

Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Національний університет цивільного захисту України

**К.М. Остапов, С.В. Росоха, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировий.**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОДАВАННЯ  
ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН З ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ  
СКЛАДОВИМИ**

Харків – 2019



УДК 614.84

Рекомендовано до друку Вченою радою національного університету цивільного захисту України (протокол № 1 від 26.09.2019 р.)

Рецензенти:

О.О. Кіреєв, доктор технічних наук, доцент

Б.В. Болібрух, доктор технічних наук, доцент

Удосконалення дистанційного подавання вогнегасних речовин з гелеутворюючими складовими: монографія / К.М. Остапов, С.В. Росоха, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировий. – Харків: НУЦЗУ, 2019. – 132 с.

ISBN 978-966-641-...

В роботі приведені результати аналізу сучасного стану теорії та практики удосконалення дистанційної подачі рідинних вогнегасних речовин, зокрема з гелеутворюючими складовими, а саме, наведені переваги та недоліки використання води та водних розчинів для пожежогасіння, а також перспективи використання ГУС, що пов'язано з удосконаленням способів і засобів дистанційної подачі їх на гасіння пожеж класу А.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці вдосконаленої конструкції стволів-розпилювачів, установки та способу, які здійснюють дистанційну бінарну подачу компонентів ГУС, а також тактики їх використання, що дозволяє більш ефективно реалізовувати нові вогнегасні речовини, а саме гелеутворюючі склади.

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

УДК 614.84

ISBN 978-966-641-...

© К.М. Остапов, С.В. Росоха, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировий, 2019



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СИЛ І ЗАСОБІВ ПОДАЧІ РІДКИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН З НЕВЕЛИКИХ І ЗНАЧНИХ ДИСТАНЦІЙ.....	10
1.1 Проблемні питання застосування рідинних засобів пожежогасіння....	10
1.2 Пристрої подачі рідкофазних засобів пожежогасіння (РЗП) для гасіння пожеж і захисту сусідніх об'єктів.....	12
1.2.1 Стволи-розпилувачі РЗП і насадки до них.....	13
1.2.2 Автономні установки, що здійснюють гасіння тонкорозпиленими струменями водних розчинів.....	17
1.3 Установки з використанням стволів, які подають на гасіння або захист водні розчини гелеутворюючих сполук.....	23
Висновки по першому розділу.....	32
РОЗДІЛ 2. СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ СПОЛУКАМИ.....	33
2.1 Визначення тактико-технічних вимог до дистанційної подачі гелеутворюючих сполучень.....	33
2.2 Технічне забезпечення дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками.....	34
2.2.1 Установка АУГГУС-М для реалізації способу дистанційної подачі бінарних розчинів ВГР/ГУС.....	34
2.2.2 Ствол-розпилувач РС-10 для подачі плоско-радіальних струменів при пожежогасінні на невеликі відстані (до 10 м).....	37
2.2.3 Насадок для подачі плоско-радіальних струменів при пожежогасінні на відстані понад 10 м .....	39

2.3	Визначення параметрів прицільної подачі струменів ВГР/ГУС стволами-розпилювачами при гасінні пожеж .....	43
2.3.1	Пояснення, щодо викладу аналітичних залежностей опису осьової лінії руху струменя ВГР.....	44
2.3.2	Розрахунок траєкторії руху компонент ВГР/ГУС через дві точки....	49
2.4	Тактико-технічне забезпечення прицільної подачі навісних і «прямо» спрямованих бінарних потоків гелеутворюючих сполук .....	51
2.4.1	Прицільна дистанційна подача гелеутворюючих складів.....	51
2.4.2	Тактико-технічні завдання бінарної подачі ВГР/ГУС на осередок пожежі при роботі з установками типу АУГГУС.....	59
	Висновки по другому розділу.....	71
	<b>РОЗДІЛ 3. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБУ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ СПОЛУКАМИ.....</b>	<b>73</b>
3.1	Оцінка достовірності фізичного моделювання процесу трасування струменів компонентів гелеутворюючих складів.....	73
3.1.1	Особливості фізичного моделювання.....	73
3.1.2	Послідовність виконання операцій при підготовці установок типу АУГГУС та перевірка їх працездатності.....	76
3.1.3	Аналіз процесу подачі вогнегасних сумішей установками типу АУГГУС з використанням методу фізичного моделювання.....	77
3.1.4	Оцінка накопичених результатів.....	80
3.2	Визначення конструктивних параметрів ствола-розпилювача (насадка) для подачі поодиноких плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів.....	83
3.3	Експериментальна перевірка ефективності способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі компонентів вогнегасної речовини.....	92
	Висновки по третьому розділу.....	100
	<b>РОЗДІЛ 4. ВАРІАНТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ</b>	

