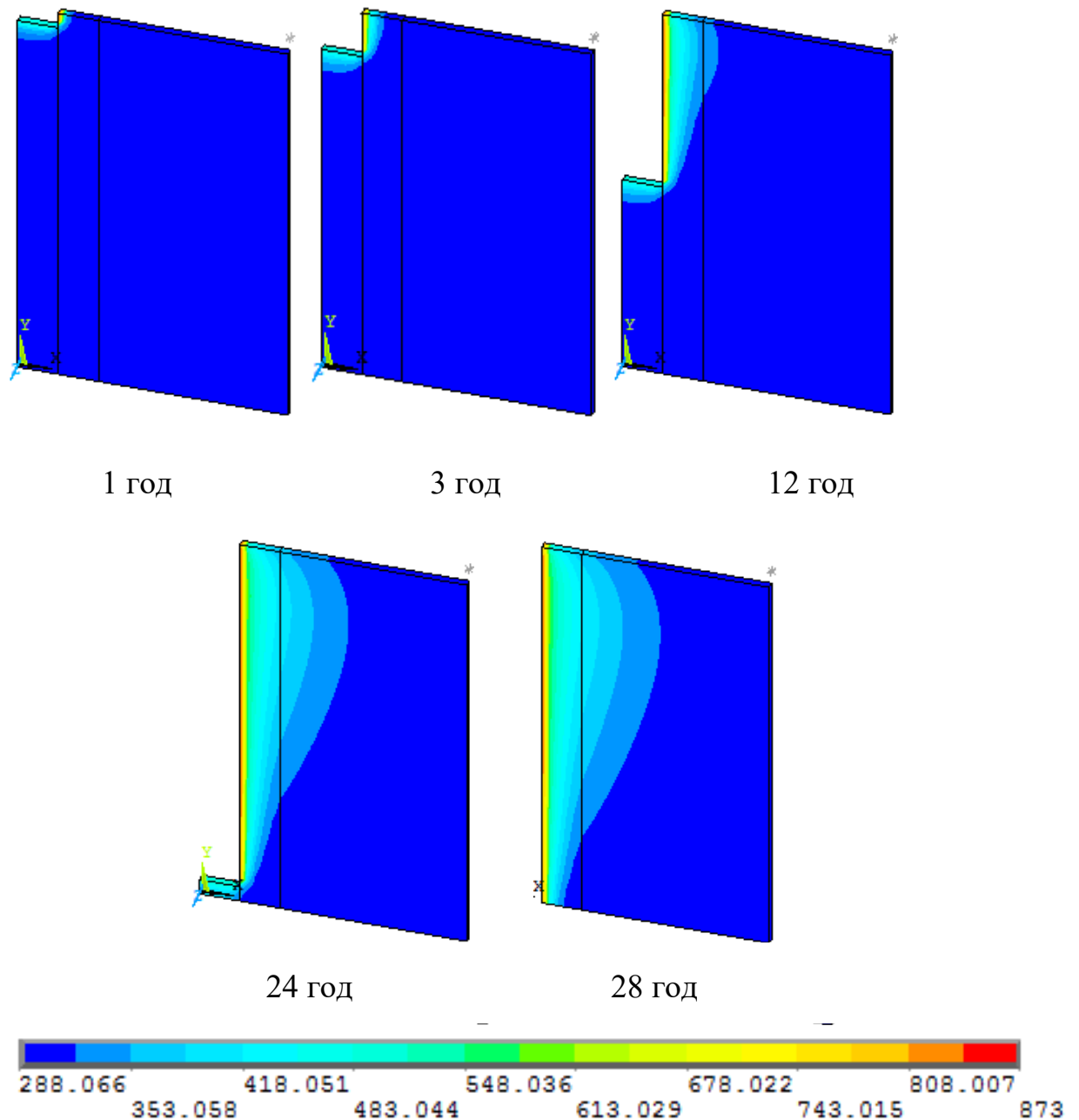


Рис. 4.8 Температурні розподілення (К) у торфовому пласті із протипожежною перешкодою перешкоди з річкового піску товщиною 300 мм.

Відповідно до рис. 4.8 видно, що торф повністю вигорає за 28 годин, тому на останньому температурному розподілення всі кінцеві елементи ділянки торфового пласту, де відбувалося горіння виключені з розрахункової схеми.

На рис. 4.9 показані розподілення температур на межі захищеної ділянки торфяного пласту і протипожежної перешкоди.

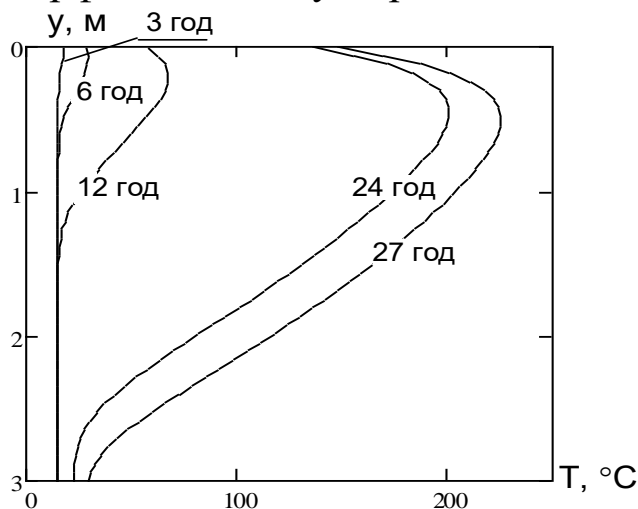


Рис. 4.9 Розподілення температур на межі захищеної ділянки торфяного пласту і протипожежної перешкоди з річкового піску товщиною 300 мм у різні моменти часу розвитку підземної пожежі.

