

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Національний університет цивільного захисту України

Д.П. Дубінін, К.В. Коритченко, А.А. Лісняк

**ЗАСТОСУВАННЯ ЗАРЯДІВ З СУМІШІ
ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ ДЛЯ
ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ШЛЯХОМ
СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНИХ БАР'ЄРІВ**

Харків 2017

УДК 614.84

Рекомендовано до друку Вченою радою Національного університету цивільного захисту України (протокол № 7 від 23.02.2017 р.)

Рецензенти:

О.А. Тарасенко, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

С.В. Росоха, доктор технічних наук, доцент

Застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів для локалізації лісових пожеж шляхом створення протипожежних бар'єрів: монографія / Д.П. Дубінін, К.В. Коритченко, А.А. Лісняк. – Харків: НУЦЗУ, 2017. – 128 с.

ISBN 978-617-7474-68-4

В роботі отримані наукові результати, які в сукупності обґрунтовують та визначають ефективність застосування вибухового методу для локалізації лісових пожеж шляхом створення протипожежних бар'єрів за рахунок вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів.

Для наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів (ад'юнктів), здобувачів вищої освіти в межах навчальної програми технічного вузу IV рівня акредитації.

УДК 614.84

ISBN 978-617-7474-68-4

© Дубінін Д.П., Коритченко К.В., Лісняк А.А., 2017

ЗМІСТ

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	5
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО УКРАЇНИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ І СПОСОБИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ.....	20
1.1 Загальні відомості про лісове господарство України.....	20
1.2 Аналіз динаміки патентування способів та технічних засобів локалізації та ліквідації лісових пожеж.....	31
1.3 Способи локалізації лісових пожеж.....	36
1.4 Технічні засоби локалізації лісових пожеж.....	39
1.5 Вибухові способи локалізації лісових пожеж.....	42
1.5.1 Вибухові способи локалізації пожеж на основі конденсованих вибухових речовин і способи оцінки ефективності їх використання.....	42
1.5.2 Вибуховий спосіб локалізації пожеж зарядами на основі стехіометричної паливноповітряної суміші.....	46
1.6 Урахування впливу рослинності на поширення ударної хвилі при математичному моделюванні.....	49
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО БАР'ЄРУ ВИБУХОМ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ.....	52
2.1 Математичне моделювання вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів для створення протипожежного бар'єру	52
2.1.1 Математична модель вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів у фітоценозі.....	52
2.1.2 Розрахунок параметрів стану продуктів вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів.....	54
2.1.3 Початкові і граничні умови задачі газодинамічного розширення продуктів вибуху заряду у фітоценозі при створенні протипожежного бар'єру.....	58
2.1.4 Алгоритм чисельного рішення вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів.....	65
2.2 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі.....	68
2.2.1 Залежність ступеня обривання рослинного горючого матеріалу від інтенсивності ударної хвилі.....	68
2.2.2 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі для першого варіанту початкових умов (2.23 – 2.25).....	69
2.2.3 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі для другого варіанту початкових умов (2.26 – 2.28).....	74
2.2.4 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі для третього варіанту початкових умов (2.29 – 2.31)	76
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ТЕХНІКА І МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ УДАРНОЇ ДІЇ ВИБУХУ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ НА РОСЛИННІСТЬ.....	81

3.1 Методика проведення досліджень вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів на рослинний горючий матеріал.....	81
3.2 Техніка створення заряду з суміші вибухонебезпечних газів.....	83
3.3 Техніка вимірювань параметрів ударної дії від вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів.....	91
3.4 Розрахунок безпечних відстаней при створенні протипожежного бар'єру вибухом заряду з суміші вибухонебезпечних газів.....	94
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ І ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІИ ЩОДО СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО БАР'ЄРУ ВИБУХОМ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ.....	96
4.1 Порядок проведення експериментальних досліджень при створенні протипожежного бар'єру вибухом заряду з суміші вибухонебезпечних газів.....	96
4.2 Результати вимірювань ударної дії вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів при створенні протипожежного бар'єру у фітоценозі.....	97
4.3 Вимірювання параметрів ударної дії від вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів датчиками тиску.....	102
4.4 Рекомендації щодо застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів для локалізації лісових пожеж	107
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Абіотичні чинники середовища – компоненти і явища неживої, неорганічної природи, прямо або що побічно впливають на живі організми: кліматичні, ґрунтові і гідрографічні чинники. Основними абіотичними чинниками середовища є: температура, світло, вода, солоність, кисень, магнітне поле землі, ґрунт.

Авіаційна охорона лісів від пожеж – охорона лісів від пожеж, за допомогою використання авіаційних засобів.

Атака непряма – метод, за допомогою якого загороджувальна смуга розташовується стратегічно так, щоб використати перевагу сприятливої місцевості і природних розривів перед пожежним периметром, і зазвичай відпалює проміжна смуга або пускається зустрічний вогонь.

Атака паралельна – метод, за допомогою якого створюється протипожежна смуга як можна ближче до пожежі, наскільки дозволяє висока температура і полум'я, і здійснюється відпал наземного горючого матеріалу між пожежею і протипожежною смугою.

Атака пряма – це метод, за допомогою якого відбувається гасіння пожежі прямо з території, що примикає до матеріалу, що горить.

Біогеоценоз – система, що включає співтовариство живих організмів і тісно пов'язану з ним сукупність абіотичних чинників середовища в межах однієї території, пов'язані між собою кругообігом речовин і потоком енергії. Є стійкою саморегульованою екологічною системою, в якій органічні компоненти (тварини, рослини) нерозривно пов'язані з неорганічними (вода, ґрунт).

Біоценоз – це угруповання, що історично склалося, з рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, що населяють відносно однорідний життєвий простір (ділянка суші або водойми).

Бонітет лісу – показник продуктивності лісу, який залежить від якості ґрунту та кліматичних умов.

Боеприпас об'ємного вибуху (БОВ) – боеприпаси, принцип дії яких заснований на фізичному явищі – детонації, що виникає в сумішах пальних газів з повітрям. В якості заряду у БОВ використовуються летучі вуглеводневі з'єднання, що володіють високою теплотворною здатністю: окис етилену, пропілнітрат, перекис оцтової кислоти, діборан, тощо.

Боротьба з найбільш активними осередками пожежі – метод контролю поширення і інтенсивності пожежі в тих точках, де виражено його найбільш швидке поширення, або в яких проявляється певна загроза здійсненню контролю ситуації. Цей метод протилежний до одночасної систематичної роботи з усіма частинами пожежі або методу поступової поетапної роботи.

Вибух – надзвичайно швидке перетворення речовини, яке супроводжується миттєвим виділенням великої енергії в невеликому об'ємі. Суттєвою ознакою вибуху є різке збільшення тиску, яке викликає у

навколишньому середовищі ударну хвилю.

Вибухова (ударна хвиля) – це область різкого стискання середовища, яка у вигляді сферичної хвилі розповсюджується в усі боки від місця вибуху зі швидкістю, що перевищує швидкість звуку.

Вибухові речовини (ВР) – хімічні сполуки або механічні суміші речовин, здатні під впливом зовнішньої дії (початкового імпульсу) до швидкого самопоширюваного хімічного перетворення (вибуху) з виділенням великої кількості теплоти та утворенням газів, здатних спричинити руйнування і переміщення навколишнього середовища.

Випалювання в лісі – застосування керованого вогню в лісогосподарських цілях.

Відпал – випалювання в лісі надґрунтових горючих матеріалів перед кромкою лісової пожежі.

Виявлення лісової пожежі – це визначення характеристик пожежі з точністю, достатньою для організації її гасіння. Тому зареєстровані точки горіння в лісі не можна вважати виявленням лісових пожеж.

Вогнегасна речовина – речовина або однорідна суміш, за своїми фізико-хімічними властивостями придатна до застосування в технічних засобах задля припинення горіння.

Вогнище – сукупність горючих матеріалів або продуктів згорання та конструктивних елементів, якими обмежено простір, де відбувається горіння.

Вогонь – об'ємна мінлива композиція розжарених речовин, які перебувають у процесі горіння.

Гар – лісова площа з деревостанів, загиблих в результаті лісової пожежі.

Гасіння лісових пожеж – дії лісопожежних служб, оперативно-рятувальних служб та добровільних формувань, які спрямовані на зупинення, розповсюдження, локалізацію та ліквідацію пожежі.

Глобальне потепління – процес поступового зростання середньої річної температури поверхневого шару атмосфери Землі і Світового океану, внаслідок всіляких причин (збільшення концентрації парникових газів в атмосфері Землі, зміна сонячної або вулканічної активності, тощо).

Горіння – екзотермічний процес, який охоплює окисно-відновні перетворення речовин і матеріалів і характеризується наявністю летких продуктів і світлового випромінювання. Ознаками горіння є теплове, світлове, ультрафіолетове випромінювання, наявність диму, погіршення складу газового середовища та підвищення його температури.

Горельник – лісова площа з деревостанів, які частково загибли в наслідок лісової пожежі.

Горимість лісів – величина, що визначається відношенням сумарної площі лісових пожеж до всієї лісової площі.

Горючий матеріал – матеріал, здатний до участі у горінні в якості відновника.

Горюче середовище – суміш горючої речовини та окисника, здатна до

самостійного горіння.

Горючі матеріали наземні – деревний опад, який складається з матеріалів опалих хвоїнок, листя, дрібних гілочок, кори, шишок, мертвих деревних остатків, вітролому, сухостою, пеньків, сухих гілок, дрібних порубкових решток, трав'янистої рослинності.

Горючі матеріали рослинні ГМР або лісові горючі матеріали ЛГМ – рослини лісів, їх морфологічні частини і рослинні залишки різного ступеня розкладання, які можуть горіти при лісових пожежах.

Горючі матеріали (надземні) або крон – живі і відмерлі горючі матеріали, безпосередньо не контактуючі із землею і такі, що складаються в основному з листя, гілок, стебел, кори, шишок, ліан і інших витких рослин, моху і високих кущів. Вони легко висихають і можуть переносити низову пожежу в полозі лісу. Крон горючих матеріалів в основному згорає при верхових пожежах.

Горючі матеріали ґрунтові – усі горючі матеріали, що знаходяться нижче надґрунтового покриву, які зазвичай підтримують процес безполуменового горіння або тління, пов'язаного з підземними пожежами. Цей тип горючих матеріалів включає підстилку, гумус, корені дерев та кущів, гнилу деревину, торф і тирсу.

Горючі матеріали надґрунтові – горючі матеріали, що знаходяться у безпосередньому контакті з ґрунтом (мохи, лишайники, гілочки, листя, хвоя).

Горючі матеріали ступінчасті – горючі матеріали, які забезпечують вертикальну безперервність між шарами і дозволяють пожежі переходити від наземних горючих матеріалів на крони дерев або кущів (займання у формі факела, спалах крон) і підтримувати безперервне поширення верхових пожеж.

Гумус – основна органічна речовина ґрунту, що містить поживні речовини, які необхідні рослинам.

Детонаційне горіння – кінетичне горіння, за якого швидкість поширювання горіння перевищує швидкість звуку.

Детонаційний шнур (ДШ) – пристрій для передачі на відстань ініціюючого імпульсу для збудження детонації в зарядах вибухових речовин.

Детонація – процес хімічного перетворення вибухових речовин, що супроводжується вивільненням енергії і поширюється по речовині у вигляді хвилі з постійною швидкістю, яка перевищує швидкість звуку в цій речовині.

Джерело запалювання – об'єкт, який виділяє теплову енергію, достатню для запалювання. Загоряння відбувається зазвичай під дією зовнішнього джерела запалювання, тоді як самостійне горіння підтримується за рахунок теплоти екзотермічних процесів у зоні горіння.

Дим – видима аерозольна складова летких продуктів згоряння.

Дотушування пожежі – стадія ліквідації пожежі, при якій відбувається гасіння осередків горіння на території, вже пройденій вогнем.

Еластичний шнуровий заряд марки ЕШ-1 П – застосовується для створення мінералізованих (опорних) смуг при гасінні лісових і степових

пожеж, під час проведення криголамних робіт та на лісоповалі.

Загоряння в лісі – виникнення горіння в лісі під впливом джерела запалювання.

Запалювання – ініціювання горіння.

Запас лісових горючих матеріалів – маса абсолютно сухих (висушених до постійної маси при температурі 105 °С) лісових горючих матеріалів на одиницю площі.

Заряд вибухової речовини – кількість вибухової речовини, підготовлена до вибуху введеним у неї ініціатором.

Засоби протипожежного захисту – технічні засоби, призначені для запобігання, виявлення, локалізації та ліквідації пожеж, захисту людей, матеріальних цінностей та довкілля від впливу небезпечних факторів пожежі.

Засоби цивільного захисту – протипожежна, аварійно-рятувальна та інша спеціальна техніка, обладнання, механізми, прилади, інструменти, вироби медичного призначення, лікарські засоби, засоби колективного та індивідуального захисту, які призначені та використовуються під час виконання завдань цивільного захисту.

Захищена площа (захищений об'єм) – площа, об'єм, яку (-ий) можна захистити за допомогою одного технічного засобу пожежогасіння за умови виникнення пожежі в будь-якій (його) точці, якщо розміри вогнища не перевищують показника вогнегасної здатності технічного засобу пожежогасіння.

Земельна лісова ділянка – земельна ділянка лісового фонду України з визначеними межами, яка надається або вилучається у землекористувача чи власника земельної ділянки для ведення лісового господарства або інших суспільних потреб відповідно до земельного законодавства.

Зона діяльності (обслуговування) лісових пожежних станцій – територія лісового фонду, офіційно закріплена за ЛПС з метою проведення попереджувальних профілактичних заходів, виявлення та ліквідації лісових пожеж.

Зони дії вибуху – характерні зони в лісовому масиві навколо епіцентру вибуху.

Зупинення поширення пожежі – стадія ліквідації, в результаті виконання якої досягається припинення поширення вогню.

Інженерна техніка – машини, механізми та агрегати, що знаходяться на озброєнні інженерних військ, військ цивільної оборони, рятувальних та інших формувань і призначені для механізації різних робіт при виконанні завдань інженерного забезпечення їх дій. Включає: машини інженерного озброєння (інженерної розвідки, розгородження, дорожні, землерийні, вантажопідйомні, лісозаготівельні, лісопильні, переправочно-десантні, понтонні парки, мостоукладчики, механізовані мости, мінні загороджувачі, мінні трали, установки для видобутку і очищення води тощо), електротехнічні засоби, освітлювальні, силові, зарядні, інженерні та спеціалізовані електростанції, пересувні зарядно-силові пристрої, засоби

обслуговування і ремонту.

Ймовірність виникнення пожежі – чисельна характеристика ступеня можливості появи достатніх умов виникнення пожежі.

Ймовірність впливу небезпечних чинників пожежі – числова характеристика ступеня можливості впливу небезпечних чинників пожежі із заданими значеннями їх параметрів.

Керівник гасіння лісової пожежі КГЛП – посадова особа лісогосподарського підприємства, на території якого виникла пожежа.

Клас пожежної безпеки за умовами погоди – показник, що визначається з урахуванням температури повітря і кількості опадів за останні три доби, характеризує ступінь імовірності виникнення лісових пожеж.

Клас пожежної безпеки лісових ділянок – відносна оцінка ступеня пожежної безпеки лісових ділянок за умовами виникнення в них пожеж і можливої їх інтенсивності.

Клас природної пожежної безпеки – показник, що характеризує лісові насадження за ступенем безпеки виникнення в них пожеж.

Команда лісової пожежної станції – особовий склад, закріплений за лісовою пожежною станцією на постійній основі (постійний підрозділ) та громадських засадах.

Контур лісової пожежі – зовнішня межа лісової площі, пройдена вогнем.

Критичний діаметр заряду – мінімальний діаметр подовженого циліндричного заряду вибухової речовини, при якому забезпечується стійка детонація. Якщо діаметр заряду менше за деяку величину $d_{кр}$, то стійка детонація неможлива. Величина $d_{кр}$ залежить від природи ВР, її густини, величини частинок і міцності оболонки.

Кромка лісової пожежі – смуга горіння навколо зовнішнього контуру лісової пожежі та безпосередньо примикає до ділянок не пройдених вогнем.

Кромка лісової пожежі внутрішня – межа кромки пожежі, звернена до території, яка пройдена горінням.

Кромка лісової пожежі зовнішня – межа кромки пожежі, звернена до території, яка не охоплена горінням.

Ліквідація наслідків надзвичайної ситуації – проведення комплексу заходів, що включає аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи, які здійснюються у разі виникнення надзвичайної ситуації і спрямовані на припинення дії небезпечних факторів, рятування життя та збереження здоров'я людей, а також на локалізацію зони надзвичайної ситуації.

Ліквідація пожежі – дії, спрямовані на остаточне припинення горіння, а також на виключення можливості його повторного виникнення

Ліс – тип природних комплексів, у якому поєднуються переважно деревна та чагарникова рослинність з відповідними ґрунтами, трав'яною рослинністю, тваринним світом, мікроорганізмами та іншими природними компонентами, що взаємопов'язані у своєму розвитку, впливають один на одного і на навколишнє природне середовище.

Лісівництво – наука про закони життя та розвитку лісу, його відновлення, вирощування та формування систем рубок, підвищення комплексної продуктивності лісових насаджень.

Лісова ділянка – ділянка лісового фонду України з визначеними межами, яка виділена для ведення лісового господарства та використання лісових ресурсів без вилучення її у землекористувача або власника землі.

Лісові відносини – суспільні відносини, які стосуються володіння, користування та розпоряджання лісами і спрямовуються на забезпечення охорони, відтворення та сталого використання лісових ресурсів з урахуванням екологічних, економічних, соціальних та інших інтересів суспільства.

Лісові ресурси – деревяні, технічні, лікарські та інші продукти лісу, що використовуються для задоволення потреб населення і виробництва та відтворюються у процесі формування лісових природних комплексів.

Лісова пірологія – наука про природу лісових пожеж та їх наслідки, боротьби з лісовими пожежами та про використання позитивної ролі вогню в лісовому господарстві.

Лісова пожежа – стихійне розповсюдження вогню територією лісового фонду.

Лісові пожежі невеликі – площа лісової пожежі до 5 га.

Лісові пожежі великі – площа лісової пожежі від 5 до 200 га.

Лісові пожежі особливо великі – площа лісової пожежі більше 200 га.

Лісові пожежі верхові – пожежі, при яких вогонь пожежі розповсюджується в кронному просторі лісових насаджень. При цьому низовий вогонь розглядається як складова частина верхової пожежі.

Лісові пожежі верхові рухливі – пожежі, які розповсюджуються кронами рухливі дерев зі швидкістю більше 4 км/год., значно випереджаючи фронт низових пожеж, спричиняють утворення нових осередків завдяки розносу іскор, при пожежі згорають хвоя і дрібні гілки, великі гілки і кора дерев обвуглюються.

Лісові пожежі верхові слабкі – пожежі зі швидкістю просування фронтальної кромки до 3 м/хв.

Лісові пожежі верхові середньої сили – пожежі зі швидкістю просування фронтальної кромки від 3 до 100 м/хв.

Лісові пожежі верхові сильні – пожежі зі швидкістю просування фронтальної кромки більше 100 м/хв.

Лісові пожежі верхові стійкі – пожежі, які поширюються зі швидкістю стійкі до 4 км/год. кронами дерев одночасно з просуванням фронту стійкої низової пожежі. Після таких пожеж на їх площі вигоряє майже все і лишаються тільки обвуглені рештки стволів дерев колишнього лісу.

Лісові пожежі низові – пожежі, які розповсюджуються надґрунтовим покровом (мохи, лишайники, трави, чагарники, деревний опад, лісова підстилка, вітролом, порубкові рештки) і нижнім пологом (підріст, підлісок).

Лісові пожежі низові рухливі – пожежі зі швидкістю поступального руху фронтальної кромки більше 0,5 м/хв., де переважає полум'яне горіння,

при якому найбільш частіше відбувається обгорання надґрунтового покриву.

Лісові пожежі низові середньої сили – пожежі зі швидкістю поступального руху фронтальної кромки від 1 до 3 м/хв. і висотою полум'я від 0,5 м до 1,5 м.

Лісові пожежі низові стійкі – пожежі зі швидкістю поступального руху фронтальної кромки менше 0,5 м/хв., де переважає безполуменеве горіння (тління) наземних горючих матеріалів.

Лісові пожежі низові слабкі – пожежі зі швидкістю поступального руху фронтальної кромки до 1 м/хв. і висотою полум'я до 0,5 м.

Лісові пожежі низові сильні – пожежі зі швидкістю поступального руху фронтальної кромки більше 3 м/хв. і висотою полум'я більше 1,5 м.

Лісові пожежі підземні (грунтові, торф'яні) – пожежі, які супроводжуються безполуменевим горінням торфового шару ґрунту.

Лісові пожежні станції (ЛПС) – створюються з метою запобігання, виявлення та гасіння лісових пожеж, здійснення контролю за додержанням Правил пожежної безпеки в лісах України, проведення роз'яснювальної роботи серед населення тощо.

Лісопарк – упорядкована лісова територія, призначена для відпочинку населення.

Лісопожежна бригада – група осіб команди лісової пожежної станції, яка в разі потреби має самостійно гасити окремі лісові пожежі.

Лісопожежна тактика – розподіл сил та технічних засобів гасіння під час лісової пожежі і послідовність їх використання при її ліквідації.

Локалізація пожежі – дії, спрямовані на припинення можливості подальшого поширення горіння і створення умов для його успішної ліквідації наявними силами та засобами.

Мінералізована смуга – ділянка території, з якої ґрунтообробними механізмами видалені наземні горючі матеріали, ширина смуги повинна бути удвічі більше можливої висоти полум'я низової пожежі.

Моніторинг лісів – система регулярного спостереження, оцінки і прогнозу динаміки кількісного і якісного стану лісів.

Моніторинг авіаційний – виявлення та гасіння лісових пожеж за допомогою авіації.

Моніторинг наземний – виявлення та гасіння пожеж наземними засобами.

Моніторинг супутниковий, або космомоніторинг – спостереження за розвитком лісових пожеж по супутникових знімках, здійснюється виявлення великих пожеж за допомогою вивчення цих знімків.

Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або

здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності.

Наземна охорона лісів від пожеж – охорона лісів від пожеж, за допомогою використання наземних засобів.

Небезпечна подія – подія, у тому числі катастрофа, аварія, пожежа, стихійне лихо, епідемія, епізоотія, епіфітотія, яка за своїми наслідками становить загрозу життю або здоров'ю населення чи призводить до завдання матеріальних збитків.

Небезпечний чинник пожежі (небезпечний фактор пожежі) – прояв пожежі, що призводить чи може призвести до опіків, отруєння леткими продуктами згоряння або піролізу, травмування чи гибелі людей і (або) до заподіяння матеріальних, соціальних, екологічних збитків. До небезпечних чинників пожежі належать: підвищена температура, задимлення, погіршення складу газового середовища.

Об'єкти протипожежного захисту – живі істоти, майно, довкілля, які підлягають захисту від пожежної небезпеки.

Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту – спеціальне невійськове об'єднання аварійно-рятувальних та інших формувань, органів управління такими формуваннями системи центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Опорна смуга відпалу – смуга, від якої починається відпал, що перешкоджає поширенню горіння у напрямку руху кромки лісової пожежі.

Оточення пожежі – тактичний прийом, при якому активні дії щодо гасіння спрямовані одночасно проти всієї кромки лісової пожежі.

Охоплення з фронту – тактичний прийом, при якому активні дії по гасінню починають проти фронту і прилеглих до нього частин флангів і закінчують в тилу.

Охорона лісів від пожеж – охорона, спрямована на запобігання, своєчасне виявлення та ліквідацію лісової пожежі.

Охорона лісового генофонду – комплекс заходів для збереження всього видового різноманіття лісової флори та фауни.

Піроліз – незворотний процес термічного розкладання речовини або матеріалу.

Парниковий ефект – це збільшення середньої річної температури поверхневого шару атмосфери Землі і Світового океану внаслідок зростання в атмосфері Землі концентрацій парникових газів (вуглекислий газ, метан, водяна пара, тощо). Ці гази виконують роль плівки або скла теплиці (парника), вони вільно пропускають сонячні промені до поверхні Землі і затримують тепло, що покидає атмосферу планети.

Первинний засіб пожежогасіння – технічний засіб, речовина, матеріал або їх комплекс, придатний до використання людиною для

локалізуваннн і (або) ліквідуваннн пожежі на її початковій стадії. До первинних засобів пожежогашіннн належать вогнегасники, пожежні кран-комплекти, пожежний інвентар (покривала з негорючого тепло ізолювального полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати) та переносний пожежний інструмент.

ПЖВ-20 (амоніт) – промислова порошкоподібна запобіжна вибухова речовина середньої потужності, яка являє з себе поліетиленовий шланг з поміщеному в ньому 32 патрони однойменної промислової вибухової речовини та застосовується для створеннн загороджувальних смуг при ліквідації лісових пожеж та для внесеннн контурного підриваннн на кар'єрах.

Підлісок – чагарники, а іноді дерева, які ростуть під пологом лісу та нездатні утворити деревостани в конкретних умовах в місцях їх зростаннн.

Підріст – деревні рослини природного походженнн, що ростуть під пологом лісу і здатні утворити деревостани, висота яких не перевищує 1/4 висоти дерев в полозі лісу.

Площа лісової пожежі – територія, яка обмежена кромкою лісової пожежі.

Пожежа – неконтрольований процес знищуваннн або пошкодженнн вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для істот та навколишнього природного середовища.

Пожежа валежникова – низова пожежа, при якій основним горючим матеріалом є деревина, яка знаходиться на поверхні ґрунту.

Пожежа ландшафтна – пожежа, що охоплює різні компоненти географічного ландшафту.

Пожежі плямисті – пожежі, що утворилися із основних та побічних пожеж поза контуром основної пожежі від іскор, що були перенесені вітром з території пожеж.

Пожежа повальна – лісова пожежа, що охоплює всі компоненти лісового біогеоценозу.

Пожежа природна – неконтрольований процес горіннн, що стихійно виникає і розповсюджується в природному середовищі.

Пожежа рослинна – неконтрольований процес горіннн, що стихійно виникає і розповсюджується по площі в рослинному середовищі.

Пожежі побічні – пожежі, що виникли поза контуром основної пожежі від іскор, що були перенесені вітром з території основної пожежі

Пожежна безпека в лісі – можливість виникненнн та розвитку лісової пожежі.

Пожежна небезпечність матеріалу – сукупність показників, що кількісно характеризують властивості матеріалу, які можуть бути чинниками пожежної безпеки об'єкту.

Пожежна техніка – технічні засоби для запобіганнн, обмеженнн розвитку, гашіннн лісових пожеж, захисту людей, матеріальних цінностей і природних ресурсів від їх наслідків.

Пожежний автомобіль – транспортний засіб, призначений для

ліквідації пожеж.

Пожежна машина – машина, призначена для забезпечення гасіння пожеж та (або) провадження пожежно-рятувальних робіт.

Пожежний транспортний засіб – самохідна або транспортована пожежна машина.

Пожежний гелікоптер – гелікоптер, призначений для відстежування лісових пожеж з повітря та перевезення особового складу, пожежно-технічного оснащення, вогнегасних речовин для гасіння пожеж та проведення рятувальних робіт.

Пожежний дирижабль – дирижабль, призначений для відстежування пожеж з повітря та перевезення особового складу, пожежно-технічного оснащення та вогнегасних речовин.

Пожежний інвентар – інвентар, призначений для гасіння лісових пожеж (лопати, сокири, граблі, бензопили, хлопавки, торф'яні пожежні стволи, ранцеві лісові вогнегасники тощо).

Пожежний літак – літак, призначений для відстежування пожеж з повітря та перевезення особового складу, пожежно-технічного оснащення, вогнегасних речовин для гасіння пожеж.

Пожежний спостережний пункт – споруда, спеціально обладнана для спостереження за певною територією лісового фонду з метою виявлення лісових пожеж.

Пожежний трактор – трактор, призначений для перевезення пожежно-технічного оснащення для гасіння пожеж та ліквідації її наслідків.

Пожежно-рятувальні роботи – дії щодо евакуювання людей та інших живих істот, які не можуть самостійно залишити зону можливого впливу небезпечних чинників пожежі, а також надання їм долікарської допомоги.

Пожежонебезпечний сезон у лісі – частина календарного року, протягом якої можливе виникнення лісової пожежі.

Пожежостійкі узлісся – смуги листяних або мішаних деревостанів шириною 150-200 м, смуги хвойних насаджень шириною 200-300 м навколо пожежонебезпечних ділянок хвойного лісу, а також ці смуги, що розташовані навколо лісних селищ, дачних ділянок та лісних кордонів.

Пожежостійкість галявини – узлісся з пожежостійких деревних або чагарникових порід.

Пожежостійкість деревних порід – здатність дерев та їх спільнот зберігати життєдіяльність після теплового впливу лісової пожежі.

Полум'я – вогонь, до складу якого входять аерозольні і газоподібні речовини, що випромінюють світло.

Попіл, зола – твердий дисперсний неорганічний залишок, який утворюється в результаті повного згоряння органічної речовини або матеріалу.

Поширення горіння – переміщення зовнішньої межі зони горіння.

Поширення пожежі – збільшення площі пожежі в результаті просування його кромки.

Поширення полум'я – переміщення фронту полум'я.

Прихований осередок горіння лісу – осередок горіння лісу, який не може бути виявлений візуально.

Причина пожежі – обставина, дія, процес, що безпосередньо спричинює виникнення пожежі.

Противопожежна канава – бар'єр для захисту ділянок лісу від підземних пожеж; прокладається межами з торфовищами, на їх території, у насадженнях з за торфованими ґрунтами шириною унизу 0,2-0,4 м, зверху 1,5-2,8 м, глибиною до мінерального шару або до рівня ґрунтових вод.

Противопожежний бар'єр – ділянка території, яка перешкоджає розповсюдженню і розвитку лісових пожеж (мінералізовані смуги, противопожежні розриви, противопожежні заслони, пожежостійкі узлісся, противопожежні канали, ріки, озера, автомобільні дороги тощо).

Противопожежний заслон – комбінований (складний) бар'єр, який складається з противопожежного розриву (з дорогою посередині) і смуг лісу з обох його боків, очищених від наземних горючих матеріалів, розчленованих мережею мінералізованих смуг і обрізаними гілками хвойних дерев на висоту до 2 м.

Противопожежний розрив – спеціально створена просіка шириною 50-150 м (розриви шириною менше 50 м, що були створені до затвердження Правил), як правило, з дорогою на її території; є складовою частиною противопожежного заслону і служить для зупинки верхових пожеж.

Профілактика лісової пожежі – комплекс заходів, спрямованих на запобігання виникненню та розповсюдженню лісової пожежі.

Розвідка лісової пожежі – система дій, спрямованих на отримання відомостей про пожежу, які необхідні для її ліквідації.

Сажа – тонкодисперсна аморфна речовина, яка осідає під час горіння органічної речовини чи матеріалу або після його припинення. Основу сажі зазвичай становить вуглець, який є продуктом неповного окиснення органічної речовини або матеріалу.

Сили цивільного захисту – аварійно-рятувальні формування, спеціалізовані служби та інші формування цивільного захисту, призначені для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з ліквідації надзвичайних ситуацій.

Спалах – короткочасне полуменеве горіння, яке не супроводжується виникненням ударної хвилі.

Стихійне лихо – природне явище, що діє з великою руйнівною силою, яке заподіює значну шкоду території, на якій відбувається, порушує нормальну життєдіяльність населення, завдає матеріальних збитків.

Тактичні операції (дії) – локалізація та ліквідація лісової пожежі.

Тління – горіння без видимого світлового випромінювання.

Управління лісовими пожежами – це сукупність дій, спрямованих на зменшення впливу лісових пожеж на природні ресурси, екосистеми, а також довкілля відповідно до цілей організації, що здійснює управління.

Управління лісовими пожежами включає традиційні дії з контролю за пожежонебезпечною обстановкою (виявлення, локалізація вогню, тощо), а також складніші дії (управління, організація).

Фауна – історично сформована сукупність видів тварин, що живуть в певній області і входять до всіх її біогеоценозів.

Флора – історично сформована сукупність видів рослин, поширених на конкретній території або на території з певними умовами в даний час або в минулі часи геологічної епохи.

Фітоценоз – частина біоценозу, сукупність рослин, що займає однорідну ділянку земної поверхні, характеризується певним складом, будовою, складанням і взаємовідношенням рослин як один з одним, так і з середовищем, що оточує їх.

Фронт лісової пожежі – найбільш рухома частина кромки пожежі (на рівнині рухається за вітром, у гірській місцевості – угору схилом).

Фронт полум'я – зовнішня межа зони полуменевого горіння.

Частина кромки лісової пожежі – фронт, тил, фланги.

Щільність лісових пожеж – величина, що визначається відношенням числа лісових пожеж до одиниці лісової площі за пожежонебезпечний сезон.

ВСТУП

Щорічно на землі виникає до 400 тисяч лісових пожеж, що ушкоджують близько 0,5% загальної площі лісів і що викидають в атмосферу мільйони тонн продуктів згорання. Висока кількість лісових пожеж спостерігається в США, Канаді, Іспанії, Португалії, Франції, Греції, Туреччині, Австралії. Причиною лісових пожеж в 70-90 % випадків являється діяльність людини. Лісові пожежі є руйнівним чинником лісових екосистем. Проблеми, пов'язані з лісовими пожежами, актуальні для багатьох країн світу. Попередження і ліквідація лісових пожеж вимагають дуже великих матеріальних витрат. Лісові пожежі завдають величезних збитків довкіллю, якості життя людини, ефективності його діяльності, а також в цілому економіці країни.

Причини виникнення лісових пожеж можуть бути природні або антропогенні. Близько 95% пожеж у світі відбуваються внаслідок діяльності людей, і тільки 5% пожеж виникає в результаті природних причин – екстремальних погодних умов (тривалих періодів жару, посухи, сильного вітру), ударів блискавок, вивержень вулканів. При цьому природні умови можуть лише сприяти займистості рослинності. Чинники ж, в результаті яких виникають лісові пожежі, є переважно антропогенними.

Від виникнення лісових пожеж в основному страждає південь України, де в результаті господарської діяльності людини створені сприятливі умови для їх виникнення і розвитку. Адже кожен другий гектар лісу в Україні є штучно посадженим, а основна маса штучного лісу зосереджена саме на півдні України, в степу, де природні умови сприяють виникненню і поширенню природних пожеж. Причому висаджують там якраз соснові ліси, які офіційно вважаються самою пожежонебезпечною категорією лісів в Україні.

Не краще ситуація з лісовими пожежами і по Україні в цілому. Головна причина лісових пожеж в Україні – дія антропогенних чинників. Необережна або недобросовісна діяльність населення, неорганізованих відпочивальників і туристів на тлі відповідних природних умов (пожежонебезпечні типи ліси, які представлені хвойними породами, суха жарка погода і так далі) є причинами переважної більшості лісових пожеж. Пожежі виникають із-за не загашених під час пікніків вогнищ, кинутих в траву непогашених недопалків і сірників, а також із-за безконтрольного випалювання залишків рослинності на сільськогосподарських угіддях і придорожніх смугах, вогонь від яких поширюється на лісову територію.

Ще однією причиною лісових пожеж в Україні є велика кількість відходів лісопромисловості. У зв'язку з тим, що в Україні немає комплексної програми по роботі з відходами лісопромисловості, підвищується вірогідність виникнення і поширення пожеж. Як правило, деревна тріска, гілки і інші відходи, які залишаються після санітарного очищення лісу, викидаються і залишаються гнити в ярах. Особливо небезпечною відносно

пожежі є суха тирса і деревний пил. Ці відходи могли б бути використані при виробництві альтернативного твердого палива (паливних брикетів і гранул), як це робиться в європейських країнах.

З усього вищесказаного можна зробити висновок, що в Україні, як і у всьому світі, причини лісових пожеж пов'язані в основному з антропогенною діяльністю. Лісові пожежі є наслідком меркантильного відношення людини до лісу. Адже людина в першу чергу думає про своє матеріальне благополуччя, а природні ресурси, до яких відноситься ліс, розглядає як засіб для свого збагачення, а не як дар природи, який необхідно зберігати, щоб він радував ще багато поколінь людей.

Для локалізації лісових пожеж знайшли широке застосування методи припинення поширення горіння шляхом створення протипожежних бар'єрів (ПБ), зокрема, різноманітні способи створення мінералізованих смуг, протипожежних розривів, протипожежних заслонів, тощо. В даний час створення протипожежного бар'єру здійснюється фізико-механічним або вибуховим способом. Фізико-механічний спосіб використовується при створенні бар'єру за допомогою інженерної техніки і ручних засобів, а вибуховий спосіб – за допомогою шнурових або накладних зарядів. Перевагою вибухового способу створення протипожежного бар'єру є можливість його використання у важкодоступних для техніки ділянках місцевості і на важких ґрунтах. В цьому випадку вибуховий спосіб дозволяє підвищити продуктивність створення протипожежного бар'єру.

Обмеження в широкому застосуванні вибухового способу створення протипожежних бар'єрів за допомогою шнурових або накладних зарядів викликані необхідністю проведення складних вибухонебезпечних робіт по доставці, укладанню і вибуху зарядів. Ведення таких робіт в умовах обмеженого часу приводить до збільшення фактору ризику. Низька продуктивність даного способу обумовлена тривалим часом проведення вибухонебезпечних робіт і недостатньою шириною протипожежного бар'єру, що створюється шнуровим зарядом. Зокрема, шнуровий заряд типу ЕШ-1П забезпечує створення протипожежного бар'єру шириною 1,4 м, а для локалізації лісових пожеж потрібно, як правило, протипожежний бар'єр шириною від 3 до 15 м.

Як альтернатива використанню шнурових зарядів доцільне застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів (зарядів з СВНГ), які мають низьку переваг: 1) вищий рівень безпеки при роботі із зарядами; 2) вищий імпульс тиску, що виникає при однаковій енергії вибуху; 3) вища питома теплота згорання палива. Тому розвиток техніки створення протипожежного бар'єру вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів направлений на удосконалення вибухового методу локалізації лісових пожеж за рахунок підвищення продуктивності і збільшення ширини протипожежного бар'єру.

В даний час існують чимало робіт, в яких розглядаються різні способи і методи локалізації лісових пожеж, а також роботи із створення протипожежних бар'єрів вибуховим способом. Це роботи Ю.О. Абрамова,

Г.В. Реви, М.П. Курбатського, А.М. Грішина, Е.М. Валендіка, Е.В. Конєва, R. Ries, W. Rosenstock, V. Schutte, E.W. Wagner. Теоретичні і експериментальні дослідження процесу створення протипожежних бар'єрів шнуровими зарядами проведені в роботах А.М. Грішина і його учнів. Результати цих досліджень не дозволяють провести аналіз ефективності зарядів з суміші вибухонебезпечних газів при створенні протипожежних бар'єрів у зв'язку із значною відмінністю параметрів вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів і шнурових зарядів. Тому, математична модель А.М. Грішина не дозволяє досліджувати процес створення протипожежного бар'єру за рахунок вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів, а отримані експериментальні результати щодо застосування шнурових зарядів не можуть бути використані для оцінки ефективності зарядів з суміші вибухонебезпечних газів.

Таким чином, науково-технічне обґрунтування методу локалізації лісових пожеж шляхом створення протипожежних бар'єрів за рахунок вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів є актуальною науково-прикладною задачею.

РОЗДІЛ 1

ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО УКРАЇНИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ І СПОСОБИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

1.1 Загальні відомості про лісове господарство України

Ліси відіграють важливу екологічну, соціальну і економічну роль в житті людини. Ліс захищає вододжерела від забруднення, сприяє накопиченню запасів підземних вод, захищає різні об'єкти і території від несприятливих природних і антропогенних дій, створює сприятливі мікрокліматичні умови для здоров'я людей. Деревина – це природний повітряний фільтр і регенератор повітря. Окрім цього, ліси є джерелом деревини і інших видів лісової сировини і продукції.