РЕЗУЛЬТАТІВ.....	101
4.1 Тактичне забезпечення подачі вогнегасної речовини установкою АУГГУС-М.....	101
4.2 Обґрунтування пропозицій щодо навісної подачі гелеутворюючих складів.....	104
4.3 Розробка рекомендацій стосовно «прямо» спрямованої подачі вогнегасної речовини.....	108
Висновки по четвертому розділу.....	113
ВИСНОВКИ.....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	116

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГУС – гелеутворююча сполука;

ВГР – вогнегасна речовина;

НФП – небезпечні фактори пожежі;

ТГМ – твердий горючий матеріал;

РЗП – рідкофазний засіб пожежогасіння;

АУГГУС – автономна установка гасіння гелеутворюючими сполуками;

СТС – складні технічні системи;



## ВСТУП

Питання підвищення ефективності пожежогасіння є важливою задачею Державної служби з надзвичайних ситуацій України, яка далека від свого вирішення. Одним із першорядних завдань пожежогасіння, а також захисту сусідніх з пожежею об'єктів, є визначення сил і засобів, необхідних і достатніх для локалізації та ліквідації пожежі. Дослідження і впровадження в практику пожежогасіння нових вогнегасних речовин і прийомів їх подачі відповідними засобами залишаються актуальними.

На даний момент найбільш поширеною вогнегасною речовиною залишається вода. Вона доступна, відносно недорога і універсальна. Однак має істотний недолік, що полягає в порівняно великих непродуктивних втратах за рахунок стікання з похилих (вертикальних) поверхонь палаючих об'єктів, що істотно знижує її вогнегасну ефективність і призводить до додаткових збитків від стоку води, зокрема, на нижні поверхи багатопверхових будівель (рис. 0.1):



Рис. 0.1 Негативні наслідки гасіння пожеж водою

Суттєво зменшити втрати вогнегасних речовин, а отже, прями і побічні збитки, дозволяє застосування гелеутворюючих сполук (ГУС).

Дослідженням процесів коагуляційного структурного утворення колоїдних систем і розчинів високомолекулярних сполук, а також

характеристик міцностно-деформаційного стану гелів займалися П.А. Ребіндер, В.В. Ашкелону, А.С. Беліков, А.В Камберфор, Б.А. Ржаніцин, А.А. Кіреєв, О.В. Савченко і багато інших закордонних і вітчизняних вчених.

Дійсно, як відображено в роботі [32], сучасні ГУС складаються, в основному, з двох окремо збережених компонент, що можуть роздільно-одночасно подаватися в осередок пожежі. Одна з них являє собою розчин гелеутворюючого силікату лужного металу, інша – розчини речовин, які взаємодіючи з силікатами утворюють стійкий гель.

Гель на поверхні об'єкту пожежогасіння (палаючого або поруч розташованого) створює вогнезахисний шар, що перешкоджає поширенню горіння. Цей шар досить міцно самостійно закріплюється на похилих і вертикальних поверхнях (навіть на стелі), що, в порівнянні з використанням при пожежогасінні тільки води, значно зменшує втрати, пов'язані з стіканням вогнегасних речовин (ВГР).

Іншою перевагою ГУС є висока вогнезахисна дія, яка обумовлена охолоджуючою дією води, що міститься в обох компонентах і в самому гелі. Причому, після випаровування всієї води з гелевої суміші утворюється пористий шар висушеного гелю (ксерогель), який фактично виключає повторне займання горючого матеріалу об'єкта за рахунок своєї низької теплопровідності.

Разом з тим специфічні особливості прийомів подачі ГУС на об'єкти пожежогасіння та їх тактико-технічні аспекти на даний момент майже не розглядалися, що в принципі не дозволило до цього часу ефективно і широко використовувати ГУС в умовах реальних пожеж.