На рис. 4.10 наведені залежності температури точок на межі захищеної ділянки торфяного пласту і протипожежної перешкоди з бентонітової глини у залежності від часу розвитку підземної пожежі.

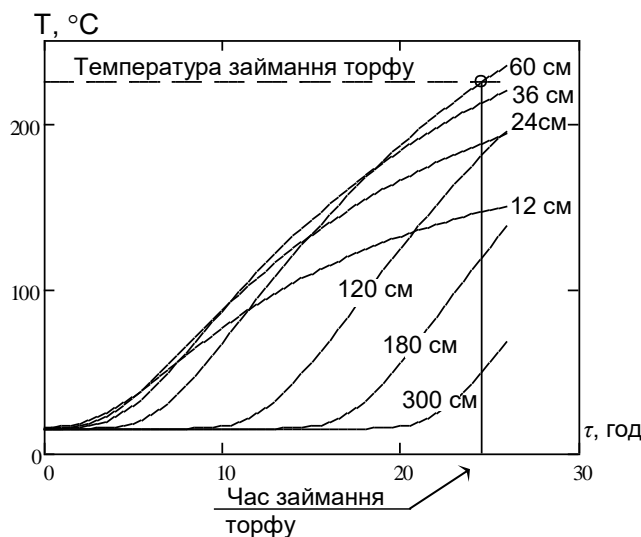


Рис. 4.10 Залежності температур деяких точок на межі захищеної ділянки торфяного пласту і протипожежної перешкоди з річкового піску на різних глибинах від його поверхні.

Температурні розподіли для перешкоди з бентонітової глини подані на рис. 4.11 також показують високу ефективність запропонованих технічних рішень щодо протипожежного захисту торфовищ від поширення пожеж.