Ліс складається з сукупності деревних, чагарникових, трав'янистих і інших рослин (мохи, лишайники), включаючи тварин і мікроорганізми, біологічно взаємозв'язаних у своєму розвитку і впливаючи один на одного і на зовнішнє середовище [1, 2].

Ліс – багатогранне поняття. Він є складовою і дуже важливою частиною біосфери, елементом географічного ландшафту, сировинним ресурсом, природною сировиною або навіть матеріалом (лісоматеріалом), що часто ототожнюється в останньому випадку з деревиною. Ліси найбільше постраждали від господарської діяльності людини і раніше інших природних ресурсів стали об'єктом охорони.

Деревні насадження очищають повітря та населені пункти від пилу, шкідливих газів, кіптяви, захищають жителів від шуму. Багато хвойних дерев виділяють особливі речовини – фітонциди, вбиваючі хвороботворні мікроорганізми. Утримування пилу на зеленій вулиці в 3 рази менше, ніж на вулиці без дерев.

Ліс використовується в різних галузях народного господарства, він служить джерелом хімічних речовин, що отримуються при переробці деревини, кори, хвої. Ліс поставляє сировину для отримання понад 20 тис. виробів і продуктів. Майже половина вироблюваної у світі деревини витрачається на паливо, а третина йде на виробництво будівельних матеріалів. Дефіцит деревини гостро відчувається в усіх промислово розвинених країнах.

Ліс виконує наступні функції:

- водозахисні: регулювання водного режиму річок, озер, водосховищ і інших водних об'єктів, фільтрація водних потоків, регулювання гідрологічного режиму територій водозборів, оберігання вод від забруднення, накопичення запасів підземних вод, захист берегів річок і інших водойм від ерозії, створення сприятливих умов для нересту цінних промислових риб;

- захисні: захист різних об'єктів і територій від несприятливих природних або антропогенних дій;

- санітарно-гігієнічні і оздоровчі: створення сприятливих

мікрокліматичних умов для здоров'я людей в міських поселеннях, їх природних зонах, зонах округів санітарної охорони курортів і інших оздоровчих установах (дерева – це природний повітряний фільтр і регенератор повітря, вони підтримують атмосферне повітря в змозі, придатному для організму людини);

– спеціальні: збереження унікальних природних комплексів, а також цінних видів флори і фауни в межах цих комплексів та збереження природного оточення пам'яток історії і культури, а також штучно створених цінних лісових насаджень, що є видатними досягненнями лісівництва;

– експлуатаційні: промислова заготівля деревини і інших видів лісової сировини і продукції.

Ліси, займаючи менш однієї третини суші і біля однієї десятої поверхні земної кулі, синтезують майже дві третини органічної маси на суші і майже половину усієї органічної маси Землі. Запаси органічного палива в надрах Землі (нафти, кам'яного вугілля, тощо) також є результатом синтезу органічних речовин рослинністю. Тому можна сказати, що ліси мають вирішальне значення в житті людини і як джерело енергетичних ресурсів [3, 4].

Українська земля щедро обдарована природою майже 4500 видів вищих рослин вплели в різноколірний смарагдовий вінок флори України. Тут узлісся Полісся і зелені Карпати, діброви Поділля і представники кримських субтропіків.

Загальна площа лісового фонду України становить – 10,4 млн. га, із яких вкритих лісовою рослинністю – 9,6 млн. га. Проте, незважаючи на це, Україна відноситься до малолісних країн Європи. Площі покритих лісами територій в Україні складають близько 10 млн. га. Рівень лісистості (рис. 1.1) в країні (відношення площі, покритої лісовою рослинністю, до загальної площі території) на сьогоднішній день складає близько 16 %, що на 4 % менше оптимального рівня, визначуваного за методикою Науково-дослідного Інституту лісового господарства і агролісомеліорації [1]. В порівнянні з країнами Європи рівень лісистості України вважається недостатнім (лісистість Польщі – 29 %, Німеччині – 30 %, Італії – 33 %, Швеції – 61 %, Фінляндії – 65 %) [5].

Ліси на території України розташовані дуже не рівномірно. Вони сконцентровані переважно в Поліссі та в Українських Карпатах. Лісистість у різних природних зонах має значні відмінності й не досягає оптимального рівня, за якого ліси найпозитивніше впливають на клімат, ґрунти, водні ресурси, пом'якшують наслідки ерозійних процесів, а також забезпечується одержання більшої кількості деревини.

Територія України лежить в зонах змішаних лісів (українське Полісся) (рис. 1.2), лісостепів та степів. Українські Карпати і Кримські гори вважаються окремими природними (фізико-географічними) «країнами».

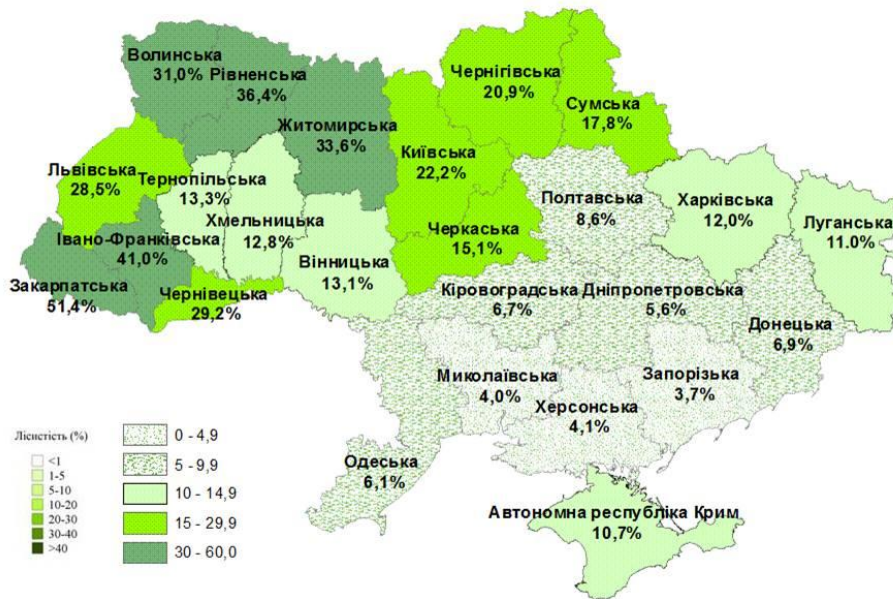


Рис. 1.1. Лісистість адміністративних областей

Температура повітря в Україні збільшується з півночі на південь і із заходу на схід, а кількість опадів і густина річкової сітки зменшується з півночі на південь і із заходу на схід. В результаті цього ліси на території України розміщені нерівномірно. Найвища лісистість в Карпатах. Гірські ліси мають важливі водозахисні і водорегулюючі функції. Не менш важливу екологічну роль мають ліси в захисті ґрунтів від ерозії, особливо в гірських умовах, регулюванні клімату, створенні умов для оздоровлення і відпочинку людей.



Рис. 1.2. Полісся України

Завдяки значній кількості опадів, річки Полісся повноводні. Навесні, під час танення снігів, бувають тривалі повені. Дощова і тала вода повільно просочується в ґрунт, внаслідок чого утворюються болота. Підземні води виходять на поверхню численними струменями. Вони живлять річки, озера,

болота.

Українське Полісся представляє зону змішаних лісів, яка займає північну частину України (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Лісові зони України

Клімат тут помірно континентальний, літо тепле, вологе. Влітку сонячні промені добре нагрівають землю, адже сонце високо піднімається на небосхилі. Осінь дощовита. Зима снігова, м'яка, з відлигою, особливо на заході. Весна прохолодна.

В середньому щороку в Українському Поліссі випадає 600-680 мм опадів. Кліматичні умови і рельєф обумовлюють велику густину річкової сітки, утворення болот. Ґрунти цієї зони дерново-підзолисті і болотяні.

З лісів переважають соснові, дубово-соснові і дубово-грабові бори. У лісах рослини ростуть ярусами. Верхній ярус утворюють дерева. Середній, який називають підліском, – кущі. Нижній – трав'янисті рослини і гриби.

У північній частині зони змішаних лісів з хвойних дерев переважає сосна звичайна, а з листя – дуб звичайний. Південніше, окрім дуба, разом з сосною ростуть граб, береза, липа, осика, клен, вільха. Підлісок утворюють кущі ожини, шипшини, барбарису, ліщини, малини. На заболочених місцях поширені брусниця і чорниця.

Восени листяні дерева і кущі скидають листя. Більшість трав'янистих рослин відмирають. Опале листя і відмерлі рослини утворюють лісову підстилку, яка затримує вологу в ґрунті. Поступово перегниваючи, вона перетворюється на поживні речовини для рослин.

Чим далі на південь від зони змішаних лісів, тим більше з'являється безлісних ділянок – ділянок степу. Територія, на якій чергуються ділянки лісу

і степу, називається лісостеповою зоною (рис. 1.4). Вона простягнулася від Прикарпаття до Середньоросійської піднесеності.



Рис. 1.4. Український лісостеп

Клімат Лісостепу помірно континентальний. Тут тепле літо і помірно холодна зима. Опадів випадає менше, ніж в зоні змішаних лісів, але більше, ніж в степах. На заході випадає 550-750 мм, на сході – 450 мм опадів в рік. Густина річкової сітки зменшується із заходу на схід.

На степових ділянках переважають чорноземні ґрунти. Природні умови сприятливі для зростання і розвитку дикорослих і багатьох культурних рослин. У Лісостепі переважно зустрічаються ділянки листяних лісів. Переважають широколистяні діброви. Великі масиви утворює бук. Граб характерний для лісів Придніпровської піднесеності. На Лівобережжі домінує дуб з домішкою клена, липи, ясена. Соснові і сосново-дубові ліси займають піщані тераси річок. Ландшафти Лісостепу сильно змінені людиною. За останні століття лісистість зменшилася від 40-50 % до 5-10 % [1, 4].

На південь від лісостепу до Чорного і Азовського морів розташована безлісна територія – степова зона (рис. 1.5). Поверхня степів рівнинна, з пагорбами, ярами і балками. Степова зона України займає близько 40 % території України.

У зоні степів сонце знаходиться вище на небосхилі, чим в зоні змішаних лісів. Тому сонячні промені сильніше нагрівають земну поверхню. В порівнянні з іншими зонами України Степ отримує найбільшу кількість сонячного тепла і найменшу кількість опадів. Річна кількість опадів зменшується від північного заходу на південно-схід від 450 до 300 мм. Це є причиною маловодності степових річок. У степах літо довге, сонячне. Осінь тепла. У другій половині осені йдуть дощі. Зима коротка, холодна, малосніжна. Весна настає рано. З огляду на те, що температура повітря різко підвищується, волога з ґрунту швидко випаровується.

Навесні і літом гарячі суховії часто зумовлюють посухи. Взимку холодні вітри викликають завірюхи і чорні бурі. Вони руйнують родючий

шар ґрунту.

Природних лісів в Степу дуже мало. Вони ростуть переважно у балках (дубові ліси), в затонах річок (заплавні ліси), на піщаних терасах (соснові ліси). Переважають штучні лісові масиви. У Степу створені лісові полезахисні смуги.



Рис. 1.5. Український степ

Карпатські гори, розташовані в Україні, називають Українськими Карпатами. Це середні по висоті гори (рис. 1.6). Вони утворені декількома гірськими хребтами, між якими розкинулися мальовничі долини.



Рис. 1.6. Українські Карпати

Карпатські гори – це місце в Україні, де випадає найбільша кількість опадів: дощів – навесні та літом, снігу – взимку. Навесні сніг довго лежить на округлих вершинах гір, але з часом тоне під променями сонця. Після дощів і танення снігу вода потоками збігає з гір в долину і часто викликає повені.

З гір тече безліч струмків і річок. Там беруть початок Дністер, Лозина і їх найбільші припливи. У Карпатах зустрічаються невеликі, але досить глибокі озера з кристально-чистою холодною водою.

Під час нагрівання поверхні Землі сонцем, нагрівається і повітря. Тепле легке повітря піднімається вгору, де поступово охолоджується. Це можна відчути в горах. Влітку біля підніжжя і в долинах жарко, а на високих вершинах лежить сніг і лід.

Біля підніжжя і на схилах гір ростуть листяні ліси. Їх утворюють дуб, граб, липа, клен, бук. Якщо підніматися вище в гори, повітря стає холодніше, кількість листяних дерев зменшується, з'являються хвойні дерева: ялиця і ялина європейська, яку називають смереко. З листя переважає бук. Ліс стає змішаним. Підлісок листяних і змішаних лісів утворюють кущі малини, ліщини, ожини, шипшини.

Високо в горах ліс стає хвойним. Окрім ялини і ялиці в нім росте модрина. Хвойні дерева більше холодостійкі, ніж листя. Хвойний ліс темний і вологий.

Кримські гори граничать із зоною степів і Чорним морем. Від моря їх відділяє рівнинна смуга узбережжя різної ширини. У степу спускаються пологі схили гір, а до моря – круті скелі (рис. 1.7).

У горах зустрічаються химерної форми скелі, безліч печер і глибоких колодязів, в яких не тоне товстий шар льоду. Усе це – результат взаємодії сонця, вітру і води.

Кримські гори є вологим островом в сухому Криму. Взимку в горах випадає багато снігу, часто мають місце завірюхи. Навесні йдуть дощі, влітку – грозові зливи. Осінь в горах суха і тепла.

Гірські річки течуть глибокими вузькими ущелинами. Під час танення снігу і дощів вони бурхливі. У жару дрібні річки пересихають.



Рис. 1.7. Кримські гори

У Кримських горах, як і в Карпатах, рослинний світ міняється від підніжжя до вершин. На схилах гір розкинувся ліс, основними складовими якого є дуб пухнастий і ялівець високий. Зустрічається тут також сунічне дерево, фісташка. У підліску росте ялівець колючий, шипшина, вовчі ягоди, дерен, плющ. Третій ярус в цьому лісі утворюють різні трав'янисті рослини.

Вище в гірському лісі з'являється дуб скельний і сосна кримська, а в

підліску – жасмин, терен колючий. Ще вище – в горах – в лісі панують граб і бук разом з сосною кримською [1-3].

На плоских вершинах Кримських гір розкинулися гірські луки – яйла. На яйлах мало вологи, адже частина дощової і талої води швидко збігає по схилах, а частина – випаровується. На яйлах ростуть трав'янисті рослини, які пристосувалися до посушливих умов.

В якості окремої області Кримських гір виділяють Південний берег Криму – смугу суші шириною від 1 до 12 км між кримськими горами і Чорним морем. Сонячні промені, що падають на Південний берег Криму, приносять багато світла і тепла. Наприклад, в місті Ялті в рік буває близько 210 сонячних днів.

Весна тут починається рано. Літо майже без дощів, довге і жарке. Оподи випадають восени і зимою. Зима дуже тепла, тому сніг відразу тане.

На погоду також впливають Кримські гори і Чорне море. Гори у всі пори року захищають Південний берег Криму від холодних північних вітрів. Влітку море прохолодніше, його прохолода охолоджує літню жару. За літо вода в морі добре нагрівається. Взимку вона поступово віддає тепло, що зігріває повітря над узбережжям.

Природні умови Південного берега Криму сприяють зростанню і розвитку різних рослин. Тут зустрічаються зарості ялівцю деревовидного, дуб пухнастий, скипидарні дерева. Поширені рослини, які на зиму не скидають листя, такі, як суничне дерево і плющ деревовидний.

Зачаровують своєю красою вічнозелені рослини. Серед них можна виділити стрункий кипарис, розкішні пальми, магнолії з великими запашними квітами, могутній кедр ліванський і лавр. Ці рослини ростуть в парках, прикрашають міста і селища. Їх в ці краї давно завезли з багатьох куточків світу.

По своєму призначенню і місцю розташування лісу України виконують переважно екологічні(водозахисні, захисні, санітарно-гігієнічні, оздоровчі) функції, але мають обмежене експлуатаційне значення.

Ліси України діляться на природні і штучні. Природні лісостани складаються з дерев різного віку, штучні – з висаджених одночасно на певних ділянках. В перших відбувається природне самовідтворення лісу. Старі дерева відмирають, їх місце займають ті, що підростають. У других усі дерева одного віку, одночасно ростуть, перезрівають і відмирають. Тому штучні ліси мають, головним чином, промислове значення.

При вирощуванні штучного лісу в завдання його власника входить отримання максимальної кількості деревини високої якості. А щоб запаси не зменшувалися, здійснюється своєчасна посадка та догляд за молодими насадженнями на вирубаних ділянках.

Важливим показником стану лісів з погляду довгострокової перспективи їх використання є вікова структура лісів: розподіл їх площ по групах віку. У українському господарстві збереглося розділення лісів на молодняки (до 40 років), середньовікові (40-60 років), доспіваючі

(60-80 років), зрілі і перестійні (більше 80 років). Економічно найбільш вигідний рівномірний розподіл площ по групах віку. На жаль, лісам України характерний нерівномірний розподіл насаджень по групах віку зі значним переважанням молодняків і середньовікових (70-80 % площ), і недостатньою кількістю зрілих і перестійних (6-15 %).

Іншою важливою ознакою стану лісу є бонітет, визначуваний рядом характеристик: середньою висотою дерев залежно від віку, кількістю дерев на 1 га, запасом деревини (об'єм деревини на 1 га), поточним і середнім приростами запасу деревини. Для кожної породи і бонітету складаються таблиці процесу зростання лісостану, які відбивають величину вищеназваних показників, починаючи з посадки лісових насаджень і до віку перезрілості з інтервалом в 10-20 років.

Дослідження, присвячене питанням стану українських лісів, а також їх здібностям виконувати свої природоохоронні і господарські функції, яке було проведено Міжвідомчим аналітично-консультативним радим з питань розвитку продуктивних сил і виробничих стосунків (МАКС), показало наступні результати [1, 5]. Ліси України розріджені, низької повноти. Недостатній відхід в молодих лісах і надмірні вирубування в дозріваючих і зрілих лесостанах призводять до зниження як продуктивності, так і біологічної стійкості українських лісів.

Як свідчить практика, і не лише лісівницька, оцінити процес або об'єкт можна за допомогою порівняння його характеристик з характеристиками певного еталону.

У теорії лісівництва таким еталоном є «нормальне насадження», під яким розуміється найбільш досконале і ідеально повне насадження, в якому немає жодного зайвого дерева, але немає і не жодного вистачає. У «нормальному лісі» запас деревини росте зі збільшенням віку лісу, що цілком логічно, адже із зростанням дерева збільшується і його об'єм.

«Нормальний ліс» – це здоровий, потужний, самодостатній, здатний власними силами боротися і перемагати хвороби і зовнішні впливи. «Нормальні лісостани» складають лісову систему, стійку до кліматичних впливів, найбільш продуктивну для експлуатації і найбільш ефективну з точки зору її захисних функцій.

Дослідження показало, що ділянки таких незайманих лісів все ще зустрічаються в Україні, зокрема в гірських, важкодоступних районах Карпат. В цілому ж по країні ситуація із станом лісів досить складна, тривожна.

В ході досліджень, проведених МАКС, були проаналізовані відхилення процесу зростання реальних лесостанов від лесостанов нормальних для сосни, карпатських ялиників, буку і дуба, вивчений стан лісів Славського держлісгоспу, положення в дубових і букових лісах Закарпаття і Поділля. Проведений аналіз показав: в молодняках і середньовікових лісах України у більшості своїй запаси деревини близькі до запасів в нормальних лісах або перевищують їх, а ось в дозріваючих і зрілих всюди спостерігається значне

зменшення запасів фактичних насаджень в порівнянні з нормальними. У дозріваючих лісостанах відхилення складає 20-40 %, в зрілих – 30-50 % (порівняння здійснене з використанням офіційних даних Державного агентства лісових ресурсів України).

Порівняння показників реальних і «нормальних лісів» продемонструвало, що на даний момент типовий стан українських лісів має наступні характеристики:

- густина насаджень і об'єм деревини в молодих лісах перевищують відповідні характеристики «нормального лісу»;
- для насаджень середнього віку характеристики реальних лісостанів близькі до характеристик «нормальних лісів»;
- починаючи з дозріваючих насаджень, спостерігається різке зниження запасів в реальних лісостанах в порівнянні з «нормальними лісами»;
- зрілі лісостани надмірно розріджені внаслідок різного роду вирубувань, пов'язаних з «відходом» за лісом. Такі ліси, як правило, наближаються до розряду тих, що деградували.

Лісове господарство України як галузь функціонує вже більше 200 років, має сталу організаційну структуру і відпрацьовані методи роботи. Структура управління лісовим господарством в цілому відповідає структурі державних адміністративних органів. Існують органи управління лісовим господарством на рівні країни, а також на рівні областей, районів.

Відповідно до [6, 7] існує три види власності: державна, комунальна і приватна. Нині переважає державна власність на ліси (рис.1.8) [1].

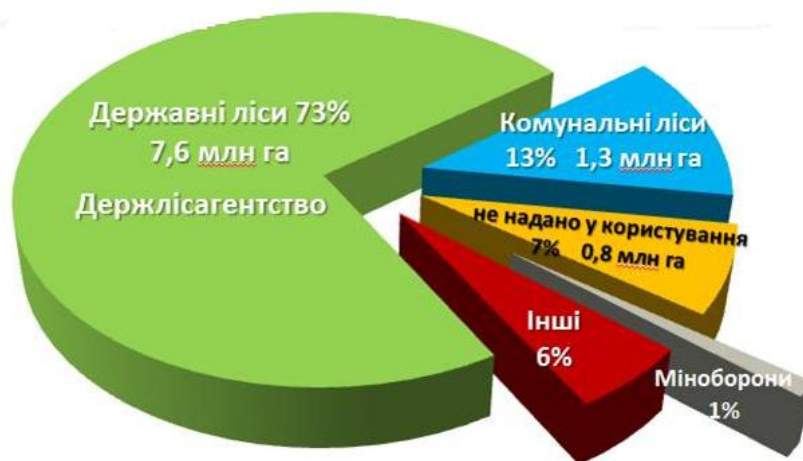


Рис. 1.8. Розподіл загальної площі земель лісового фонду України за відомчою підпорядкованістю

У постійне користування лісу на землях державної власності для ведення лісового господарства передаються спеціалізованим державним лісогосподарським підприємствам.

Ліси і лісове господарство України мають деякі особливості в порівнянні з іншими європейськими країнами:

- середній рівень лісистості території країни відносно низький;
- ліси ростуть в різних природно-кліматичних зонах (Полісся, Лісостеп, Степ, Українські Карпати і гірський Крим);
- хвойні породи переважають на півночі країни і в Карпатах, широколистяні – в центрі і південній частині країни. У віковому відношенні переважають середньовікові насадження;
- історично склалася ситуація, при якій ліси закріплені за численними постійними лісокористувачами (для ведення лісового господарства лісу передані в постійне використання більше, ніж п'ятдесяти підприємствам, організаціям і відомствам);
- в цілому Україну відрізняє стійка тенденція збільшення природоохоронних територій;
- істотна кількість лісів росте в зоні радіоактивного забруднення;
- близько половини лісів України є штучно створеними і вимагають посиленого огляду.

Одним з основних завдань лісогосподарських підприємств є формування стійкого управління лісами, під яким розуміється цілеспрямоване, довготривале, економічно вигідне взаємовідношення людини і лісових екосистем.

Лісогосподарські підприємства повинні забезпечувати [5]:

- посилення водозахисних, захисних, кліматично-реагуючих, санітарно-гігієнічних, оздоровчих і інших корисних властивостей лісів з метою охорони здоров'я людей і поліпшення природного довкілля;
- безперервне, невиснажливе і раціональне використання лісів для планомірного задоволення потреб виробництва і населення в деревині і іншій лісовій продукції;
- відтворення лісів;
- підвищення ефективності, поліпшення якісного складу лісів і збереження природної різноманітності в лісах;
- охорону лісів від пожеж;
- раціональне використання лісових ділянок.

Таким чином, в молодих лісах, що вимагають найбільшої уваги (освітлення і прочищення), рубки відходу здійснюється недостатньо і не на належному рівні, чим закладаються проблеми на майбутнє. У середньому віці характеристики реальних лісів наближаються до «нормальних», а далі (коли деревина вже стає придатною для використання) відбувається надмірне розрідження дозріваючих і особливо зрілих лісів внаслідок інтенсивних санітарних вирубувань. Причому вирубування головного користування (за які треба платити державі) здійснюються переважно суцільним методом.

Враховуючи виснаженість українських лісів і незначний вклад лісового господарства в економіку країни, доцільно було б значно підвищити рівень забезпечення пожежної безпеки лісу та обмежити його вирубування.

1.2 Аналіз динаміки патентування способів та технічних засобів локалізації та ліквідації лісових пожеж протягом.

Для обґрунтування способів і засобів для боротьби з лісовими пожежами необхідно проведення багатоаспектних досліджень, одним з напрямків яких є аналіз стану та тенденцій розвитку техніки за кордоном.

В даній роботі представлені результати аналізу динаміки патентування способів і засобів щодо локалізації та ліквідації лісових пожеж (табл. 1).

Проведений аналіз патентної інформації щодо боротьби з лісовими пожежами (рис. 1.9), показує, що протягом 1980 – 2008 р.р. (включно) за даним напрямком було надано 101 винахід. У середньому чотири по 4 винаходи на рік було надано для боротьби з лісовими пожежами незалежно від механізму дії на пожежу. Залежно від механізму дії на пожежу способи розділені на три групи [8-10]:

1. фізико-механічні способи локалізації та ліквідації;
2. хімічні способи;
3. локалізація і ліквідація з використанням вибухових хвиль.

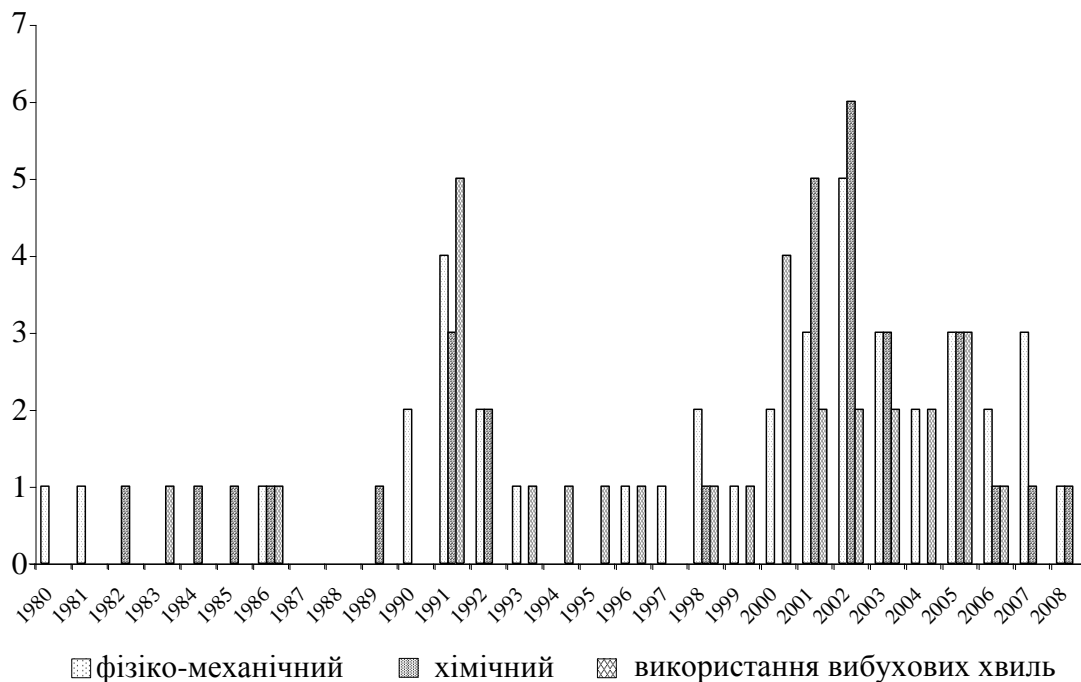


Рис. 1.9. Динаміка патентування винаходів щодо боротьби з лісовими пожежами за роками

Проаналізуємо динаміку кількості винаходів за напрямком способів боротьби з лісовими пожежами (рис 1.10).

Найбільша кількість винаходів стосується застосування фізико-механічного способу локалізації та ліквідації лісових пожеж – 41, на другому місці – хімічний спосіб та спосіб з використанням вибухових хвиль – по 31 та 29 винаходів відповідно.

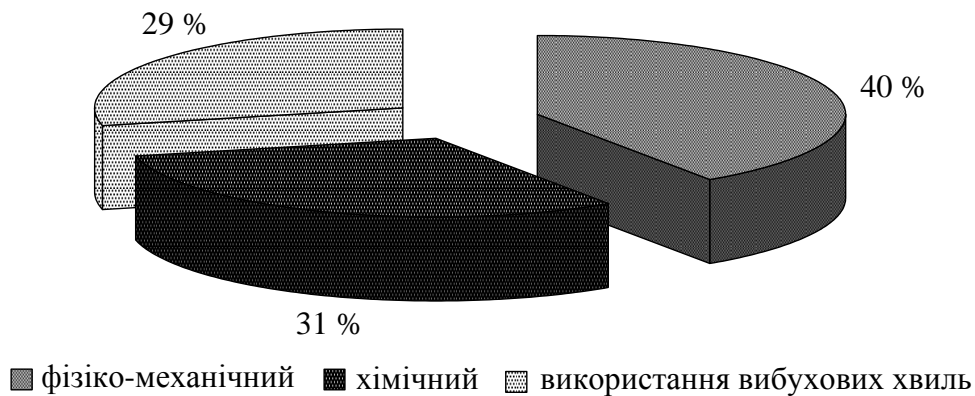


Рис. 1.10. Розподіл загальної кількості патентування винаходів в залежності від способів механізму дії на пожежу

До фізико-механічної групи відноситься метод "захльостування" фронту низової лісової пожежі свіжозрубаною віткою дерева, гасіння вогнища пожежі водою, а також локалізація і гасіння вогнища низової пожежі за допомогою ґрунтOMETІВ та інженерної техніки.

До хімічної групи відноситься спосіб відпалу наземного горючого матеріалу перед фронтом пожежі, доставка вогнегасних речовин у фронт пожежі за допомогою їх метання вибухом або використання протипожежних мін, снарядів і ракет та обробка лісового масиву хімічними розчинами.

Локалізація і ліквідація з використанням вибухових хвиль відбувається з використанням вибухових речовин для боротьби з лісовими пожежами. Вибуховий спосіб рекомендується застосовувати для прокладки мінералізованої смуги та безпосередньо для дії вибухової хвилі на фронт лісової пожежі [9, 10].

Розглянемо фізико-механічну групу боротьби з лісовими пожежами. Метод захльостування висвітлено тільки в одному патенті [11]. Не можна не сказати про винахід [12], який призначений для гасіння кромки лісової пожежі, він містить приєднаний до транспортного засобу коробчатий корпус, в якому розміщено розпилювач вогнегасної речовини і механізм, а також винахід [13] (установка газоводяного гасіння пожежі на базі турбореактивного двигуна) в якості вогнегасної речовини використовується суміш вихлопного газу та розпиленої рідини (води). Є метод [14] прокладання мінералізованих смуг за допомогою інженерної техніки ще в зимовий період у вигляді щільних формованих з снігу і валів, що заохолодили. Для профілактики пожеж в соснових насадженнях є засоби, які шляхом дії направленої повітряної потоку видаляють хвойний опад в глиб насадження і упаковують його частково здутих з поверхні ґрунту крайніх рядів шаром ґрунту із створенням незаймистої надґрунтової зони узлісних рядів [15]. Більш уваги приділяють локалізації і гасінні пожеж за допомогою спеціальної інженерної техніки [16-18] шляхом створення мінералізованих смуг за допомогою нарізування борозен [19-20], канав [21], та метання ґрунту [22, 23] в осередок пожежі або для створення загороджувальної смуги.

Таблиця 1.1 – Кількість винаходів щодо боротьби с лісовими пожежами в країнах СНД протягом 1980-2008 р.р.

Групи боротьби з лісовими пожежами залежно від механізму дії	Рік винаходу																							Всього							
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002		2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Фізико-механічна	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	2	4	2	1	-	-	1	1	2	1	2	3	5	3	2	3	2	3	1	1	41
Хімічна	-	-	1	-	1	1	1	-	-	1	-	3	2	-	-	-	-	1	-	-	5	6	3	-	3	1	1	1	1	31	
Використання вибухових хвиль	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	5	-	1	1	1	1	-	1	1	4	2	2	2	2	3	1	-	-	29	
Всього за роками	1	1	1	1	1	1	3	-	-	1	2	12	4	2	1	1	2	1	4	2	6	10	13	8	4	9	4	4	2	101	

Значна кількість засобів та методів, які використовують для боротьби з лісовими пожежами авіаційну техніку (літаки, гелікоптери) в якості вогнегасної речовини виступає аерозоль [24], інертні гази [25], порошок [26], вода [27, 28], пари [29], суміш насичена вуглекислим газом та водою, яку доставляють в осередок пожежі у вигляді заморожених брикетів [30], а також для ліквідації лісових пожеж застосовують струмінь відпрацьованих газів [31] та струмінь повітря що обертається у вигляді смерчу [32], від гвинтів вертольота.

Проаналізуємо хімічну групу боротьби з лісовими пожежами. Винаходи, які призначено для локалізації лісових пожеж шляхом створення смуги відпалу наземних горючих матеріалів з використанням газового потоку [33, 34]. Використовують винаходи для боротьби з лісовими пожежами шляхом прокладення мінералізованих смуг за допомогою випалювання наземних горючих матеріалів, безпосередньо перед випалюванням на кромки наміченої до випалювання смуги наносять шар повітряно-механічної піни середньої кратності [35]. Більшість методів та засобів, які використовуються для боротьби з лісовими пожежами призначені для відпалу наземних горючих матеріалів від загороджувальної смуги в зустрічному напрямі фронту пожежі [36] із використанням спеціальних приладів [37, 38] (шнурів [39-41], речовин [42]).

Також при реалізації даного способу залучають спеціальну техніку [43]. Так винахід для локалізації пожежі базується у створенні в ґрунті вогнезахисних бар'єрів, що запобігають переходу вогню на суміжну площу, нанесенням легкозаймистих речовин [44]. Для створення загороджувальних смуг використовують обприскування надґрунтового покриву наземного горючого матеріалу хімічними розчинами (водним розчином фосфатно-амонійних солей [45, 46], негорючих матеріалів [47], хімічних речовин-дефоліантів [48], антипіренів [49], гербіцидів [50]).

Проаналізуємо групу локалізації і ліквідації лісових пожеж за допомогою вибухових і ударних хвиль. Треба зазначити, що даний спосіб дозволяє з вищою продуктивністю боротися з лісовими пожежами, ніж застосування засобів та методів фізико-механічного та хімічного способу для створення загороджувальних смуг. За рахунок ударної дії також проводиться розчищення місцевості від рослинності, припинення розповсюдження пожежі шляхом руйнування структури його фронту і обрив наземного горючого матеріалу в положі лісу.

Для локалізації та ліквідації лісових пожеж використовуються пристрої що дозволяють забезпечити створення направлених протипожежних заслонів [51-53] заданих геометричних розмірів, конфігурації і щільності. Використовують засоби у поєднанні вибух та вогнегасна речовина (вуглекислий газ [54], порошок [55], водні розчини [56], аерозоль [57]). Є винаходи для гасіння лісових пожеж, що включають вибух заряду вибухових речовин за якими розташовують гнучкий екран для відображення та направлення вибуху у фронт пожежі (поліетиленового матеріалу [58], картонного папіру [59], металевого листа [60, 61]).

Характерно, що масу вибухової речовини та розташування заряду залежать від типу лісової пожежі. Для створення мінералізованих смуг використовують шнурові заряди з подальшим їх підривом та звичайні підриви наземного горючого матеріалу [62, 63]. Застосовують винахід [64] у якості вибуху яких є вуглеводневе паливо (бензин, керосин, окис етилену). Відомі засоби локалізації та ліквідації лісових пожеж з використанням авіаційної техніки (літаків, гелікоптерів), наприклад, винахід при реалізації якого використовують гелікоптери в кількості два або три, до яких підвішують протипожежні бомби у вигляді гірлянди [56], також є метод за допомогою якого відбувається доставка авіабомб на металевих платформах, піддонах [65-68] та спеціальних контейнерах [69] у вогневу стихію лісу з подальшим її підривом. За допомогою літака в вогневу зону доставляється об'ємно-детонуюча суміш, яка отримується із системи що містить, багатосекційний бак, який має секції з робочою рідиною, утворюючою гримучу суміш з повітрям, підсистему заповнення бака, розміщену усередині фюзеляжу, і пристрій струминної закладки подовженого заряду, що вибухає при зіткненні з полум'ям [70]. Використовують винахід наступним механізмом дії на полум'я [71]. Ударною хвилею обрушують з надзвуковою швидкістю вогнегасну суміш, яка складається з гравію, піску, вуглекислоти, лугу, води та вибухової речовини.

Зустрічаються винаходи у яких застосовують об'ємно-детонуючу суміш яка знаходиться у замкнутому об'ємі, а в якості вибухової речовини використовують суміш водню та окисника [72]. Здійснення вибухового способу з використанням детонуючих паливоповітряних сумішей забезпечує повільніше загасання тиску у фронті ударної хвилі, що дозволяє розширити зону ефективної дії вибуху та створення заряду з вибухобезпечних газових компонентів, які зберігаються і транспортуються в зону пожежі в твердому компактному вигляді, а після заповнення гнучкої оболонки і ініціації продукти детонації є екологічно чистими вогнегасними компонентами.

Для боротьби з лісовими пожежами широке використання знайшли такі способи боротьби з пожежами, як загороджувальні смуги і здійснення відпалу. Реалізація даних способів вимагає створення загороджувальної смуги, що в даний час здійснюється шляхом використання наземних технічних засобів або вибуховим способом.

Вибуховий спосіб дозволяє з вищою продуктивністю, ніж в разі використання інженерної техніки, створювати загороджувальні смуги. За рахунок ударної дії також відбувається розчищення місцевості від рослинності, припинення поширення пожежі шляхом руйнування структури його фронту і обрив наземного горючого матеріалу в полозі лісу [9, 10].

Проведений аналіз показує, що прогресує розробка винаходів щодо застосування фізико-механічного способу локалізації та ліквідації лісових пожеж. Аналізуючи рис. 1 можна зробити висновок, що спостерігається

тенденція максимального збільшення в період 1990 – 1992 років та з 2000 по 2007 роки (включно). В той же час спостерігається невеликий регрес винаходів стосовно способу локалізації і ліквідації лісових пожеж за допомогою вибухових і ударних хвиль, особливо в останні роки, періоди в яких даному напрямку виділялось певна увага у 1991 рік та 2000 – 2005 роки.

Отримані в результаті проведеного аналізу данні доцільно використовувати на етапі розробки дослідницького науково-технічного прогнозу та розробки найновіших способів та методів для боротьби з лісовими пожежами.

1.3 Способи локалізації лісових пожеж

Залежно від характеру займання і складу лісу лісові пожежі підрозділяються на низові, верхові та підземні (грунтові, торф'яні) [73-76].

До низової пожежі характерна витягнута форма пожару з нерівною кромкою. Дим має світло-сірий колір. Швидкість поширення низових пожеж проти вітру в 6-10 разів менше, ніж за вітром. У нічний час швидкість поширення пожежі менша, ніж вдень. При зміні напрямку вітру ускладнюється визначення форми пожежі. У таких випадках, особливо коли пожежа прийняла великі розміри, можливе оточення вогнем людей в лісі. При низовій пожежі згорає лісова підстилка, лишайники, мохи, трави, опалі на землю гілки, тощо. Швидкість руху пожежі за вітром складає 0,25-5 км/год. Висота полум'я досягає 2,5 м. Температура горіння близько 700⁰ С (іноді вище).

За швидкістю поширення вогню низові пожежі підрозділяють на рухливі і стійкі. При низовій рухливій пожежі переважає полум'яний тип горіння, при стійкому – безполумєний. Стійкі низові пожежі небезпечніші, оскільки при них глибоко ушкоджуються підстилка і живі дерева.