Заповнюючи цю прогалину, в роботі вивчено стан питання про конструктивні особливості створення технічних засобів та прийоми подачі ГУС до осередків пожежі. Застосовуючи розроблені математичні моделі і методи, що базуються на експериментальному матеріалі фізичного моделювання запропоновано удосконалення відомих пристроїв і установок пожежогасіння.

Іншими словами можна сказати, що використання на пожежах більш ефективних ВГР, зокрема ГУС, а також прийомів їх оптимального (раціонального) використання – це комплексна задача двоєдиного завдання з вдосконалення заходів протипожежного захисту. Одним з перспективних шляхів їх вирішення є формування більш ефективних фізико-хімічних властивостей вогнегасних речовин – сумішей гелеутворюючих складових. Інший, не менш важливий напрям, відноситься до вдосконалення устроїв і за їх допомогою дистанційної доставки ВГР/ГУС до осередків загоряння раціональними тактико-технічними прийомами. Тобто не викликає сумнівів, що в наш час питання створення нової перспективної техніки пожежогасіння, її раціонального використання є актуальною задачею.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СИЛ І ЗАСОБІВ ПОДАЧІ РІДКИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН З НЕВЕЛИКИХ І ЗНАЧНИХ ДИСТАНЦІЙ

## 1.1 Проблемні питання застосування рідинних засобів пожежогасіння

За останнє десятиліття кількість пожеж в Україні не зменшувалась і на сьогодні становить близько 80 тис. пожеж на рік, збитки від яких в 2018 році склали понад 8 млрд. грн. (рис. 1.1) [31].

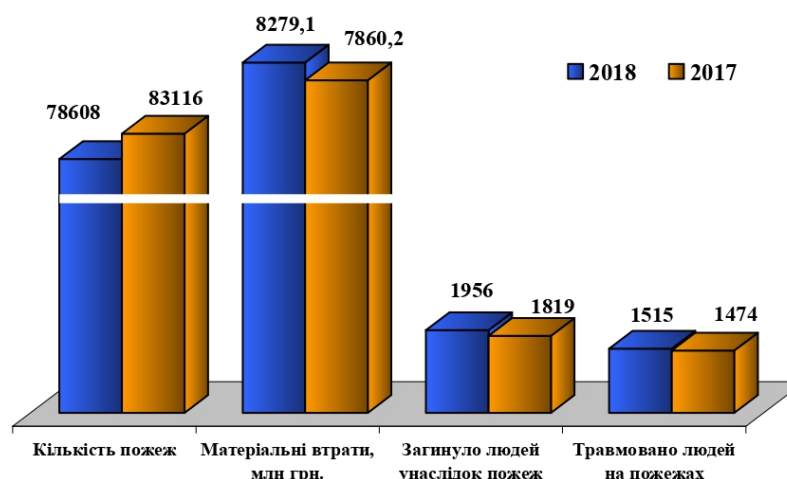


Рис. 1.1 Основні показники, що характеризують стан із пожежами в державі за 2018 рік у порівнянні із 2017 роком

За статистикою, з початку 1990-х років у світі із застосуванням води ліквідувалося близько 82% пожеж [31]. Рідинні засоби пожежогасіння (РЗП) на основі води знайшли найбільш поширене застосування завдяки доступності, зручності транспортування до місця пожежі та використання різних технічних засобів і тактичних прийомів, що забезпечують безпечну роботу особового складу пожежних [32]. Подачу РЗП на осередки пожеж здійснюють за допомогою спеціальних приладів (пожежними стволами та насадками), що подають для гасіння пожеж і захисту сусідніх з пожежею об'єктів компактні, розпорошені, плоско-радіальні струмені та повітряно-механічні піни водних розчинів ВГР.

Оскільки вода є основою РЗП, що частіше всього використовуються при пожежогасінні та захисті об'єктів розташованих поруч з пожежею, то їх вогнегасна дія у першу чергу обумовлюється її позитивними властивостями: відносно високі значення питомої теплоємності і особливо теплоти пароутворення (2258,36 кДж/кг), що робить її речовиною, яка володіє надзвичайно ефективною охолоджуючою дією [33]; вода є розповсюдженою, дешевою і екологічно безпечною ВГР; хімічні властивості води в багатьох випадках не перешкоджають її використанню в якості вогнегасної речовини майже при всіх класах пожеж.