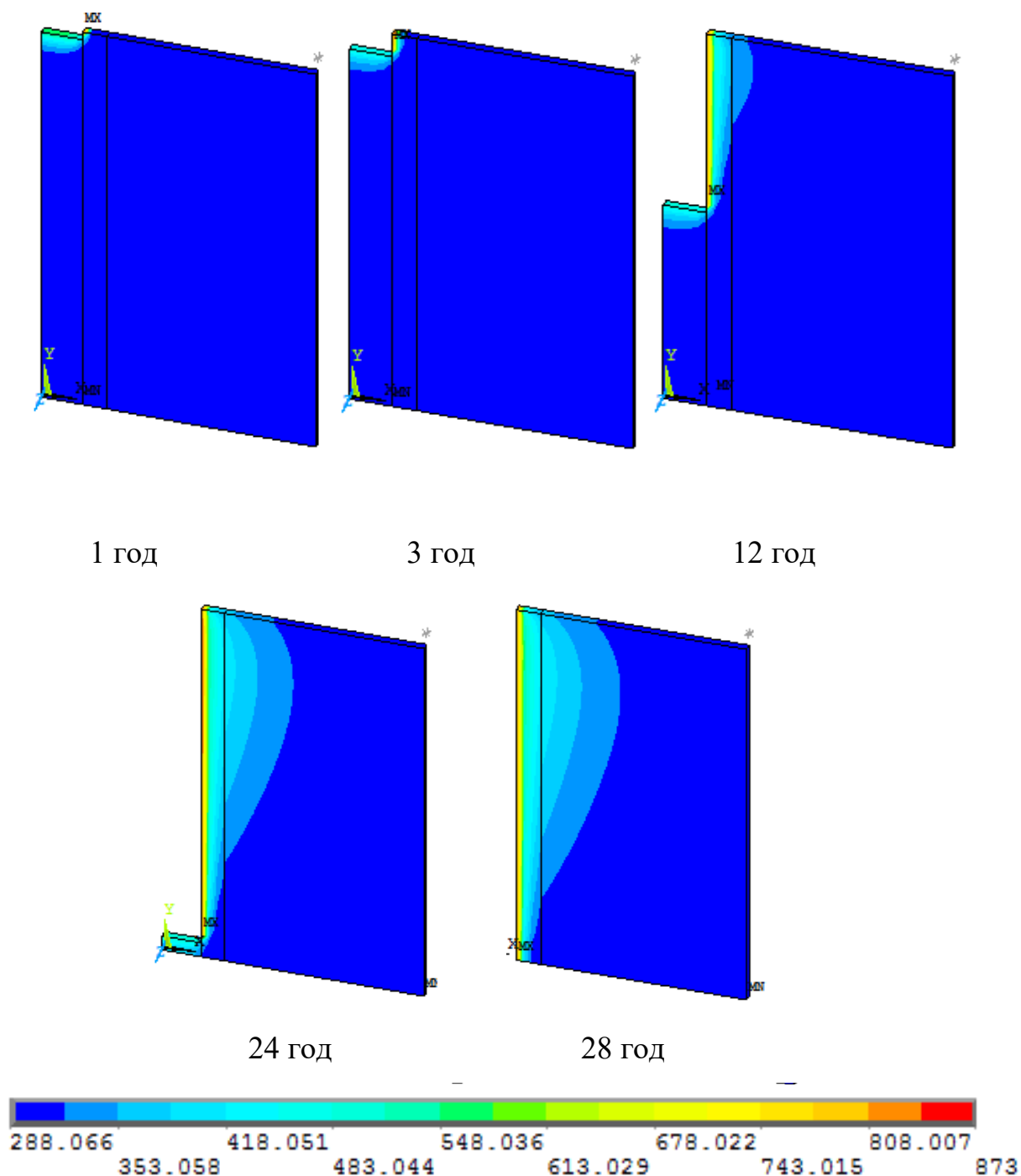


Рис. 4.11 Температурні розподілення (К) у торфовому пласті із протипожежною перешкодою з бентонітової глини товщиною 180 мм.

На рис. 4.12 показані розподілення температур на межі захищеної ділянки торфового пласту і протипожежної перешкоди з бентонітової глини.

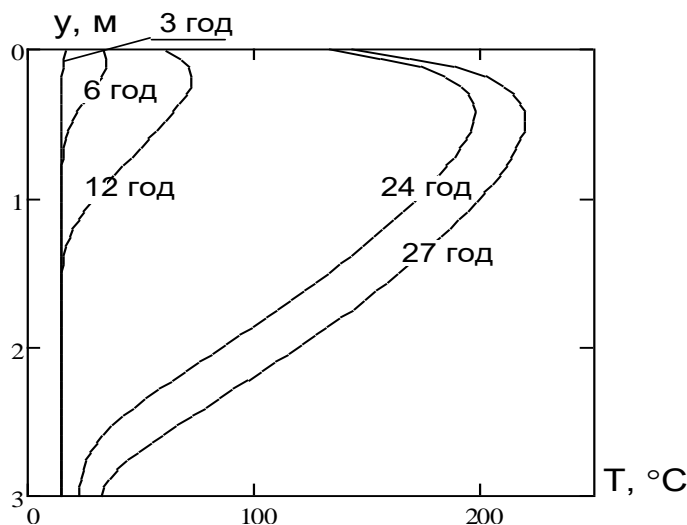


Рис. 4.12 Розподілення температур на межі захищеної ділянки торфового пласту і протипожежної перешкоди з бентонітової глини товщиною 180 мм у різні моменти часу розвитку підземної пожежі.

На рис. 4.13 наведені залежності температури точок на межі захищеної ділянки торфового пласту і протипожежної перешкоди з бентонітової глини у залежності від часу розвитку підземної пожежі.

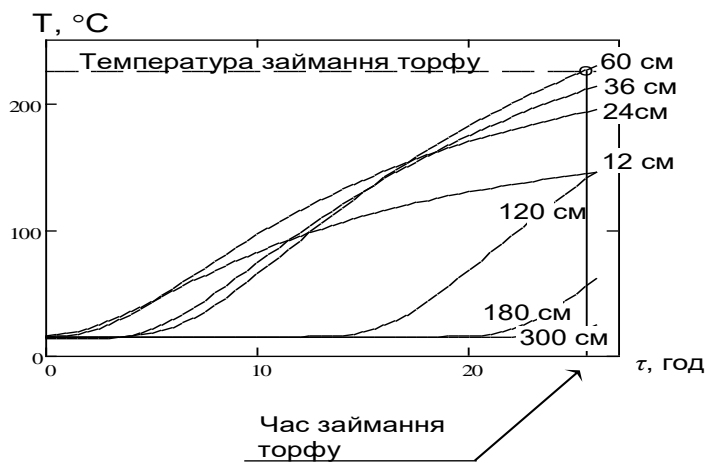


Рис. 4.13 Залежності температур деяких точок на межі захищеної ділянки торфового пласту і протипожежної перешкоди з бентонітової глини товщиною 180 мм на різних глибинах від його поверхні

Можна побачити, що дана перешкода є також ефективним захистом від поширення пожежі у торфовищі, оскільки температура у захищеній ділянці піднімається до небезпечного значення за 25,4 годин за умов інтенсивного горіння торфу поряд з перешкодою.

Для більш детального дослідження температурних режимів нагрівання шарів торфу, нами були побудовані графіки залежностей від часу температур точок у захищеній ділянці торфового пласту.

Для виявлення закономірностей залежності часу настання у захищеній ділянці небезпечної температури займання торфу, нами були побудовані відповідні графіки, що наведені на рис. 4.14.