При рухливій низовій пожежі згорає верхня частина живого і мертвого надгрунтового покриву, вітролом, самосів лісу, хвойне підростання і підлісок. Така пожежа поширюється з великою швидкістю, обходячи місця з підвищеною вологістю, тому частина площі залишається незачепленою вогнем. Рухливі пожежі в основному відбуваються навесні, коли просихає лише самий верхній шар дрібних твердих горючих матеріалів.

Стійкі низові пожежі поширюються повільно, при цьому повністю вигорає живий і мертвий надгрунтовий покрив, сильно обгорають корені і кора дерев, повністю згорають підростання і підлісок. Стійкі пожежі виникають переважно з середини літа, коли просихає підстилка.

Верхова лісова пожежа охоплює листя, хвою, гілки і усю крону, може охопити трав'янистий покрив ґрунту. Вогонь рухається зі швидкістю, що перевищує 5-30 км/год., захоплюючи величезні площі і приносячи страшні руйнування. Верхові пожежі найбільш небезпечні, і боротьба з

ними особливо важка. Розвиваються вони зазвичай при посушливій вітряній погоді з низової пожежі в насадженнях з низкоопущеними кронами, в різновікових насадженнях. Верховна пожежа – це стадія пожежі, що зазвичай завершується. Область поширення має яйцевидно-витягнуту форму. Дим при верховій пожежі темно-сірий. Верхові пожежі, як і низові, можуть бути рухливими і стійкими.

Рухлива верхова пожежа виникає при сильному вітрі і поширюється зі швидкістю від 7 до 30 км/год. Вона характеризується небезпечною високою швидкістю поширення.

При стійкій верховій пожежі вогонь рухається суцільною стіною від надґрунтового покриву до крон дерев зі швидкістю до 8 км/год. Ліс при цьому вигорає повністю.

При верхових пожежах утворюється велика маса іскор з гілок, що горять, і хвої, летять перед фронтом вогню і створюють низові пожежі за декілька десятків, а у разі рухливої верхової пожежі – іноді за декілька сотень метрів від основного вогнища.

Підземні (грунтові, торф'яні) пожежі в лісі найчастіше пов'язані із займанням торфу, яке стає можливим в результаті осушення боліт. Поширюються такі пожежі зі швидкістю до 1 км в добу. Вогонь часто не виходить на поверхню. Такі пожежі можуть бути малопомітні і можуть поширюватися на глибину до декількох метрів, внаслідок чого представляють додаткову небезпеку і у край погано піддаються гасінню (торф може горіти без доступу повітря і навіть під водою). Древа на площі пожежі падають, створюється сильна засміченість і посилюється загальна загроза пожежі надалі. Дим від підземної пожежі їдкий, з сильним запахом торфу

Частіше всього бувають низові пожежі. Найбільш пожежонебезпечні соснові ліси, за ними йдуть модринові, потім ялицеві і ялинові, далі змішані і нарешті листяні ліси. Серед соснових лісів самі горючі це лишайникові і вересові бори, потім брусничні, далі кисличні і чорничні і, нарешті, трав'яні і сфагнові. Серед ялинових найбільш горючими являються ліси з брусничником, далі з чорничником та потім трав'яно-сфагнові.

У соснових деревостоях переважають низові рухливі пожежі, а у ялиново-ялицевих, у зв'язку з низькоопущеними кронами, низові рухливі пожежі часто переходять у верхові стійкі лісові пожежі.

Локалізація лісових пожеж забезпечується створенням протипожежних бар'єрів [76-80]. Процес створення протипожежних бар'єрів є комплексом дій, направлених на припинення можливості подальшого поширення горіння в рослинному масиві і створення умов для успішної ліквідації пожежі наявними силами і засобами [81, 82], представленими на рисунку 1.11.

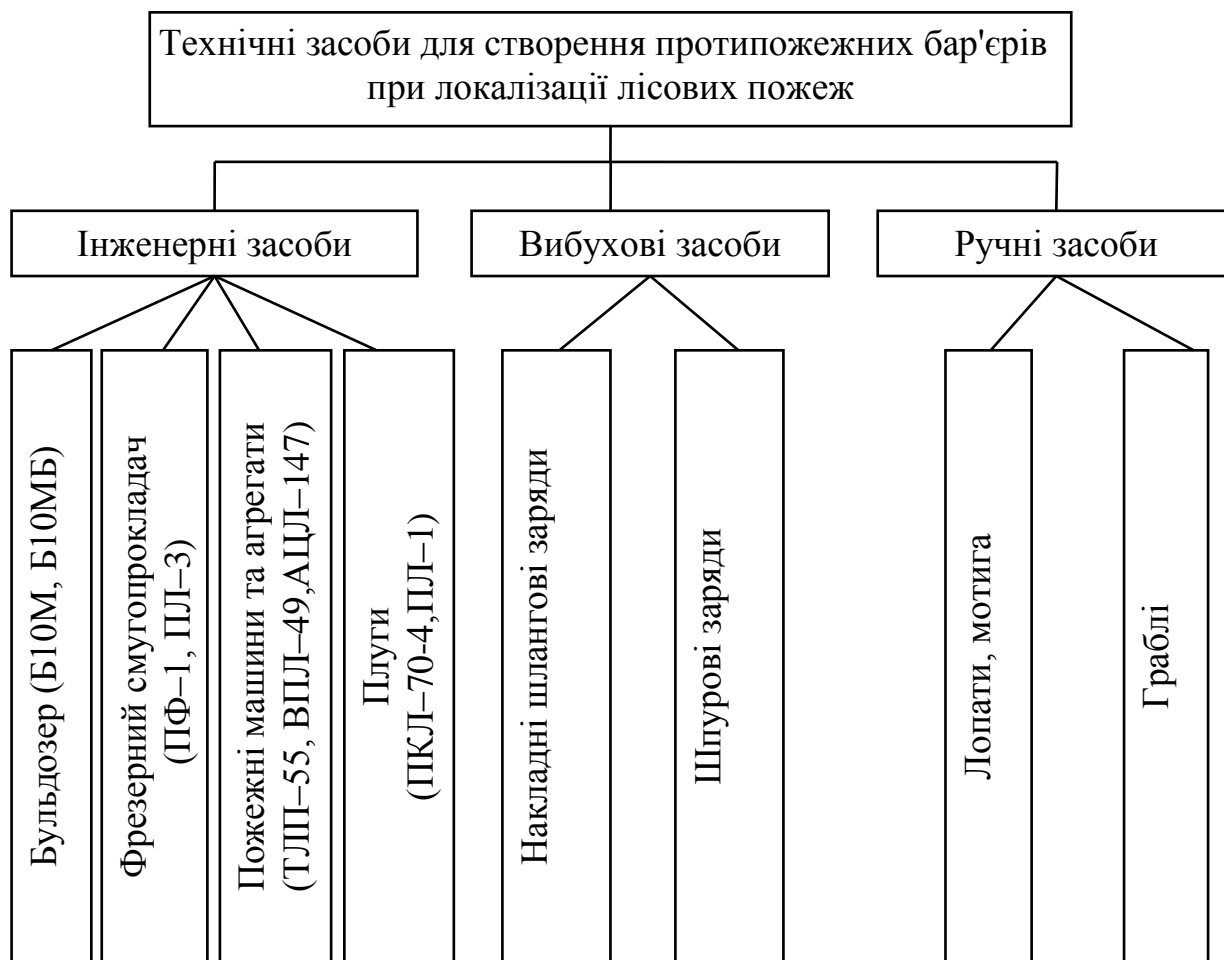


Рис. 1.11. Технічні засоби для створення протипожежних бар'єрів при локалізації лісових пожеж

Згідно [83], існуючі способи локалізації лісових пожеж засновані на наступних фізико-хімічних прийомах:

- припинення надходження в зону горіння повітря (використовується при гасінні вибухом в області пожежі);
- охолодження зони горіння нижче температури займання (використовується у вибуховому способі із застосуванням вогнегасних складів у якості оболонки зарядів);
- видалення горючих речовин із зони підігріву і займання.

У основу способів боротьби з лісовими пожежами входить один з цих прийомів, або їх поєднання. В роботі [83] такі способи класифіковані таким чином:

- захльостування кромки низової пожежі вітками та засипка ґрунтом;
- локалізація водою і вогнегасними хімікатами;
- облаштування на шляху слідування пожежі загороджувальних або опорних смуг і канав вручну, механічними знаряддями або вибухом;
- відпалювання рослинного покриву.

До фізико-механічних способів віднесені метод «захльостування» фронту низової лісової пожежі, гасіння водою, а також локалізація

осередків пожежі за допомогою ґрунтометів. До хімічних способів віднесено відпалювання.

У разі локалізації сильних лісових пожеж найчастіше застосовують такі способи локалізації, як облаштування загороджувальних смуг і здійснення відпалювання. Основне призначення загороджувальних смуг – запобігання поширення низових пожеж. Загороджувальна смуга створюється шляхом видалення горючого матеріалу із зони горіння (мінералізована смуга) або переведенням такого матеріалу в стан, що не горить, внаслідок його обробки водою або розчином вогнегасних хімікатів. Для локалізації пожежі за допомогою відпалювання необхідне створення опорної смуги. Техніка створення опорної смуги не відрізняється від техніки створення загороджувальної смуги. Відмінність між опорною і загороджувальною смугами полягає в їх ширині. Ширина опорної смуги рідко перевищує 60 см, а загороджувальна смуга має ширину не менше 1 м.

1.4 Технічні засоби локалізації лісових пожеж

У роботі [81] відзначається, що при локалізації стійких низових пожеж використання загороджувальних смуг є обов'язковим. Створення таких смуг здійснюється засобами механізації і вибуховим способом. Смуги створюють в першу чергу перед фронтом пожежі. Відстань від фронту вогню до місця пристрою загороджувальної мінералізованої смуги вибирається залежно від швидкості поширення пожежі, продуктивності машин і умов виконання робіт. Як правило, ця відстань лежить в межах 100 – 1000 м. Пристрій загороджувальних смуг поєднують із іншими способами локалізації пожежі.

Плуги, бульдозер дозволяють прокладати мінералізовані смуги у рослинних масивах. Ширина мінералізованих смуг, що прокладаються плугом, складає 1,4 – 3,0 м, бульдозером – 3,0 – 4,0 м [84]. В даний час, у разі застосування засобів механізації, загороджувальні смуги шириною 20 м і більш влаштовують за допомогою комплексу машин, наприклад, двох шляхопрокладачів і одного бульдозера. Смуги необхідно розчищати від дерев, чагарнику і рослинного покриву. Шляхопрокладачі здійснюють ваління дерев і їх переміщення в сторони, а бульдозер здійснює розчищення до мінерального ґрунту із переміщенням дерев, рослинного покриву і ґрунту у бік поширення вогню. Загороджувальні смуги шириною 20 – 30 м влаштовують в рослинних масивах із розгалуженими кронами і при діаметрі дерев 30 – 50 см із залученням великої кількості техніки. За рахунок розширення функціонального призначення техніки, що залучається для локалізації пожежі, а також підвищення її продуктивності, можна збільшити ефективність виконуваних робіт як за рахунок зменшення собівартості таких робіт, так і за рахунок зменшення площі вигорілого лісу, що досягається шляхом підвищення продуктивності техніки.

Підвищення продуктивності створення загороджувальної смуги за допомогою бульдозерів запропоноване у роботі [85, 86]. Із-за вузької ширини смуги, яка обмежується шириною ножа бульдозера, її розширення пропонується здійснювати за допомогою додаткового зрошування земної поверхні. Для цього, бульдозер додатково забезпечується ємністю для зрошування. Таке розширення функціональних можливостей техніки приводить до підвищення ефективності її застосування, однак вимагає близького розташування джерел води.

Порівняння продуктивності пристрою загороджувальних мінералізованих смуг за допомогою інженерної техніки і вибуховим способом, із залученням для укладання інженерної техніки, показують переваги останнього. Так, при вибухах конденсованих вибухових речовин (КВР) за рахунок ґрунту, що викидається, створюється мінералізована смуга шириною 30 – 40 м [81]. Швидкість укладання заряду за допомогою дерноукладчиків і кротодренажних машин досягає 1500 – 1800 м/годину, а продуктивність створення смуги шириною 10 м шляхопрокладачем або бульдозером складає 500 – 1500 м/год. Це викликано послідовністю проходу машин. В той час, при створенні смуги шириною 6 – 8 м одиночною інженерною машиною БАТ-М її продуктивність досягає 800 м/год. Вочевидь ударна дія, що виникає від вибуху в сліді машини, дозволить розширити створювану інженерною машиною загороджувальну смугу, що зближить характеристики вищезгаданих способів створення смуги.

Вибуховий спосіб рекомендується застосовувати для прокладення опорної смуги при відпалюванні в захаращених ділянках у разі боротьби із чагарниковими пожежами під пологом лісу [87-88].

Для оперативного створення мінералізованих смуг застосовують накладні заряди конденсованих вибухових речовин типу ПЖВ-20 і ЭШ-1П. Слід зазначити, що спочатку конденсовані заряди використовувалися для локалізації палаючих нафтових і газових свердловин [89-91]. У разі створення загороджувальних смуг за допомогою вибухових речовин залучають особовий склад, який здійснює підготовчі роботи (відкопування шурфів, розкладка вибухових речовин, тощо). Шнуровий заряд складається з стандартних 200 – грамових патронів амоніту 6-ЖВ, укладених в капронову оплітку [83]. Загальна довжина заряду 10 м, а вага близько 9 кг. На трасі загороджувальної або опорної смуги їх укладають один за одним без розривів, щільно притискаючи до землі. Кінці з'єднують внакладку. Внаслідок вибуху на місці шнурового заряду утворюється смуга або канава. На дрібних скельних ґрунтах ширина смуги складає 40 – 55 см. На торф'янистих ґрунтах утворюється канава завглибшки 30 – 60 см і шириною по верху до 1,5 м.

Вочевидь, що швидкість створення загороджувальної смуги вибуховим способом обмежується в першу чергу часом, необхідним для проведення підготовчих робіт. Виконання особовим складом вибухових робіт в умовах обмеженого часу на їх здійснення приводить до великого

впливу «людського» фактору. Це обумовлює до зростання ризику при реалізації вибухового способу створення загороджувальної смуги в традиційному вигляді.

Вибуховий спосіб, застосований для створення мінералізованої смуги шляхом вибуху шнурових накладних зарядів вибухових речовин на надґрунтовому покриві, доцільно застосовувати для локалізації низових лісових пожеж. Потужності вибуху таких зарядів недостатньо для того, щоб створити перешкоди для поширення пожежі по кронах дерев. Тому, для боротьби з верховими лісовими пожежами з метою ефективного створення загороджувальної смуги вибуховим способом запропоновано реалізовувати вибух в положі лісу [92]. В роботі [8] показано, що у зв'язку з тим, що верхова пожежа поширюється за рахунок згорання у фронті хвої і тонких віток (діаметром до 7 мм), то загороджувальна смуга в цьому випадку створюється шляхом збиття хвої і віток на ширині, більшій, ніж фронт пожежі. Залежно від сили пожежі, така ширина може складати від 3 до 15 м. Для створення протипожежного бар'єру вибуховим способом заряди вибухових речовин розташовують в положі лісу з густиною $\rho > \rho^*$, де ρ^* – мінімальна маса вибухових речовин (ВР) в положі лісу, яка необхідна для зриву основної частини (~80 %) хвої і віток в одиниці об'єму пологі лісу.

Згідно [8], значне збільшення густини заряду приводить до ваління дерев і ламання крупних віток, що є небажаним, оскільки веде до збільшення маси рослинного горючого матеріалу на підстилаючій поверхні. Це може привести до посилення низової пожежі і подальшого відновлення верхової пожежі. Тому, рекомендовано [8] масу заряду вибухової речовини на одиницю об'єму лісу ρ вибирати за умови $\rho^* < \rho < 2\rho^*$.

В якості вибухової речовини пропонується [8] використовувати різні склади, наприклад, суміші повітря із твердими реагуючими частинками і рідкими частинками вуглеводневих палив (аерозолі), а також із горючими газами і парами. Також запропоноване розпилення твердих дисперсних, рідкокрапельних або газоподібних палив в фітоценозі проводити із застосуванням авіаційних або наземних транспортних засобів.

Пропонується [93] у важкодоступних місцях використовувати вибуховий спосіб із доставкою вибухових речовин на літаку або гелікоптері. Парашутисти-підричники за допомогою зарядів ВР, підриваючи їх накладним способом, можуть швидко прокласти опорну лінію [94, 95]. Слід враховувати, що один кілометр шлангового заряду, заповненого конденсованою вибуховою речовиною важить не менше ніж 600 кг. Звідси виникають складнощі із його розподілом по запланованому місцю створення опорної лінії.

1.5 Вибухові способи локалізації лісових пожеж

1.5.1 Вибухові способи локалізації пожеж на основі конденсованих вибухових речовин і способи оцінки ефективності їх використання

Практична реалізація і варіанти удосконалення вибухових способів створення протипожежних бар'єрів при локалізації лісових пожеж розглядалися в роботах [52, 96-99].

У запропонованому [52] технічному пристрої удосконалення направлено на поліпшення параметрів створюваних при вибуху потоків вогнегасних засобів. Даний ефект досягається за рахунок комбінації різнотипних вибухових матеріалів (детонуючого шнура і димного рушничного пороху) із вогнегасним (вогнестійким) складом. Вочевидь, що додавання до заряду вогнегасного складу дозволяє поліпшити параметри потоку при локалізації пожежі. Але зниження питомої густини енергії веде до пониження інтенсивності сформованої ударної хвилі. Тому, застосування такого пристрою для розчищення опорної смуги від рослинності стає недоцільним.

У роботі [100] пропонується застосовувати для локалізації лісових пожеж пристрій, який представлено на рисунку 1.12.

Для зручності застосування пристрою, контейнер пропонується виконувати у вигляді гнучкого шланга, закритого з обох боків. Вибух заряду забезпечує диспергування вогнегасного реагенту і його викид у вигляді туману на поверхню, що горить.

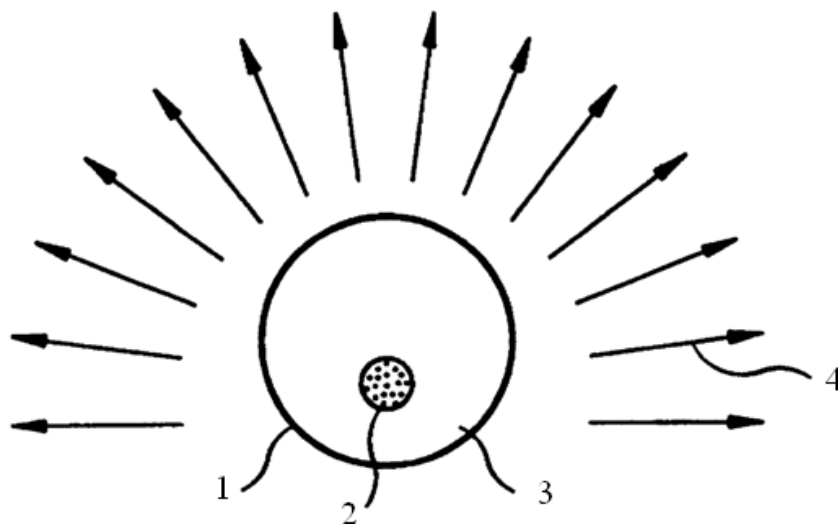


Рис. 1.12. Пристрій для диспергування вогнегасного реагенту за рахунок вибуху: 1 – контейнер, 2 – вибухова речовина, 3 – реагент, 4 – ударна хвиля.

Недолік даного способу викликано великою масою заряду, а також руйнуванням вогнегасного реагенту при вибуху.

Для отримання направленої ударної дії для локалізації лісових

пожежі пропонується застосовувати комбінований вибух, імпульс тиску якого представлений на рис. 1.13 [101].

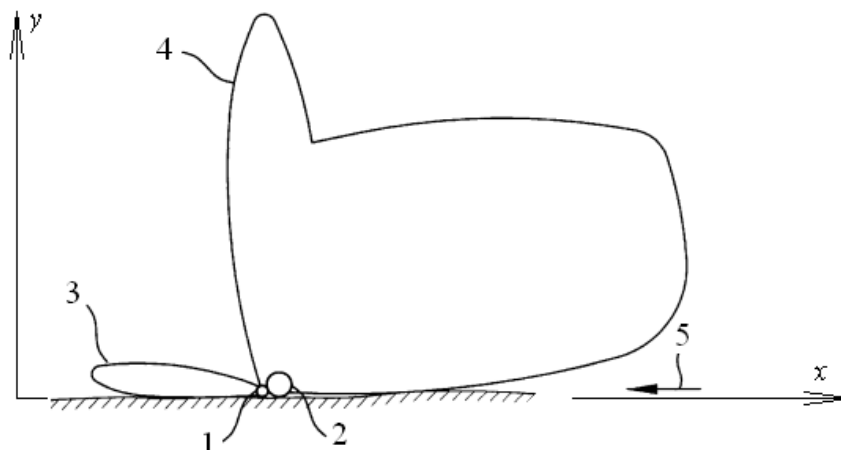


Рис. 1.13. Профілі інтенсивності ударної дії, сформованих за рахунок вибухів розташованих поряд шлангів з вибуховою речовиною: 1, 2 – шланги з вибуховою речовиною; 3, 4 – імпульс тиску; 5 – осередок займання; y – координата по висоті; x – координата по відстані в поперечній проекції до заряду

Такий вибух реалізується за рахунок спеціального просторового розташування шлангів із вибуховою речовиною, що несуть різну енергію.

В результаті, можна досягти перерозподілу імпульсів тиску, що виникають при вибуху, у бік осередку займання. Недолік даного способу обумовлено необхідністю спеціального укладання заряду для його підриву.

На ефективність локалізації пожежі шляхом підриву вибухової речовини значний вплив чинять умови підриву заряду [62]. Дані умови вибираються так, щоб при вибуху в процесі детонації брали участь газоподібні горючі продукти піролізу рослинних горючих матеріалів. За рахунок цього збільшується енергія вибуху із відповідним збільшенням гасячого радіусу дії від виникаючої ударної хвилі. У роботі [62] рекомендується здійснювати підрив вибухової речовини при температурі піролізу 575 ± 175 К. Необхідність в синхронізації моменту вибуху з часом наближення полум'я до заряду, а також нерівномірність наближення осередків полум'я до заряду засвідчують, що даний спосіб дуже важко реалізувати.

Зниження маси вибухової речовини на одиницю довжини заряду із збереженням показників по отримуваній ширині мінералізованої смуги пропонується шляхом виконання шнура із трьома клиноподібними кумулятивними виїмками [63]. Зменшення маси детонуючого шнура дозволяє збільшити швидкість прокладання мінералізованої смуги. Наявність кумулятивної виїмки вимагає спеціального укладання заряду, що знижує продуктивність його розгортання.

Зменшення витрат вибухових речовин на локалізацію пожежі пропонується за рахунок підвищення ефективності їх використання шляхом формування направленного вибуху. Направлений вибух досягається

за рахунок застосування відбиваючих екранів різної конфігурації. Так, наприклад застосування найбільш простого плоского гнучкого екрану дозволило підвищити тиск в полозі лісу в межах 1,4-1,5 рази [58]. Збільшення ефекту фокусування заряду, досягнуто в роботі [59]. Пропонується застосовувати відбивач, виконаний у вигляді двогранного кута величиною $110 - 120^\circ$ із установленим по формулі винаходу місцем розміщення заряду. В цьому випадку досягається підвищення тиску у фронті ударної хвилі на 11 – 43 %. Найбільший ефект фокусування ударної хвилі досягнуто в роботі [102]. Запропоновано застосовувати циліндричний синусоїдальний відбивач, що дозволило збільшити в 1,5 разу дальність вогнегасної дії ударної хвилі в порівнянні з кутовим відбивачем. Використання відбивачів знижує продуктивність вибухового способу локалізації пожеж.

У роботах [8, 102] проведено вимірювання ефективності пристроїв для локалізації лісових пожеж, основою яких є дія ударної хвилі на фітоценоз. Так, в роботі [102] ефективність дії ударної хвилі, що отримується внаслідок вибуху зарядів в комплексі із різними типами екранів, оцінювалася шляхом порівняння кількості погашених осередків полум'я. У натурних експериментах створювалися 7 вогнищ із відстанню між ними 10 м (рис. 1.14).

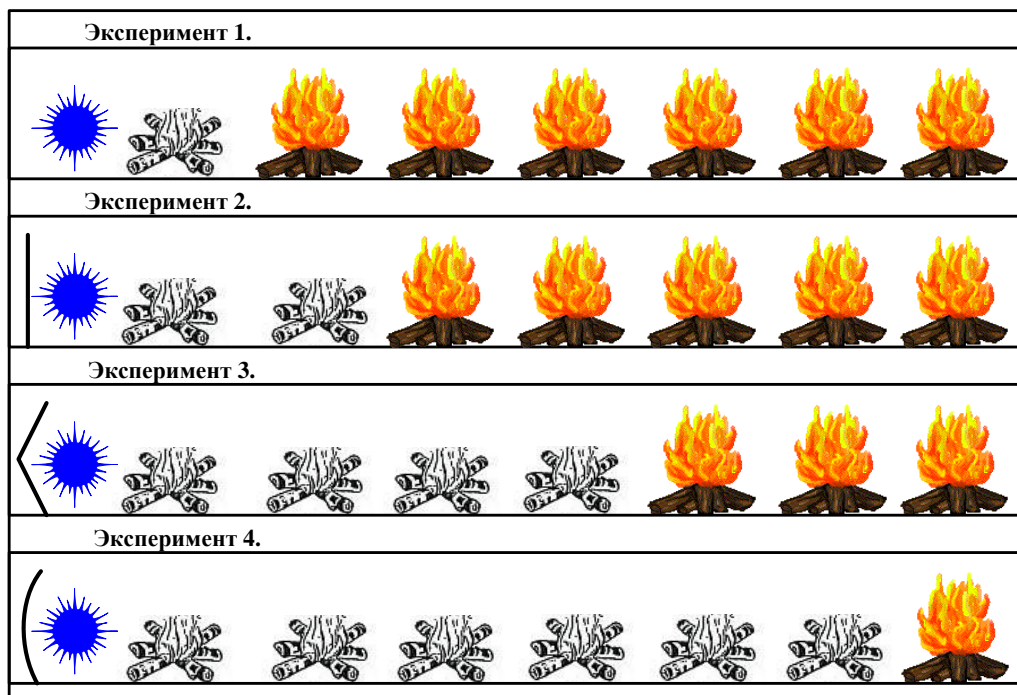


Рис. 1.14. Схема проведення напівнатурних випробувань в роботі [102]

Відстань від заряду до найближчого вогнища складала 30 м. В якості заряду застосовувалися 4 патрони заряду ПЖВ-20 загальною масою 1,2 кг

Використання методики оцінки ефективності пристроїв для локалізації лісових пожеж згідно роботи [102] не дозволяє визначити ступінь обривання рослинного горючого матеріалу (РГМ).

У роботах [81] та [103] оцінка ефективності процесу локалізації пожежі за допомогою шнурового заряду в комплексі із екраном 3 (рис. 1.15), що відбиває вибухову хвилю, проводилася за результатами вимірювань тиску за допомогою датчиків типу ДПС-6. Напівнатурні випробування проводилися в модельних смугах, що склалися з соснових дерев заввишки 3 м. Сосни 4 були вкопані в ґрунт. Ініціювання фронту верхової пожежі здійснювалася з навітряного боку 1. Заряд розміщувався на висоті 1,5 м, що відповідає рівню точки 2. В якості шнурового заряду застосовувався заряд ЕШ-1П, розміщений на віддаленні від відбиваючого екрану.

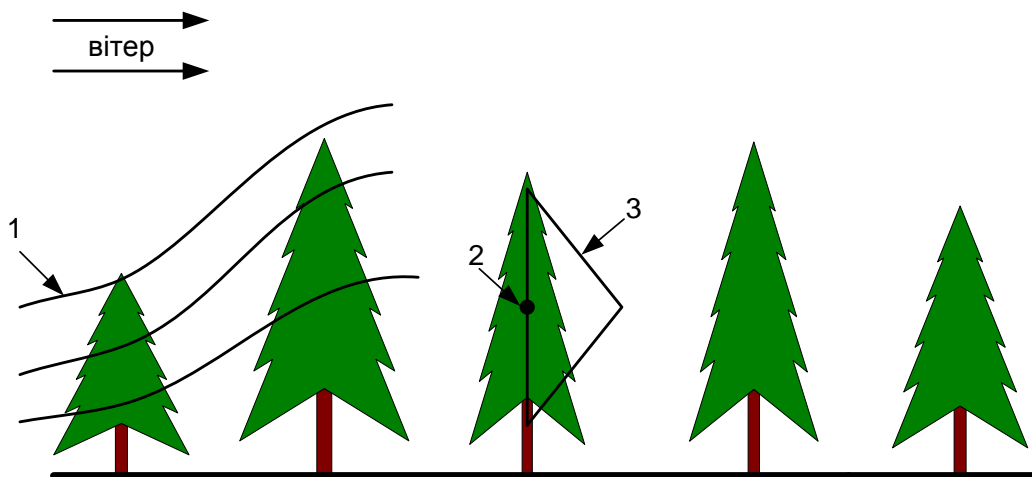


Рис. 1.15. Схема проведення напівнатурних випробувань [8]

У результатах досліджень, представлених в роботі [8], наводиться тільки порівняльна оцінка тисків у фронті ударної хвилі. Відсутні дані по місцю розташування датчиків. Немає посилання на виробника датчиків, що не дозволяє оцінити його параметри по чутливості і дії за часом.

У роботі [8] представлена методика проведення експериментів по взаємодії вибухової хвилі із рослинністю. Проводилася серія експериментів як для випадку наявності фронту пожежі поблизу заряду вибухової речовини, так і в його відсутності. Дослідження проводилися із застосуванням датчиків двох типів: п'єзокерамічних датчиків тиску і автономних вимірювачів тиску (АІДА) «84 Ф» [8]. Хрестиками (рис. 1.16) позначені п'єзодатчики тиску, кружечками – датчики АІДА. Датчики першого типу дозволяють здійснити реєстрацію динамічного тиску, а другого – усереднені значення імпульсу тиску. Відстань від заряду до першого ряду датчиків № 1, 4 складала 2 м, до датчиків № 2, 3 – 4 м, а до датчика № 5, розташованого в середині смуги – 3 м. П'єзодатчики розташовувалися в ряд перпендикулярно до шнурового заряду на відстанях від нього 2,5 м, 3,5 м, 4,5 м.

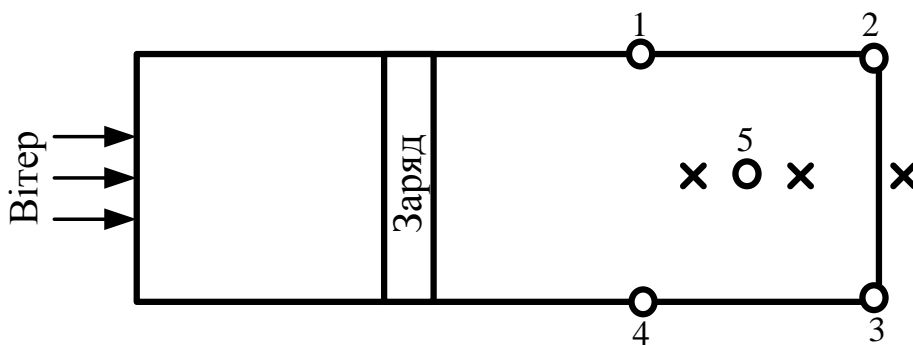


Рис. 1.16. Схема проведення експериментів [8]

За представленими результатами [8], експерименти відрізнялися між собою масою заряду і маркою вибухової речовини. У першому типі використовувався заряд ПЖВ-20 масою 1,8 кг, в другому – заряд ПЖВ-20 масою 2,4 кг, в третьому – заряд ЕШ-1П масою 3 кг. У всіх експериментах заряди вибухової речовини розташовувалися на висоті 1,5 м і кріпилися до дерев. Реєстрація тиску здійснювалася як на висоті 1,5 м, так і на земній поверхні.

Показано, що у разі реєстрації тиску за допомогою п'єзодатчиків, на частині з них фіксація сигналу не здійснювалася. Видно, що це пов'язано з технічними недоробками реєструючої апаратури (дані по ній не наводяться).

Таким чином для експериментального дослідження ударної дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів на фітоценоз потрібне застосування датчиків для вимірювання динамічного тиску [104].

1.5.2 Вибуховий спосіб локалізації пожеж зарядами на основі стехіометричної паливноповітряної суміші

На відміну від динаміки поширення продуктів вибуху конденсованих вибухових речовин, тиск у фронті ударної хвилі, що формується в результаті об'ємного вибуху, затухає повільніше. Це дозволяє розширити зону ефективної дії від вибуху [105].

У роботі [64] запропоновано використовувати заряд об'ємного вибуху для обривання хвої і тонких віток і зриву полум'я верхової пожежі. Пристрій, показаний на рисунку 1.17 працює таким чином: поблизу осередку пожежі гнучкий шланг заповнюють вуглеводневим паливом, наприклад окислом етилену, і заглушують пробками. Потім його розміщують в смузі ліси на висоті 1,5 – 3 м залежно від висоти дерев. У момент наближення пожежі спрацьовує електродетонатор, що викликає спрацьовування першого шнурового заряду. Заряд розриває корпус і формує паливноповітряну хмару з концентрацією часток $(1 - 3) \cdot 10^{-3}$ кг/м³. Через 100 мс таймер видає сигнал на спрацьовування другого ініціюючого шнурового заряду, який детонує паливноповітряну хмару. Утворений при цьому тиск і ударні хвилі [106-108] зривають листяний покрив і

збивають полум'я у фронті пожежі. Процес поширення фронту пожежі припиняється.

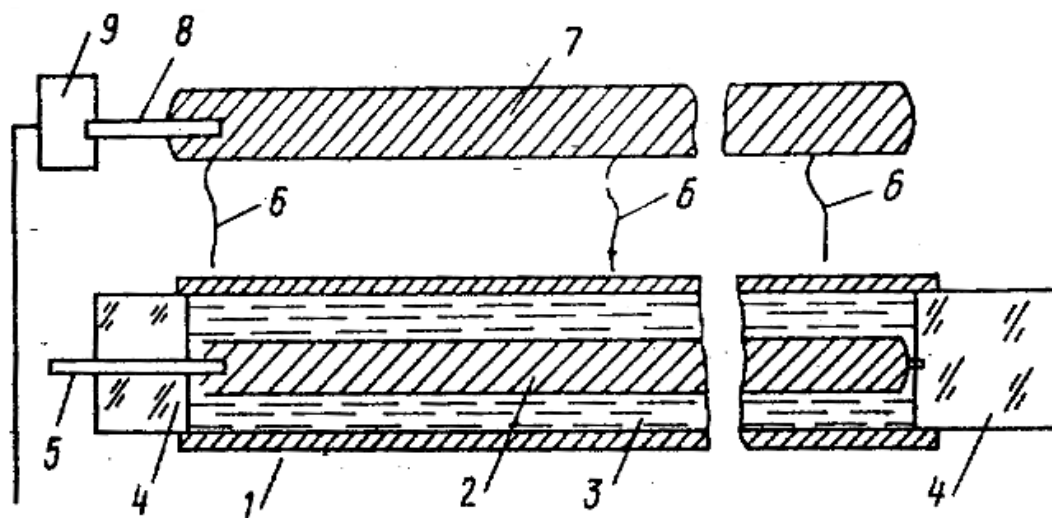


Рис. 1.17. Схема пристрою для локалізації лісової пожежі: 1 – гнучкий шланг (корпус); 2,7 – шнуровий заряд; 3 – вуглеводневе паливо; 4 – пробки; 5,8 – електродетонатор; 6 – гнучкі кріпильні стрічки; 9 – таймер

У роботі [109] запропоновано застосовувати струмінь відпрацьованих газів для формування детонаційно-здатних сумішей. Високе споживання повітря на систему охолодження в потужних двигунах приводить до наявності достатньої кількості свіжого повітря у відпрацьованих газах. Тому в таких струменях за рахунок уприскування в потік пального забезпечується формування детонаційно-здатних сумішей. Запропоновано даний спосіб застосовувати для розмінування мінних полів. Створення хмари довжиною більше 20 м за допомогою даного способу здійснюється за десятки секунд [109]. Вочевидь, що подача суміші у відкритий простір приводить до значного її розсіювання, на рисунку 1.18 показано розподіл масової концентрації пропану в повітряному струмені.



Рис. 1.18. Розподіл масової концентрації пропану в повітряному струмені при виході пропану з сопла з концентрацією 13,7 % у поперечному перетині: r – поперечна координата; x – подовжня координата.

Простота даного рішення по формуванню суміші робить доцільним його використання у вибуховому методі локалізації лісових пожеж.

Слід зазначити наявність інших варіантів створення зарядів з суміші вибухонебезпечних газів по опорній лінії. Так, в роботі [110] (рис. 1.19) було запропоновано використання гнучкого шлангу великого діаметру, який заздалегідь згорнутий в кільце, і має закриту кінцеву частину. У цей шланг під тиском подають пальне із окислювачем, що приводить до розкручування шлангу у напрямі опорної лінії і таким чином створюється вибухова суміш в потрібному місці. Переваги цього способу полягають в можливості якісного утворення вибухової суміші в незалежності від погодних умов і в наявності безпеки під час виконання підготовчих робіт у зв'язку з тим, що пальне і окислювач зберігаються в окремих ємностях.

Вочевидь, що створення суміші в обмеженому об'ємі дозволяє виключити вплив зовнішніх погодних умов на якість формування суміші в такому об'ємі. Але за наявності незначних перешкод, розгортання шлангу буде зупинено, що не дозволяє його у такому вигляді застосовувати для реалізації вибухового способу.

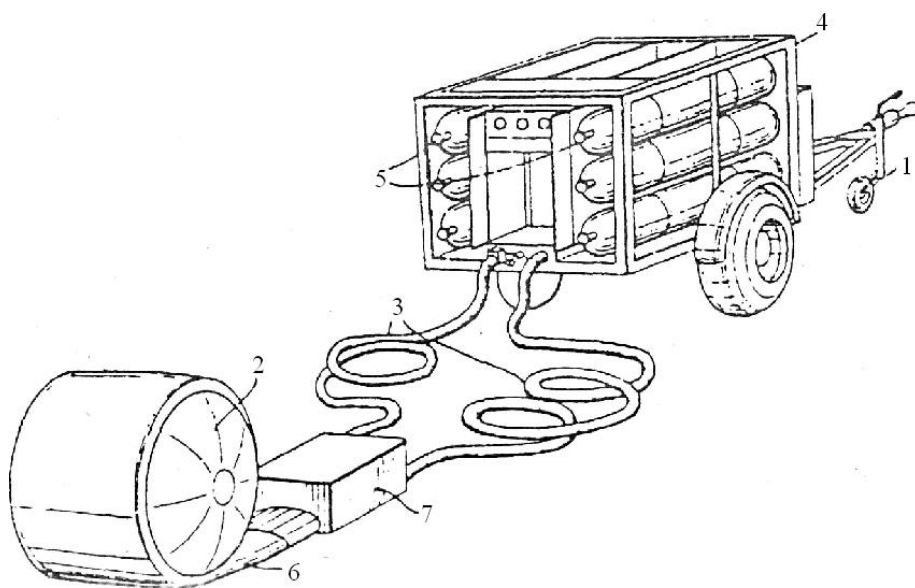


Рис. 1.19. Спосіб створення заряду з суміші вибухонебезпечних газів: 1 – вантажний причіп; 2 – ковпак; 3 – рукави подачі газу; 4 – короб; 5 – балони з паливом і окислювачем; 6 – згорнутий шланг; 7 – камера змішування

Підвищений імпульс тиску, що виникає при вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, в порівнянні з імпульсом тиску від зарядів на основі конденсованих вибухових речовин, більш високий ступінь безпеки при роботі із такими зарядами, формування зарядів безпосередньо на місці застосування, зручність транспортування, можливість використання на важкодоступних ділянках місцевості роблять доцільним проведення досліджень вибухового способу локалізації лісових пожеж на основі зарядів з суміші вибухонебезпечних газів [111, 112].