У цьому сенсі слід особливо підкреслити, що пожежогасіння на основі води є головним способом боротьби з пожежами і захистом сусідніх з пожежею об'єктів [34, 35]. Однак вона має істотний недолік, який полягає у великих її втратах за рахунок стікання з похилих поверхонь, що істотно знижує її вогнегасну ефективність і призводить до додаткових збитків від стікання води на розташовані нижче поверхи.

Застосування води та її розчинів для гасіння пожеж шляхом дистанційної подачі їх в осередок пожежі компактними або розпиленими струменями дозволяє подолати порівняно великі відстані і сприяє гасінню пожеж у важкодоступних місцях. Проте і тут близько 90% води зазвичай марно витрачається, безпосередньо не беручи участі в процесі гасіння [36]. Більш того, без користі витрачена вода вимагає додаткової кількості особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, а головне – додаткового часу, який неприпустимо марнується при пожежогасінні.

Існує два основних напрямки підвищення ефективності використання води при пожежогасінні [33]. Це удосконалення пристроїв і приладів [37] для її оптимальної (раціональної) подачі на осередки пожежі компактними та розпиленими струменями та використання різних добавок до води [38], що роблять такі розчини більш ефективними засобами пожежогасіння.

Таким чином, хоча пожежогасіння на основі використання традиційних конструкцій пожежних стволів з насадками для створення водяних струменів є

головним способом боротьби з пожежами, воно супроводжується великою марно витраченою кількістю води, внаслідок чого доцільно перейти до використання компактних та розпилених струменів водних розчинів, які містять добавки, що підвищують вогнегасні властивості води.

## 1.2 Пристрої подачі рідкофазних засобів пожежогасіння (РЗП) для гасіння пожеж і захисту сусідніх об'єктів

Розглядаючи рідкофазні засоби пожежогасіння будемо мати на увазі не тільки самі РЗП на водній основі, а й комплекси технічних пристроїв, що доставляють ВГР до об'єктів пожежогасіння [39, 40]. При цьому наша увага буде приділена головним чином технічним пристроям і прийомам роботи з ними з точки зору подачі з різних дистанцій компактних, розпорошених і плоско-радіальних струменів рідкофазних ВГР стволами-розпилювачами на поверхню/об'єм палаючих речовин класу А і на об'єкти, що захищаються.

На схемі рис. 1.2 дана загальна класифікація використання пожежних стволів та насадків через які дистанційно подається РЗП при гасінні пожеж.