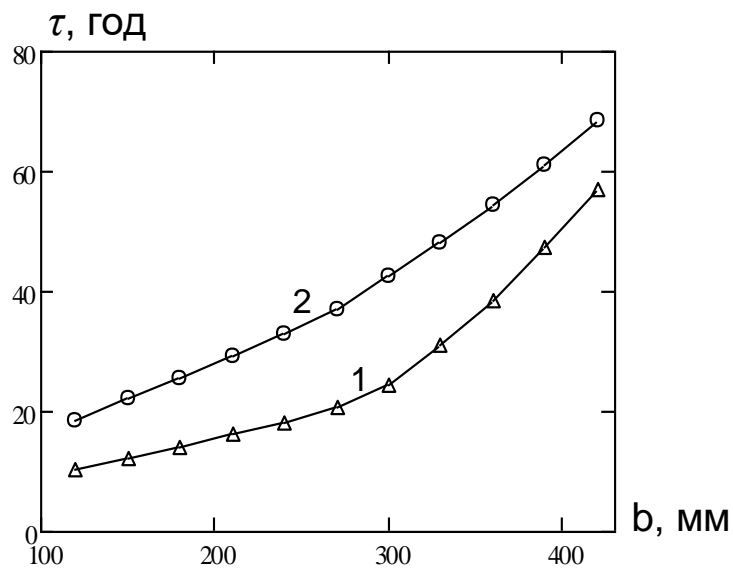


Рис. 4.14. Залежності часу настання небезпечної температури для займання торфу від товщини перешкоди: 1 – з річкового піску; 2 – бентонітової глини.

Графіки на рис. 4.14 показують, що протипожежна перешкода з бентонітової глини є більш ефективною. Оскільки при меншій товщині дає захист на більший час. Це пояснюється тим, що за рахунок більшого вмісту вологи вона має більшу теплоємність, при цьому має меншу густину та менший коефіцієнт теплопровідності.

При проектуванні протипожежних перешкод для торфових пластів важливим параметром є їх товщина. Тому для її автоматизованого підбирання з огляду на час, який треба

забезпечити для захисту певної ділянки торфового пласту, нами пропонується використовувати регресійний аналіз. Отримана формула може бути використана для вирішення вищевказаної задачі.

Для проведення регресійного аналізу пропонується використання поліному 3 порядку, його вибір обумовлений виглядом кривих на графіку рис. 4.14. Параметри регресійної залежності були отримані методом Ньютона [57].

В табл. 4.13. подані отримані параметри регресійних функціоналів.

Таблиця 4.13

Параметри регресійних залежностей товщини перешкоди від часу, який необхідно забезпечити для захисту торфового пласту

Коефіцієнти регресії $b = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + a_3\tau^3$	a_0	a_1	a_2	$a_3,$ $\times 10^{-3}$	Похибка, %
Перешкода з річкового піску	-141.526	31.406	-0.681	5.319	0,5
Перешкода з бентонітової глини	-106.429	14.653	-0.149	0,692	0,4

На рис. 4.15 представлені графіки отриманих регресійних залежностей. На наведених графіках можна побачити високу збіжність результатів, що отримані за одержаними залежностями та результатами, що визначені за допомогою теоретичного розрахунку.

Отримані регресійні залежності мають певні межі застосування. Дані залежності добре працюють в інтервалах необхідного часу захисту ділянки торфового пласту для перешкоди з річкового піску від 3 год до 60 год, а для перешкоди з бентонітової глини від 5 год до 70 год. Для значень часу, що є меншим за найменше крайнє значення відповідних інтервалів, неможливо технічно здійснити утворення таких перешкод, оскільки не існує подібного серійного інструменту. Стосовно більших

значень за крайнє найбільше значення відповідних інтервалів, то реалізація таких перешкод є необґрунтованою, оскільки за цей час гарантовано прибувають рятувальні підрозділи і локалізують пожежу.

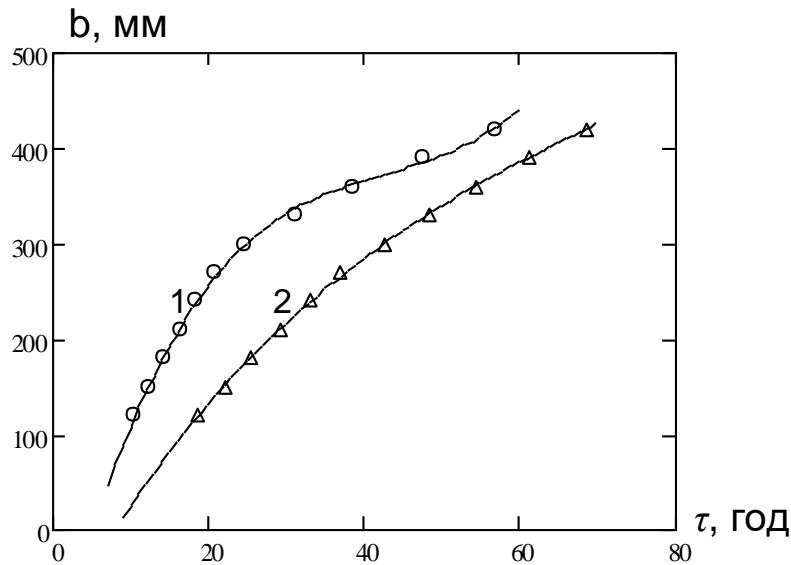


Рис. 4.15. Регресійні залежності товщини перешкоди від необхідного часу захисту ділянки торф'яного пласту з:
1 – з річкового піску; 2 – бентонітової глини.

Таким чином, щоб спроектувати захисну перешкоду треба виконати таку послідовність дій.