1.6 Урахування впливу рослинності на поширення ударної хвилі при математичному моделюванні

Використання математичного апарату і сучасної обчислювальної техніки дозволяють скоротити матеріальні затрати на дослідження різних складних процесів. Тому і розроблені математичні моделі, що дозволяють досліджувати ударну дію вибуху на рослинність. Розглянемо можливість застосування відомих моделей для дослідження ударної дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів.

В даний час існує чимала кількість робіт [8, 113-116], в яких розглядаються математичні моделі, що описують різні процеси і параметри, характерні для лісових пожеж.

Ударна хвиля і супутній потік, поширюючись по рослинності, викликають часткове обривання рослинного горючого матеріалу із залученням цієї маси до руху, обтікають тверді перешкоди у вигляді стовбурів дерев з появою косих і прямих стрибків ущільнень. Тобто, на перебіг газового потоку в сукупності впливає опір середовища. Вочевидь, що у кожному конкретному випадку просторова структура фронту ударної хвилі на мікрорівні відрізнятиметься. Але у великому масштабі фронт ударної хвилі практично задаватиметься формою джерела ударної хвилі. Тому при моделюванні розширення продуктів вибуху достатньо ввести параметр, що усереднює характерний опір для заданого середовища [117].

У роботі [8] розроблені математичні моделі взаємодії ударних хвиль з рослинністю і фронтом лісових пожеж стосовно конденсованих вибухових речовин. Взаємодія ударної хвилі з фітоценозом і фронтом лісової пожежі моделювалася в одновимірній і двовимірній постановці задач. У двовимірній постановці застосовувалася наступна система рівнянь для багатокomпонентної хімічно реагуючої суміші:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0, \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial (P + \rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial \rho u w}{\partial z} = f_x, \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \frac{\partial \rho u w}{\partial x} + \frac{\partial (P + \rho w^2)}{\partial z} = f_z, \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial \rho c_\alpha}{\partial t} + \frac{\partial \rho u c_\alpha}{\partial x} + \frac{\partial \rho w c_\alpha}{\partial z} = R_\alpha - c_\alpha Q, \quad \sum_{\alpha=1}^N c_\alpha = 1, \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \frac{\partial \rho u (e + \frac{P}{\rho})}{\partial x} + \frac{\partial \rho w (e + \frac{P}{\rho})}{\partial z} = 0, \quad (1.5)$$

$$e = e(\rho, T), \quad (1.6)$$

$$P = P(\rho, T), \quad (1.7)$$

де $f_x = -sc_d \cdot \rho u \sqrt{u^2 + w^2}$; $f_z = -sc_d \cdot \rho w \sqrt{u^2 + w^2}$ – проекція сили опору на осі координат (sc_d – параметр, що характеризує силу опору одиниці об'єму фітоценозу);

ρ, T, P – густина, температура і тиск газової фази, відповідно;

e – внутрішня енергія одиниці маси газової фази;

t – час;

u, w – компоненти вектора швидкості газового потоку \vec{q} ;

x, z – координати в декартовій системі координат вздовж земної поверхні;

R_a – масові швидкості утворення компонентів газової фази;

c_a – масова концентрація утворення газової фази;

s – питома поверхня фітомаси пологу лісу;

c_d – емпіричний коефіцієнт опору пологу лісу;

Q – масова швидкість утворення газової фази.

N – кількість компонентів суміші газів.

Із представленої системи рівнянь видно, що вплив рослинності на поширення ударної хвилі враховано шляхом введення сили опору середовища в праву частину диференціальних рівнянь збереження імпульсу. Надходження додаткової хімічної енергії від горіння продуктів піролізу, що залучаються до вибуху, враховується через складові правої частини рівнянь переносу компонентів суміші.

В якості початкових умов використовувався розподіл термодинамічних параметрів, які отримані внаслідок рішення задачі сильного точкового вибуху в одновимірній циліндричній симетричній системі координат [8]:

$$P_{t=t_0} = P_0(x, z), u|_{t=t_0} = u_0(x, z), w|_{t=t_0} = w_0(x, z), e|_{t=t_0} = e_0(x, z), \quad (1.8)$$

Граничними умовами служили [8]:

$$u|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x}|_{x=0} = \frac{\partial P}{\partial x}|_{x=0} = \frac{\partial e}{\partial x}|_{x=0} = 0, \quad (1.9)$$

Поверхня землі представлялася умовою не протікання [8]:

$$w|_{x=0} = 0, \quad (1.10)$$

На інших межах розрахункової області прийняті умови [8]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x}|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z}|_{z=h_3} = 0, \quad \varphi = \{P, \rho, e, \vec{v}\}, \quad (1.11)$$

де φ – будь-який з параметрів стану середовища; l, h_3 – горизонтальний і

вертикальний розміри розрахункової області.

Модель в роботі [8] вимагає удосконалення у разі розширення сфери її застосування на заряди з суміші вибухонебезпечних газів. Це пов'язано з істотною відмінністю параметрів ударних хвиль, що виникають при вибухах конденсованих вибухових речовин і зарядів з суміші вибухонебезпечних газів. Наприклад, в роботі розподіл параметрів стану продуктів вибуху циліндричного заряду ПЖВ-20 знаходився з рішення автомодельної задачі. Застосування теорії точкового вибуху неприпустимо до заряду з суміші вибухонебезпечних газів, що мають, на відміну від вибуху конденсованих зарядів, просторовий розподіл енергії вибуху. Також використання автомодельного розподілу параметрів стану за фронтом стаціонарної детонаційної хвилі прийнятно лише в разі ініціювання детонації по осі циліндричного заряду, що на практиці не є доцільним. Тому потрібне окреме обґрунтування розподілу параметрів стану продуктів вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів [118].

Існує чимало робіт, наприклад [119-122], де проведено порівняння інтенсивностей ударних хвиль, що формуються від вибухів конденсованих вибухових речовин і паливноповітряних сумішей. Але ці оцінки відносяться до випадку поширення ударної хвилі в повітряному середовищі. Тому необхідно розробити математичну модель вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів у фітоценозі.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО БАР'ЄРУ ВИБУХОМ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ

2.1 Математичне моделювання вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів для створення протипожежного бар'єру

2.1.1 Математична модель вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів у фітоценозі

Для адекватного опису процесу вибуху газоподібної суміші в атмосфері використовується [117] система нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса для стисненого газу [123, 124]. Обмежені можливості сучасних комп'ютерів не дозволяють ефективно здійснювати пряме чисельне вирішення цих рівнянь. В даний час, чисельне моделювання турбулентних течій здійснюють шляхом рішення усереднених по Рейнольдсу-Фавру рівнянь Нав'є-Стокса, доповнених моделлю турбулентності [123-125].

Враховуючи відмінність термодинамічних властивостей продуктів детонації від повітря, постановка задачі здійснювалася для суміші, що складається умовно з двох компонентів – газоподібних продуктів детонації і повітря [118].

Система рівнянь, що описує нестационарний тривимірний перебіг двокомпонентної суміші газів в декартовій системі координат має вид [126-128]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0, \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial (P + \rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} + \frac{\partial \rho uw}{\partial z} = f_x, \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial (P + \rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial \rho vw}{\partial z} = f_y, \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \frac{\partial \rho uw}{\partial x} + \frac{\partial \rho vw}{\partial y} + \frac{\partial (P + \rho w^2)}{\partial z} = f_z, \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial [(E + P)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(E + P)v]}{\partial y} + \frac{\partial [(E + P)w]}{\partial z} = 0, \quad (2.5)$$

де v – складова вектора швидкості газового потоку \vec{q} по осі OX;

y – декартова координата по осі, перпендикулярній земній поверхні;

E – повна енергія одиниці об'єму суміші газів:

$$E = \rho \left(e + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) \right);$$

f_x, f_y, f_z – проекції сили опору середовища.

Закон перенесення компоненти суміші з урахуванням швидкості дифузії, має вид [129]:

$$\frac{\partial(\rho N)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u N)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v N)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w N)}{\partial z} = \rho \dot{N}, \quad (2.6)$$

де N – відносна масова густина домішки (відношення густини газоподібної речовини домішки до густини суміші);

$\rho \dot{N}$ – інтенсивність зміни густини домішки внаслідок дифузії (відповідно до закону Фіка – $\rho \dot{N} = \text{div}(\rho \vartheta_D \text{grad} N)$ [127];

ϑ_D – коефіцієнт дифузії, що визначався по методиці М.Е. Берлянда [128].

На відміну від моделі Грішина А.М. [8], в запропонованій моделі (2.1) – (2.6) [130] враховані процес дифузії і сила вітру, що дозволяє досліджувати переміщення газових мас на стадіях надзвукового та дозвукового розширення продуктів вибуху.

Система рівнянь (2.1) – (2.6) замикається рівняннями, що визначають теплофізичні властивості компонентів суміші. Властивості суміші, наприклад, питома теплоємність C_v , визначалися шляхом підсумовування складових, знаючи властивості газоподібної речовини домішки і «чистого» повітря [131]:

$$C_v = C_{v\varpi} N + C_{vA}(1 - N), \quad (2.7)$$

де A – індекс, який відповідає параметрам «чистого» повітря;

ϖ – індекс газоподібної речовини домішки (продуктів детонації).

Для ідеального політропного газу величина e пов'язана з P і ρ суміші залежністю [131]:

$$e = \frac{P}{(\gamma - 1)\rho}, \quad (2.8)$$

де γ – показник адіабати.

Різниця в параметрах продуктів детонації і повітря в рівняннях термодинаміки виражається у відмінності показників адіабати для даних газоподібних середовищ. Значення показника адіабати для повітря визначається за довідковими даними [132] і при кімнатній температурі складає $\gamma_{\text{пов}} = 1,4$. Стосовно продуктів детонації, що отримуються при вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, то показник адіабати визначатиметься хімічним складом продуктів вибуху і вимагає проведення окремих розрахунків.

2.1.2 Розрахунок параметрів стану продуктів вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Вибір типу газу, який доцільно використовувати в якості палива для наповнення заряду з суміші вибухонебезпечних газів, визначається виходячи з його детонаційної здатності, можливості зрідження, температури випаровування, широти промислового застосування, безпеки. Під детонаційною здатністю в даному випадку розуміється критична енергія ініціювання детонації і межі детонації в суміші з повітрям. Кількість вибухової речовини, необхідної для ініціювання вибуху, визначається, виходячи з критичної енергії ініціювання детонації. Вочевидь, що найбільш прийнятним буде використання палива, яке в суміші з повітрям володіє найменшим значенням критичної енергії. Межі детонації визначають вимоги до якості сформованої суміші. Чим ширше межі детонації, тим менш жорсткі вимоги до створення суміші з необхідним співвідношенням палива до повітря. За рахунок зрідження палива значно зменшуються габарити паливних ємностей. Температура випаровування палива визначає можливість створення газових сумішей в характерних для даної місцевості кліматичних умовах. Чим нижче температура випаровування, тим найбільш низька межа застосування в холодних кліматичних умовах. Під безпекою в даному випадку розуміється вибухобезпечність і отруйні властивості. Наприклад, ацетилен при невеликому тиску може детонувати навіть без окислювача, що робить його неприйнятним для використання в газоподібному вигляді як паливо, хоча даний газ детонує з повітрям в широких детонаційних межах і має дуже низьке значення критичної енергії ініціювання детонації [104].

Виходячи з вище переліченого комплексу вимог, в роботі [133, 134] запропоновано у якості палива для наповнення зарядів з суміші вибухонебезпечних газів застосування газів пропану, бутану або їх сумішей. Вимоги до складу газу визначаються згідно [135].

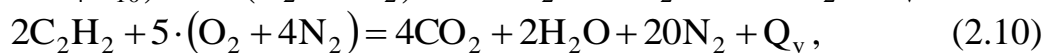
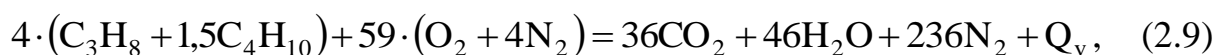
Параметри стану продуктів вибуху розраховувалися стосовно вибуху зарядів на основі стехіометричної суміші пропан-бутану технічного (СПБТ) із повітрям. Згідно даними (табл. 2.1), для такої суміші можна прийняти співвідношення пропану до бутану як $1 \div 1,5$.

Розрахунок параметрів вибуху від детонації суміші пропан-бутану технічного із повітрям при стехіометричному співвідношенні проведено у відповідність із методикою розрахунку, викладеною в роботі [136]. У зв'язку з тим, що в експериментальних дослідженнях проведених в даній роботі, використовувалася суміш ацетилену із повітрям, проведено порівняння параметрів детонаційних хвиль, що виникають в даних сумішах [134].

Таблиця 2.1 – Норми до зріджених вуглеводневих газів [135]

Найменування показника	Норми		
	Пропан технічний C ₃ H ₈	Бутан технічний C ₄ H ₁₀	Суміш Пропан- бутану технічна
Масова частка компонентів %:	–	–	–
метан-етан, не більш	2,0	–	4,0
пропан, не більш	–	1,0	–
не менше	95,0	–	40,0
сума бутану, не більш	5,0	–	60,0
не менше	–	98,0	–
у тому числі:	–	–	–
нормальний бутан, не менше	–	96,0	–
ізобутан, не більш	–	2,0	–
неграничні вуглеводні, не більш	2,0	відсутність	2,0

Хімічні реакції згорання стехіометричних сумішей СПБТ з повітрям і ацетилену з повітрям представимо у вигляді:



де Q_v – тепловий ефект реакції.

Для розрахунку енергії Q_v , яка виділяється в даній реакції, скористаємося довідковими даними по теплоті згорання палива (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Питома теплота згорання газоподібного палива (нижче значення) [136]

Паливо	Q_{CF} , кДж/кг
Пропан C ₃ H ₈	46919
Бутан C ₄ H ₁₀	46500
Ацетилен C ₂ H ₂	49900

З урахуванням масового співвідношення пропану до бутану в суміші ПБТ і молярної частки ацетилену, розрахуємо енергію Q_v , що виділяється в реакціях, за виразом [136]:

$$Q_v = \sum_i^s v_i M_i Q_{CFi}, \quad (2.11)$$

де v_i – стехіометричний коефіцієнт i -ї компоненти;

s – кількість горючих компонентів в реакціях (2.9) и (2.10);

M_i – молярна маса i -ї компоненти горючої суміші.

Молярні маси пропану, бутану і ацетилену рівні, відповідно: $M(C_3H_8) = 44$ г/моль, $M(C_4H_{10}) = 58$ г/моль, $M(C_2H_2) = 26$ г/моль. Звідси, для суміші СПБТ з повітрям $Q_v = 24440$ кДж, а для суміші ацетилену з повітрям маємо $Q_v = 2595$ кДж.

Процес детонаційного згорання відбувається практично при постійному об'ємі. Це дає підставу припускати, що енергія, що виділяється внаслідок хімічних реакцій, витрачається на нагрівання продуктів вибуху. Енергія продуктів вибуху, приведена до температури 273 К, розраховується за виразом [136]:

$$Q_v^0 = \sum_{i=1}^h v_i \Delta E_{Ti}, \quad (2.12)$$

де Q_v^0 – теплота вибуху, приведена до 273 К;

h – кількість компонентів продуктів реакцій (2.9) и (2.10);

ΔE_{Ti} – зміна внутрішньої енергії i -го продукту вибуху в інтервалі температур (273...Т) К.

Користуючись табличними даними по зміні енергії продуктів вибуху (табл. 2.3), визначимо температуру вибуху $T_{\text{внб}}$. Припустимо, що детонація виникає при початковій температурі $T_0 = 273$ К.

Таблиця 2.3 – Значення зміни внутрішньої енергії продуктів вибуху ΔE (кДж/моль) в інтервалі температур (273 ... Т) К [136]

T, К	CO ₂	H ₂ O _(г)	H ₂ O _(пл)	N ₂
2673	114,17	88,05	130,88	61,5
2873	125,02	97,09	139,92	67,24
3273	146,68	115,24	158,0	78,63
3473	157,75	124,52	167,28	84,44

Нехай температура вибуху $T_1 = 2673$ К, тоді для даної температури отримаємо кількість енергії, зосереджену в продуктах реакції (2.9), $Q_{v1}^0 = 22639$ кДж, а при температурі вибуху $T_2 = 2873$ К, отримаємо $Q_{v2}^0 = 24795$ кДж. Використовуючи подібний алгоритм розрахунку, для реакції (2.10) згорання ацетилену отримаємо, при температурі вибуху $T_1 = 3473$ К маємо $Q_{v1}^0 = 2569$ кДж, та при $T_2 = 3673$ К отримаємо $Q_{v2}^0 = 2812$ кДж.

Вважаючи, що в невеликому температурному інтервалі ($\Delta T = 200$ К) внутрішня енергія змінюється лінійно з температурою, отримаємо температуру вибуху для суміші СПБТ з повітрям [136]:

$$T_{\text{виб}} = T_2 - \frac{(Q_{v2} - Q_v)}{Q_{v2} - Q_{v1}} \cdot \Delta T. \quad (2.13)$$

Для суміші СПБТ з повітрям температура вибуху складе $T_{\text{виб}} \approx 2842$ К, для ацетилену з повітрям температура вибуху складе $T_{\text{виб}} \approx 3480$ К.

Для розрахунку показника адіабати продуктів вибуху визначимо середні теплоємності при постійному об'ємі C_v і постійному тиску C_p , відповідно [136]:

$$C_v = \frac{Q_v}{T_{\text{виб}} - T_0}, \quad (2.14)$$

$$C_p = \sum_{i=1}^j C_{vi} + R \cdot j, \quad (2.15)$$

де R – універсальна газова стала, Дж/(моль · К),

j – повне число молей i -х компонентів в продуктах реакції.

Отримаємо $C_v = 9513$ Дж/К, $C_p = 12156$ Дж/К.

Показник адіабати визначимо за виразом [136]:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}. \quad (2.16)$$

У продуктах вибуху суміші СПБТ з повітрям показник адіабати складає $\gamma = 1,278$. Для продуктів детонації, що отримуються в результаті згорання ацетилену в повітрі, отримаємо показник адіабати $\gamma = 1,267$.

Температуру у фронті хвилі детонації T_n розрахуємо за виразом [136]:

$$T_n = \frac{2\gamma}{\gamma + 1} \cdot T_{\text{виб}}. \quad (2.17)$$

Для заряду на стехіометричній суміші СПБТ з повітрям температура газу у фронті хвилі детонації складе $T_n = 3189$ К. Для суміші ацетилену з повітрям отримаємо $T_n = 3889$ К.

Швидкість детонації D_n , визначається за виразом [81]:

$$D_n = \frac{\gamma + 1}{\gamma} \sqrt{\frac{\gamma \cdot R}{M_n} \cdot T_n}, \quad (2.18)$$

де M_n – середня молекулярна вага продуктів детонації.

Середня молекулярна вага продуктів детонації для хімічної реакції СПБТ з повітрям дорівнює $M_n = 28,36$ г/моль. Для суміші ацетилену з повітрям отримуємо $M_n = 29,69$ г/моль.

За виразом (2.18) розрахуємо швидкість детонації в суміші СПБТ з повітрям, яка складе $D_n = 1947$ м/с. В суміші ацетилену з повітрям швидкість детонації досягне $D_n = 2101$ м/с [133].

Тиск P_n у фронті хвилі детонації визначається за виразом [81]:

$$P_n - P_0 = \frac{\rho_0 D_n^2}{\gamma + 1} \cdot \left(1 - \frac{C_0^2}{D_n^2} \right), \quad (2.19)$$

де ρ_0 – густина вихідної паливноповітряної суміші;

C_0 – швидкість звуку у вихідній газовій суміші;

P_0 – початковий тиск в паливноповітряній суміші.

Оскільки при $T_0 = 273$ К густина вихідної суміші СПБТ з повітрям $\rho_0 = 1,32$ кг/м³, $C_0 \approx 300$ м/с, тоді отримуємо $P_n - P_0 \approx 2,13$ МПа.

Для суміші ацетилену з повітрям при $T_0 = 273$ К густина вихідної суміші складає $\rho_0 \approx 1,29$ кг/м³, $C_0 \approx 330$ м/с, що дає скачок тиску $P_n - P_0 \approx 2,45$ МПа.

Слід врахувати, що тиск, який визначається виразом (2.19), показує тиск у фронті ударної хвилі. Відомо [133], що за фронтом хвилі тиск в продуктах детонації зменшується практично в два рази. Саме тиск за фронтом хвилі визначає динаміку розширення продуктів детонації. Його величину можна визначити за виразом [137, 138]:

$$P_d = R \cdot T \cdot \rho / M_n. \quad (2.20)$$

Підставляючи раніше наведені значення у вираз (2.20), отримуємо для суміші СПБТ з повітрям $P_d \approx 1,1$ МПа, а для суміші ацетилену з повітрям $P_d \approx 1,4$ МПа. Таким чином, тиск продуктів детонації в стехіометричній суміші ацетилену з повітрям перевищить тиск продуктів детонації в стехіометричній суміші СПБТ з повітрям на 27 %. В разі відхилення співвідношення компонентів в суміші ацетилену з повітрям від стехіометричного складу досягається тиск продуктів детонації, близький до тиску продуктів вибуху суміші СПБТ з повітрям. Із-за простоти отримання суміші ацетилену з повітрям за рахунок розкладання карбіду кальцію, в експериментальних дослідженнях досліджувалася ударна дія вибуху зарядів на основі суміші ацетилену з повітрям [133].

2.1.3 Початкові і граничні умови задачі газодинамічного розширення продуктів вибуху заряду у фітоценозі при створенні протипожежного бар'єру

Розглянемо задачу розширення продуктів вибуху в постановці

миттєвого вибуху. У такому разі точка ініціювання детонації не впливає на результати моделювання, оскільки не впливає на початковий розподіл параметрів продуктів вибуху.

Ширина протипожежного бар'єру залежатиме від енергії вибуху, яка, у тому числі, визначається діаметром заряду з суміші вибухонебезпечних газів. На ширину протипожежного бар'єру також впливатиме просторове розташування заряду у фітоценозі і кількість застосованих зарядів та їх взаємне розміщення. Тому рішення задачі проводилося [140] для різних зарядів і умов їх розміщення.

У початковий момент часу у всіх осередках розрахункової області зовні заряду з СВНГ прийняті параметри стану газу, відповідні до стану довкілля. Швидкість набігаючого потоку вітру задавалася рівною $q_z = 3$ м/с як середня швидкість вітру (влітку в жаркий період) для м. Харкова і Харківської області [141]).

Перший варіант початкових умов. Представляє інтерес порівняти ефективність ударної дії, що виникає від вибуху шнурових зарядів на основі конденсованих вибухових речовин і зарядів з суміші вибухонебезпечних газів. Дане порівняння буде коректним в разі використання в розрахунках зарядів з рівним значенням запасеної енергії на одиницю довжини заряду. Тому була розрахована енергія вибуху шнурового заряду, застосованого для локалізації лісових пожеж, а заряд з СВНГ було підбрано так, щоб володів тією ж енергією вибуху [118].

Для локалізації пожеж використовують штатний шнуровий заряд ЕШ-1П [142, 143]. Він є профільованим еластичним шнуром з ефективним діаметром $d_3 = 0,022$ м і початковою густиною $\rho_{10} = 1052$ кг/м³ і, згідно [82], складається в основному з гексогену, для якого теплота вибуху при вказаній густині $Q_v = 5447$ кДж/кг і параметри детонації в точці Чепмена-Жуге: $P_{1*} = 104 \cdot 10^8$ Па, $\rho_{1*} = 1441$ кг/м³ и $D = 6050$ м/с. Розрахунок запасеної енергії Q_3 на одиницю довжини заряду з СВНГ отримаємо з виразу:

$$Q_3 = Q_v \cdot \rho_{10} \cdot \pi \cdot d^2 / 4. \quad (2.21)$$

Для заряду ЕШ-1П величина запасеної енергії складає $Q_3 = 2178$ кДж/м.

Користуючись формулою (2.21), розрахуємо діаметр заряду заповненого сумішшю СПБТ з повітрям в стехіометричному співвідношенні, при якому такий заряд володітиме запасеною енергією, еквівалентною заряду ЕШ-1П. Для даної суміші питома масова енергія вибуху $Q_v = 2709$ кДж/кг (на 1 кг суміші), та $\rho_{10} = 1,32$ кг/м³. Враховуючи факт, що в математичній моделі параметри середовища задаються в осередку прямокутної форми з відповідним зменшенням наповненості об'єму круглого перетину, прийmemo вихідну область заряду [104], обмежену діаметром 1 м.

У першому розрахунковому варіанті розташування заряду у фітоценозі задавалося згідно схеми (рис. 2.1). Розрахункова область включає рослинний масив із однорідними властивостями по висоті дерев, розташований в ньому заряд з суміші вибухонебезпечних газів і частина приземного шару атмосфери. Згідно [8], однорідний по висоті фітоценоз реалізується, наприклад, для хвойних молодняків з достатньо високим шаром трав'яної рослинності.

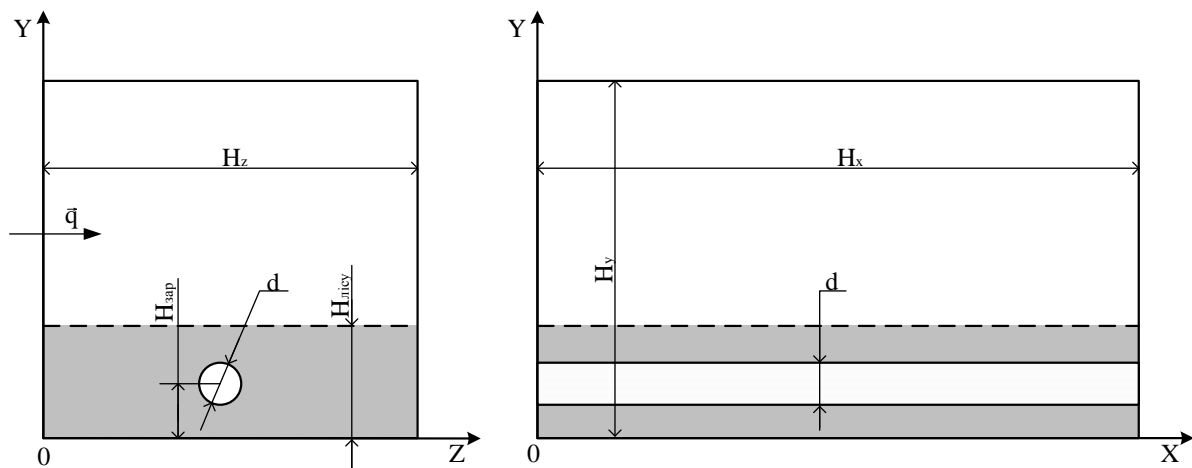


Рис. 2.1. Схема завдання початкових умов вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів в полозі лісу по першому розрахунковому варіанту

Для порівняння далекобійностей вибуху циліндричного заряду КВР і заряду з СВНГ, розміри розрахункової області задавалися у відповідність з вихідними умовами математичного завдання роботи [8]. У роботі [8] під далекобійністю вибуху в деякому напрямі \vec{l} розуміють відстань, яка пройдена ударною хвилею від центру заряду до точки простору, що належить променю \vec{l} , в якій надлишковий тиск у фронті ударної хвилі вперше став менше наперед заданої критичної величини $\Delta P_* = P_* - P_0$, де P_0 – тиск в незбуреному середовищі, P_* – тиск у фронті ударної хвилі. Висота фітоценозу задавалася $H_{\text{лісу}} = 3$ м. Оскільки найбільша інтенсивність ударної хвилі в разі вибуху заряду ЕШ-1П досягалася при його розташуванні на висоті 1,5 м, то в початкових умовах також закладалося розташування заряду з суміші вибухонебезпечних газів на висоті $H_{\text{зар}} = 1,5$ м. Для порівняння ударних дій вибухів ЕШ-1П і заряду з суміші вибухонебезпечних газів [118] в розрахунках коефіцієнт опору середовища задавався $sc_d = 0,7$ відповідно. Тобто розрахунок здійснювався у відповідності з наступними умовами [8]:

$$f_i = -sc_d \cdot \rho \cdot q_i \cdot |\vec{q}|, \text{ де } sc_d = \begin{cases} 0; & H_y > H_{\text{лісу}} \\ 0,7; & H_y \leq H_{\text{лісу}} \end{cases}, \quad (2.22)$$

де q_i – проекції вектора швидкості вітру на задану вісь, $q_i \in \{u, v, w\}$;

sc_d – параметр, що характеризує силу опору одиниці об'єму фітоценозу [м^{-1}];

i – індекси відповідних проекцій на осі X, Y, Z в декартовій системі координат;

$$|\vec{q}| \text{ – модуль вектора швидкості, рівний } |\vec{q}| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} .$$

Вибір мінімальних розмірів розрахункової області ґрунтувався на наступному. У роботі [8] приведені результати експериментальних досліджень по взаємодії вибухової хвилі з рослинністю. Для досліджень використовувався рівний майданчик, на якому вкопувалися молоді свіжозрубані сосни і створювалися дві лісові смуги розмірами $3 \times 10 \times 3$ м, де перший розмір – ширина, другий – довжина, третій – висота. У представленій моделі розміри розрахункової області перевершували розміри області наведених вище досліджень, тобто $H_x = 20$ м, $H_y = 8$ м, $H_z = 10$ м.

Таким чином, початкові умови для першого розрахункового варіанту мають наступний вигляд. В області детонації заряду з суміші вибухонебезпечних газів:

$$(y - H_{\text{зар}})^2 + \left(z - \frac{H_z}{2}\right)^2 < \frac{d^2}{4}, \quad 0 < x < H_x, \quad (2.23)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 1,4$ МПа; $T|_{t=0} = 3480$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,267$, $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$; $N|_{t=0} = 1$.

В області повітряного простору:

$$H_{\text{лісу}} < y < H_y, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad (2.24)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 3$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

В області фітоценозу:

$$\begin{cases} 0 < y < H_{\text{лісу}} \\ (y - H_{\text{зар}})^2 + \left(z - \frac{H_z}{2}\right)^2 \geq \frac{d^2}{4}, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \end{cases} \quad (2.25)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

Другий варіант початкових умов. З практичної точки зору підвішування заряду є трудомістким процесом. Більш того, поширення пожежі в лісі забезпечується переважно за рахунок низової пожежі. Тому представляє інтерес створення протипожежного бар'єру на земній

поверхні. Для цього заряд з СВНГ необхідно розташовувати безпосередньо поверх наземного горючого матеріалу. В цьому випадку по другому варіанту в математичній моделі [118] розташування заряду має вид (рис. 2.2).

Розмір області моделювання уздовж осі OZ дорівнює 4 м. У розрахунковій області, обмеженої діаметром d , у осередках 4 на початковий момент часу параметри газу відповідають стану продуктів детонації, яка виникла в результаті миттєвого вибуху.

Для початкових умов з одним зарядом з СВНГ досліджувалися розрахункові варіанти з діаметром заряду $d = \{0,95; 1,3; 1,8\}$. Коефіцієнт опору середовища в разі реалізації вибуху в листяному і змішаному лісі, а також поверх наземного горючого матеріалу може відрізнитися від коефіцієнта опору середовища для молодого густого хвойного лісу. Тому, в моделі коефіцієнт опору мав значення $sc_d = \{0,5; 0,6; 0,7\}$. Товщина шару наземного горючого матеріалу приймалася рівною $h = 0,1$ м.

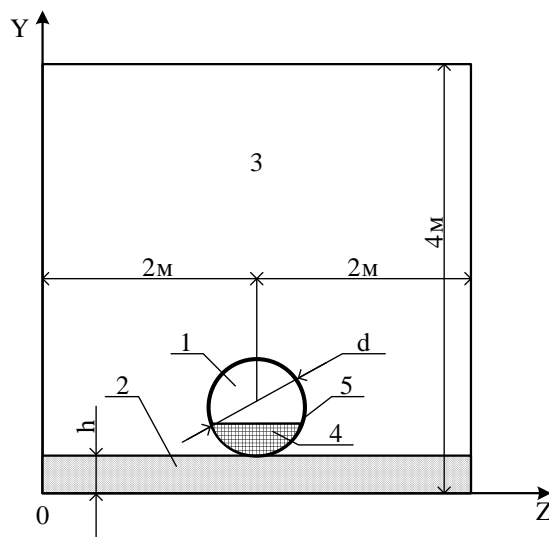


Рис. 2.2. Розміщення заряду з суміші вибухонебезпечних газів поверх наземного горючого матеріалу за другим варіантом: 1 – продукти детонації, 2 – шар рослинності, 3 – повітря, 4 – місце розрахунку, 5 – початкова межа розміщення продуктів детонації, h – товщина шару покриву, d – діаметр заряду

Таким чином, початкові умови для другого розрахункового варіанту мають наступний вид. В області детонації заряду з суміші вибухонебезпечних газів:

$$\left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2}\right)^2 < \frac{d^2}{4}, \quad 0 < x < H_x, \quad (2.26)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 1,4$ МПа; $T|_{t=0} = 3480$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,267$, $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$; $N|_{t=0} = 1$.

В області повітряного простору:

$$h < y < H_y, 0 < x < H_x, 0 < z < H_z, \left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2}\right)^2 \geq \frac{d^2}{4} \quad (2.27)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 3$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

В області фітоценозу:

$$0 < y < h, 0 < x < H_x, 0 < z < H_z, \quad (2.28)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

Третій варіант початкових умов. В основу покладено припущення, що розподіл зарядів дозволяє підвищити ширину протипожежного бар'єру. Тому, по третьому варіанту розташування зарядів в області моделювання задавалося згідно схеми (рис. 2.3).

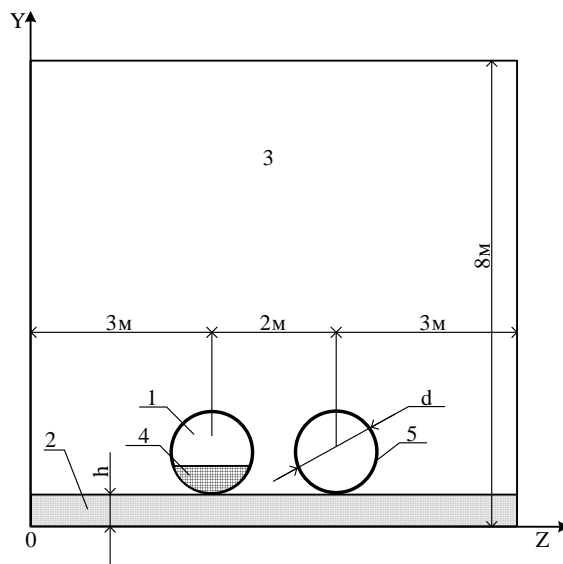


Рис. 2.3. Розміщення заряду з суміші вибухонебезпечних газів в розрахунковій області за третім варіантом: 1 – продукти детонації, 2 – шар рослинності, 3 – повітря, 4 – місце розрахунку, 5 – початкова межа розташування продуктів детонації, h – товщина шару покрову, d – початковий діаметр заряду

Відстань між осями зарядів прийнята рівною 2 м, що відповідає середній відстані між коліями пожежного автомобіля. При великій висоті наземного горючого матеріалу укладання зарядів по колії дозволяє їх наблизити до землі і тим самим підвищити енергоефективність вибуху.

Для початкових умов з двома зарядами з СВНГ досліджувалися розрахункові варіанти з діаметром заряду $d = \{0,95; 1,3\}$. Товщина шару наземного горючого матеріалу приймалася рівною $h = 0,1$ м.

Таким чином, початкові умови для третього розрахункового варіанту

мають наступний вигляд. В області детонації заряду:

$$\left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2} + 1\right)^2 < \frac{d^2}{4}, \quad \left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2} - 1\right)^2 < \frac{d^2}{4},$$

$$0 < x < H_x, \quad (2.29)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 1,4$ МПа; $T|_{t=0} = 3480$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,267$, $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$; $N|_{t=0} = 1$.

В області повітряного простору:

$$h < y < H_y, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad \left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2} + 1\right)^2 \geq \frac{d^2}{4},$$

$$\left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2} - 1\right)^2 \geq \frac{d^2}{4} \quad (2.30)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 3$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

В області фітоценозу:

$$0 < y < h, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad (2.31)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

Граничні умови. Земна поверхня в розрахунках представлялася у вигляді множини непроникних ділянок, які у сукупності моделюють розрахункову область поверхонь [118]. На цих поверхнях виконувалася умова непротікання: $q\vec{n} = 0$, де \vec{n} – вектор нормалі до даної поверхні.

При постановці граничних умов вважається, що витратна складова швидкості вітру не перевершує швидкість звуку. Набігаючий потік газоподібної речовини на вході певної ділянки визначається величинами:

$$- \text{повної ентальпії } I_{00} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2), \quad (2.32)$$

$$- \text{функції ентропії } S_0 = \frac{P}{\rho^\gamma}, \quad (2.33)$$

– відносною масовою густиною домішки Q ($Q \leq 1$, при надходженні газоподібної речовини домішки).

Параметри потоку на вході визначаються з рівнянь (2.32, 2.33) із залученням співвідношення для “лівого” інваріанта Рімана [127, 144].

Граничні умови на виході з ділянки задавалися на поверхнях тих граней обчислювальних осередків, які примикають до меж розрахункової області, і через які передбачається витікання суміші. У вихідних областях, окрім атмосферного тиску P_a , використовувалися співвідношення для “правого” інваріанта Рімана [127, 144].

В якості початкового наближення в осередках розрахункової області задавалися параметри потоку газоподібної суміші всередині займаного об'єму, що задовольняють умови на виході з розрахункової області.

2.1.4 Алгоритм чисельного розрахунку вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Розрахунок вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів в положі лісу проведено з використанням апробованої програми FIRE, розробленої на кафедрі інформатики НАУ ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» [129]. Програму застосовано для розрахунку удосконаленої автором математичної моделі вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів [105] шляхом урахування опору рослинного горючого матеріалу та введенням відмінних властивостей середовища по розрахункових осередках. У даній програмі використовується алгоритм чисельного розв'язання основних рівнянь моделі на базі законів збереження з використанням схеми розпаду довільного розриву. Розрахунковою областю Ω є паралелепіпед з прямолінійними утворюючими, розташований в правій декартовій системі координат (X, Y, Z) де вісь Y орієнтована в напрямі, протилежному до дії сил тяжіння Землі.

Для отримання розрахункової схеми рівняння (2.1) – (2.5) представлені в інтегральній формі для кожного розрахункового осередку [129]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \vec{a} dV + \iint_{\sigma} B d\vec{\sigma} = \iiint_V \rho \vec{f} dV, \quad (2.34)$$

де V – об'єм елементарного розрахункового осередку;

$\vec{\sigma}$ – обмежуюча поверхня даного осередку, яке має зовнішню нормаль \vec{n} ($\vec{\sigma} = \sigma \vec{n}$);

B – тензор густини потоку консервативних змінних, стовпцями якого є вектори \vec{b} , \vec{c} і \vec{d} ,

де $\vec{b} = [\rho u, P + \rho u^2, \rho uv, \rho uw, (E + P) u]^T$;

$\vec{c} = [\rho v, \rho uv, P + \rho v^2, \rho vw, (E + P) v]^T$;

$\vec{d} = [\rho w, \rho uw, \rho vw, P + \rho w^2, (E + P) w]^T$.

Закон перенесення компонентів суміші (2.6) в інтегральній формі для кожного розрахункового осередку має вид [129]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho N dV + \iint_{\sigma} \rho N \bar{q} d\bar{\sigma} = \iiint_V \rho \dot{N} dV. \quad (2.35)$$

Рівняння (2.34, 2.35) допускають виникнення і існування поверхонь розриву двох видів: ударних хвиль і тангенціальних розривів. Функції, що задовольняють даним рівнянням, можна розглядати як узагальнені рішення рівнянь газової динаміки. Використання інтегральних законів збереження в якості початкових для побудови різницевих рівнянь забезпечує побудову розривних рішень без виділення розривів [118].