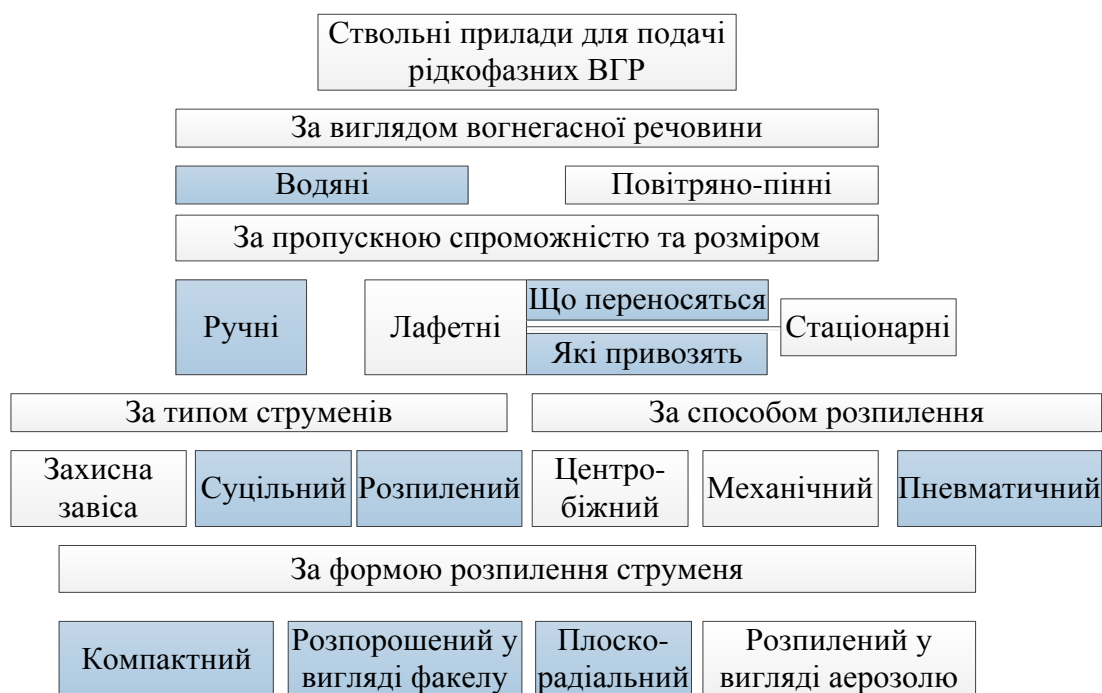


Рис. 1.2 Загальна класифікація використання пожежних стволів та насадків

### 1.2.1 Стволи-розпилювачі РЗП і насадки до них

Як відомо з роботи [40] конструктивно розрізняють такі основні типи стволів-розпилювачів та насадків до них: зовнішній циліндричний насадок (насадок Вентурі); внутрішній циліндричний (насадок Борда); конічні насадки стволів, що сходяться і розходяться; коноідальні насадки.

У практиці пожежогасіння широко використовуються насадки типу конічного, що сходяться до вихідного отвору. Об'єкти середніх розмірів гасять і охолоджують, як правило, ручними стволами РС-50 і РС-70 з діаметром насадка для створення компактного водяного струменя 13-19 мм і для гасіння значних пожеж використовують стволи лафетні з діаметром насадка 25 мм і більше (насадок конічний) [41].

При гасінні пожеж для захисту об'єктів великих розмірів і сильним тепловим впливом, застосовують турбінні та щілинні насадки-розпилювачі, такі як: насадки-розпилювачі щільового типу РВ-12 – конічний насадок, що облаштовується металевим екраном при виході струменя для отримання водяної завіси, а також насадки-розпилювачі турбінні (НРТ-5, НРТ-10, НРТ-20).

У табл. 1.1-1.2 вказані основні характеристики стволів-розпилювачів з насадками для створення компактних і розпилених струменів [37, 40, 42].

Таблиця 1.1

Основні технічні характеристики стволів з насадками для створення компактних водяних струменів

напір, м	Витрата води, л/с, зі ствола з діаметром насадка, мм						
	13	19	25	28	32	38	50
20	2,7	5,4	9,7	12,0	16,0	22,0	39,0
30	3,2	6,4	11,8	15,0	20,0	28,0	48,0
40	3,7	7,4	13,6	17,0	23,0	32,0	55,0
50	4,1	8,2	15,3	19,0	25,0	35,0	61,0
60	4,5	9,0	16,7	21,0	28,0	38,0	67,0
70	–	–	18,1	23,0	30,0	42,0	73,0
80	–	–	–	–	–	45,0	78,0

Основні технічні характеристики стволів з насадками для створення розпилених водяних струменів

Параметри	Турбінні розпилювачі			Щільовий розпилювач РВ-12
	НРТ-5	НРТ-10	НРТ-20	
Напір перед розпилювачем, м	60	60	60	60
Витрата води, л/с	5	10	20	12
Довжина струменя, м	20	25	35	8 (завіса)

Як правило, при гасінні пожеж і при захисті сусідніх об'єктів від впливу теплових потоків [43] за допомогою компактних і розпилених (а також і плоско-радіальних струменів) крім мети підвищення ефективності пожежогасіння слід домагатися і скорочення сумарної витрати води, часу формування теплової завіси з одночасним забезпеченням безпеки людей [44]. В цьому відношенні стволи-розпилювачі з насадками для створення компактних і розпилених водяних струменів, що застосовуються в даний час підрозділами пожежно-рятувальної служби, не в повній мірі відповідають змісту завдань які стоять перед пожежниками-рятувальниками через не виправдано завищені витрати води на гасіння і захист. Це, як вже зазначалося, пов'язано із значними протоками води на розташовані нижче осередку пожежі об'єкти (особливо в нижні поверхи будівель і споруд), що призводить до неконтрольованих великих побічних втрат).