1. Виходячи з оперативної обстановки на даній місцевості, де розташовані торфові пласти, визначаються їх області, що необхідно захистити. Області, які повинні бути піддані протипожежному захисту, можна окреслювати за допомогою сучасних геоінформаційних систем з врахуванням знаходження на даних територіях потенційно небезпечних об'єктів, також можна врахувати наявність сил та засобів, а також паспорти на дані потенційно небезпечні об'єкти із можливим сценарієм розвитку надзвичайної ситуації, пов'язані із розвитком пожежі на торфовищі.

2. З використанням даних про наявні сили та засоби ліквідації надзвичайних ситуацій та локалізації пожеж, глибини залягання торфових пластів, час прибуття сил та засобів ліквідації надзвичайних ситуацій та локалізації пожеж, час локалізації торф'яної пожежі, евакуації людей та майна і т.д. розраховується

час, який необхідно забезпечити для протипожежного захисту визначеної області.

3. З використанням даних табл. 4.15 розраховується мінімальна товщина захисного шару протипожежної перешкоди у залежності від виду використаного матеріалу.

4. Під розраховану товщину перешкоди підбирається відповідна робоча фреза щілиноріза і здійснюється формування запроєктованої протипожежної перешкоди.

ВИСНОВКИ

У даній роботі наведено розв'язання актуальної наукової задачі розкриття особливостей впливу теплофізичних параметрів торфу, технологічних параметрів торфорозробок і фізико-хімічних процесів горіння на розвиток пожеж на торф'яниках та торфорозробках, як наукове підґрунтя підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки зазначених об'єктів.

Отримано такі результати:

1. За результатами аналізу статистики пожеж та стану забезпечення пожежної безпеки на торф'яниках та торфорозробках України висунуто ідею, що підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки торф'яників та торфорозробок може бути досягнуто шляхом застосування науково обґрунтованих заходів, які враховують особливості впливу теплофізичних параметрів торфу, технологічних параметрів торфорозробок і фізико-хімічних процесів горіння торфу на розвиток пожеж на таких об'єктах.

2. За результатами математичного моделювання теплових процесів при пожежі штабелів торфу виявлено закономірності тривалості досягнення температури самозаймання на їх поверхнях залежно від геометричної конфігурації штабелю та динаміки розвитку пожежі на сусідніх штабелях (сферична та пірамідальна форма).

3. За результатами математичного моделювання розвитку пожежі виявлено, що проміжок часу до моменту самозаймання на поверхнях сусідніх штабелів торфу за однакової відстані між ними та однакового теплового впливу залежить від його геометричної форми і знаходиться у діапазоні від 240 до 930 с. Для штабелів у формі зрізаної піраміди, пірамідальної та напівсферичної форми цей проміжок часу складає 240 с; 240 с та 930 с відповідно.

4. Встановлено, що напівсферичний торфовий штабель при пожежі на сусідньому має одну локальну зону нагріву до температури самозаймання, а при пожежі на двох сусідніх штабелях – має три такі зони.

5. Із застосуванням математичного моделювання процесів розвитку пожеж було виявлено параболічну залежність товщини протипожежної перешкоди b , мм, від часу τ , год, що необхідно

забезпечити для захисту об'єкту, яка може бути описана поліноміальними регресійними функціями $b = -141,526 + 31,406\tau - 0,681\tau^2 + 5,319\tau^3$ – у разі застосування річкового піску та $b = -106,429 + 14,653\tau - 0,149\tau^2 + 0,692\tau^3$ – у разі застосування 10 % суспензії бентонітової глини.

6. Встановлено, що закриття пор верхніх шарів торфу після охолодження водою розплавлених до відповідних температур: воску + 75 °С, смоли + 90 °С і парафіну + 120 °С, що входять до складу бітуму торф'яного, призводить до створення гідроізоляційного шару і перешкоджає проникненню води, а також сприяє поширенню підземних пожеж на торф'яниках. Це дає змогу удосконалити технологію гасіння підземних пожеж шляхом заглиблення спеціальних стволів на величину, більшу, товщини спеченого шару торфу.

7. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що навіть при достатній концентрації кисню, яка забезпечувалася в умовах досліду, концентрація шкідливих речовин у повітрі безпосередньо над зоною горіння, на висоті 1 м, перевищує значення ГДК CO, NO₂, SO₂ у 355, 130, 260 разів відповідно, а при розповсюдженні диму у повітрі на площу, у 8 разів більшу площі горіння, на висоті 4 м концентрація цих речовин перевищує значення ГДК у 10, 4 та 8 разів відповідно, що необхідно враховувати під час локалізації та гасінні пожеж, а також ліквідації їх наслідків.

8. Розроблено метод прогнозування поширення пожежі та забрудненості навколишнього середовища токсичними продуктами неповного згорання торфу, який допоможе правильно вибрати диспозицію сил та засобів пожежних підрозділів.

9. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику створення протипожежних перешкод для заповнення протипожежних розривів на торф'яниках шириною від 180 до 300 мм з 10 % водно-глиняної суспензії на основі бентонітової глини або річкового піску з $M_k \leq 1,48$.