У основу чисельного розрахунку покладено метод кінцевих об'ємів [129]. Розрахункова область розбивалася трьома сімействами поверхонь на кінцеве число просторових осередків. Розміри граней були підбрані відповідно до характерного розміру особливостей розрахункової області [118].

У чисельному алгоритмі положення будь-якого осередку визначалося набором індексів i, j, k ($i = 0 \dots L; j = 0 \dots M; k = 0 \dots N$). В результаті, в даній системі кожна грань осередку може бути визначена через сітку трійки чисел, виражена одним цілим і двома напівцілими числами, а номер елементарного об'єму виражається через трійку напівцілих чисел ($i - 1/2, j - 1/2, k - 1/2$). Параметри суміші газів для фіксованого часу t^n усередині кожного осередку вважаються постійними, усередненими за її обсягом і такими, що змінюються при переході від одного осередку до іншого. В основу обчислення поверхневих інтегралів взяте положення, що газодинамічні величини, що викликають потоки через грані осередків, не змінюються протягом даного інтервалу часу τ , а алгоритм розрахунку потоків імпульсу, маси і енергії через грані осередків різницевої сітки будується на підставі рішення задачі про розпад довільного розриву [144].

Сукупність газодинамічних параметрів у всіх осередках у момент часу t^n є відомим рішенням на часовому шарі n . Параметри у момент часу $t^{n+1} = t^n + \tau$ (на шарі $n + 1$) розраховувалися за допомогою застосування явних різницевих апроксимацій для співвідношень в рамках інтегро-інтерполяційного методу Годунова [129]. Відповідно до даного методу розв'язок знаходиться за наступною схемою [129]:

$$\begin{aligned} \bar{a}_{i-1/2, j-1/2, k-1/2}^{n+1} = & \bar{a}_{i-1/2, j-1/2, k-1/2}^n - \tau \left[(\hat{A}\bar{\sigma})_{i-1, j-1/2, k-1/2} + \right. \\ & + (\hat{A}\bar{\sigma})_{i, j-1/2, k-1/2} + (\hat{A}\bar{\sigma})_{i-1/2, j-1, k-1/2} + (\hat{A}\bar{\sigma})_{i-1/2, j, k-1/2} + \\ & \left. + (\hat{A}\bar{\sigma})_{i-1/2, j-1/2, k-1} + (\hat{A}\bar{\sigma})_{i-1/2, j-1/2, k} \right] / V_{i-1/2, j-1/2, k-1/2} + \\ & + \tau (\rho \vec{f})_{i-1/2, j-1/2, k-1/2} \end{aligned}, \quad (2.36)$$

$$\begin{aligned}
(\rho N)_{i-1/2, j-1/2, k-1/2}^{n+1} = & (\rho N)_{i-1/2, j-1/2, k-1/2}^n - \tau \left[(\rho N \bar{q} \bar{\sigma})_{i-1, j-1/2, k-1/2} + \right. \\
& + (\rho N \bar{q} \bar{\sigma})_{i, j-1/2, k-1/2} + (\rho N \bar{q} \bar{\sigma})_{i-1/2, j-1, k-1/2} + (\rho N \bar{q} \bar{\sigma})_{i-1/2, j, k-1/2} + \\
& + (\rho N \bar{q} \bar{\sigma})_{i-1/2, j-1/2, k-1} + (\rho N \bar{q} \bar{\sigma})_{i-1/2, j-1/2, k} \left. \right] V_{i-1/2, j-1/2, k-1/2} + \\
& + \tau (\rho N_t)_{i-1/2, j-1/2, k-1/2};
\end{aligned} \quad (2.37)$$

де $(\hat{A}\bar{\sigma})_{l,m} = (\hat{A}_{l,1}\alpha_m + \hat{A}_{l,2}\beta_m + \hat{A}_{l,3}\varepsilon_m)\sigma_m$, $l=1..5$;

$\hat{A}_{l,i}$ – компоненти тензору \hat{A} виду, стовпцями якого є вектори \vec{b} , \vec{c} , \vec{d} системи рівнянь (2.1 – 2.5), тобто:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \rho u & \rho v & \rho w \\ P + \rho u^2 & \rho v u & \rho w u \\ \rho u v & P + \rho v^2 & \rho w v \\ \rho u w & \rho v w & P + \rho w^2 \\ (E + P)u & (E + P)v & (E + P)w \end{bmatrix},$$

де $\bar{\sigma}_m = \sigma_m \vec{n}$; $\vec{n} = (\alpha, \beta, \varepsilon)$ – вектор одиничної нормалі до бокової грані σ_m ;

m – трійка чисел, що визначає бокову грань m осередки з номером $(i-1/2, j-1/2, k-1/2)$.

Вирази для потоків векторів і тензорів через бокові грані елементарного об'єму прийнято називати “великими” величинами, на відміну від “малих” величин – кусково-постійних значень газодинамічних параметрів у осередках [129]. Таким чином, відповідно до рівнянь (2.36, 2.37) для визначення малих величин $(\vec{a}, N)^{n+1}$ у момент часу t^{n+1} для осередку з номером $(i-1/2, j-1/2, k-1/2)$ необхідно знати малі величини $(\vec{a}, N)^n$ у момент часу t^n в цьому ж осередку і великі величини цих параметрів на бокових гранях даного осередку.

Площі граней елементарних об'ємів знаходилися за наступними формулами. Враховуючи, що порядок апроксимації різницевої схеми не вище першого [131], визначаємо площі граней із точністю до величини другого порядку малості відносно довжини кроків різницевого розбиття:

$$\sigma_x = \frac{(h'_y + h''_y)h_z}{2\varepsilon_x}, \quad \sigma_y = \frac{(h'_z + h''_z)(h'_x + h''_x)}{4\beta_y}, \quad \sigma_z = \frac{(h'_y + h''_y)h_x}{2\alpha_z}, \quad (2.38)$$

де h_x, h_y, h_z – кроки різницевої сітки у напрямі координатних осей X, Y, Z .

Один штрих і два штрихи, відповідно, позначають менший і більший номери ребер, що обмежують бокову грань.

Об'єм осередку можна представити у вигляді:

$$V = \sigma_y \beta_y \langle h_y \rangle, \quad (2.39)$$

де $\langle h_y \rangle$ – середній для осередку крок в напрямі y .

Нижні індекси у формулах (2.38), (2.39) визначають приналежність використовуваних параметрів до поверхонь, нормалі до яких орієнтовані y напрямі відповідних осей вибраної системи координат.

При цьому межі осередку є нестійкими поверхнями довільного розриву, які розпадаються на стійкі хвилеві елементи: ударну хвилю, контактну поверхню і хвилю розрідження. Для кожного такого розриву визначаються потоки маси, імпульсу, енергії через грані газових осередків.

Стійкість кінцево-різницевої схеми забезпечується за рахунок вибору величини кроку за часом (умова Куранта) [129]:

$$\tau \leq \frac{\tau_x \tau_y \tau_z}{\tau_x \tau_y + \tau_y \tau_z + \tau_x \tau_z}, \quad (2.40)$$

де τ_x, τ_y, τ_z – часові інтервали, за які хвилі, що утворилися в задачі про розпад розриву [129], досягають протилежних граней осередку по осях X, Y, Z .

Відповідно до формули (2.40) для кожного осередку використовувалося мінімальне по осередках розрахункової області значення часового кроку.

2.2 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі

2.2.1 Залежність ступеня обривання рослинного горючого матеріалу від інтенсивності ударної хвилі

Результати чисельного моделювання дають поля тисків на різні моменти часу. Для переведення отриманих результатів за полями тисків завширшки смуги протипожежного бар'єру потрібно знати залежність ступеня обривання РГМ від тиску у фронті ударної хвилі. Дана залежність отримана на підставі обробки даних робіт [145, 146].

Згідно [145, 146], одна з умов, при виконанні якої відбувається зрив горіння і припинення поширення пожежі, визначається наступною нерівністю:

$$\rho_c < \rho_*, \quad (2.41)$$

де ρ_c – густина шару рослинного горючого матеріалу;

ρ_* – критична густина шару рослинного горючого матеріалу.

Таким чином, за рахунок дії ударної хвилі на рослинність необхідно зменшити густину шару РГМ до значень, менше критичних [147].

Кількісне визначення критичного значення ρ_* зроблене в роботі [8]. Запас РГМ в лісовому біогеоценозі визначався з експериментального факту, що полягає в тому, що у фронті лісової пожежі згорають лише хвоїнки і тонкі (діаметром не більше 7 мм) вітки дерев. Методика визначення ступеня обривання РГМ полягала в наступному. На контрольній смузі, яка складалася з групи дерев, кожне дерево зважувалося перед дією вибухової хвилі і після вибуху заряду ВР та згорання, залишок після ударної дії хвої та тонких віток. Ступень обривання для кожного дерева визначався за формулою [8]:

$$\chi = (M_1 - M_3) / (M_1 - M_2), \quad (2.42)$$

де M_1 – первинна маса дерев;

M_2 – маса після вибуху;

M_3 – маса після згорання.

В результаті проведеного аналізу в роботі даних по ступеню обривання РГМ і інтенсивності ударної хвилі отримані наступні дані (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Залежність ступеня обривання РГМ від тиску ударної хвилі

Надлишковий тиск у фронті ударної хвилі, 10^5 Па	11,2	10,2	4,75	3,5	1,2	0,4
Ступень обривання РГМ	0,87	0,86	0,79	0,77	0,75	0,29

В результаті досліджень встановлено, що критичне значення густини шару РГМ в соснових молодняках дорівнює $\rho_* = 0,2$ кг/м³. Такі критичні значення густини досягаються при ступені обривання елементів РГМ, рівною 0,75. Як видно за даними роботи [8], такий ступень обривання реалізується при надлишку тиску близько 1,2 атм.

На підставі аналізу літератури [8], приймалося, що обрив РГМ із ступенем обривання $\chi = 0,75$ забезпечує ударна хвиля з надлишковим тиском на фронті більше ніж $\Delta P = 1,2 \cdot 10^5$ Па. Тому, чисельним моделюванням розраховувалося поля тисків, що виникають при вибуху зарядів з СВНГ у фітоценозі. А ширина ПБ визначалася виходячи з аналізу максимальних значень тисків, що досягаються у фронті ударної хвилі.

2.2.2 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі для першого варіанту початкових умов (2.23) – (2.25)

За результатами чисельного моделювання була отримана динаміка зміни термогазодинамічних параметрів в процесі вибуху циліндричного заряду з СВНГ в модельованому фітоценозі [118]. Результати моделювання розподілу тиску, температури продуктів детонації в поперечному перетині до осі заряду приведені до різних моментів часу (рис. 2.4 – 2.8).

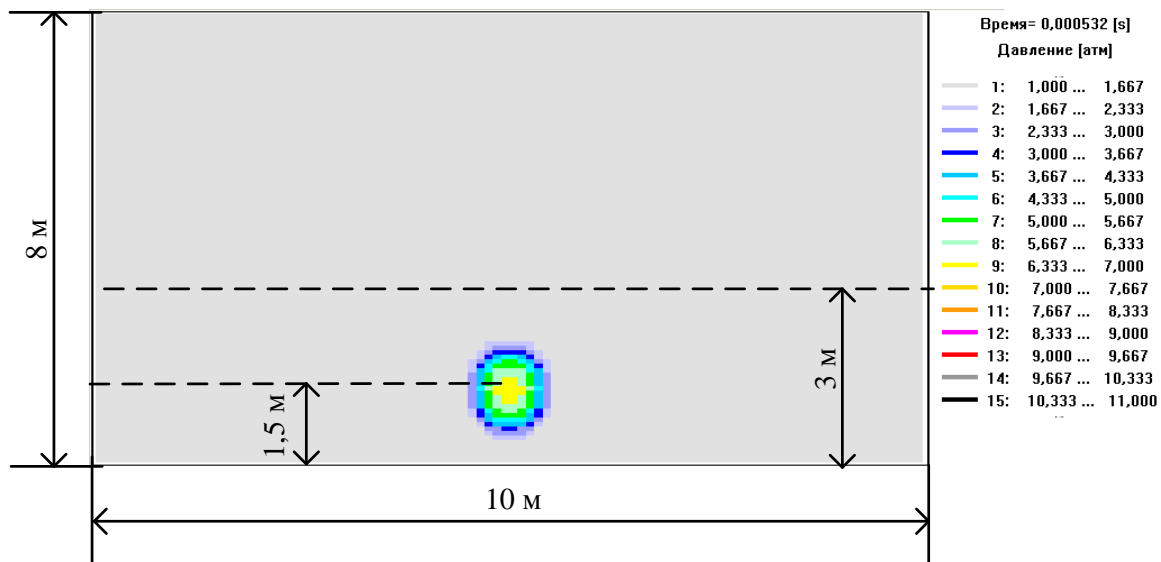


Рис. 2.4. Поле тиску, що формується на момент 0,0005 с від початку розльоту продуктів детонації

Тиск газів в центрі вибуху знижується до атмосферного за декілька мілісекунд. Так, до моменту часу, рівному 0,5 мс, тиск в епіцентрі вибуху падає до 6,8 атм., а до моменту часу, рівному 1,5 мс, тиск зменшується до 3,76 атм [118].

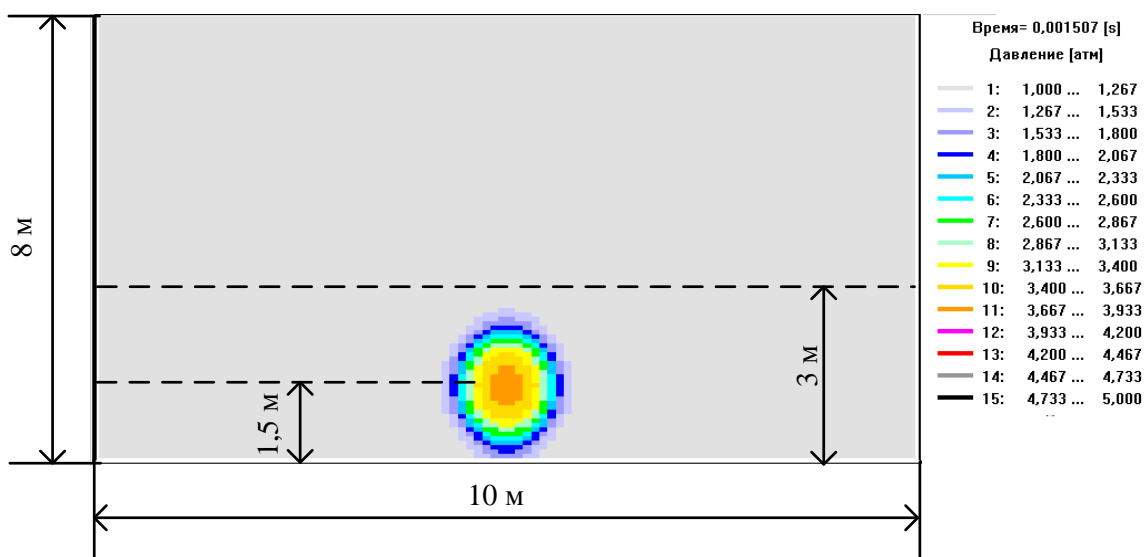


Рис. 2.5. Поле тиску, що формується на момент 0,0015 с від початку розльоту продуктів детонації

Симетричність розподілу термодинамічних параметрів в поперечному перетині від умовної осі, коли ударна хвиля є достатньо інтенсивною, підтверджує результат, отриманий в роботі [8], про практичну відсутність впливу вітру на процес взаємодії ударної хвилі із фітоценозом.

Зменшення температури газу в епіцентрі вибуху відбувається повільніше, ніж зменшення тиску (рис. 2.6).

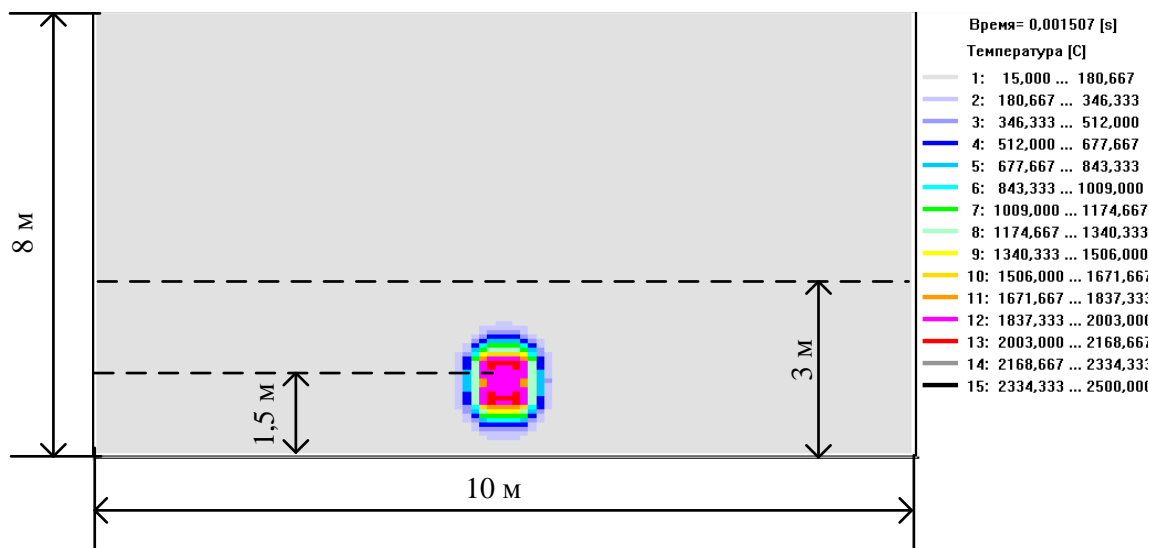


Рис. 2.6. Поле температури, що формується на момент 0,0015 с від початку розльоту продуктів детонації

Так, до моменту часу, рівному 0,5 мс, температура в епіцентрі вибуху складає 2457 °С, а до моменту часу, рівному 1,5 мс, температура падає до 2218 °С.

Отриманий результат (рис. 2.7) показує, що до моменту часу, рівному близько 3,5 мс від початку розширення продуктів вибуху, відбувається взаємодія ударної хвилі із земною поверхнею з відповідним її відбиванням. Це призводить до зменшення швидкості затухання ударної хвилі в процесі її поширення вздовж земної поверхні [118].

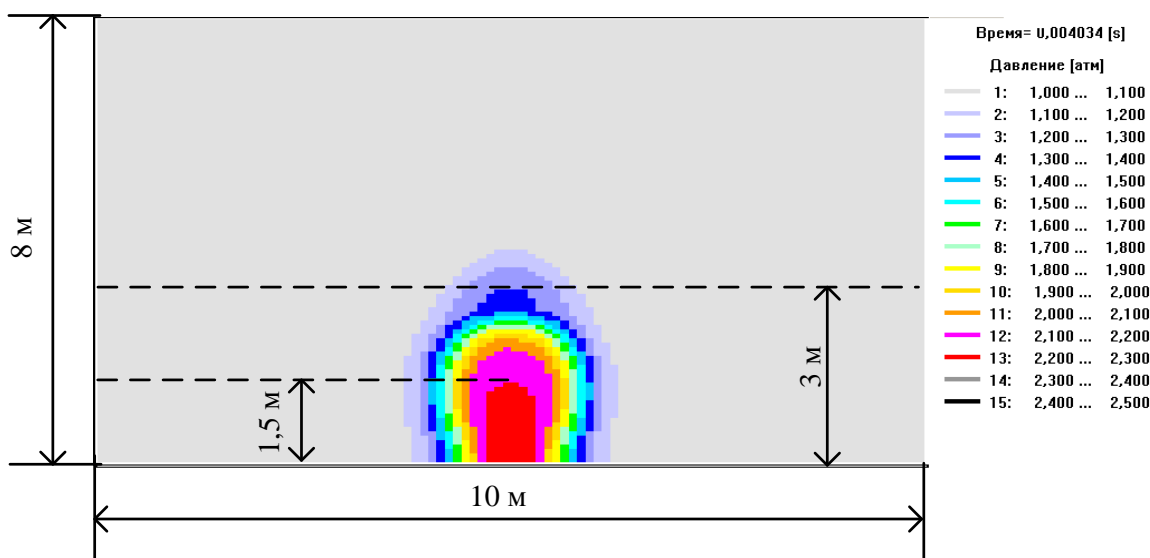


Рис. 2.7. Взаємодія ударної хвилі із земною поверхнею

На момент часу, рівний 20 мс, максимальний тиск продуктів вибуху не перевищує 1,2 атм (рис 2.8) [118].

При цьому, в процесі поширення ударної хвилі поза фітоценозом,

тиск в ній падає стрімкіше.

Для аналізу піків тисків, що реалізуються на різній висоті від земної поверхні, результати обчислень даного параметра виводилися для площин, розташованих на висотах 0,2 м, 1,5 м і 2,8 м.

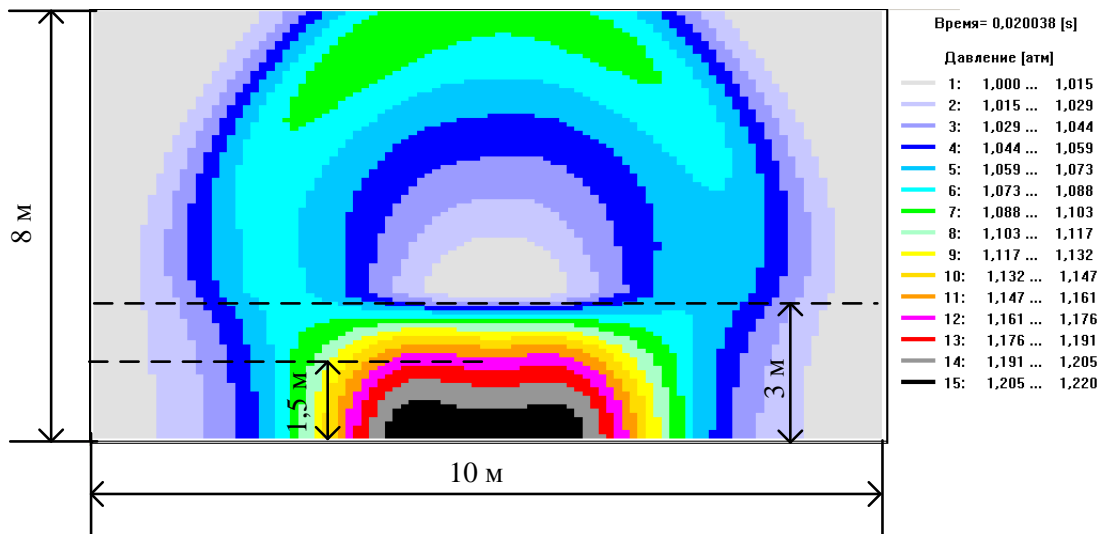


Рис. 2.8. Поле тиску, що формується на момент часу 0,02 с від початку розльоту продуктів детонації

По результату, що отримано на висоті 1,5 м, можна порівняти далекобійність вибухових хвиль, що формуються при вибуху конденсованих вибухових речовин і зарядів з СВНГ з рівною еквівалентною енергією вибуху (рис. 2.9).

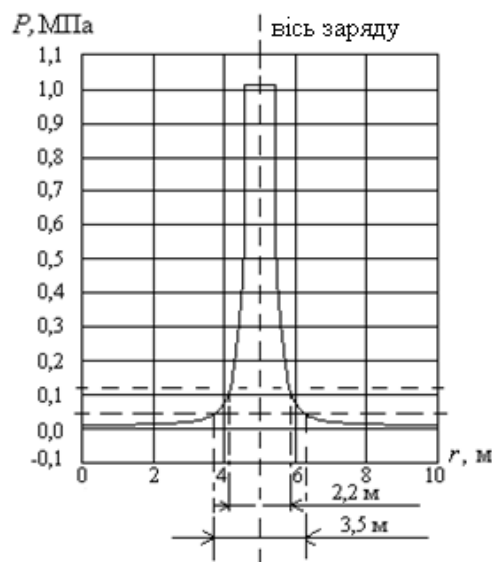


Рис. 2.9. Крива максимумів перевищення тиску, що виникає при вибуху заряду діаметром 0,95 м

В даному випадку порівнюється ударна дія заряду ЕШ-1П на фітоценоз з ударною дією заряду з суміші вибухонебезпечних газів

діаметром 0,95 м.

Згідно роботи [8] в якій приведені дані по далькобійності хвилі при вибуху заряду ЕШ-1П для значень критичного перепаду тиску, рівних $1,2 \cdot 10^5$ Па і $0,4 \cdot 10^5$ Па, далькобійність в цьому випадку досягає до 1,5 м і 2 м, відповідно (рис. 2.10).

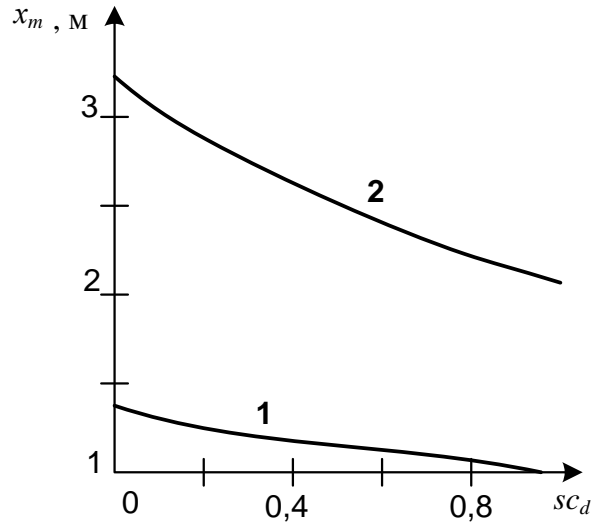


Рис. 2.10. Залежність далькобійності вибухової хвилі заряду ЕШ-1П від параметра sc_d для значень критичного перепаду тиску, рівних $1,2 \cdot 10^5$ Па (1) і $0,4 \cdot 10^5$ Па (2) [8]

Температури продуктів вибуху вистачає для займання рослинності (рис. 2.11).

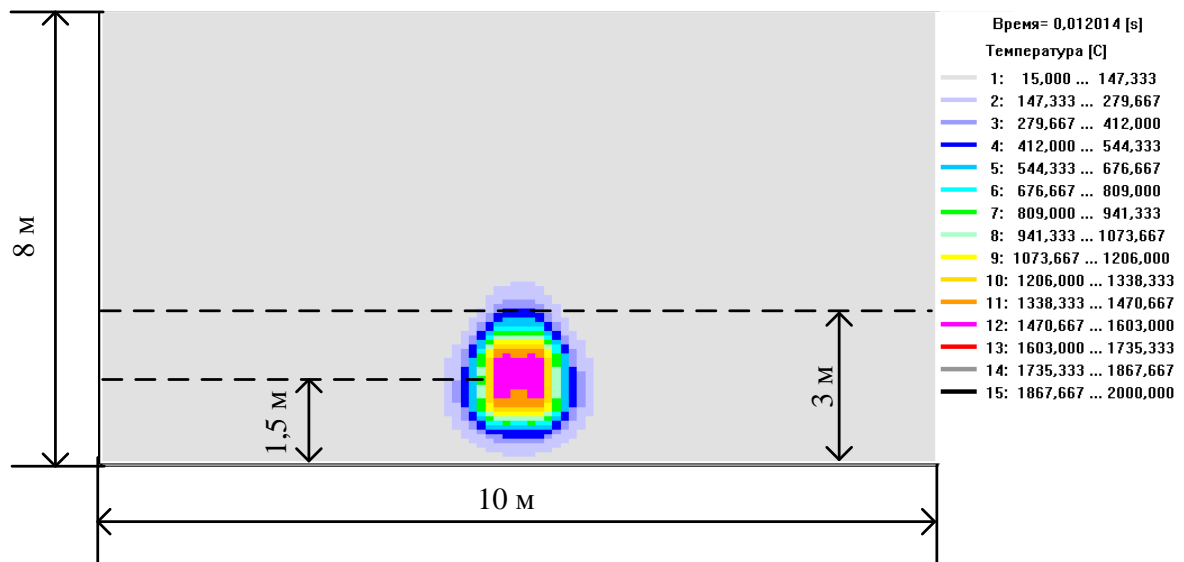


Рис. 2.11. Поле температури, що формується через 12 мс після початку вибухового розширення

Але відомо [8], що при детонації на середовище головним чином

являється ударна, а не високотемпературна дія. Це може бути пояснено короткою тривалістю такої взаємодії. Один з параметрів, який впливає на протікання процесу запалення, є період затримки займання. Під час періоду затримки займання відбуваються процеси фізико-хімічної підготовки палива до самозаймання, проте якого-небудь підвищення тиску не спостерігається внаслідок достатньо малої швидкості виділення тепла. Так, наприклад, його тривалість складає в поршневих двигунах внутрішнього згорання від 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-3}$ с. Із зменшенням тиску і температури період затримки займання збільшується. Через 12 мс після початку вибухового розширення температура продуктів детонації зменшується до $1607\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.11), а через 100 мс опускається нижче $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стрімке падіння тиску приводить до збільшення періоду затримки займання, що в кінцевому підсумку забезпечує переважно ударну дію на фітоценоз.

2.2.3 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі для другого варіанту початкових умов (2.26) – (2.28)

За результатами аналізу динаміки зміни поля тиску при розширенні продуктів вибуху одного заряду з суміші вибухонебезпечних газів із початковим діаметром $0,95\text{ м}$ спостерігається ударна дія на наземний горючий матеріал (рис. 2.12 – 2.14).

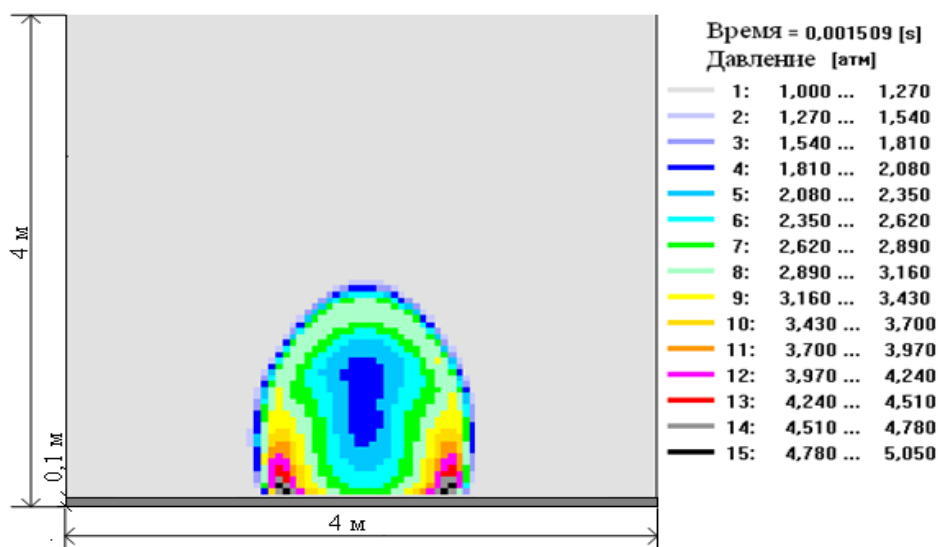


Рис. 2.12. Поле тиску в поперечному перетині одного заряду з СВНГ діаметром $0,95\text{ м}$ на момент часу $1,5\text{ мс}$ від початку вибуху

За оцінкою максимальних значень тиску, досягається в осередках із підвищеним опором середовища, що моделює опір наземного горючого матеріалу, показує, що в наслідок вибуху одного заряду з СВНГ діаметром $0,95 \div 1,8\text{ м}$ можливе створення протипожежного бар'єру шириною $1,5 \div 3,5\text{ м}$.

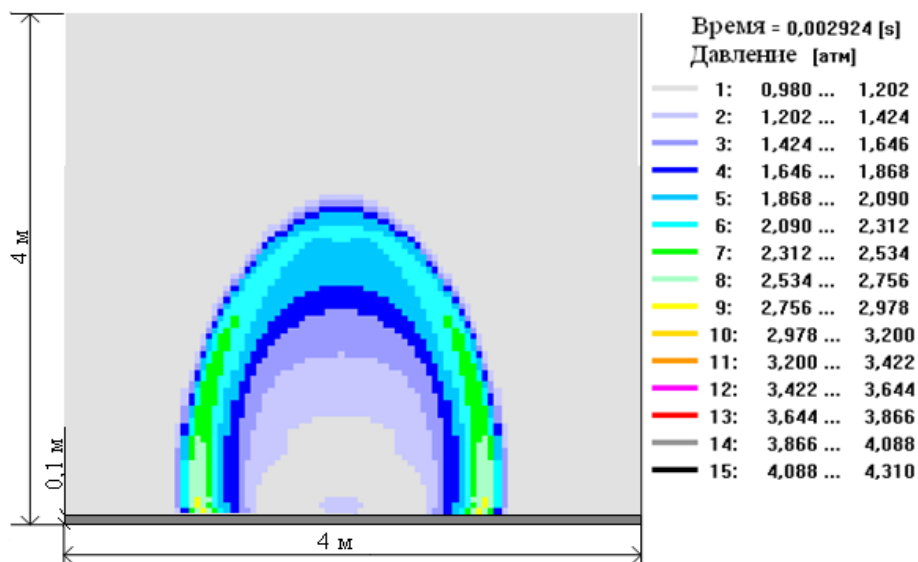


Рис. 2.13. Поле тиску в поперечному перетині одного заряду з СВНГ діаметром 0,95 м на момент часу близько 3 мс від початку вибуху

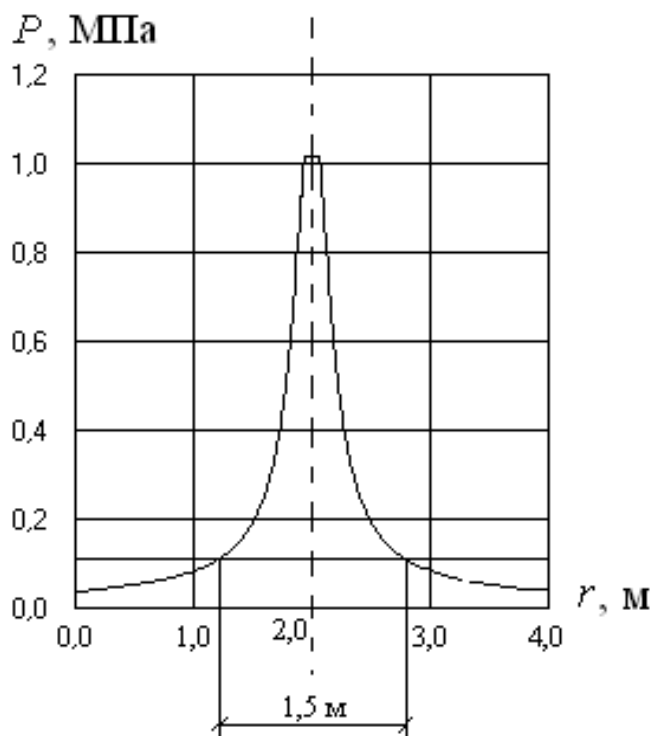


Рис. 2.14. Максимальні значення тиску в модельованому шарі НГМ діаметром заряду 0,95 м і коефіцієнтом опору середовища 0,7

Подібний аналіз проводився для вибуху одиночних зарядів діаметром 1,3 і 1,8 м [147]. Виходячи з розподілу максимумів надлишкового тиску, що виникає в модельованому шарі НГМ, при різних коефіцієнтах опору середовища, визначена ширина протипожежних бар'єрів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Ширина протипожежного бар'єру при вибуху одного заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Параметри заряду (кількість × діаметр)	Ширина протипожежного бар'єру, м		
	при коефіцієнтах опору середовища sc_d		
	0,5	0,6	0,7
1×0,95	1,7	1,6	1,5
1×1,3	2,3	2,0	1,8
1×1,8	3,4	2,9	2,5

У практичному застосуванні для вибору безпечних відстаней потрібно врахувати ударну дію вибуху в подовжньому перетині заряду. Результати такого дослідження представлені (рис. 2.15).

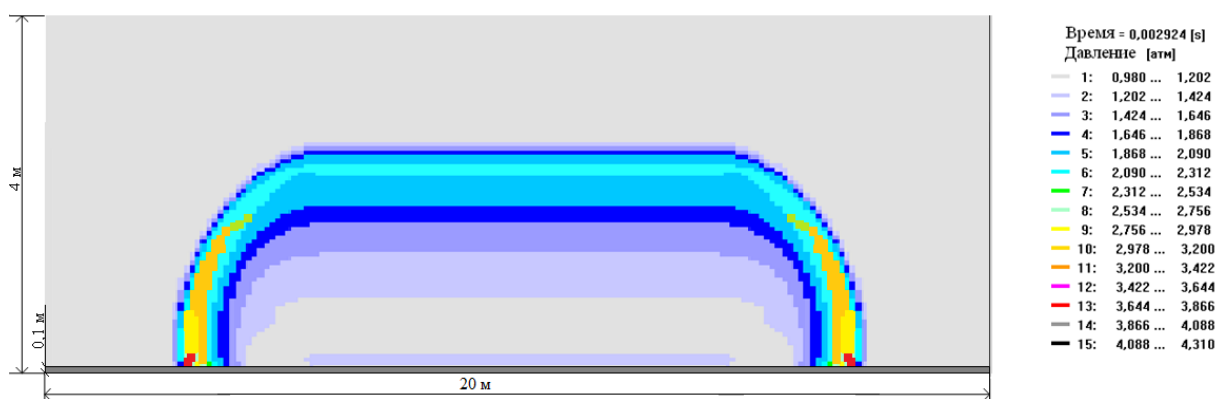


Рис. 2.15. Поле тиску в подовжньому перетині одного заряду з СВНГ діаметром 0,95 м на момент часу близько 3 мс від початку вибуху

Виявлено, що в подовжньому напрямку спостерігається посилення ударної хвилі не більше ніж в 1,4 рази в порівнянні з ударною дією вибуху заряду з СВНГ в поперечному напрямку.

2.2.4 Результати чисельного моделювання вибуху заряду у фітоценозі для третього варіанту початкових умов (2.29) – (2.31)

За результатами розрахунку динаміки зміни тиску при розширенні продуктів вибуху двох зарядів з СВНГ із початковим діаметром 0,95 м отримано, що через 1,5 мкс за вищезгаданими умовами розташування зарядів відбувається початок зіткнення ударних хвиль (рис. 2.16, 2.17).

По діаметрам зарядів 1,3 м зіткнення ударних хвиль відбувається через 1,2 мс. Внаслідок відображення ударних хвиль відбувається підвищення тиску між зарядами, що забезпечує надійне обривання РГМ. Також спостерігається посилення тиску на земній поверхні, вздовж якої відбувається поширення напівциліндричної ударної хвилі, що підвищує ефективність розчищення земної поверхні від наземного горючого матеріалу.

При розширенні продуктів вибуху через 3 мс відбувається падіння тиску в області розташування зарядів до атмосферного.