Разом з тим, стволи-розпилювачі з насадками НРТ-5, 10, 20 створюють розпилені струмені на відносно великих (понад 10-15 м) відстанях. Проте, маючи малий діаметр (невеликий кут розкриття) не в змозі охопити порівняно широкий фронт пожежі. Крім того, на максимальній відстані подачі ВГР водяний струмінь, втрачаючи силу інерції потоку, максимально розпилюється (для НРТ-20 ця відстань дорівнює 25 м), що не завжди дозволяє досягти необхідного результату при гасінні. З цієї причини насадки типу НРТ для гасіння і охолодження великих об'єктів не використовуються.



У випадках застосування насадка РВ-12 має місце незначна зона активної дії водяного струменя (див. табл. 1.2). З огляду на великі габарити реальних об'єктів пожежогасіння, що не мають стаціонарних систем охолодження, використання насадка РВ-12 не дає можливості їх захистити в силу значних габаритів.

В роботі [45] показано, що трансформація водного струменя, випущеного в атмосферу зі ствола/насадка з циліндричним виходом струменю, з точки зору форми вигляду його складових частин має три характерні ділянки (рис. 1.3): компактну (спочатку викиду), роздрібнену (при вільному русі в атмосфері) і крапельну (в кінці свого руху).



Рис. 1.3 Трансформація водяного струменя: а) фото компактної частини струменя; б) фото роздрібненої частини струменя; в) схематичне уявлення руху незатоплюваного струменя в повітрі

Як видно з рис. 1.3 нерозривність або цілісність водяного струменя забезпечується тільки в компактній її частині. У роздрібненій частині відбувається

розрив струменя на водяні фрагменти, цілісність струменя порушується і струмінь розширюється. У крапельній частині струмінь розпилюється на безліч водяних крапель, являючи собою крапельно-водяний факел.

Що стосується екрануючої здатності водяних струменів, то досить часто під час гасіння пожеж виникає необхідність в використанні водяних теплоізолюючих і тепловідбивних екранів [46]. У зазначеному сенсі завдання зі створення таких струменів пов'язано з конструкторськими розробками так званого щілинного насадку.

У даній роботі при розгляданні захисту обладнання і людей від впливу теплового потоку пожежі під час гасіння з використанням РЗП теж створювались передумови для розв'язання задачі не тільки локалізації поширення фронту горіння, а й захисту сусідніх об'єктів [22, 23].

Подібні питання досліджувалися в роботі [12] при розробці конструкції насадка, що створює водяні завіси. У цьому конструкційному варіанті насадок виконувався як пустотілий корпус з вхідним циліндричним кінцем і вихідним кінцем, до якого на деякій відстані перпендикулярно приєднана пластина-екран у вигляді сегмента. Створення вертикальної захисної водяної завіси здійснюється шляхом перетворення руху водного потоку за допомогою пластини екрану, що мало сприяє якісному, надійному та ефективному використанню насадка для цих цілей. Крім того тут відсутня можливість охолодження об'єкта в зоні теплового впливу пожежі та здійснення групового захисту пожежних-рятувальників від впливу теплового потоку [22].

Більш ефективним для гасіння пожежі і захисту поруч розташованих об'єктів є насадок за Патентом України № 80884, що містить порожнистий корпус з вхідним циліндричним кінцем і вихідним кінцем у вигляді плоского розтруба з гострим кутом розкриття, з'єднаних між собою, які утворюють вихідний кінець у вигляді двох паралельних напрямів з радіальним щільовим отвором [47].

Принцип роботи його такий. Струмінь води або водного розчину, периметр якого має циліндричну форму, потрапляючи в корпус насадка,

відразу ж змінює свою форму і остаточно формується в плоско радіальний струмінь, який рухається між двох паралельних напрямів вихідного кінця, після чого, витікаючи під напором через щілинний отвір в повітряному просторі утворює водяну завісу.