Розроблені методичні рекомендації, що впроваджені в перелік заходів необхідних для профілактики пожежної безпеки на торф'яниках в Черкаській області. Результати роботи впроваджено

в навчальний процес Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України та Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Статистичні дані пожеж ДСНС України. – Київ: 2015.
2. Єлагін І.Г., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. – Черкаси: Тясмин, 2001. – 447 с.
3. Ключ П.П. та інші. Пожежна тактика. – Харків: Основа, 1998. – 592 с.
4. НАПБ В.01.017-80/116 Правила пожарной безопасности для предприятий торфяной промышленности. – Москва, 1980.
5. Зосимович В. Ю., Карпенко А. М., Сіренко О. А., Циба Н. Н. Стратиграфічне положення, вік, седиманційні особливості та палеогеографія боярської товщі // Геол.журн. – 2006. – № 2-3. – С.123-136.
6. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. – М.: Стройиздат, 1975. – С. 94-126.
7. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 55 - 61.
8. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 17-31.
9. Телицын Г.П. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды.// Сб. тр. ДальНИИЛХ. – 1965. – Выпуск 7. – С. 391 - 405.
10. Валендик Э.Н. Ветер и лесной пожар. – М.: Наука, 1968 – 118 с.
11. Тишкович А.В. Свойства торфа и эффективность его использования на удобрения. – Минск: Наука и техника, 1978. – 150 с.
12. Краткая химическая энциклопедия, том 1. - М.: Советская энциклопедия, 1961. – 1263 с.
13. Краткая химическая энциклопедия, том 2. - М.: Советская энциклопедия, 1963. – 1086 с.
14. Федотов А.И. Водно – физические свойства торфа. – Минск: Наука и техника, 1977. – 118 с.
15. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році. – Київ: ЛДУБЖД, 2012. – с. 359.
16. Мигаленко К.І. Проблеми розповсюдження пожеж на торф'яниках в літній період / Ленартович Є.С. // Пожежна

- безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД. 2011. – №18. – С.107-113.
17. Ушапівський І.Л. Гасіння пожеж лісових та торф'яних пожеж у Львівській області/ І.Л. Ушапівський, В.Б. Грицай, С.І. Пехник// Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД. 2005. – №6. – С.35-42.
 18. Мигаленко К.І. Дослідження процесу горіння торфу / К.І. Мигаленко, Є.С. Ленартович, Є.О. Тищенко // Збірник наукових праць: «Пожежна безпека: теорія і практика». – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – №3. – С. 65-69.
 19. Адлер Ю.П., Маркова Є.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 95 с.
 20. Математическая теория планирования эксперимента под редакцией С.М. Ермакова. – М.: Наука, 1983. – 390 с.
 21. Зедчинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования много-компонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 337 с.
 22. Дамбраускас А.П. Симплексный поиск. – М.: Энергия, 1979. – 195 с.
 23. Эйгенсон Л.С. Моделирование. – М., 1952. – 250 с.
 24. Гутенмахер Л. И. Электрические модели. – М. - Л., 1949. – 167 с.
 25. Вальт Л.О. Познавательное значение модельных представлений в физике. - Тарту, 1963. – 320 с.
 26. Чавчанидзе В.В., Гельман О, Я. Моделирование в науке и технике. – М., 1966. – 302 с.
 27. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М., 1963. – 270 с.
 28. Кирпичев М.В. Теория подобия. – М., 1953. – 235 с.
 29. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М., 1972. – 193 с.
 30. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1973. – 335 с.
 31. Доспехов Б.А. Планирование полевого опыта и статическая обработка его данных. – М.: Колос, 1972. – 295 с.
 32. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению. – М.: Недра, 1975. – 377 с.

33. Лундин К.П. Водные свойства торфяной залежи. – Минск: Наука и техника, 1964. – 131 с.
34. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Ленинград: «Энергия», 1975. – 598 с.
35. Білецький В.С. Гірничий енциклопедичний словник., т. 1. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2001. – 512 с.
36. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. Справочник. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Книга первая. – М.:Химия, 1990. – 495 с.
37. Геологический словарь. Т. 2. – М.: Недра, 1978. – С. 320-321.
38. Краткая химическая энциклопедия, том 4. - М.: Советская энциклопедия, 1965. – 1182 с.
39. Єлагін Г.І., Ленартович Є.С., Мигаленко К.І. Дослідження продуктів згорання зразків торфу Ірдинського родовища Черкаської області // Вісник Черкаського Державного Технологічного Університету. – Черкаси: 2008 р. №2. – С. 134-137.
40. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Москва: ИПК издательство стандартов, 1989.
41. Богданов В.В., Кобец О.И. Локализация и тушение торфяных пожаров с применением огнетушащих составов // Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна безпека-2007». – Черкаси: 2007. – С. 334-335.
42. Сизиков А.С., Ипатьев А.В. О риске задымления населенных пунктов в результате лесных и торфяных пожаров // Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна безпека – 2007». – Черкаси: 2007. – С. 404-405.
43. Ипатьев А.В. Механизмы дымо-образования лесных горючих материалов и торфа // Міжнародна науково-практична конференція «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту». – Черкаси: 2006. – С. 98-99.
44. Ленартович Є.С, Мигаленко К.І., Тищенко Є.О. Залежність процесу горіння та поширення підземних пожеж на торф'яниках від фізико-хімічних властивостей торфу // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів 2008. – №12. – С. 80-84.