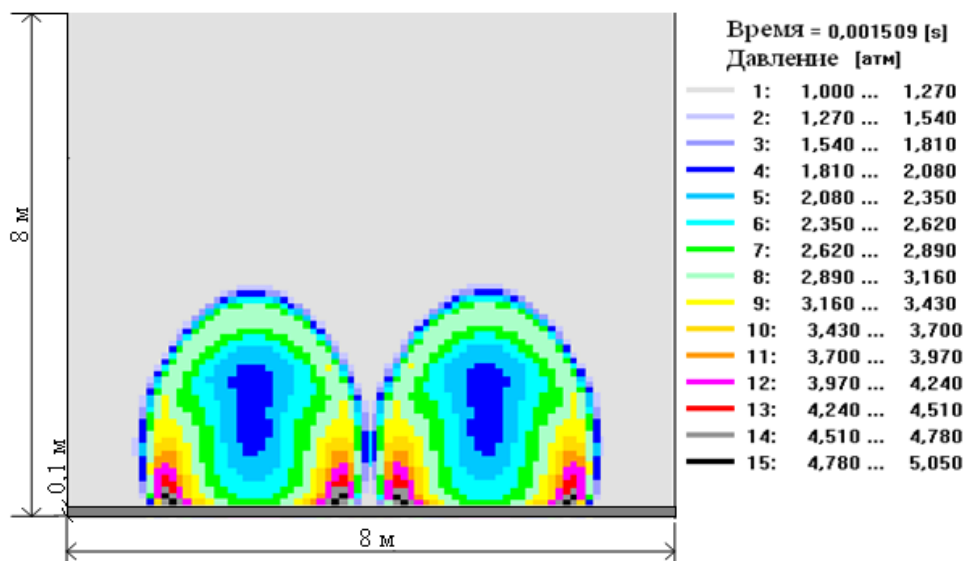


Рис. 2.16. Поле тиску в поперечному перетині двох зарядів з СВНГ діаметром по 0,95 м на момент часу 1,5 мс від початку вибуху

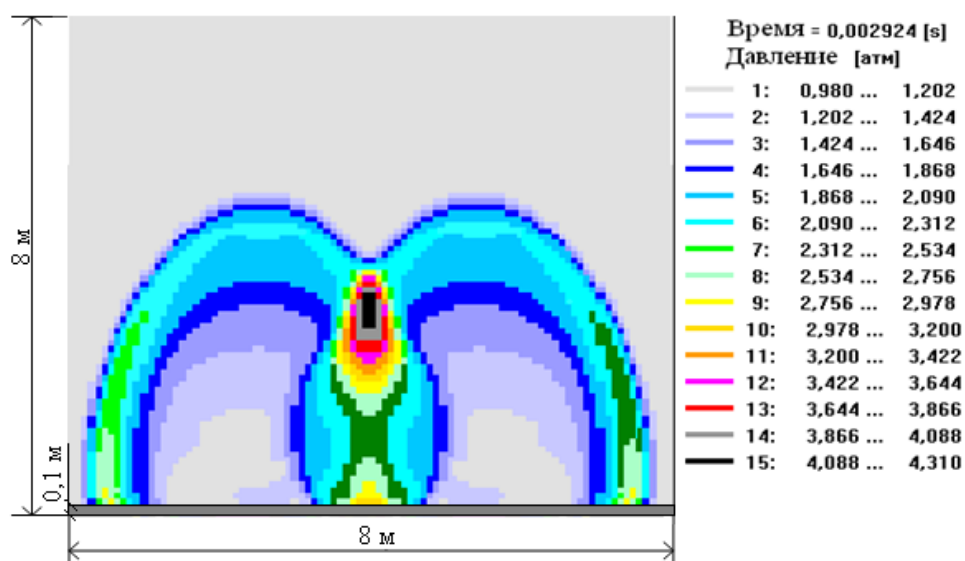


Рис. 2.17. Поле тиску в поперечному перетині двох зарядів з СВНГ, діаметром по 0,95 м на момент часу близько 3 мс від початку вибуху

Після відображення взаємодіючих ударних хвиль вони поширюються у зворотному напрямі (рис. 2.18).

Навіть при діаметрах зарядів з СВНГ по 0,95 м через деякий проміжок часу динаміка поширення ударної хвилі в атмосфері набуває півсферичної форми. Це забезпечує винесення обірваного рослинного горючого матеріалу за межі створюваного вибухом протипожежного бар'єру.

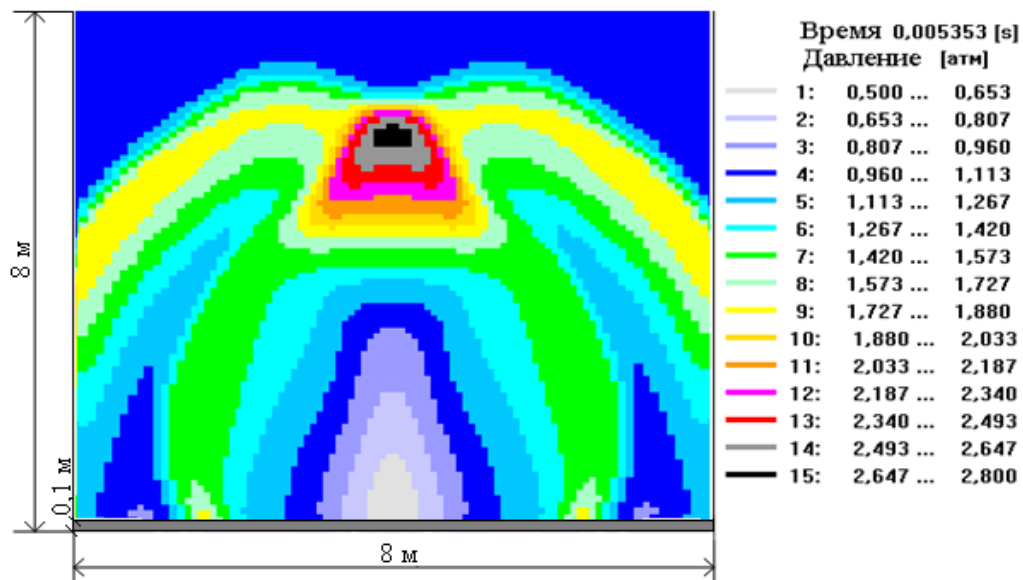


Рис. 2.18. Поле тиску в поперечному перетині двох зарядів з СВНГ, діаметром по 0,95 м на момент часу 5 мс від початку вибуху.

Внаслідок вибуху двох зарядів з суміші вибухонебезпечних газів діаметром по 0,95 м можливе створення протипожежного бар'єру шириною 4,5 ÷ 5 м (рис. 2.19).

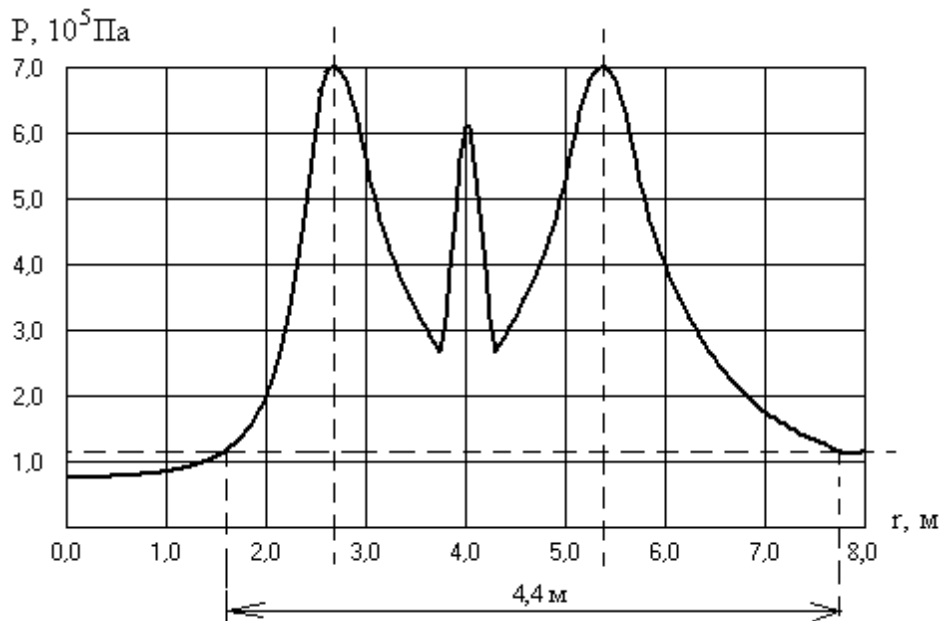


Рис. 2.19. Максимальні значення тиску в модельованому шарі НГМ діаметрами зарядів по 0,95 м і коефіцієнтом опору середовища 0,7

За результатами розрахунків видно, що із застосуванням подвійних зарядів діаметром по 1,3 м забезпечується створення протипожежних бар'єрів шириною близько 8 м (рис. 2.20, 2.21).

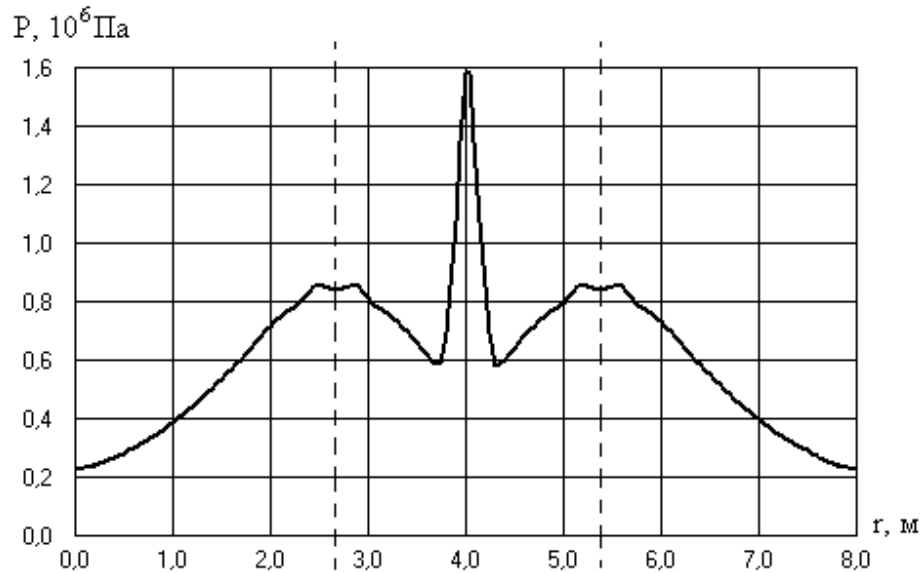


Рис. 2.20. Максимальні значення тиску в модельованому шарі НГМ діаметрами зарядів по 1,3 м і коефіцієнтом опору середовища 0,5

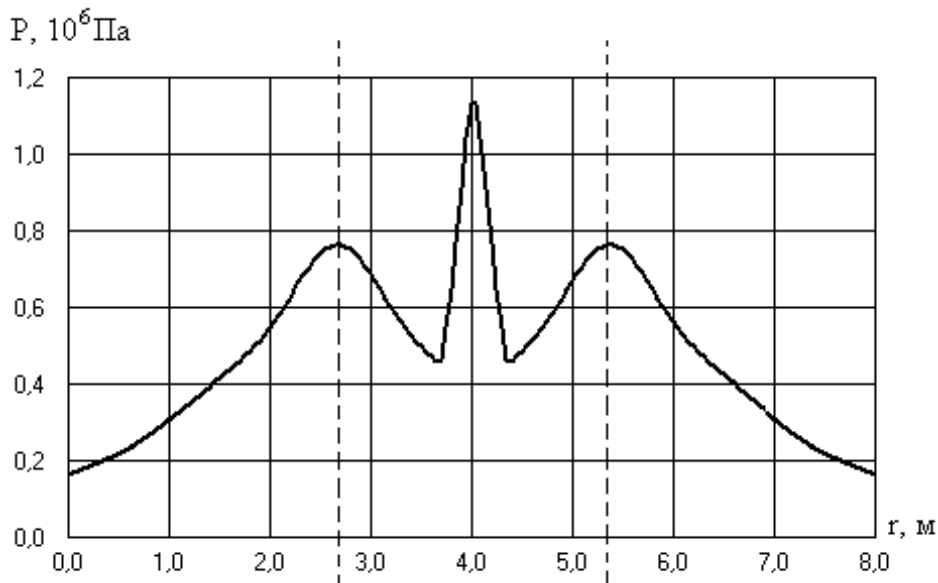


Рис. 2.21. Максимальні значення тиску в модельованому шарі НГМ діаметрами зарядів по 1,3 м і коефіцієнтом опору середовища 0,7

Слід враховувати, що зменшення ширини протипожежного бар'єру відбувається при наблизенні суміші із концентрацією до межі детонації. Тому збільшення питомої енергії заряду з СВНГ в цьому випадку доцільно.

Отримані результати свідчать про те, що ефективніше для утворення протипожежного бар'єру є застосування подвійних зарядів з СВНГ [147]. Наприклад, при однаковій питомій енергії вибуху подвійного заряду діаметром по 1,3 м в порівнянні з одиночним зарядом діаметром 1,8 м він більший, ніж на 20 % поступається за шириною ПБ (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Ширина протипожежного бар'єру при вибуху двох зарядів з суміші вибухонебезпечних газів

Параметри заряду (кількість × діаметр)	Ширина протипожежного бар'єру, м		
	при коефіцієнтах опору середовища sc_d		
	0,5	0,6	0,7
2×0,95	4,8	4,6	4,4
2×1,3	> 8	8	7,5

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ТЕХНІКА І МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ УДАРНОЇ ДІЇ ВИБУХУ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ НА РОСЛИННІСТЬ

3.1 Методика проведення досліджень вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів на рослинний горючий матеріал

Для перевірки результатів чисельного моделювання, представлених в розділі 2, розроблена експериментальна техніка і методика вимірювань ударної дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів на рослинність [111].

Представляє інтерес проведення експериментального дослідження дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів на рослинний покрив. Створення штучної лісової смуги є затратним. Тому на випробувальному полігоні була вибрана ділянка, що включає рослинний покрив (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Розташування заряду з суміші вибухонебезпечних газів на місці проведення експериментальних досліджень

Відомо [148], що при однаковій енергії вибуху імпульс тиску, що створюється зарядом з суміші вибухонебезпечних газів перевершує імпульс тиску від вибуху конденсованих речовин. Це відбувається завдяки залученню більшої кількості повітряних мас при вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів. Згідно [8], механізм обривання рослинного горючого матеріалу пов'язаний із здуванням листя, хвої і тонких віток спутним потоком, що виникає за фронтом ударної хвилі. Вочевидь, що за рахунок оптимізації розташування заряду збільшується ефективність обривання рослинного горючого матеріалу, але підвищення зарядів над

земною поверхнею вимагає збільшення як матеріальних, так і трудових затрат. Тому, враховуючи вищу ефективність дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів, а також з урахуванням вищезазначених міркувань, заряд з суміші вибухонебезпечних газів розташовувався безпосередньо на трав'яному рослинному покриві [104].

Для надійного ініціювання детонації заряду в експерименті використовувався імітатор вибуху типу ІМ, енергія вибуху якого відповідає вибуху 0,2 кг тротилу. Враховуючи той факт, що вибух ініціюючого заряду може привести до спотворення результатів вимірювань тиску, відстань від точки ініціювання детонації до місця розташування найближчого датчика тиску задавалася так, щоб до датчиків доходила лише звукова хвиля. Як відомо [132], стрибок тиску в звуковій хвилі дуже малий. Для розрахунку стрибка тиску ΔP на датчику, що виникає під дією вибуху ініціюючого заряду, скористаємося формулою [149]:

$$\Delta P = 0,096(R/G^{0,33})^{-1} + 0,143(R/G^{0,33})^{-2} + 0,574(R/G^{0,33})^{-3}, \quad (3.1)$$

де G – маса ініціюючого заряду;

R – відстань від заряду до датчика тиску.

Дана формула застосовна у разі малого стрибка тиску у фронті хвилі $\Delta P \leq 0,1$ МПа. У розробленій схемі експерименту відстань від ініціатора вибуху до найближчого датчика складала 10 м (рис. 3.2). Користуючись формулою (3.1) отримаємо, що надлишок тиску на датчику в результаті вибуху ініціатора детонації складе $\Delta P = 6,25$ кПа. Згідно [8], величина критичного тиску у фронті хвилі, при якому відбувається обрив рослинного горючого матеріалу, перевищує величину $\Delta P > 0,1$ МПа. Звідси отримаємо, що в разі реєстрації стрибка тиску даної величини погрішність вимірювань не перевищить 7 % [147].

Датчики тиску розташовувалися в один ряд на рівні ґрунту в трав'яній рослинності. Середня висота трави складала близько 15 см (рис. 3.6). Відстань від проекції осі заряду з СВНГ до першого датчика дорівнювала 1 м, другого, – 2 м, третього, – 3 м, що відповідає порядку розташування датчиків по роботі [8]. Хоча під дією ваги заряду з суміші вибухонебезпечних газів відбувалося зминання трави, але між поверхнею землі і зарядом залишався прошарок заввишки біля 3 ÷ 5 см [147].

Окрім вимірювань тиску, перевірялася зміна маси рослинного покриву у відносних одиницях. Поблизу ділянки експериментальних досліджень на рівній ділянці була скошена контрольна смуга шириною 40 см і завдовжки 3 м. Висота нескошеної частини трав'яної рослинності не перевершувала 2 см. Після цього скошена трава відразу ж збиралася, і відбувалося її зважування. Після дії ударної хвилі на рослинний покрив на ділянках, де сталося лише часткове видалення рослинності, вздовж осі заряду на однаковому віддаленні від неї викошувалася смуга шириною 20 см і завдовжки 6 м.

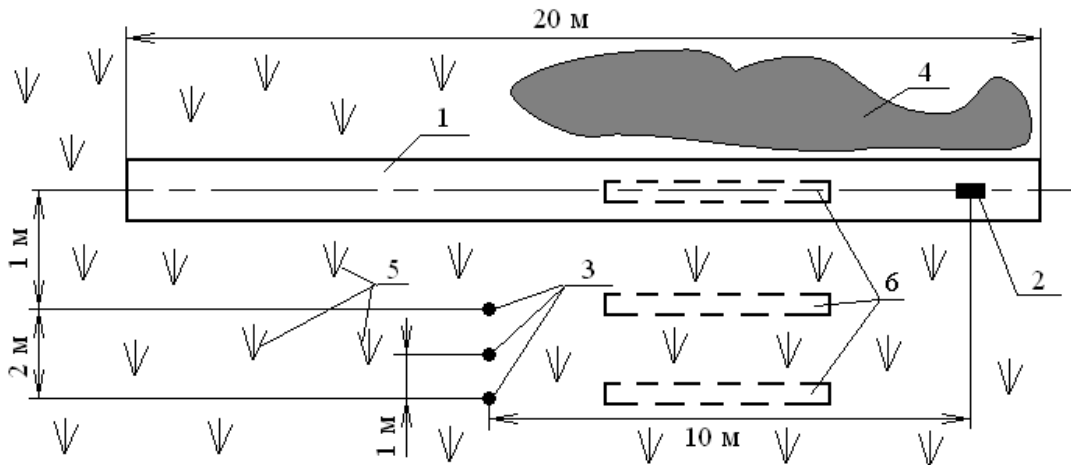


Рис. 3.2. Схема проведення експерименту: 1 – заряд з суміші вибухонебезпечних газів; 2 – ініціатор детонації; 3 – датчики тиску; 4 – лісовий масив; 5 – трав'яний покрив; 6 – контрольні смуги

Розрахунок частки залишкової маси в рослинному покриві здійснено з наступних міркувань. У фронті лісової пожежі згорають лише хвоїнки і тонкі (діаметром не більше 7 мм) вітки дерев. Що стосується трав'яного рослинного покриву, то він вигоряє повністю. Тому урахування маси після відпалювання до трав'яної рослинності не застосовується [147].

Отже, частка залишкової маси δ визначається за формулою

$$\delta = \frac{m_{\text{ост}}}{m_{\text{вих}}}, \quad (3.2)$$

де $m_{\text{вих}}$ – маса трав'яної рослинності в контрольній смузі до вибуху;

$m_{\text{ост}}$ – маса трав'яної рослинності в контрольній смузі після вибуху.

За станом віток дерев, розташованих біля заряду з суміші вибухонебезпечних газів, визначалася відстань, на якій відбувається повне обривання листя.

3.2 Техніка створення заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Діаметр заряду з суміші вибухонебезпечних газів задається виходячи з умов густини енергії вибуху на одиницю довжини заряду і можливості поширення самопідтримуваної детонації в оболонці заданого діаметру.

Згідно з експериментальними даними [150], встановлено, що для кожної суміші є критичний об'єм, при якому можливо самопідтримуваний розвиток детонації. Розмір даного об'єму залежить від чутливості суміші до детонації, яка у свою чергу може бути охарактеризована довжиною детонаційного осередку. Для розрахунку критичного діаметру $D_{\text{кр}}$ хмари, при якій можливе поширення детонації в необмеженому об'ємі, отримана формула [149]:

$$D_{кр} = 20 \cdot \lambda, \quad (3.3)$$

де λ – характерна довжина детонаційного осередку.

В роботі [150] встановлено, що на розмір детонаційного осередку впливають, початковий тиск у вибуховій суміші, співвідношення палива до окислювача, наявність інших хімічних речовин в суміші. Із відхиленням від складу суміші у бік детонаційних меж, довжина детонаційного осередку зростає. Причому, зростання може статися більш ніж в 10 разів (рис. 3.3).

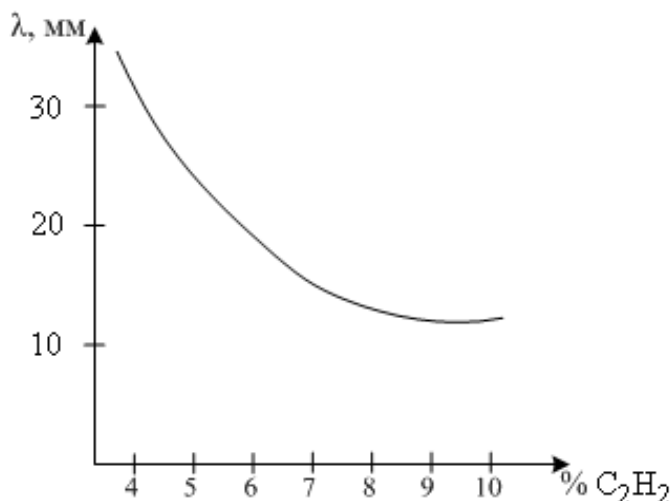


Рис. 3.3. Залежність довжини детонаційного осередку від вмісту ацетилену в суміші із повітрям [148]

В результаті, відбувається зростання критичного діаметру хмари для заданої суміші також на порядок. Тому, надійне поширення детонації суміші в оболонці малого діаметру забезпечиться лише у разі формування суміші, близької до стехіометричного складу [134]. Дана умова посилює вимоги до системи заповнення заряду з суміші вибухонебезпечних газів.

Виходячи з розмірів детонаційного осередку, представлених в роботі [148], з виразу (3.3) розрахуємо мінімальний діаметр заряду з суміші вибухонебезпечних газів (табл.3.1).

Аналізуючи розрахункові дані по мінімальному діаметру, отримаємо, що застосування метану в якості палива для зарядів з суміші вибухонебезпечних газів у разі локалізації лісових пожеж не є доцільним із-за підвищеної витрати палива. Крім того, із зростанням об'єму заряду збільшується витрата повітря, що призведе до збільшення часу заповнення оболонки [111]. За розрахунковими даними (табл.3.1) видно, що можливе створення зарядів з суміші вибухонебезпечних газів діаметром до 0,5 м у разі застосування в якості палива водню і ацетилену, діаметром до 1 м – етилену, діаметром до 2 м – етану, пропану і н-бутану [112].

Таблиця 3.1 – Мінімальний діаметр заряду з суміші вибухонебезпечних газів залежно від паливної суміші [134]

Паливо з повітрям	λ , мм	Мінімальний діаметр заряду з СВНГ $D_{\text{мін}}$, м
H ₂	15,9±2	0,32
CH ₄	500±80	10
C ₂ H ₂	13,6±1,6	0,27
C ₂ H ₄	39±6	0,78
C ₂ H ₆	88±14	1,76
C ₃ H ₈	72±12	1,44
n-C ₄ H ₁₀	85	1,7

В якості оболонки зарядів з суміші вибухонебезпечних газів можливе застосування матеріалів, що існують в промисловості. Так, згідно [151] виробляється поліетиленова плівка у вигляді складеної оболонки напівшириною по $l_1 = 1,5$ м і $l_2 = 2$ м. В результаті надування даної оболонки формується заряд з суміші вибухонебезпечних газів діаметром, який визначається за виразом:

$$D = \frac{2 \cdot l}{\pi}. \quad (3.4)$$

Звідси отримаємо, що з поліетиленової плівки напівшириною 1,5 м утворюється заряд діаметром $D_1 \approx 0,95$ м, а з 2 м – $D_2 \approx 1,3$ м [134].

Для розрахунку палива, необхідного для формування стехіометричної суміші, потрібно знати об'єм V суміші в оболонці довжиною 1 м:

$$V = \frac{l^2}{\pi}. \quad (3.5)$$

З виразу отримаємо, що для заповнення оболонки з плівки шириною 1,5 м потрібно $V_1 \approx 0,72$ м³/(м), а з 2 м – $V_2 \approx 1,27$ м³/(м).

Розрахунок кількості палива в суміші з повітрям здійснюється виходячи з концентраційних меж поширення детонації у вибраній суміші. Слід враховувати, що концентраційні межі залежать ще і від того, чи відбувається вибух у замкнутому або необмеженому об'ємах (табл.3.2).

Хоча, у разі розвитку детонації в заряді з суміші вибухонебезпечних газів відбувається часткове відображення детонаційної хвилі від оболонки, для отримання надійної детонації необхідно орієнтуватися на детонаційні межі в необмеженому просторі. За приведеними даними видно, що детонаційні межі вузчі меж спалахування.

Мінімальний об'єм палива можна розрахувати по еквівалентній

енергії вибуху зарядів, які застосовуються для локалізації лісових пожеж [134]. Так, шнуровий заряд типа ЕШ-1П є профільованим еластичним шнуром з ефективним діаметром 0,022 м і заповнений гексогеном, густина якого дорівнює 1052 кг/м³. Для даної вибухової речовини теплота вибуху складає 5447 кДж/кг. Звідси отримуємо, що заряд довжиною 1 м, згідно виразу (2.32), виділяє енергію, рівну $Q_{\text{виб}} = 2180$ кДж/м.

Таблиця 3.2 – Межі детонації і спалахування паливноповітряних сумішей [124]

Паливо	Межі детонації в замкнутому об'ємі %		Межі детонації в необмеженому об'ємі %		Межі спалахування %	
	нижня	верхня	нижня	верхня	нижня	верхня
C ₂ H ₆	2,87	12,20	4,0	9,2	3,0	12,4
C ₃ H ₈	2,57	7,37	3,0	7,0	2,1	9,5
<i>n</i> – C ₄ H ₁₀	1,98	6,18	2,5	5,2	1,8	8,4
<i>n</i> – C ₈ H ₁₈	1,45	2,85	–	–	0,95	–
C ₂ H ₄	3,32	14,70	–	–	2,7	36,0
C ₃ H ₆	3,55	10,40	3,5	8,5	2,4	11,0
C ₂ H ₂	4,2	50,0	–	–	2,5	80,0

Для розрахунку енергії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів, окрім вихідного об'єму суміші, необхідно знати питому теплоту згорання палива $Q_{\text{пал}}$ і масову частку палива в суміші, яка може згоріти в результаті хімічної реакції в даній суміші.

Використовуючи дані по енергії вибуху шнурових зарядів $Q_{\text{виб}}$ в [Дж/м] і питому теплоту згорання палива $Q_{\text{пал}}$ [Дж/кг], визначимо витрату палива для створення одиниці довжини заряду з суміші вибухонебезпечних газів за формулою [134]:

$$W_{\text{пал.екв}} = Q_{\text{виб}} / Q_{\text{пал}} \text{ [кг/м]}. \quad (3.6)$$

У представлених результатах (табл.3.3) розрахунку витрати палива передбачається, що в заряді з суміші вибухонебезпечних газів формується стехіометрична суміш.

Отримані значення витрати палива (табл.3.3) дозволяють передбачити, що метод локалізації пожеж об'ємним вибухом може бути маловитратним, а установка по створенню протипожежного бар'єру може бути компактною і мобільною [112].

Для розрахунку кількості повітря, необхідного для згорання палива, скористаємося даними масової і об'ємної частки палива в стехіометричній суміші (табл.3.4) [105].

Таблиця 3.3 – Витрата палива на створення зарядів з суміші вибухонебезпечних газів із густиною енергії вибуху, еквівалентної заряду ЕШ-1П

Паливо	Питома теплота згорання палива $Q_{\text{пал}}$, МДж/кг	Витрата палива $W_{\text{пал.екв}}$, г/м
H ₂	142,8	15
C ₂ H ₂	49,9	44
C ₂ H ₄	47,3	46
C ₂ H ₆	47,5	46
C ₃ H ₈	46,4	47

Таблиця 3.4 – Об'ємна і масова частка палива в стехіометричній суміші з повітрям

Частка палива	Паливо				
	H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈
Об'ємна частка β_v , %	28,57	7,4	6,25	5,4	3,85
Масова частка β_m , %	2,7	6,74	6,1	5,62	5,26

Використовуючи дані по густині повітря $\rho_{\text{пов}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$ в нормальних умовах, розрахунок маси $m_{\text{пал}}$ палива, необхідного на створення 1 м^3 стехіометричної суміші в заряді, розрахуємо за формулою [134]:

$$m_{\text{пал}} = \rho_{\text{пов}} \cdot (1 - 0,01\beta_v) \cdot 0,01\beta_m / (1 - 0,01\beta_m), \quad (3.7)$$

де β_v – об'ємна частка палива в стехіометричній суміші з повітрям, [%];

β_m – масова частка палива в стехіометричній суміші з повітрям, [%].

Для вуглеводневих палив $0,01\beta_v \ll 1$ і $0,01\beta_m \ll 1$, що дозволяє застосовувати формули наближеного розрахунку. Спрощуючи рівняння (3.7), маса $m_{\text{пал}}$ палива може розраховуватися за наступними виразами.

Для першого порядку точності:

$$m_{\text{пал}} = \rho_{\text{пов}} \cdot 0,01\beta_m. \quad (3.8)$$

Для другого порядку точності:

$$m_{\text{пал}} = \rho_{\text{пов}} \cdot 0,01\beta_m - (1 - 0,01\beta_v + 0,01\beta_m) \quad (3.9)$$

Знаючи об'єм суміші, який може бути сформований в одиниці довжини заряду з суміші вибухонебезпечних газів за виразом (3.4), і використовуючи дані по витраті палива на створення стехіометричної суміші в даному об'ємі за виразом (3.6), легко визначити витрату палива $W_{\text{пал}}$ на заповнення одиниці довжини заряду (табл.3.5).

Порівнюючи отримані результати розрахунку (табл.3.5) з даними по

масовій витраті палива на створення заряду з еквівалентною енергією вибуху заряду ЕШ-1П (табл.3.3), отримаємо, що достатнє застосування заряду діаметром $D_1 = 0,95$ м для вибраних типів газоподібних палив [105].

Таблиця 3.5 – Витрата палива на створення зарядів з СВНГ різних діаметрів [134]

Паливо	Витрата палива $W_{\text{пал}}$, г/м	
	Діаметр заряду $D_1 = 0,95$ м	Діаметр заряду $D_2 = 1,3$ м
H_2	18	32
C_2H_2	62	109
C_2H_4	56	99
C_2H_6	52	92
C_3H_8	46	87

Але із-за обмеження мінімального діаметру заряду з суміші вибухонебезпечних газів, отримаємо, що при даному діаметрі можливе формування заряду лише з використанням водню, ацетилену або етилену [140].

У експерименті в якості палива використовувався ацетилен, генерування якого здійснювалося з карбїду кальцію. В якості оболонки використовувалася поліетиленова плівка товщиною 120 мкм, напівшириною 1,3 м і завдовжки 20 м. Виходячи з геометричних розмірів оболонки встановлено, що необхідний об'єм суміші без врахування крайових деформацій складе близько 14 м^3 . Користуючись формулою (3.6) і даними таблиці 3.4, отримаємо, що масова витрата ацетилену дорівнює $0,086 \text{ кг/м}^3$. Тобто, в даному експерименті необхідно отримати $1,72 \text{ кг}$ ацетилену. Густина ацетилену при нормальному тиску і температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює близько $1,17 \text{ кг/м}^3$. Звідси отримаємо необхідний об'єм газоподібного ацетилену $1,47 \text{ м}^3$ [134].

Літраж – основний показник якості карбїду кальцію (об'єм сухого ацетилену, що виділяється 1 кг карбїду кальцію при $200 \text{ }^\circ\text{C}$ и 760 мм рт. ст.), $\text{дм}^3/\text{кг}$, стандартний літраж $250 \text{ дм}^3/\text{кг}$. Карбїд кальцію упаковується в сталеві барабани всіх типів герметичного виконання (табл.3.6).

Таблиця 3.6 – Основні показники карбїду кальцію

Показник	ВАТ "Усольтхімпром"	ЗАТ "Алаш"
ГОСТ, ТУ	ТУ 6 – 01 – 1347 – 87	ГОСТ 1460 – 81
Місткість барабана, кг	120 (± 10)	120 (± 5)
Вага тари (барабана), кг	5	5
Літраж, $\text{дм}^3/\text{кг}$	240 – 290	250 – 280
Перерахунок на літраж	Є	Немає
Фракція (мм)	25 – 80	25 – 80
Марка	КК	КК, КД.

Залежно від розміру шматків основної фракції карбід кальцію ділиться на марки: КК – карбід кальцію крупний (25 – 80 мм) КС – карбід кальцію середній (25 – 50 мм) КМ. – карбід кальцію дрібний (10 – 25 мм). Застосування дрібних фракцій дозволить прискорити процес генерування за рахунок збільшення поверхні протікання хімічної реакції.

У використовуваній партії карбіду кальцію літраж був стандартним. Виходячи з цього, для генерування необхідного об'єму ацетилену використано 5,9 кг карбіду.

Мінімальна кількість води, необхідної для повного розкладання карбіду, розраховувалася по хімічній реакції:



Із співвідношення молярних мас отримаємо, що на 5,9 кг карбіду необхідно витратити не менше 6,3 літрів води. Для отримання ацетилену, карбід кальцію укладався в металеві лотки, розташовані в замкнутому об'ємі. З цього об'єму ацетилен надходив в оболонку заряду одночасно з повітрям. Запропоновано [152] для наповнення заряду сумішшю застосовувати відцентровий вентилятор із інерційним очищенням повітря від пилу.

Установка в зборі для наповнення оболонки сумішшю має вид (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Процес наповнення заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Вентилятор працює таким чином. Повітря по забірному патрубку подається в порожнину лопаток обертального ротору. При проходженні повітря через ротор частинки пилу, що знаходяться в ньому, відцентровою силою відкидаються до стінок корпусу і викидаються разом з частиною повітря через викидний патрубок пилу. В результаті, очищене від пилу повітря прямує в область змішення палива із повітрям з подальшим

заповненням заряду з суміші вибухонебезпечних газів. Електромагніт забезпечує управління потоком повітря за допомогою клапану, направляючи його або на наповнення заряду або в атмосферу.

У стані, коли повітря з вентилятора прямує в атмосферу, клапан щільно перекриває порожнину нагнітання від порожнини заряду з суміші вибухонебезпечних газів, і тим самим унеможливує попадання суміші у вентилятор або виділення в атмосферу. Продуктивність застосованого вентилятора складала близько $6,7 \text{ м}^3/\text{хв}$ [134].

Отримання ацетилену і його змішення із повітрям можна здійснювати, використовуючи газогенератор з ежекційною системою змішування (рис.3.5).

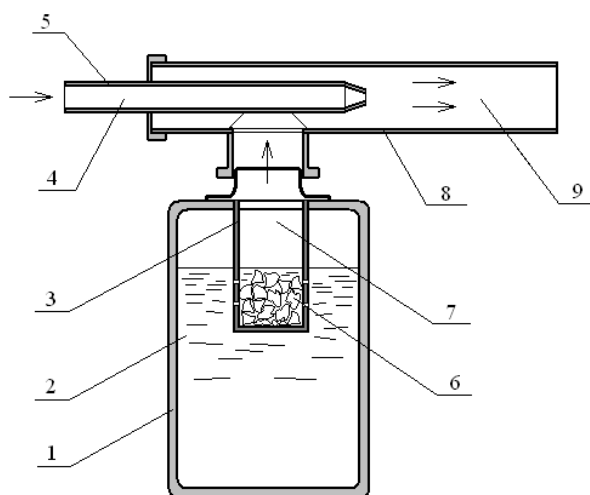


Рис. 3.5. Схема газогенератора з ежекційною системою змішування

Газогенератор складається з ємності 1, заповненою водою 2. У верхню частину газогенератора поміщена сітчаста ємність 3, яку перед початком генерування ацетилену, заповнюють карбідом кальцію 6. В результаті протікання хімічної реакції між карбідом кальцію і водою виділяється газоподібний ацетилен у верхній порожнині 7 ємності 1. Повітря під невеликим надлишковим тиском поступає від нагнітача в канал 4 сопла 5. Після виходу повітря із сопла 5 в камері змішування 9, сформованого корпусом 8, відбувається захоплення струменем повітря горючого газу, що призводить до сумішоутворення. Далі суміш по каналу 8 прямує в оболонку [152].

Слід враховувати, що ацетилен володіє властивістю детонаційного розкладання, тобто він може детонувати в умовах відсутності окислювача. Так, при нагріванні до $500 \text{ }^\circ\text{C}$ і одночасному підвищенні тиску до $0,2 \text{ МПа}$ – ацетилен вибухає. Суміші з повітрям, що містять від 2,3 до 80,1 % ацетилену вибухає від іскри, що вимагає виключення іскроутворення у вентиляторі. Крім того, за ступенем дії на організм карбід кальцію відноситься до речовин 1-го класу небезпеки. Все це вимагає дотримання заходів безпеки при роботі з даною установкою.

У зв'язку з тим, що нагнітання суміші здійснюється в закритий заряд з суміші вибухонебезпечних газів, оболонка якого є плівкою товщиною 120 мкм, заздалегідь проведено дослідження максимально допустимого тиску в оболонці, при якому не відбувається її руйнування (рис. 3.6). У експерименті застосовувалася плівка у відповідності [151].



Рис. 3.6. Дослідження граничного надлишкового тиску, ведучого до руйнування оболонки заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Дослідження здійснювалося із застосуванням вентилятора, але без генератора ацетилену. Вимірювання тиску здійснювався в порожнині оболонки за допомогою прозорої U – подібної трубки, заповненою водою. Одна частина трубки з'єднувалася з атмосферою, інша – з порожниною заряду з суміші вибухонебезпечних газів. Трубка була вставлена так, щоб вимірювати статичний тиск. Тиск визначався по різниці рівнів водяного стовпа, візуально спостережуваної на міліметровій шкалі. Відповідно, відносна погрішність визначення рівня не перевищувала 1 мм. Величина критичного тиску визначалася по моменту, коли відбувається візуальне місцеве випучування поліетиленової оболонки [152].

В результаті даного дослідження встановлено, що критичний тиск для вибраного матеріалу складає 40 мм вод. ст. або $P_{кр} = 392$ Па. Вимірювання проводилися при температурі довкілля 293 К.

3.3 Техніка вимірювань параметрів ударної дії від вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Вибух заряду з суміші вибухонебезпечних газів супроводжується комплексом процесів. Серед складників цього комплексу можна виділити процес ініціювання детонації в суміші [153], процес поширення детонації по суміші і процес газодинамічного розширення продуктів детонації.

Оскільки зміна складу рослинного середовища від вибуху заряду відбувається головним чином під впливом ударної хвилі і спутного потоку,

то представляє найбільший інтерес стадія розширення продуктів детонації.

У роботі [154] наголошується, що складність вимірювань таких процесів пов'язана з можливим пошкодженням вимірювальних елементів під впливом ударно-термічних навантажень, створенням перешкод від електромагнітного випромінювання, що виникає при вибуху, вимогою високої роздільної здатності до вимірювальної техніки, вимірюванням різких стрибків термодинамічних параметрів тощо.

Для вимірювань експериментальних параметрів ударних хвиль в повітрі застосовують прилади механічного, тензометричного, п'єзоелектричного, оптичного і інших типів [155-157]. При вимірюваннях швидкозмінного тиску необхідне застосування методів малоінерційних вимірювань тиску в суцільних середовищах. Один з таких методів заснований на п'єзоєфекті, який полягає появи між обкладинками п'єзоелементу електричного заряду в результаті його механічної деформації. Швидкість стиснення матеріалу обмежується швидкістю звуку в даному матеріалі [140]. Тому роздільна здатність п'єзоелемента за часом обмежується часом проходження хвилі стиснення між його обкладинками. У даному експерименті використовувався п'єзодатчик тиску на основі кераміки ЦТС-19 з товщиною вимірювального елемента, рівною 10^{-3} м (рис. 3.7).

Швидкість звуку в даному типі кераміки досягає порядку 2500 м/с. Звідси роздільна здатність застосованого датчика складала $4 \cdot 10^{-7}$ с.



Рис. 3.7. Зовнішній вигляд п'єзодатчика тиску: 1 – корпус; 2 – п'єзоелемент; 3 – захисний шар; 4 – електричний роз'єм

Враховуючи, що повна тривалість імпульсного навантаження датчика в ближній області вибуху складе не менше 1 мс, дана величина роздільної здатності датчика задовольняє вимогам експерименту.

З'ясовано, що у застосованому датчику п'єзоелемент приєднаний до стержня з матеріалу, який має рівний з п'єзокерамікою ЦТС-19 акустичний опір. Довжина узгоджувального стержня дорівнює 0,15 м. Звідси отримаємо, що повернення відбитого сигналу від кінця стержня станеться не раніше чим через $8 \cdot 10^{-5}$ с. Даний час, дозволяє без спотворень зареєструвати скачок тиску у фронті хвилі, тривалість якого складає десятки наносекунд [112].

Сигнал з датчиків тиску надходив на чотирьохканальний запам'ятовуючий осцилограф Textronix TDS1012. Сигнали реєструвалися в режимі очікування із запам'ятовуванням. Розгортка здійснювалася по вхідному сигналу із п'єзодатчика, який розташовувався ближче до заряду з суміші вибухонебезпечних газів. У такому режимі вимірювання необхідно заздалегідь задати рівень реєстрованого сигналу. Згідно з паспортними даними, чутливість датчика складає 200 В/МПа. Для орієнтовного розрахунку величини тиску, що виникає при вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів використана емпірична залежність, яка отримана в роботі [119] для півсферичного вибуху:

$$\Delta P = \frac{0,12}{R_0^{1,7}}, \quad (3.11)$$

де $R_0 = R / E^{1/3}$ – радіус ударної хвилі від епіцентру вибуху;

E – чисельне значення енергії вибуху.

Підставляючи відстань 2,5 м до першого датчика тиску з урахуванням енергії вибуху в одиниці довжини заряду, отримуємо тиск близько 0,04 МПа. При даному рівні тиску напруга на датчику складе 8 В.

Враховуючи те, що між стержнем і корпусом датчика утворюється ємність, яка впливає на відображення реального значення тиску на осцилографі (рис. 3.8), було здійснено її вимірювання.

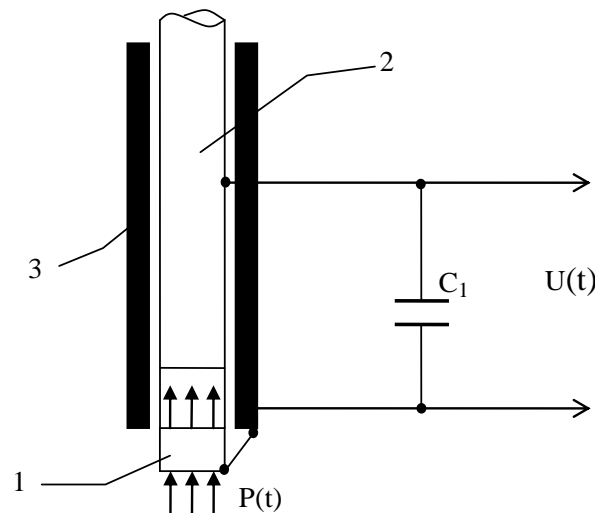


Рис. 3.8. Схема роботи п'єзодатчика: 1 – п'єзокристал; 2 – стержень; 3 – корпус датчика; C_1 – електрична ємність; $P(t)$ – динамічний тиск; $U(t)$ – вихідна напруга

За вимірюваннями на RLC – метрі цифрового типу Е 7-8 встановлено, що внутрішня ємність датчика складає 150 пФ.

Відомо [132], що коаксіальний кабель, що з'єднує датчик з осцилографом вносить додаткову ємність в ланцюг. Це призводить до

розподілу заряду в даній ємкості і відповідного зменшення напруги, що реєструється на осцилографі. На зменшення величини напруги також впливає ємкість, утворена між корпусом датчика і стержнем. В результаті досліджень встановлено [111], що в одиниці довжини застосованого в експерименті коаксіального кабелю РК-75 відбувається зниження напруги на 0,5 В. Довжина з'єднувальних проводів дорівнювала 10 м, що приводило до зменшення реєстрованого сигналу на 5 В.

Застосований осцилограф має частоту пропускаемого сигналу більше 20 МГц, що дозволяє реєструвати сигнали тривалістю частки мкс. Дана частота пропускання перевищує на порядок частоту сигналу, п'єзодатчиками тиску, що генерується, тобто задовольняє умовам експерименту.

3.4 Розрахунок безпечних відстаней при створенні протипожежного бар'єру вибухом заряду з суміші вибухонебезпечних газів

В процесі проведення експериментальних досліджень, а також у разі практичного застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів для створення протипожежних бар'єрів необхідно знати безпечну відстань розміщення особового складу від заряду.

На великому віддаленні від місця вибуху інтенсивність ударної хвилі, створеної в результаті вибуху паливноповітряної хмари, розраховується за формулами для розрахунку вражаючої дії від вибуху тротилу, з перерахунком енергії по тротиловому еквіваленті. У роботі [119] отримано, що такий підхід допустимий на відстані $R_0 > 0,48$ (див. вираз (3.11)).

Максимальну енергію вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів розрахуємо виходячи з витрат горючого газу і його питомої теплоти згорання (табл.3.3). У експерименті на створення заряду завдовжки 20 м витрачається 1,72 кг ацетилену. Отримаємо, що енергія вибуху $E = 85828$ кДж, а відстань, з якої вражаюча дія визначається в тротиловому еквіваленті для даного випадку дорівнює $R = 0,48 \cdot E^{1/3} = 21$ м.

Згідно [158], відстань, на якій виникає ударна хвиля при вибухах, втрачає можливість наносити об'єктам ураження заданої інтенсивності, визначається за формулою:

$$R_{y.v.} = K_{y.v.} \sqrt{C}, \quad (3.12)$$

де $R_{y.v.}$ – безпечна відстань;

C – вага заряду вибухової речовини в тротиловому еквіваленті;

$K_{y.v.}$ – коефіцієнт, який залежить від характеру ураження об'єкту і умов розташування заряду (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Визначення коефіцієнта ураження об'єкту

Ступінь безпеки	Характер ураження	Умови розташування заряду	$K_{у.в.}$
1	Повна відсутність пошкоджень	Заряд, який заглиблено в ґрунт на його рівні	10÷40
2	Випадкове пошкодження скла		5÷9

Згідно [136], теплота вибухового перетворення тротилу $E_{тр} = 4221$ кДж/кг. Звідси, вага заряду вибухової речовини в тротиловому еквіваленті складе:

$$C = \frac{E}{E_{тр}}. \quad (3.13)$$

З виразу (3.13) отримаємо, що в експерименті $C = 20$ кг. Таким чином, з виразу (3.12) маємо: $R_{у.в.} = 45 - 180$ м при ступені безпеки № 1, $R_{у.в.} = 22 - 40$ м при ступені безпеки № 2.

З урахуванням того, що віддалення осцилографа від датчиків призводить до зниження рівня сигналу, його розташування становило 10 м від заряду. Учасники експерименту знаходилися на віддаленні 100 м від заряду з суміші вибухонебезпечних газів.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ І ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО БАР'ЄРУ ВИБУХОМ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ

4.1 Порядок проведення експериментальних досліджень при створенні протипожежного бар'єру вибухом заряду з суміші вибухонебезпечних газів

В роботах [159, 160] викладені вимоги по плануванню і обробці даних експериментальних досліджень. З метою визначення впливу діаметру і кількості зарядів з суміші вибухонебезпечних газів на ширину створених протипожежних бар'єрів була проведена [105] серія експериментальних досліджень (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Таблиця експерименту

		Діаметр заряду, м		
		0,95	1,3	1,8
Кількість зарядів	1	×	×	×
	2	×	×	–

У дослідженнях використовувалися як одинарні, так і подвійні заряди. За рахунок використання двох зарядів досягається розподіл енергії вибуху вздовж земної поверхні [161]. Тому передбачалося, що за рахунок такого розподілу досягається створення протипожежних бар'єрів з шириною, більшою, ніж це досягається при вибуху одиночного заряду із тією ж кількістю енергії на одиницю довжини заряду. У разі дослідження подвійних зарядів відстань між їх осями складала 2 м, що відповідає ширині колії широко поширених транспортних засобів. Довжина зарядів складала близько 20 м, за винятком заряду діаметром 1,8 м, довжина якого складала близько 12 м. Дане обмеження було викликане недостатньою продуктивністю застосованого генератора ацетилено-повітряної суміші [140, 161].

Кожне з досліджень здійснювалося в наступному порядку. На вибраній ділянці місцевості здійснювалося розгортання оболонки зарядів поверх трав'яного рослинного покриву. Краї оболонки зав'язувалися і прикріплялися до ґрунту для уникнення здування вітром. Додатково оболонка заряду кріпилася до ґрунту за допомогою гнучких обхватів. Відкритий кінець оболонки заряду з суміші вибухонебезпечних газів під'єднувався до вихідного патрубку генератора (рис. 4.1). Заздалегідь в генератор ацетилену завантажувалася карбід у вигляді кусків, повна маса якого залежала від об'єму оболонки в наповненому стані. Після приєднання оболонки генератор наповнювався водою. Подача суміші в оболонку здійснювалася періодично. Тобто, впродовж 35 ÷ 50 секунд

здійснювалася генерація ацетилену без подачі повітря від нагнітача. Потім включався на $35 \div 50$ секунд нагнітач, що забезпечувало сумішоутворення при ежекційному наповненні оболонки. Наповнення оболонки сумішшю здійснювалося на протязі $5 \div 10$ хвилин. Одночасно здійснювалося розгортання вимірювального комплексу і скошування контрольної смуги трав'яного покриву поблизу ділянки досліджень. Перед ініціацією детонації учасники експерименту віддалялися від заряду на безпечну відстань [141].



Рис. 4.1. Розстилання заряду з суміші вибухонебезпечних газів

Для дослідження ударної дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів на фітоценоз окремі частини заряду розташовувалися як поблизу соснових, так і біля листяних дерев і чагарників.

4.2 Результати вимірювань ударної дії вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів при створенні протипожежного бар'єру у фітоценозі

За результатами обробки відеозйомки вибуху було встановлено, що генератор суміші забезпечив формування практично стехіометричної детонуючої суміші. Про це свідчить відсутність фази догорання палива після проходження детонаційної хвилі по заряду з суміші вибухонебезпечних газів (рис. 4.2).

Аналіз зміни стану трав'яного покриву на земній поверхні під впливом вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів, проведено шляхом оцінки зміни маси рослинного покриву на одиниці площі земної поверхні, показав [105], що частка залишкової маси, розрахована за виразом (3.2), поблизу проекції осі заряду на земну поверхню досягає 0,05. Тобто здійснюється практично повне видалення рослинного покриву.



Рис. 4.2. Розліт продуктів детонації і оболонки заряду

Було встановлено, що основна маса рослинної маси, що залишилася, складалася з дрібно розірваних елементів рослинності, що впали на земну поверхню після вибуху (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Вид земної поверхні після вибуху

Залежність частки залишкової маси при віддаленні від заряду визначається питомою енергією, зосередженою в заряді, і кількістю зарядів (табл.4.2, 4.3) [140].

Таблиця 4.2 – Результати досліджень частки залишкової маси трав'яного покрову і хвойної рослинності при віддаленні від осі одиночного заряду (без врахування обірваної рослинності)

Діаметр заряду	Частки залишкової маси (трав'яного покрову і хвойної рослинності/листяної рослинності)			
	при віддаленні від проекції осі заряду на відстань, м			
	0	1	2	3
0,95	0,04/0,02	0,37/0,35	0,94/0,92	0,99/0,97
1,3	0,03/0,01	0,06/0,04	0,92/0,9	0,98/0,96
1,8	0,05/0,03	0,07/0,04	0,14/0,12	0,78/0,75

Але у всіх випадках спостерігався загальний характер формування протипожежного бар'єру. Так, поблизу осі заряду частка залишкової маси була мінімальною з поступовим збільшенням частки залишкової маси при віддаленні від осі заряду. На деякій відстані спостерігалось часткове обривання трави із зминанням рослинного покриву.

Таблиця 4.3 – Результати досліджень частки залишкової маси при віддаленні від середини подвійного заряду (без врахування обірваної рослинності)

Діаметр заряду	Частки залишкової маси (трав'яного покриву і хвойної рослинності/листяної рослинності)				
	при віддаленні від середини зарядів на відстань, м				
	0	1	2	3	4
2×0,95	0,05/0,05	0,07/0,06	0,55/0,4	0,9/0,7	1/1
2×1,3	0,05/0,05	0,09/0,08	0,15/0,12	0,65/0,5	0,95/0,9

Після цього спостерігається рослинність, на яку не впливала достатньо інтенсивна ударна хвиля, але покрита шматками рослинності, що осіла після вибуху. Тобто, в цій області відбувається зростання кількості рослинної маси від початкової.

Слід зазначити, що є погрішність розрахунку частки залишкової маси на фіксованій відстані, оскільки при вимірюванні маси рослинного покриву після вибуху використовуються дані по скосу трави шириною 20 см, а затухання ударної хвилі поблизу заряду є не лінійним.

На підставі отриманих даних [13] встановлено залежність частки залишкової маси від питомої потужності заряду і віддалення від нього. Розподілом обірваної рослинності на земній поверхні внаслідок вибуху нехтуватимемо.

Окрім цього, вважатимемо, що якщо інтенсивність ударної хвилі перевищує деякий поріг, то відбувається повний обрив рослинного покриву, що відповідає частки залишкової маси, рівною $\delta = 0$. А якщо інтенсивність ударної хвилі знизилася нижче певного порогу, то $\delta = 1$. тоді частку залишкової маси розглядатимемо в діапазоні від 0 до 1, тобто шукатимемо залежність частки залишкової маси від приведеної питомої енергії заряду $Q_{пр}$ і віддалення r від його осі у вигляді [161]:

$$\delta(Q_{пр}, r) = \Phi(-aQ_{пр}^n + b \cdot \ln(r)), \quad (4.1)$$

де a , b , n – значення коефіцієнтів, які визначаються на підставі обробки експериментальних даних,

$\Phi(z)$ – нормальна функція розподілу має вигляд [162]:

$$\Phi(z) = \frac{1 + \operatorname{erf}(z/\sqrt{2})}{2}. \quad (4.2)$$

Стосовно проведених експериментальних досліджень отримаємо, що енергія зарядів з суміші вибухонебезпечних газів на одиницю довжини складала 3,04 МДж/м, 6,6 МДж/м і 10,9 МДж/м для зарядів діаметром 0,95 м, 1,3 м і 1,8 м, відповідно [105]. Користуючись експериментальними даними (табл.4.2), отримаємо, що частка залишкової маси апроксимується залежністю із відносною погрешністю не більше 5 % [140, 161]:

$$\delta(Q_{\text{пр}}, r) = \Phi(-0,2Q_{\text{пр}}^2 + 5 \cdot \ln(r)), \quad (4.3)$$

де $Q_{\text{пр}}$ – питома енергія заряду, [МДж/м];

r – відстань від проекції осі заряду, [м].

Представлена функція (4.3) не відображає процес перенесення обірваної рослинності вибуховою хвилею. В результаті такого перенесення після завершення вибуху частина рослинності осідає на поверхню без рослинності, а частина на рослинну поверхню, розташовану поблизу заряду. Для опису даного процесу використовуємо функцію у вигляді [161]

$$G(r) = \int_r^{r+m} k \cdot \exp(-j \cdot r^2) \cdot r^2 dr, \quad (4.4)$$

де m , k , j – коефіцієнти, які визначенні за результатами обробки експериментальних даних.

В цьому випадку функція $G(r)$ – є функцією розподілу питомої маси (маси обірваної рослинності на одиницю площі).

Отримані по даній залежності криві апроксимації для різних по діаметру зарядів мають вид (рис. 4.4) [140].

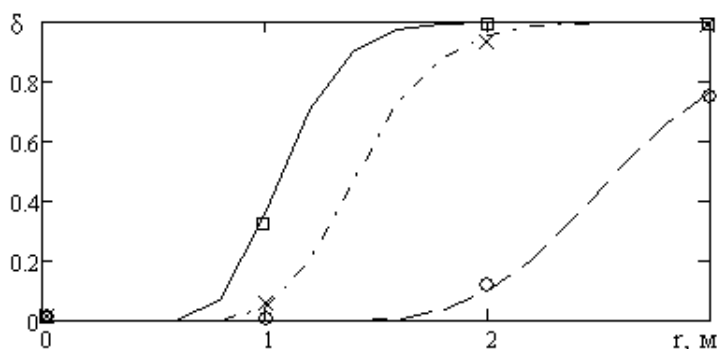


Рис. 4.4. Залежності частки залишкової маси хвойної рослинності від віддалення від проекції осі заряду для одиночного заряду діаметром 0,95 м (суцільна крива), діаметром 1,3 м (точкова крива), діаметром 1,8 м (пунктирна крива): \square , \times , \circ – експериментальні дані (табл. 4.2)

Експериментальні результати також задовільно апроксимуються залежністю у вигляді:

$$\delta(Q_{np}, r) = \frac{\exp[a \cdot (r - b)]}{1 + \exp[a \cdot (r - b)]}, \quad (4.5)$$

де $a(Q_{np}) = \frac{7}{Q_{np}^{1,3}}$; $b(Q_{np}) = 1,3 + 3(\ln Q_{np})^{7/5}$.

У грубішому наближенні розрахунок можна провести за спрощеною залежністю у вигляді:

$$\delta(Q_{np}, r) = \frac{r^5}{r^5 + \exp(0,2Q_{np}^2)}. \quad (4.6)$$

Функція розподілу рослинності нормується виразом у виді [161]:

$$\frac{1 \int_0^R G(r) dr}{m_{об}} = 1, \quad (4.7)$$

де R – максимальний радіус розльоту рослинності;

l – ширина смуги обірваної рослинності, що приймається рівною 1 м;

$m_{об}$ – маса обірваної рослинності на 1 м довжини заряду.

Якісний перерозподіл обірваної трави після вибуху заряду довжиною 1 м при масі обірваної рослинності, рівної 1 кг, має вид (рис. 4.5).

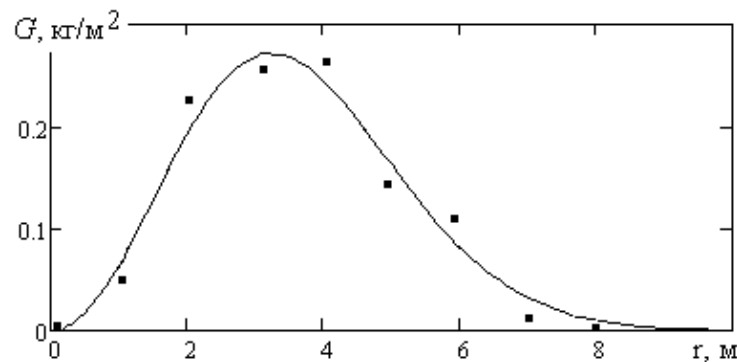


Рис. 4.5. Вид розподілу обірваної рослинності після осідання на земну поверхню при $m_{об} = 1$ кг і довжині заряду 1 м

Виходячи із закону збереження маси, нехтуванні процесом згорання, кількість обірваної рослинності дорівнює кількості рослинності, що осіла на земний покрив.

Кількість обірваної рослинності на одиницю довжини заряду, використовуючи функцію (4.3), визначиться за виразом:

$$m_{ог} = G_0 l \left[R - \int_0^R \delta dr \right], \quad (4.8)$$

де G_0 – середня питома маса рослинності до вибуху в $[\text{кг}/\text{м}^2]$.

Звідси отримаємо вираз:

$$m_{ог} = G_0 l \left[R - \int_0^R \delta dr \right] = l \int_0^R G(r) dr. \quad (4.9)$$

Таким чином, функція розподілу рослинності від осі заряду, з врахуванням осідання після вибуху обірваної рослинності, має вигляд [161]:

$$\delta(Q_{np}, r) = \Phi \left[-a Q_{np}^n + b \cdot \ln(r) \right] + \int_r^{r+m} k \cdot \exp(-j \cdot r^2) \cdot r^2 dr. \quad (4.10)$$

де коефіцієнти дорівнюють: $a = 2$; $b = 5$; $m = 0,01$; $n = 2/3$; $k = 2$; $j = 0,015$.

Так, при вибуху одиночного заряду діаметром 1,8 м, шляхом обробки результатів експериментальних досліджень отриманий наступний розподіл рослинності від осі заряду (рис. 4.6). У розподілі значенню 1 відповідає 100 % рослинності до вибуху [161].

На підставі отриманих експериментальних результатів встановлено, що при створенні протипожежного бар'єру шириною до 6 м в трав'яній і хвойній рослинності доцільне застосування подвійного заряду діаметром 1,3 м. Для створення протипожежного бар'єру в листяній рослинності рекомендується застосування подвійного заряду діаметром 0,95 м [161].

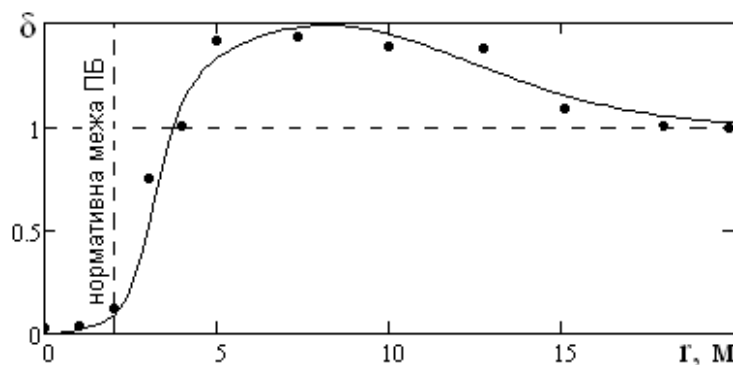


Рис. 4.6. Графік розподілу рослинності від осі заряду у відносних одиницях

4.3 Вимірювання параметрів ударної дії від вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів датчиками тиску

Внаслідок вибуху відбувається здування лише тонких віток, що дозволяє природі швидко відновлювати рослинний масив, оскільки

валяння дерев не відбувається [152]. За масовою оцінкою рослинного покриву на земній поверхні до і після вибуху встановлено, що відбувається видалення не менше 90 % рослинної маси поблизу осі заряду (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Вид чагарнику і прилеглої рослинності до і після вибуху заряду

Вимірювання тиску ударної дії вибуху здійснене на каліброваних п'єзодатчиках тиску під шаром дернового покриття висотою 5 см і 10 см. Окремо на контрольних пластинах здійснювалося утворення подібного шару покриття з метою визначення його густини [161]. Шляхом зважування і розрахунку об'єму контрольних порцій шару ґрунту встановлена їх густина.

Встановлено, що ґрунт є сипучим суглинком, який заповнений корінням трав'яної рослинності. Примусове ущільнення шару ґрунту не здійснювалося. Попередні дослідження [140] показали, що для даного типу ґрунту в розрахунках відповідає коефіцієнт опору 0,9. По другому варіанту маскування датчиків здійснювалося трав'яною рослинністю упереміш із сухими вітками. Густина такого шару була в 2 ÷ 3 рази менше густини дернового покриття [152].

Реєстрація сигналів з датчиків на осцилографі Textronix TDS1012 здійснювалася в режимі «Очікування» на три канали (рис. 4.8). Імпульсом запуску розгортки служив сигнал, що поступав на датчик, який знаходився ближче до оболонки. Поріг спрацьовування першого датчика був заданий на рівні 5 В для виключення самовільного спрацьовування.

Характер зростання кривої тиску свідчить про демпфування його наростання в шарі, яке маскує датчик. Обробка результатів вимірювань здійснено з врахуванням чутливості кожного датчика. Результати обробки представлені в таблиці 4.4. Експеримент по номеру № 1 відповідає вибуху заряду діаметром 0,95 м № 2 – 1,3 м № 3 – 1,8 м. Звідси можна встановити, що відносна погрішність між експериментальними і розрахунковими результатами складає не більше 15% [140], якщо сила опору середовища шару ґрунту в математичній моделі рівна $sc_d = 0,9$.

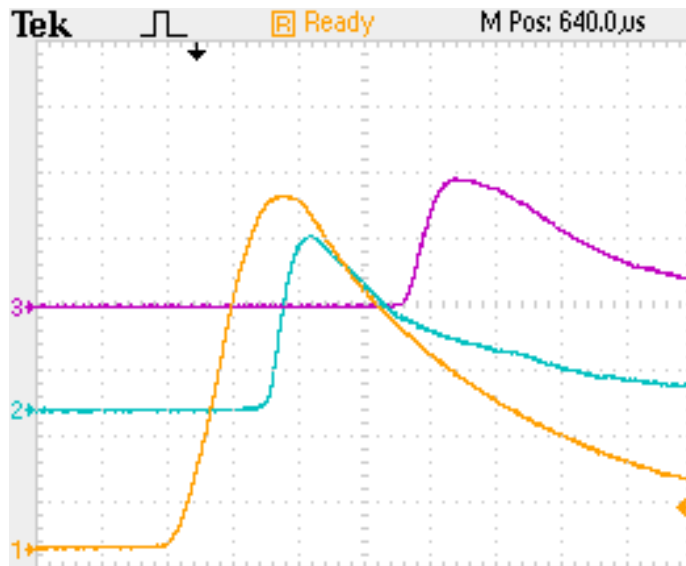


Рис. 4.8. Осцилограма сигналів з п'єзодатчиків тиску

Обробка результатів вимірювань тиску здійснювалася методом найменших квадратів. Згідно теорії погрешностей [163, 164], за найбільш вірогідне значення вимірюваної величини X приймається її середнє арифметичне.

Випадкова погрешність обчислюється за виразом [163, 164]:

$$\Delta x_{\alpha} = t_{\alpha n} \cdot S_x, \quad (4.11)$$

де $t_{\alpha n}$ – коефіцієнт Стюдента;

S_x – середньоквадратична погрешність вигляду [163, 164]:

$$S_x = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4.12)$$

Приймаємо $\alpha = 0,9$, тобто вірогідність того, що дійсне значення X не вийде за межі довірчого інтервалу, складає 90 %. Величину $t_{\alpha n}$ визначимо в роботі [165] для заданих значень $\alpha = 0,9$ и $n = 3$, що дає значення $t_{\alpha n} = 2,9$.

Результати обробки проведених вимірювань представлені (табл. 4.4). Шляхом порівняння розрахункових даних за шириною протипожежного бар'єру (див. розділ 2, табл. 2.5) із експериментальними даними по розподілу тиску і експериментально отриманій ширині протипожежного бар'єру встановлено [140], що коефіцієнт опору середовища для трав'яної рослинності і хвої дерев слід прирівняти 0,6 – 0,7.

З аналізу обривання листя листяних дерев коефіцієнт опору середовища слід прирівнювати 0,5 – 0,6.

Таблиця 4.4 – Порівняння результатів розрахунку і вимірювань тиску, що виникає вздовж земної поверхні

Діаметр зарядів		Відстань від проекції осі оболонки (чисельне моделювання), м			Відстань від проекції осі оболонки (експериментальні дослідження), м						
		1	2	3	1		2		3		
0,95	Тиск, МПа	0,82	0,41	0,2	0,90	0,9 ± 0,033 _{0,9}	0,37	0,37 ± 0,01 _{0,9}	0,23	0,23 ± 0,01 _{0,9}	
					0,88		0,36		0,24		
					0,92		0,37		0,23		
		1,3	0,90	0,48	0,25	0,89	0,9 ± 0,039 _{0,9}	0,49	0,49 ± 0,042 _{0,9}	0,26	0,26 ± 0,01 _{0,9}
						0,89		0,52		0,25	
						0,93		0,47		0,26	
		1,8	0,93	0,5	0,27	0,94	0,93 ± 0,019 _{0,9}	0,49	0,51 ± 0,029 _{0,9}	0,28	0,27 ± 0,017 _{0,9}
						0,92		0,52		0,26	
						0,92		0,52		0,27	

Порівняльний аналіз за основними показниками різних засобів щодо створення протипожежного бар'єру представлено (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Порівняльна характеристика продуктивності технічних засобів щодо створення протипожежного бар'єру

Технічні засоби щодо створення протипожежного бар'єру	Продуктивність технічних засобів щодо створення протипожежного бар'єру			
	Застосування на легких ґрунтах і доступних для техніки ділянках місцевості		Застосування на важких ґрунтах і важкодоступних для техніки ділянках місцевості	
	Продуктивність, м/годину	Ширина ПБ, м	Продуктивність, м/годину	Ширина ПБ, м
1	2	3	4	5
Інженерні засоби				
Інженерна машина БАТ-М	—	—	800	6 – 8
Бульдозер Б10М	—	—	500 – 1500	3 – 4

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5
Смугопрокладач ПФ-1	1400 – 2000	8 – 10	—	—
Трактор лісопожежний ТЛП-4	1200 – 2400	2 – 3	—	—
Плуг дисковий протипожежний ПДП-1,2	6000 – 8000	0,6	—	—
Плуг лісовий широкозахватний ПЛШ-1,2	1400 – 2340	1,2	—	—
Вибухові засоби				
Накладний шнуровий заряд ЕШ-1П	—	—	150	1 – 2
Одиночний заряд з СВНГ (ручна прокладка)	—	—	500	3
Подвійний заряд з СВНГ (механізована прокладка)	—	—	2000	6 – 8
Ручні засоби				
Лопата, мотига;	—	—	30 – 50	0,3 – 0,4
Граблі	—	—	90 – 150	0,75

На підставі техніко-економічного аналізу і результатів експериментальних досліджень отримані наступні параметри розробленої техніки локалізації лісових пожеж (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Економічна ефективність застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів і конденсованих вибухових речовин для створення протипожежного бар'єру

Найменування	Характеристика		
	Подвійний заряд з СВНГ	Шнуровий заряд ЕШ-1П	Показник ефективності, раз
1	2	3	4
Ширина створюваного протипожежного бар'єру за один прохід	6 – 8 м	1 – 2 м	4-6
Продуктивність	Не менше 500 м/годину	150 м/годину	3,3
Очікувана вартість створення 1-ї смуги довжиною 1000 м	Не більше 300 у.о.	Близько 800 у.о.	2,7

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4
<p>Необхідна кількість витратних матеріалів на створення 1 смуги довжиною 1000 м:</p> <ul style="list-style-type: none"> • паливо • оболонка • ініціатор детонації 	<p>Не більше 100 кг 2000 м (200 кг) Не більше 5 кг ТНТ Загальна вага 305 кг</p>	<p>400 кг упаковка 400 кг Загальна вага 800 кг</p>	2,6
Маса обладнання без врахування маси витратних матеріалів	Не більше 100 кг	Близько 210 кг	2,1
Очікувана вартість обладнання	Не більше 2000 у.о.	Не більше 4000 у.о.	2
Кількість обслуговуючого персоналу	3 людини	4 людини	1,3

Таким чином, підвищена ефективність застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів в порівнянні з конденсованими вибуховими речовинами при створенні протипожежного бар'єру за наступними показниками: ширина протипожежного бар'єру – (4 – 6) разів, очікувана вартість – 2,7 рази, продуктивність – 3,3 рази, маса заряду – 2,6 рази і обладнання – 2,1 рази, кількість обслуговуючого персоналу – 1,3 рази.

4.4 Рекомендації щодо застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів для локалізації лісових пожеж

При виконанні робіт із створення протипожежного бар'єру розробленим способом необхідно дотримуватися правил безпеки при вибухових роботах, викладені в [166, 167].

Розроблений спосіб вимагає виконання слідуєчих основних етапів в наступній послідовності:

- транспортування спеціального обладнання і особового складу до місця локалізації пожежі;
- інструктаж із техніки безпеки і порядку виконання робіт при створенні протипожежного бар'єру за рахунок вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів;
- розгортання оболонки заряду з СВНГ на місцевості;

- наповнення оболонки заряду з суміші вибухонебезпечних газів;
- розміщення особового складу оперативно-рятувальних підрозділів у вибухобезпечних місцях;
- ініціювання вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів для створення протипожежного бар'єру;
- локалізація окремих осередків пожежі (при їх наявності).

Керівник вибухових робіт прибувши на місце проведення робіт по створенню протипожежних бар'єрів вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів визначає:

- напрям найбільш швидкого поширення вогню;
- швидкість його поширення з урахуванням природних перешкод;
- всі особливості місцевості, а також розташування найбільш цінних і небезпечних в пожежному відношенні об'єктів.

Група підривників при локалізації лісової пожежі шляхом створення протипожежних бар'єрів вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, повинна мати наступні інструменти та обладнання:

- лопати;
- ножі;
- сумка для перенесення вибухових речовин;
- сірники;
- прапорці білі і червоні (відрізки кольорового паперу);
- мотузка, кілочки, матеріал для оболонки заряду.

При проведенні робіт по створенню протипожежного бар'єру вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів обов'язкове застосування звукових сигналів (свисток, сирена, тощо), які мають бути добре чутні в межах небезпечної зони. Звукові сигнали подаються підривником, а при одночасній роботі декількох підривників – керівником вибухових робіт. Категорично забороняється подача сигналів голосом при проведенні робіт.

При безпосередній роботі із створення протипожежних бар'єрів вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів забороняється палити. Сірники або інше запальне обладнання дозволяється мати тільки підривникам, які в процесі роботи безпосередньо здійснюють запалення вогнепровідного шнура для підриву зарядів з СВНГ.

Перенесення пожежовибухонебезпечних речовин здійснюється особами, що мають допуск до цих робіт.

Всі люди, не зайняті на роботах по створенню протипожежних бар'єрів вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, повинні віддалитися за межі зони на безпечну відстань. Безпечне місце заздалегідь вказується відповідальним за ведення робіт особою, а біля місць можливого входу в небезпечну зону мають бути виставлені пости безпеки.

Для особового складу доцільне обладнати вибухобезпечне місце на транспортній машині, що дозволить контролювати місцезнаходження особового складу на момент вибуху.

Для створення протипожежних бар'єрів в рослинних масивах різних типів рекомендується використання зарядів з суміші вибухонебезпечних газів наступних розмірів (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Рекомендовані розміри зарядів з суміші вибухонебезпечних газів

Параметри заряду	Інтенсивність пожежі			
	Середня		Середня	
	Хвойний ліс	Листяний ліс	Хвойний ліс	Листяний ліс
Діаметр, м.	1,3 – 1,4	0,95 – 1	1,3 – 1,4	0,95 – 1
Кількість, шт.	1	1	2	2

Розгортання оболонки заряду на важкодоступних для транспорту місцевості здійснюється вручну з розрахунку 2 людини на одну оболонку. Середня швидкість розгортання вручну складає до (0,5 – 1) км/год.

На зручних для проїзду ділянках місцевості розгортання може здійснюватися в автоматичному або напівавтоматичному режимах. В цьому випадку середня швидкість розгортання може досягати (2 – 3) км/год.

Виходячи з необхідності контролю стану середовища після вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів, рекомендується, щоб довжина зарядів не перевищувала 100 м. В цьому випадку не ускладнюється візуальний контроль.

Після вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів керівник робіт разом з підривниками оглядає створений протипожежний бар'єр, звертаючи увагу на повноту вибуху зарядів і якість протипожежного бар'єру.

Ініціювання вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних для створення протипожежних бар'єрів доцільно здійснювати електророзрядними способами без використання ініціюючих конденсованих вибухових речовин [168, 169].

Для локалізації окремих осередків пожежі використовуються відомі методи, із яких при розробленому способі створення протипожежного бар'єру рекомендується застосовувати:

- дією на поверхню матеріалів, що горять, вогнегасними речовинами, що охолоджують;
- хімічним уповільненням реакції горіння (застосування порошкових, газових, аерозольних вогнегасних речовин).

ЗАКЛЮЧЕННЯ

В роботі отримані нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності забезпечують розв'язання актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності локалізації лісових пожеж шляхом створення протипожежних бар'єрів вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів.

Вперше запропоновано застосування вибухового методу для локалізації лісових пожеж шляхом створення протипожежних бар'єрів вибухом зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, що забезпечить підвищення імпульсу тиску та ступеня безпеки при роботі, зменшення маси зарядів, формування зарядів безпосередньо в місці застосування, зручність транспортування, можливість використання на важкодоступних ділянках місцевості.

Вдосконалено математичну модель вибуху для зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, яка відрізняється урахуванням початкового просторового розподілу термодинамічних параметрів продуктів детонації заряду при різних значеннях опору середовища та взаємодії газових потоків від одночасного вибуху двох зарядів що дозволяє врахувати дифузію та розвиток процесу в тривимірному просторі.

Проведено розрахунок початкових умов, що визначають термодинамічний стан продуктів детонації після вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів. Розглянуто заряди на основі стехіометричної суміші пропан-бутану технічного з повітрям і суміші ацетилену з повітрям. Отримано, що для суміші ПБТ з повітрям тиск продуктів детонації складе $P_d \approx 1,1$ МПа, а для суміші ацетилену з повітрям $P_d \approx 1,4$ МПа. Суміш ПБТ є більш безпечною в практичному використанні, хоча має меншу питому енергію вибуху ніж ацетилен.

Показано, що за результатами чисельного моделювання та експериментальних досліджень для локалізації лісової пожежі доцільно використовувати подвійний заряд з суміші вибухонебезпечних газів замість одинарного, з розстиланням поверх наземного горючого матеріалу. Для отримання протипожежних бар'єрів шириною (7 – 8) м в хвойному лісі достатньо застосування двох зарядів діаметром по 1,3 м, розташованих на віддаленні 2 м від осі. У листяному лісі доцільно застосовувати заряди діаметром 0,95 м для отримання протипожежних бар'єрів шириною до 5 м.

Вперше обґрунтовано доцільність використання в якості пального для наповнення заряду суміш ПБТ з повітрям. При цьому витрати СПБТ на 1 метр заряду діаметром 0,95 м складає 46 г.

Шляхом порівняння розрахункових даних по ширині протипожежного бар'єру з даними експериментів по розподілу тиску і експериментально отримуваний ширині протипожежного бар'єру встановлено, що коефіцієнт опору середовища для трав'яної рослинності і хвоїнок дерев слід прирівняти до (0,6 – 0,7). З аналізу обривання листя листяних дерев коефіцієнт опору середовища слід прирівняти до (0,5 – 0,6).

Вперше експериментально отримана залежність частки залишкової маси рослинного горючого матеріалу в протипожежному бар'єрі, який утворюється в результаті вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, від діаметру, кількості і розташування зарядів

Визначено, що швидкість створення протипожежних бар'єрів шириною (8 – 9) м в лісовому масиві для локалізації низової пожежі з використанням подвійних зарядів з суміші вибухонебезпечних газів механізованим способом складе не менше 2000 м/год. В порівнянні з конденсованими вибуховими речовинами застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів при локалізації лісових пожеж дозволяє підвищити швидкість розстилання заряду в (5 – 10) разів і збільшити ширину протипожежних бар'єрів в (2 – 4) рази, при цьому маса заряду зменшується до 5 разів при однаковій енергії вибуху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державне агентство лісових ресурсів України. – Режим доступу: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index>.
2. Свириденко В.Є. Лісова пірологія / В.Є. Свириденко, О.Г. Бабіч, А.Й. Швиденко; за ред. В.Є. Свириденка. – К.: Агропромвидав України, 1999. – 172 с
3. Гербут Ф.Ф. Лісова пірологія / Ф.Ф. Гербут, – Ужгород: УНУ ГФ, 2012. – 103 с
4. Свириденко В.Є. Лісівництво / В.Є. Свириденко, О.Г. Бабіч, Л.С. Киричок; за ред. В.Є. Свириденка. – К.: Арістей, 2008. – 544 с.
5. Ходаков В.Е. Лесные пожары: методы исследования: [монографія] / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с
6. Лісовий кодекс України // Відомості Верховної Ради – 1994 – № 17 – ст. 99
7. Земельний Кодекс України // Відомості Верховної Ради – 2002, – № 3-4, ст. 27.
8. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А. М. Гришин. – Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.
9. Говаленков С.В. Аналіз динаміки патентування способів та приладів локалізації та ліквідації лісових пожеж / С.В. Говаленков, Д.П. Дубінін, Р.В. Корнієнко // Системи управління навігації та зв'язку: – К., 2010. – № 1 (13). – С. 213 – 218.
10. Говаленков С.В. Аналіз динаміки патентування способів локалізації та ліквідації лісових пожеж / С.В. Говаленков, Д.П. Дубінін, А.А. Назаренко // Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій: міжнародна науково-практична конференція: тези доповідей. – Черкаси, 2009. – С. 23 – 25.
11. Пат. 2295990 RU, МПК А62С 3/02. Способ экстренного тушения низового лесного пожара / Сретинский В.А.; заявитель и патентообладатель Сретинский В.А. – № 2005107085/12; заявл. 11.03.05; опубл. 27.03.07. Бюл. № 9.
12. Пат. 1659064 SU, МПК А62С3/02. Устройство для тушения кромки лесного пожара / Цай Ю.Т., Суприянович Н.Е., Груманс В.М., Стельмахович С.В.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 4656586/12; заявл. 27.02.89; опубл. 30.06.91. Бюл. № 24.
13. Пат. 10547 UA, МПК А62С3/02. Установка газодляного гасіння пожежі на базі турбореактивного двигуна / Лозинський Р.Я., Ковалішин В.В., Дмитровський С.Ю.; Винахідник та власник патенту Львівський інститут пожежної безпеки МНС України – № u200504537; заявл. 16.05.05; публ. 15.11.05. Бюл. № 11.