45. Ленартович Є.С., Божинов О.О., Тищенко Є.О. Розвиток пожеж на торф'яниках. // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Черкаси: 2005. – №2. – С. 149-151.
46. Мигаленко К.І., Савіна М.В., Ленартович Є.С. Вплив пожеж на торф'яниках на екологічний стан довкілля // Міжнародна науково-практична конференція ад'юнктів, курсантів та студентів. – Черкаси 2008. – С.66-68.
47. Мигаленко К.І., Ленартович Є.С., Семерак М.М., Мигаленко О.І. Поширення підземної пожежі на торф'яниках р. Тясмин // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: 2010. – №17. – С.138-142.
48. Краткая химическая энциклопедия, том 4. - М.: Советская энциклопедия, 1965. – 1182 с.
49. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. Справочник. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения. Книга первая и вторая. – М.:Химия, 1990. – 495 с.
50. Мигаленко К. И. Прогноз распространения подземного пожара на торфяниках Черкасской области / К. И. Мигаленко // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – Кокшетау: КТИ МЧС РК, 2014. – № 4(16). – С. 54-60.
51. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. – Київ: Вища школа, 2002. – 277 с.
52. Картошкин М. Д. Хранение топлива на электростанциях. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 208 с.
53. РД 34.44.101-96. Типовая инструкция по хранению углей, горючих сланцев и фрезерного торфа на открытых складах электростанций. – 1996 г.
54. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / Тихонов А.Н., Самарский А.А. – М.: Высшая школа, 1976. – 664 с.
55. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем / Самарский А.А. – М.: Наука, 1971. – 554 с.
56. Самарский А.А. Вычислительная теплопередача / Самарский А.А., Вабищевич П.Н. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

57. Власова Е.А. Приближенные методы математической физики : [учебн. для вузов] / Власова Е.А., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. – М.: МГТУ им. Баумана, 2001. – 700 с.
58. Бек Дж. Некорректные обратные задачи теплопроводности / Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клер Ч. ; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 319 с.
59. Алифанов А.М. Обратные задачи теплообмена / Алифанов А.М. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
60. Бахвалов Н.С. Численные методы / Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. – М.: Высшая школа, 1991. – 630 с.
61. Ваничев А.П. Приближенный метод решения задач нестационарной теплопроводности при переменных константах / Ваничев А.П. – М.: АН СССР – ОТИ, 1946. – № 12. – С. 167–174.
62. Rubini. P., SOFIE – Simulation of Fires in Enclosures, V 3.0 Users guide, School of Mechanical Engineering, Granfield University (UK), 2000.
63. Дмитриевич А.Д. Определение теплофизических свойств строительных материалов / Дмитриевич А.Д. – М.: Госстройиздат, 1963. – 204 с.
64. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества / Лыков А.В., Михайлов Ю.А. – Минск: АН БССР, 1959. – 330 с.
65. Лыков А.В. Тепломассообмен : [справочник: 2-е издательство переработанное и дополненное] / Лыков А.В. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
66. Степанов С.В. Коэффициент поглощения многофазных материалов / Степанов С.В. // Теплофизика высоких температур. – 1988. – Т. 25. – № 1. – С.180.
67. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. в 4-х т. – Т.1. Кн.1. – М.: Наука, 1978. – 496 с.
68. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов. – М.: НИИ строительной физики, 1969. – 142 с.
69. Суков Я.В. Исследование параметров зажигания и горения торфа с помощью физического и математического моделирования.- автореф. дис-и на соиск. науч. степени канд.

- техн. наук: спец 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по физико-математическим наукам. / Я.В. Суков – Томск, РФ, 2010. – 23 с.
70. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. – М.: Наука, 1990. – 214 с.
71. Метод конечных элементов в механике твердых тел / [Сахаров А.С., Кислоокый В.М., Киричевский В.В. и др.]; под ред. А.С. Сахарова, И.А. Альтенбаха. – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.
72. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.
73. Поршнеv С.В. Численные методы на базе Mathcad / Поршнеv С.В., Беленкова И.В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 464 с.
74. Дьяконов В.П. MATHCAD 8/2000 : [спец. справочник.] / Дьяконов В.П. – СПб: Питер, 2000. – 592 с.
75. Тименский М.Н. Контрольно-измерительные приборы для противопожарной и противовзрывной защиты: [справочник] / Тименский М.Н., Зуйков Г.М. – М.: Стройиздат, 1982. – 256 с.
76. Рузинов Л.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. – М.: Химия, 1980. – 280 с.
77. Физико-химические методы анализа: практ. рук-во / [Алесковский В.Б., Бардин В.В. и др.]; под ред. В.Б. Алесковского и К.Б. Яцимирского – Л.: Химия, 1971. – 424 с.
78. Коздоба Л.А. Электрическое моделирование явлений тепло- и массопереноса / Коздоба Л.А. – М.: Энергия, 1972. – 296 с.
79. Немчинов Ю.И. Метод пространственных конечных элементов (с приложениями к расчету зданий и сооружений): [монография] / Немчинов Ю.И. – К.: НИИСК, 1995. – 368 с.
80. Поздеев С.В. Исследование эффективности математических моделей для решения теплотехнической задачи при определении огнестойкости железобетонных конструкций / Поздеев С.В., Поклонский В.Г., Некора О.В., Поздеев А.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : [сб. науч. трудов]. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Выпуск 52: [серия «Безопасность жизнедеятельности»]. – С. 44-48.

81. Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов: [методы математического моделир. и реш. процес. задач] / Федоткин И.М., Бурляй И.Ю., Рюмшин Н.А. – К.: Техніка, 2002. – 407 с.
82. Мигаленко К.І. Математичне моделювання та дослідження величини теплового потоку факела пожежі / М. М. Семерак, А. М. Домінік, К. І. Мигаленко, Д. В. Руденко / Вісник ЛДУБЖД: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД, 2013. – №.7, С. 225-230.
83. Radovanovic S. Thermal and structural finite Element Analysis of early Age mass concrete Structures. A Thesis Submitted to the Faculty of Graduate Studie in Partial Fulfulment of the Requirement for the Degree of Master of Science. Department of Mechanical and Industriel Engineering. University of Manitoba. Winnipeg, Manitoba. 1998, 157 p.
84. Башкирцев М.П. Основы пожарной теплофизики: [учеб. пособие] / Башкирцев М.П., Бубырь Н.Ф., Минаев Н.А., Онучков Д.Н. – [3-е издание, переработаное и дополненное]. – М.: Стройиздат, 1984. – 200с.
85. Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности: [учеб. пособие для ВУЗов] : в 2-х частях / Беляев Н.М., Рядно А.А. – М.: Высшая школа. – Ч. 1 и 2. 1982. – 327 с.
86. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: [учеб. пособие] / Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 256 с.
87. Романенко П.Н. Теплопередача в пожарном деле. / Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. – М.: ВШ МВД СССР , 1969. – 425 с.
88. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением. – М.: Госэнегоиздат, 1962. – 487 с.
89. Р.Зигель, Дж. Хауелл. Теплообмен излучением. – М.: Мир, АН СССР, 1975. – 936 с.
90. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
91. Андреева О. О., Курило М. М. Економічна оцінка рудопроявів та родовищ бентоніту України з використанням методики

- коефіцієнтів приведення // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. — 2006. — № 37. — С. 25-27.
92. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. [за ред. В.С. Білецького] – Донецьк: Донбас, 2004. – ISBN 966-7804-14-3.
93. Андреева О.О. Бентонітові глини України: запаси, потреби, використання. // Вісник Київського національного університету імені Т. Шевченка. Геологія – 2006. – №36. – С. 39-41.
94. Кириченко Л. П. Определить потребности и требования качеству природных адсорбентов для народного хозяйства Украины. — Симферополь, 1995. – 250 с.
95. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр ДКЗ Держкомгеології України, 1997 – 1 с.
96. Овчаренко В. А., Герасимов Е. С. Принципы геолого-экономической оценки сырьевой базы каменных углей Украины как основа для разработки программ развития угольной промышленности/ Мінеральні ресурси України. – 2002. - № 2. – С. 26-28.
97. Мигаленко К.І. Пожежна безпека технологічного процесу сушіння і зберігання торфу / К.І. Мигаленко, М.Р. Михайлишин, І.Л. Ущипівський // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2014. – №18. – С.84-88.
98. ГОСТ 3226-93 «Глины формовочные огнеупорные. Общие технические условия». – Минск, 1993.
99. ДСТУ Б.В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. – Київ, 1996.
100. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – Москва, 1989.
101. Разработка концепции новых способов и устройств для борьбы с верховыми лесными пожарами.-Отчет о НИР/Томский университет. Рук. работы А.М. Гришин.–Томск:ТГУ,1989.–276с.
102. Мернов И.В., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод. – М: Недрa, 1971. – 321 с.

103. Гончаров С.М., Коробченко С.М., Ковалев С.В., Потоцкий Г.С. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации. – Львов: Высшая школа, 1988. – 320 с.
104. Абдурагимов И.М. Процессы горения: [учеб. пособие] / Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983. – 269 с.
105. Спэрроу Э.М. Теплоперенос излучением / Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д.; перевод с английского - Сориц С.З., Сорокопуд Л.М. – Ленинград: Энергия, 1971. – 295 с.
106. Коздоба Л.А. Решение нелинейных задач теплопроводности: [монография] / Коздоба Л.А. – К.: Наукова думка, 1976. – 136 с.
107. Астапенко В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н.; под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
108. Amer M. Ibrahim, Huda M. Mubarak Finite Element Modeling of Continuous Reinforced Concrete Beam with External Pre-stressed European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.30 No.1 (2009), pp.177-186.
109. Драйзделл Д. Введение в динамику пожаров / Драйзделл Д.; переведено с английского К.Г. Бромштейна; под редакцией Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
110. Демидов П.Г. Горение и свойства горючих веществ: [учебное пособие] / Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.:Химия, 1981.–272с.
111. ГОСТ 29329-92 Весы для статического взвешивания. Общие технические требования. – Москва, 1992.
112. ГОСТ 24104-88 Весы лабораторные общего назначения и образцовые. – Москва, 1988.
113. ГОСТ 13474-79 Электроды сопротивления лабораторные. Общие технические условия. – Москва, 1980.

Підписано до друку 29.02.2016 р. Обл.-вид. арк. 5,1.

Тираж 50 прим. Замовлення № 15.

Віддруковано у секторі РВР ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.