14. Пат. 1567215 SU, МПК А62С3/02. Способ предупреждения лесных пожаров и устройство для его осуществления / Клещев Т.И.; заявитель и патентообладатель Клещев Т.И. – № 4409049/30-12; заявл. 01.02.88; опубл. 30.05.90. Бюл. № 20.

15. Пат. 2188055 RU, МПК А62С3/02. Способ профилактики пожаров в сосновых лесных насаждениях / Жданов Ю.М.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации – № 2000125425/12; заявл. 09.10.00; опубл. 27.08.02. Бюл. № 4.

16. Пат. 1563710 SU, МПК А62С3/02. Лесопожарный агрегат / Журавлев Н.И., Грехова Л.И.; заявитель и патентообладатель Ленинградский научно-исследовательский институт лесного хозяйства – № 4344950/23-12; заявл. 30.10.87; опубл. 15.05.90. Бюл. № 18.

17. Пат. 2217197 RU, МПК А62С3/02, А62С27/00. Лесопожарный агрегат / Вавилонский Э.Б., Неволин В.М., Зудов С.П., Агафонов В.Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения" – № 2001122928/12; заявл. 14.08.01; опубл. 27.11.03. Бюл. № 16.

18. Пат. 2295371 RU, МПК А 62С3/02, А01В13/00. Способ прокладки и реконструкции противопожарных полос и устройство для его реализации / Королев Г.М., Худоногов Ю.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2005105393/12; заявл. 25.02.05; опубл. 20.03.07. Бюл. № 8.

19. Пат. 2206352 RU, МПК А62С3/02. Способ реконструкции противопожарных минерализованных полос / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2002110349/12; заявл. 18.04.02; опубл. 20.06.03. Бюл. № 11.

20. Пат. 1233875 SU, МПК А62С3/02. Способ локализации растительного пожара / Савченко А.Г.; заявитель и патентообладатель Ялтинский горно-лесной государственный заповедник – № 3845556/29-12; заявл. 13.12.84; опубл. 30.05.86. Бюл. № 20.

21. Пат. 1253651 SU, МПК А62С3/00. Способ предупреждения распространения низовых пожаров / Худоногов Ю.Я., Кручек А.Д., Королев Г.М.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 3677252/29-12; заявл. 15.12.83; опубл. 30.08.86. Бюл. № 32.

22. Пат. 1639667 SU, МПК А62С3/00. Способ тушения пожара горячей поверхности и устройства для его осуществления / Буробин В.Н., Верещака А.И., Ключников Г.Я.; заявитель и патентообладатель Академия гражданской авиации – № 4658516/12; заявл. 03.03.89; опубл. 07.04.91.

Бюл. № 13.

23. Пат. 2183486 RU, МПК А62С3/02. Противопожарная грунтометно-пескоструйная машина / Сорокин Л.Е.; заявитель и патентообладатель Сорокин Леонид Ефимович – № 2000105148/12; заявл. 01.03.00; опубл. 20.06.02. Бюл. № 7.

24. Пат. 2182026 RU, МПК А62С3/02, А62С19/00. Способ тушения пожаров / Перепеченко Б.П., Коробенина Т.П., Милицын Ю.А., Пак З.П., Милехин Ю.М., Сокольников А.С., Крутов В.И., Очин В.Ф., Нестеренко Д.А.; заявитель и патентообладатель Перепеченко Б.П. – № 97102216/12; заявл. 10.02.97; опубл. 10.05.02. Бюл. № 5.

25. Пат. 2142301 RU, МПК А62С3/02. Способ тушения пожаров на открытых площадях / Никитин А.А.; заявитель и патентообладатель Никитин Андрей Андреевич – № 98120196/12; заявл. 10.11.98; опубл. 10.12.99. Бюл. № 14.

26. Пат. 2189263 RU, МПК А62С3/02. Способ предотвращения распространения лесного пожара / Стельмахович С.В., Груманс В.М.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2000113809/12; заявл. 30.05.00; опубл. 20.09.02. Бюл. № 8.

27. Пат. 2319527 RU, МПК А62С3/02. Устройство для тушения лесных пожаров / Копылов Н.П., Баратов А.Н., Забегаев В.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России – № 2005139753/12; заявл. 19.12.05; опубл. 20.03.08. Бюл. № 8.

28. Пат. 2192296 RU, МПК А 62С39/00, В64D1/16. Устройство для тушения пожаров с вертолета / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2001108528/28; заявл. 30.03.01; опубл. 10.11.02. Бюл. № 14.

29. Пат. 2273503 RU, МПК А62С3/02. Способ локализации лесного низового пожара / Руденко М.Г., Гришин А.М., Молокова С.В., Щербаков И.С.; заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский институт МВД РФ – № 2004126516/12; заявл. 01.09.04; опубл. 10.04.06. Бюл. № 10.

30. Пат. 2302887 RU, МПК А62С3/02. Способ тушения пожара / Плехов Г.Г.; заявитель и патентообладатель Плехов Герман Георгиевич – № 2003127468/12; заявл. 10.09.03; опубл. 20.07.07. Бюл. № 20.

31. Пат. 2254152 RU, МПК А62С3/02. Способ тушения пожара / Булгаков И.И.; заявитель и патентообладатель Булгаков Иван Иванович – № 2003118957/12; заявл. 24.06.03; опубл. 20.06.05. Бюл. № 17.

32. Пат. 2252050 RU, МПК А62С3/02. Способ тушения пожара «Смерч» / Цой В.Ч.; заявитель и патентообладатель Цой Василий Чумбекович – № 2003127486/12; заявл. 10.09.03; опубл. 20.05.05. Бюл. № 14.

33. Пат. 2113260 RU, МПК А62С3/02. Способ локализации лесного пожара / Петраков В.М., Коняев Е.А., Галяев Д.В., Казаков И.Н., Петраков С.В.; заявитель и патентообладатель Петраков Валерий Михайлович – № 96120344/12; заявл. 27.09.96; опубл. 20.06.98. Бюл. № 12.

34. Пат. 2201777 RU, МПК А62С3/02. Способ остановки фронта лесного пожара / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 200210380512/12; заявл. 11.02.02; опубл. 10.04.03. Бюл. № 5.

35. Пат. 2170117 RU, МПК А62С3/02. Способ ограничения распространения лесных пожаров / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 200115516/12; заявл. 14.06.00; опубл. 10.07.01. Бюл. № 12.

36. Пат. 2170118 RU, МПК А62С3/02. Способ остановки фронта лесного пожара / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 200116199/12; заявл. 19.06.00; опубл. 10.07.01. Бюл. № 12.

37. Пат. 1664334 SU, МПК А62С3/02. Устройство для зажигания напочвенного покрова / Стельмахович С.В., Груманс В.М., Суприянович Н.Е., Цай Ю.Т.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 4683892/12; заявл. 25.04.89; опубл. 23.07.91. Бюл. № 27.

38. Пат. 1713603 SU, МПК А62С3/02. Зажигательное устройство с капельным действием для отжига напочвенного покрова при тушении лесных пожаров / Стельмахович С.В., Цай Ю.Т., Груманс В.М., Суприянович Н.Е.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 4758901/12; заявл. 16.11.89; опубл. 23.02.92. Бюл. № 7.

39. Пат. 2170600 RU, МПК А62С3/02. Устройство для зажигания напочвенного покрова / Главацкий Г.Д., Орловский С.Н., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2000116385/12; заявл. 20.06.00; опубл. 20.07.01. Бюл. № 9.

40. Пат. 2170122 RU, МПК А62С3/02. Способ полосного выжигания лесных горючих материалов / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2000124135/12; заявл. 21.09.00; опубл. 10.07.01. Бюл. № 14.

41. Пат. 2190439 RU, МПК А62С3/02. Способ предотвращения распространения лесного пожара / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт

противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2001102344/12; заявл. 25.01.01; опубл. 10.10.02. Бюл. № 18.

42. Пат. 2190440 RU, МПК А62С3/02. Способ остановки лесного пожара / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2001106555/12; заявл. 11.03.01; опубл. 10.10.02; – 4 с. Бюл. № 6.

43. Пат. 2245179 RU, МПК А62С3/02, В62D57/036. Автоматизированный способ локализации лесных пожаров / Кудрявцев И.А., Ефремов В.Н., Корнеев М.А., Кудрявцев А.И.; заявитель и патентообладатель Марийский государственный технический университет – № 2003104897/12; заявл. 18.02.03; опубл. 27.01.05. Бюл. № 3.

44. Пат. 2170121 RU, МПК А62С3/02. Способ предотвращения перехода лугового пожара в лесной / Главацкий Г.Д., Шмаков В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2000124133/12; заявл. 21.09.00; опубл. 10.07.01. Бюл. № 10.

45. Пат. 1074545 SU, МПК А62С3/00. Способ ограничения распространения лесных пожаров / Арцыбашев Е.С., Аканиев Ф.И., Васильев О.А., Пирогова Т.Г.; заявитель и патентообладатель Ленинградский научно-исследовательский институт лесного хозяйства – № 3534880/29-12; заявл. 30.11.82; опубл. 23.02.84. Бюл. № 7.

46. Пат. 936934 SU, МПК А62С3/00. Способ ограничения распространения лесного пожара / Арцыбашев Е.С., Аканиев Ф.И., Васильев О.А.; заявитель и патентообладатель Ленинградский научно-исследовательский институт лесного хозяйства – № 3000611/29-12; заявл. 04.11.80; опубл. 23.06.82. Бюл. № 23.

47. Пат. 1134202 SU, МПК А62С3/02. Способ ограничения распространения лесных пожаров / Гришин А.М., Бабаев В.М., Абалтусов В.Е., Грузин А.Д., Зверев В.Г., Плюхин В.В.; заявитель и патентообладатель Томский ордена Октябрьской революции и ордена трудового Красного Знамени государственный университет им. В.В. Куйбышева – № 3515538/29-12; заявл. 25.10.82; опубл. 15.01.85. Бюл. № 2.

48. Пат. 1639666 SU, МПК А62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Ясониди О.Е., Кучерова Н.А., Скрыбина О.А., Галкина В.А.; заявитель и патентообладатель Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова – № 4378208/12; заявл. 15.02.88; опубл. 07.04.91. Бюл. № 13.

49. Пат. 2189263 RU, МПК А62С3/02. Способ предотвращения распространения лесного пожара / Стельмахович С.В., Груманс В.М.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2000113809/12; заявл. 30.05.00; опубл. 20.09.02. Бюл. № 15.

50. Пат. 2184581 RU, МПК А62С3/02. Способ создания

профилактических огнезаградительных полос / Главацкий Г.Д., Михалев Ю.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – № 2000126378/12; заявл. 19.10.00; опубл. 10.07.02. Бюл. № 8.

51. Пат. 1036331 SU, МПК А62С3/00. Устройство для создания противопожарного заслона / Козлов Р.П., Бирюков Г.П., Зализняк С.Н., Захматов В.Д., Надубов В.А., Романенко Н.Т., Сапунов А.Б., Смирнов В.И.; заявитель и патентообладатель Специальная научно-исследовательская лаборатория Всесоюзного научно-исследовательского института противопожарной обороны – № 3386989/29-12; заявл. 29.01.82; опубл. 23.08.83. Бюл. № 31.

52. Пат. 1797915 SU, МПК А62С3/00. Противопожарное устройство / Алексеев В.А., Пихиенко В.В., Родэ Ю.А., Иванов Н.А., Виноградов В.В.; заявитель и патентообладатель филиал Научно-исследовательского института химических продуктов, Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны – № 4795628/12; заявл. 29.02.89; опубл. 28.02.93. Бюл. № 8.

53. Пат. 1266549 SU, МПК А62С3/00. Противопожарное устройство / Захматов В.Д., Дьяков В.В., Сагидуллин Г.Г., Азовсков М.Е., Моор А.А.; заявитель и патентообладатель Штаб военизированных горноспасательных частей Урала – № 3894110/28-12; заявл. 06.05.85; опубл. 30.10.86. Бюл. № 40.

54. Пат. 2158621 RU, МПК А62С3/02. Способ тушения верховых лесных пожаров на больших площадях / Леонов В.В.; заявитель и патентообладатель Леонов Виктор Викторович – № 99110891/12; заявл. 21.05.99; опубл. 10.11.00. Бюл. № 9.

55. Пат. 2243014 RU, МПК А 62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Селиверстов В.И., Стенковой В.И., Веретинский П.Г., Ивашков В.П., Крестинин В.В., Кусков Н.А., Трубникова Г.В.; заявитель и патентообладатель Селиверстов Владимир Иванович и Стенковой Владимир Ильич – № 2003127348/12; заявл. 10.09.03; опубл. 27.12.04. Бюл. № 17.

56. Пат. 2232040 RU, МПК А 62С3/02. Бомба / Сидоров А.В., Зоненко С.И.; заявитель и патентообладатель Сидоров Андрей Витальевич, Зоненко Сергей Иванович – № 2003129007/12; заявл. 29.09.03; опубл. 10.07.04. Бюл. № 11.

57. Пат. 2158150 RU, МПК А62С3/02, А62D1/00. Способ локализации и тушения пожаров / Талалаев А.П., Охрименко Э.Ф., Кузьмицкий Г.Э., Аликин В.Н., Федченко Н.Н., Панов И.В., Назарова З.В., Чернобровкина О.А., Исламова А.А., Шилова Е.В., Полетаев Д.В.; заявитель и патентообладатель ГУП Научно-исследовательский институт полимерных материалов и ФГУП Пермский завод им. С.М. Кирова – № 99124664/12; заявл. 22.11.99; опубл. 27.10.00. Бюл. № 15.

58. Пат. 1644976 SU, МПК А62С3/02. Способ тушения лесных

пожаров / Гришин А.М., Алексеев Н.А., Голованов А.Н.; Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики и Томский государственный университет им. В.В. Куйбышева – № 4644603/12; заявл. 26.12.88; опубл. 30.04.91; – 3 с. Бюл. № 16.

59. Пат. 2033826 RU, МПК А62С3/02. Устройство для локализации и тушения лесных пожаров / Гришин А.М., Антонов В.А., Наймушина Л.Ю., Голованов А.Н., Кустов Ю.В.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет им. В.В. Куйбышева – № 4852597/12; заявл. 20.07.90; опубл. 30.04.95. Бюл. № 12.

60. Пат. 2216368 RU, МПК А62С3/02. Устройство для тушения лесных пожаров отраженными волнами направленных взрывов / Рева Г.В., Кулешов Н.Н., Куценко Л.Н., Сенчихин Ю.Н., Ромин А.В.; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины – № 2000107323/12; заявл. 24.03.00; опубл. 20.11.03. Бюл. № 19.

61. Пат. 2234964 RU, МПК А62С3/02. Устройство для тушения лесных пожаров / Голендер В.А., Гузенко В.А., Долгополова Н.В., Шупиков А.Н.; заявитель и патентообладатель Долгополова Наталия Владимировна – № 2000123133/12; заявл. 05.09.00; опубл. 27.08.04. Бюл. № 7.

62. Пат. 1657199 SU, МПК А62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Гришин А.М., Голованов А.Н., Кулаков Б.И.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет им. В.В. Куйбышева – № 4661231/12; заявл. 03.01.89; опубл. 23.06.91. Бюл. № 23.

63. Пат. 902362 SU, МПК А62С3/02. Детонирующий шнур для прокладки минерализованных полос при тушении лесных пожаров / Душенок С.А, Котомин А.А, Яковлева О.Ф, Поляк С.М, Тохтуев С.Г, Лившиц В.А, Поляков В.А, Орлов О.К, Ликин В.А, Арцибашев Е.С; заявитель и патентообладатель Душенок С.А – № 2977715/12; заявл. 22.08.80; опубл. 15.05.94. Бюл. № 9.

64. Пат. 1657198 SU, МПК А62С3/02. Устройство для тушения лесного пожара / Гришин А.М., Голованов А.Н., Андреев Н.А., Пряхин П.Н.; заявитель и патентообладатель Томский государственный университет им. В.В. Куйбышева – № 4661158/12; заявл. 03.01.89; опубл. 23.06.91. Бюл. № 23.

65. Пат. 2068286 RU, МПК А62С39/00, В64D1/16, F42B25/00. Бомба противопожарная и способ тушения пожара / Криворотов А.С.; заявитель и патентообладатель Криворотов Александр Семенович – № 93046247/08; заявл. 30.09.93; опубл. 27.10.96. Бюл. № 30.

66. Пат. 2245181 RU, МПК А62С3/02. Способ локализации и/или тушения пожаров / Кореньков В.В., Терешин А.А., Супрунов Н.А., Копылов Н.П., Цариченко С.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Государственное научно-производственное предприятие "Базальт" – № 2004103576/12;

заявл. 10.02.04; опубл. 27.01.05. Бюл. № 3.

67. Пат. 2201776 RU, МПК А62С3/02, F42В25/00. Способ тушения торфяных пожаров при помощи авиабомб, доставляемых в зону пожара вертолетом на платформе / Субратов А.А., Субратов И.А., Агапова М.А., Агапов В.В., Субратова А.Г., Заика Л.М., Буланов И.Д., Земляков В.В.; заявитель и патентообладатель Субратов Алексей Алексеевич – № 20001103686/12; заявл. 12.02.01; опубл. 10.04.03. Бюл. № 12.

68. Пат. 2171125 RU, МПК А 62С3/02. Взрывное устройство для борьбы с лесным пожаром / Гриншпан Я.Р., Ревуненков А.Я.; заявитель и патентообладатель Гриншпан Яков Рувимович, Ревуненков Александр Яковлевич – № 99124163/02; заявл. 17.11.99; опубл. 27.07.01. Бюл. № 17.

69. Пат. 2111032 RU, МПК А62С3/02, В64D1/16. Способ локализации и/или тушения пожаров и устройство для его реализации / Гуров А.И., Захаров В.И., Либерзон М.Р., Митин Б.С., Одновол Л.А., Сысцов А.С., Сытников А.Н.; заявитель и патентообладатель Международный фонд попечителей Московского государственного авиационного технологического университета им. К.Э. Циолковского – № 97106264/12; заявл. 24.04.97; опубл. 20.05.98. Бюл. № 10.

70. Пат. 2177814 RU, МПК А62С3/02, В64D1/16, F42В12/52. Система взрывного гашения обширных лесных пожаров для летательного аппарата / Галкин В.Е.; заявитель и патентообладатель Галкин Вячеслав Евгеньевич – № 99122668/28; заявл. 27.10.99; опубл. 10.01.02. Бюл. № 4.

71. Пат. 2281132 RU, МПК А62С3/02. Способ мгновенного тушения мощных локальных и иных пожаров / Цой В.Ч.; заявитель и патентообладатель Цой Василий Чумбекович – № 2004116927/12; заявл. 04.06.04; опубл. 10.08.06. Бюл. № 22.

72. Пат. 2144401 RU, МПК А62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Логвинов А.И.; заявитель и патентообладатель Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики – № 99101009/12; заявл. 18.01.99; опубл. 20.01.00. Бюл. № 3.

73. Мелехов И.С. Лесные пожары и борьба с ними / И.С. Мелехов. – Москва: Издательство Книга по Требованию, 2012. – 81 с.

74. Правила пожежної безпеки в лісах України: НАПБ А.01.002-2004. – К.: Держкомлісгосп України, 2004. – 50 с.

75. Методичні рекомендації щодо зниження небезпеки пливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах. Наказ МНС України № 890 від 25 серпня 2011 р. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/files/2011/8/26/890.pdf>.

76. Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж / М. Откідач, В. Чеповський, В. Орел та ін. – К.: УкрНДІПБ, 2007. – 53 с.

77. Положення про лісові пожежні станції: НАПБ Б.02.020-2005. – К.: Держкомлісгосп України, 2005. – 18 с.

78. Кодекс цивільного захисту України // Відомості Верховної Ради – 2013 – № 34-35 – ст. 458.

79. Інструкція про порядок взаємодії підрозділів відомчої пожежної охорони Держкомлісгоспу України і пожежно-рятувальних підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України під час гасіння лісових пожеж: НАПБ Б.05.023-2007. – К.: Держкомлісгосп України, МНС України, 2007. – 4 с
80. Положення Інструкція про порядок взаємодії підрозділів пожежної охорони мінлісгоспу України і Державної пожежної охорони України при гасінні лісових пожеж: НАПБ Б.05.007-96. – К.: МВС України, Мінлісгосп України, 1996. – 2 с
81. König H.C. Waldbrandschutz. Kompendium für Forst und Feuerwehr / H.C. König. – Supplement Band 1. – Hrsg. Mathias Bessel. – F.: Fachverlag Matthias Grimm, 2007. – 197 с.
82. Гришин, А. М. Новая концепция, способы и устройства для борьбы с лесными пожарами / А.М. Гришин, В.П. Зима // Экологические системы и приборы: Научно-технический и производственный журнал. – 2007. – № 10. – С. 57 – 61
83. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними / В.В. Усеня. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. – 206 с
84. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами / Э.Н. Валендик. – Новосибирск: Наука, 1990. – 193 с
85. Pat. 6142238 The United States of America, Int.CI7, A 62C2/00, A 62C27/00. Fire tractor hitch and fire fighting method / Holt A.C., Holt A.J.; Assignee; Anthony James, Holt, Andrew Charles Holt. – № 08/980,217; filed 28.11.97; date of Patent. 07.11.00.
86. Пат. 1671326, МПК⁵, А 62С3/02. Авиадесантный лесопожарный агрегат / Мартыщенко В.В., Орловский С.Н., Филимонов Э.Г., Магда В.А., Шкуренко В.А.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства. – № 4624491/12; заявл. 26.12.88; опубл. 23.08.91, Бюл. № 31.
87. Говаленков С.В. Применение взрывного способа для борьбы с лесными пожарами / С.В. Говаленков., Д.П. Дубинин // Системи обробки інформації: – Х., 2009. – № 2 (76). – С. 135 – 139.
88. Говаленков С.В. Анализ применения взрывного способа для локализации низовых лесных пожаров / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: II міжнародна науково-практична конференція: тези доповідей. – Черкаси, 2008. – С. 40 – 42.
89. Eissler M. A Handbook on Modern Explosives – Being a Practical Treatise on the Manufacture and Application of Dynamite, Gun-Cotton, Nitro-Glycerine, and Other E / M. Eissler. – Charleston, South Carolina: Nabu Press, 2014. – 410 с.
90. Гришин А.М. Физика лесных пожаров / А.М. Гришин. – Томск: Издательство Томского университета, 1994. – 218 с.
91. Гельфанд Б.Е. Объемные взрывы / Б.Е. Гельфанд,

М.В. Сильников. – Санкт-Петербург: Астерион, 2008. – 372 с.

92. Пат. 1136811, МПК4, А62С1/22. Способ тушения лесных пожаров / Гришин А.М. Бабаев В.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г., Абалтусов В.Е., Мамонтов Г.Я.; заявитель и патентообладатель Томский ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственный университет им. В.В. Куйбышева. – № 3516796/29-12; заявл. 01.12.82; опубл. 30.01.85, Бюл. № 4.

93. Пат. 2439479 РФ, МПК6, F42B025/00. Противопожарная авиабомба / Герасимов А.В.; заявитель и патентообладатель Герасимов А.В. – № 2010137895/11; заявл. 14.09.10; опубл. 10.01.12., Бюл. № 1.

94. Новая авиационная бомба объёмного взрыва / В. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 1975. – № 1. – С. 120 – 121.

95. Пат. 2386922 РФ, МПК7, F42B25/00. Авиационная бомба объёмного взрыва/ Андриюшкин А.Ю.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова. – № 2008141183/02; заявл. 16.10.08; опубл. 20.04.10., Бюл. № 11.

96. Сегодня А.М. Справочное руководство по ликвидации лесных и торфяных пожаров/ А.М. Сегодня, А.Д. Булва. – Гродно: Гродненское управление МЧС Республики Беларусь, 2012. – 160 с.

97. Иванов В.А. Справочник по тушению природных пожаров / В.А. Иванов, Г.А. Иванова, С.А. Москальченко. – Красноярск: ПРООН, 2011. – 130 с.

98. Щетинский Е.А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров / Е.А. Щетинский. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – 96 с.

99. Баринов А.В. Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них / А.В. Баринов. – М.: Издательство ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 496 с

100. Pat. 5894891 The United States of America, Int.CI6, A62C35/08. Method and device for extinguishing fires / Ries R., Rosenstock W.; Assignee Amrona AG. – № 08/649 640; filed 26.07.95; date of Patent. 20.04.99.

101. Pat. 6164382 The United States of America, Int.CI7, A62C2/00. Pyrotechnical device and process for extinguishing fires / Schutte V., Wagner E.W.; Assignee Wagner Alarm - Und Sicherungssysteme GmbH. – № 09/297,452; filed 30.10.97; date of Patent. 26.12.00.

102. Рева Г.В. Метод розрахунку циліндричних відбивачів вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец.05.01.01 “Прикладна геометрія, інженерна графіка” / Г.В. Рева. – Донецьк, 2000. – 18 с.

103. Пат. 2169596, МПК7, А62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Машович А.Я.; Гришин А.М.; Самойлов В.И.; Еронько А.А.; 121

заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский институт МВД РФ. – № 99120156/12; заявл. 20.09.99; опубл. 27.06.01.

104. Говаленков С.В. Исследование локализации низовых лесных пожаров объемными шланговыми зарядами / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: міжнародна науково-практична конференція: тези доповідей. – Черкаси, 2010. – С. 14 – 17.

105. Говаленков С.В. Локализация лесных пожаров объемными шланговыми зарядами / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Наглядно-профілактична діяльність МНС України: VII науково-практична конференція: тези доповідей. – Харків, 2010. – С. 27 – 29.

106. Гришин А.М. Экспериментальное и теоретическое исследование воздействия взрыва на фронт верхового лесного пожара / А.М. Гришин, Ю.М. Ковалев // ДАН. – 1989. – Т. 308, № 5. – С. 1074 – 1078.

107. Ударные и детонационные волны: Методы исследования / И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов, В.С. Соловьев, Н.Н. Сысоев. – М.: Физматлит, 2004. – 375 с.

108. Гришин А. М. Об усилении ударных волн при взаимодействии с фронтом лесного пожара / А.М. Гришин, Ю.М. Ковалев // ДАН. – 1990. Т. 312, № 1. – С. 50 – 54.

109. Пат. 78083 Україна, МПК7 F41H11/00. Спосіб розмінування мінно-вибухових загороджень / Сиротенко А.М., Янчик О.Г., Стаховський О.В., Коритченко К.В., Ларин О.Ю.; заявник і патентовласник Національний науковий центр “Харківський фізико-технічний інститут”. – № а200501563; заяв. 21.02.05; публ. 15.02.07., Бюл. № 2.

110. Pat. 0360234A1 EUROPEAN, Int.Cl.⁵, F41H11/12. Minefield clearing device/ Murray S.B., Weiss D.A., Moen I.O., Ward S.A.; Inventor Canadian Patents and Development Limited Societe Canadienne des Brevets et d'Exploitation Limitee 275 Slater Street Ottawa Ontario. – № 89117333.8; Date of filing 20.09.89; Date of publication of application 28.03.90. Bulletin № 90/13.

111. Говаленков С.В. Использование ударного действия объемных шланговых зарядов для локализации низовых лесных пожаров / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Актуальные проблемы пожарной безопасности: XXII международная научно-практическая конференция: тезисы докладов. – М., 2010. – С. 209 – 211.

112. Дубинин Д.П. Особенности создания объемных шланговых зарядов / Д.П. Дубинин, С.В. Говаленков // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту: II міжвузівська науково-практична конференція, 30 – 31 березня 2009 р.: тези доповідей. – Черкаси, 2009. – С. 73 – 75.

113. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Х.: НУГЗУ, 2011. – 927 с.

114. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов при лесных пожарах и палах: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 06.03.03. “Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними” / Э.В. Конев. – Москва, 1992. – 32 с.
115. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров. Пособие для лесных пожарных / Е.А. Щетинский. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 104 с.
116. Тарасенко О.А. Вплив просторових флуктуацій пірологічних параметрів середовища на інтегральні характеристики низової лісової пожежі та умови її гасіння: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 “Пожежна безпека” / О.А. Тарасенко. – Харків, 2004. – 21 с.
117. Дубінін Д.П. Моделювання вибухової хвилі з урахуванням впливу рослинності при лісових пожежах / Д.П. Дубінін, С.В. Говаленков // Проблемні питання службово-бойового застосування сил охорони правопорядку на сучасному етапі: науково-практична конференція, 4 – 5 березня 2008 р.: тези доповідей. – Х., 2008. – С. 257 – 258.
118. Говаленков С.В. Математическое моделирование параметров взрыва объемно-шлангового заряда в пологе леса / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Системи обробки інформації: – Х., 2011. – № 2 (92). – С. 282 – 285.
119. Зельдович Я.Б. Экспериментальное исследование сферической детонации Я.Б. Зельдович, С.М. Когарко, Н.Н. Симонов // Журнал технической физики. – 1956. – Т. 26, № 8. – С. 1744 – 1759.
120. Горев В.А. Взрывные волны газовых взрывов / В.А. Горев, С.Н. Мирошников, Я.К. Трошин: Материалы VI Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву 23-26 сентября 1980 г.: тезисы докл. – Алма-Ата, 1980. – С. 110 – 113.
121. Физическое моделирование распространения лесных пожаров и взаимодействие ударных волн с фронтом пожара / [А.М. Гришин, М.А. Алексеев, А.Н. Голованов и др.]. – Томск: Томский университет, 1989. – 59 с
122. Селиванов В. В. Экспериментальные методы физики взрыва и удара / В.В. Селиванов, С.Г. Андреев, М.М. Бойко. – М.: Физматлит, 2013. – 752 с.
123. Ершов С.В. Математическое моделирование трехмерных вязких течений в турбомашинах – современный взгляд / С.В. Ершов // Проблемы машиностроения. – 1998. – Т. 2, № 2. – С. 76 – 93.
124. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и её измерение / П. Брэдшоу. – М.: Мир, 1974. – 278 с.
125. Thomas G. O. Flame acceleration and the development of detonation in fuel–oxygen mixtures at elevated temperatures and pressures / G. O. Thomas // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – V. 163. – P. 783–794.
126. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – Т. 6. – 736 с.

127. Фізика / І.Є. Лопатинський, І.Р. Зачек, Г.А. Ільчук, Б.М. Романишин. – Л.: Афіша, 2005. – 385 с.

128. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 418 с.

129. Численное решение многомерных задач газовой динамики / [С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др.]. – М.: Наука, 1976. – 400 с

130. Говаленков С.В. Модель определения объемной концентрации частиц в облаке газовой смеси / С.В. Говаленков, С.С. Говаленков, Д.П. Дубинин // Информационно-математические технологии в экономике, технике и образовании: II международная научно-техническая конференция: тезисы докладов. – Екатеринбург, 2007. – С. 212 – 215.

131. Нечипорук Н.В. Математическое моделирование экологических процессов / Н.В. Нечипорук, Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 89 с.

132. Соколович Ю.А. Фізика / Ю.А. Соколович, Г.С. Богданова. – Харків: Ранок, 2010. – 384 с.

133. Говаленков С.В. Моделирование термодинамического состояния продуктов детонации при взрыве смеси пропан-бутана с воздухом / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин, К.В. Корытченко // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием: тезисы докладов – Воронеж, 2012. – С. 204 – 207.

134. Сиротенко А.М. К вопросу о практической реализации способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами / А.М. Сиротенко, Д.П. Дубинин, А.А. Лисняк // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков, 2012. – № 32. – С. 207 – 214. – Режим доступа:

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol32/sirotenko.pdf>.

135. Газы углеводородные сжиженные, поставляемые на экспорт: ГОСТ 21443-75. – [действующий от 1977-01-01]. – М.: Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, 1977. – 13 с.

136. Станюкович К.П. Физика взрыва / К.П. Станюкович, Ф.А. Баум, Б.И. Шехтер. – М.: Издательство Книга по Требованию, 2012. – 800 с.

137. Кучерук І.М. Загальний курс фізики: в 3 т. / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик; за редакцією І.М. Кучерука. – К.: Техніка, 2006. – Т. 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – 536 с.

138. Курс фізики: у 3 кн. / Г.Ф. Бушок, Є.Ф. Венгер. – К.: Вища школа, 2002. – Кн. 1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. – 376 с.

139. Говаленков С.В. Дослідження меж детонації

газоповітряних сумішей / С.В. Говаленков, Д.П. Дубінін // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту: IV міжнародна науково-практична конференція, 7 – 8 квітня 2011 р.: тези доповідей. – Черкаси, 2011. – С. 39 – 40.

140. Сиротенко А.М. Экспериментальное исследование способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами / А.М. Сиротенко, Д.П. Дубинин, К.В. Корытченко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков, 2011. – № 30. – С. 234 – 241. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/files/ppb/ppb30.pdf>.

141. Статистические данные про Климат Харькова. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Харькова.

142. Орлов О.К. Эластичные шнуровые заряды для борьбы с лесными пожарами / О.К. Орлов, Ю.В. Кустов // Лесные пожары и борьба с ними. 1986. – С. 102 – 107.

143. Безпека зберігання вибухових речовин та боєприпасів / М.І. Адаменко, Ю.В. Квітковський, О.В. Гелета та ін.; під загальною редакцією В.О. Росохи. – Харків: АЦЗУ, 2005. – 337 с.

144. Белоцерковский О.М. Численный эксперимент в турбулентности: От порядка к хаосу / Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения / О.М. Белоцерковский, А.М. Опарин. – М.: Наука, 2001. – 224 с.

145. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблант, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

146. Алексеев Б.В. Введение в аэротермохимию / Б.В. Алексеев, А.М. Гришин. – Саратов: Изд-во Саратовского Университета, 1978. – 418 с.

147. Корытченко К.В. Экспериментальное исследование применения объемных шланговых зарядов / К.В. Корытченко, Д.П. Дубинин, С.В. Говаленков // Атуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту: III міжнародна науково-практична конференція, 6 – 7 квітня 2010 р.: тези доповідей. – Черкаси, 2010. – С. 107 – 110.

148. Нетлетон М. Детонация в газах: [монография] / М. Нетлетон. – М.: Мир, 1989. – 278 с.

149. Гельфанд Б.Е. Фугасные эффекты взрывов / Б.Е. Гельфанд, М.В. Сильников. – Санкт-Петербург: ООО Издательство «Полигон», 2002. – 272 с.

150. Murray S.B. Fuel-air explosives // Proceeding of Meeting the challenge defense research at Suffield. – 2003. – P. 60 – 73.

151. Пленка полиэтиленовая. Технические условия: ГОСТ 10354-82. [действующий от 1983-07-01]. – М.: Министерство химической промышленности, 1983. – 23 с.

152. Дубінін Д.П. Експериментальне дослідження ширини

протипожежного бар'єру для локалізації природних пожеж / Д.П. Дубінін, А.А. Лісняк, А.В. Титаренко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков, 2016. – № 39. – С. 94 – 99. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/DubinIn.pdf>.

153. Lee J.H.S. Comments on criteria for direct initiation of detonation / J.H.S. Lee, A.J. Higgins // The Royal Society. – 1999. – V.357. – P. 3503–3521.

154. Селиванов В.В. Взрывные технологии / В.В. Селиванов, И.Ф. Кобылкин, С.А. Новиков. – М.: Издательство Московского Государственного Технического Университета им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

155. Юхансон К. Детонация взрывчатых веществ / К. Юхансон; пер. с англ. А.П. Глазкова, А.В. Дубовик. – Москва: Мир, 1973. – С. 352.

156. Kamenskihs V. Measurement of critical energy for direct initiation of spherical detonations in stoichiometric high-pressure H₂-O₂ mixture / V. Kamenskihs, Ng HD, J H S Lee // Proc. 22nd ICDERS. – 2009. – P. 157.

157. Kasimov A. R. Theory of direct initiation of gaseous detonations and comparison with experiment / A.R. Kasimov, D.S. Stewart // Theoretical and Applied Mechanics. UIUC. – 2004. – Report 1043.

158. Бейкер У. Взрывные явления. Оценка и последствия / У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн; пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 319 с.

159. Мокін Б.І. Методологія та організація наукових досліджень / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін. – Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2014. – 180 с.

160. Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту / В.М. Засименко. – Львів: Державний університет "Львівська політехніка", – 2000. – 205 с.

161. Дубинин Д.П. Исследование ширины противопожарного барьера, создаваемого взрывом топливовоздушных зарядов / Д.П. Дубинин, К.В. Коротченко // Международный научно-практический журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». – Гомель, ГИИ МЧС республики Беларусь, 2014. – Т 9. – № 1. – С. 21 – 25.

162. Количественная оценка риска химических аварий / В.М. Колодкин, А.В. Мурин, А.К. Петров, В.Г. Горский / под редакцией Колодкина В.М. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001 – 228 с.

163. Вимірювання фізичних величин / Г.О. Оборський, П.Т. Слободяник, В.Л. Костенко, С.Г. Антонщук. – Одеса: Астропринт, 2012.– 391 с.

164. Левшенюк В. Я. Похибки і невизначеність результатів вимірювань фізичних величин / В.Я. Левшенюк, М.Ю. Новоселецький – Х.: Видавнича група «Основа», – 2013. – 125 с.

165. Барковський В.В. Теорія ймовірностей та математична статистика / В.В. Барковський, Н.В. Барковська, О.К. Лопатін. – 5-те вид. –

Київ: Центр учбової літератури, 2010. – 424 с.

166. Способи підривання зарядів вибухових речовин / В.В. Соколев, А.В. Чернай, В.М. Чебенко, О.В. Скобенко. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – 86 с.

167. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13. – [діючий від 2013-08-13]. – К.: Міненерговугілля України, 2013. – 168 с.

168. Kurdyumov V. On the calculation of the minimum ignition energy/ V. Kurdyumov, J. Blasco, A.L. Sanchez, A. Linan // Combustion and Flame. – 2004. – V. 136. – С. 394–397.

169. Zhang Bo. Measurement of effective blast energy for direct initiation of spherical gaseous detonations from high-voltage spark discharge / Bo Zhang, Hoi Dick Ng, John H.S. Lee // Shock Waves. – 2012. – V.1, No 1. – P.1–7.

Наукове видання

**Дубінін Дмитро Петрович
Коритченко Костянтин Володимирович
Лісняк Андрій Анатолійович**

**ЗАСТОСУВАННЯ ЗАРЯДІВ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ
ГАЗІВ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ШЛЯХОМ
СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНИХ БАР'ЄРІВ**

монографія

Підписано до друку 14.03.2017. Формат 60x84 1/16.
Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. аркушів 5,9.
Навч.-вид. лист. 7,4. Тираж 300 прим.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.