Однак відсутність в корпусі цього насадка спеціальних циліндричних перегородок на шляху руху водяного потоку з отворами малого діаметра для фільтрації і «заспокоєння» РЗП перед розпиленням не сприяє надійному і ефективному його використанню. А саме: при заборі води з відкритого водоймища або з ємностей з водними розчинами для пожежогасіння часто трапляються густі і тверді включення, які «забивають» паралельні направляючі вихідного кінця. В результаті розпил РЗП, що витікає під напором через щілинний отвір в повітряний простір, може деформуватися, в результаті чого надійність утворення водяної завіси та ефективність гасіння пожежі буде знижена.

Такий підхід формування плоско-радіальних струменів (з усуненням зазначених недоліків), нами було удосконалено з технологічної точки зору (ДОДАТОК Г). Завдяки чому за допомогою модернізованого насадка було досягнуто цілком стійкого рівномірного розподілу витрат води у вигляді віяла з кутом розкриття до  $47^\circ$  [12].

1.2.2 Автономні установки, що здійснюють гасіння тонкорозпиленими струменями водних розчинів

В роботах [48, 49, 50] на підставі даних вогневих випробувань показано, що витрата води на гасіння пожеж при застосуванні тонкорозпиленої води знижується в порівнянні з компактними струменями у 2-3 рази.

Дійсно, при подачі води компактним струменем в кожен момент часу на невелику площу потрапляє відносно велика кількість РЗП. Ця кількість у багато разів перевищує ту кількість рідини, що може втриматися на цій поверхні. За даними робіт [51, 52, 53] товщина водної плівки на похилих поверхнях гладких твердих матеріалів, ультразвукового луна-імпульсного методу, становить

0,3÷0,4 мм. При подачі води у вигляді тонкорозпиленого струменя, ВГР подається на порівняно велику площу. Це дозволяє уникнути подачі на конкретну поверхню горіння «зайвої» води, що і дає можливість зменшити втрати води за рахунок її стікання.

Крім того, такими установками [54, 55] рідкофазна ВГР подається під високим тиском тонкорозпиленими струменями і завдяки високій швидкості польоту крапель води, має більшу проникаючу здатність насичувати пори поверхневих шарів ТГМ, зокрема, деревини. Одночасно тонкорозпилена вода в зв'язку з швидким випаровуванням поглинає велику кількість тепла і крім цього виконує функції засобу об'ємного пожежогасіння [56, 57, 58].

Відомо [40, 48, 59], що деякі нові можливості (в частині підвищення ефективності гасіння осередків пожежі водою та водою з добавками) дає застосування тонкорозпилених водних розчинів з використанням установок автономного гасіння, що дозволяє оперативно протидіяти поширенню горіння на ранніх стадіях його розвитку.

В роботі [41, 60] відзначається, що за допомогою тонкорозпиленої води можна ефективно гасити практично всі види горючих матеріалів, за винятком електрообладнання під напругою та речовин, які активно реагують з водою. Такий підхід подачі води (особливо із застосуванням ранцевих установок), завдяки його оперативності, істотно підвищує можливості пожежних-рятувальників: зменшує час доставки ВГР до осередку пожежі, витрати вогнегасної речовини в процесі гасіння. Тим не менш її запас у таких ранцевих установках часто буває не достатнім для вирішення основної задачі – локалізації з подальшою ліквідацією пожежі. Хоча при завершенні гасіння осередків пожежі і захисту інших об'єктів вони можуть використовуватися достатньо ефективно.

Аналіз останніх тенденцій в пожежогасінні вказує на досить широке застосування методів гасіння з використанням води та інших рідинних складів в тонкорозпиленому вигляді є у роботі [61, 62]. Такий підхід до пожежогасіння в значній мірі обумовлений тим, що вода та її розчини подаються в зону пожежі

у вигляді аерозолі з близької відстані. Причому, вплив ВГР на процес горіння і пожежне навантаження, практично рівнозначно ефективно за всіма напрямками. Краплі розпиленої води діаметром приблизно 50 мкм–0,1 мм, що мають здатність рівномірно змочувати поверхню за конфігурацією будь-якої складності, проникають в порожнини, недоступні для звичайних струменів, знижують температуру самої палаючої речовини та температуру в зоні горіння, а також температуру продуктів горіння. Розвинений поверхневий обсяг потоку крапель добре поглинає (адсорбує) частки диму. Таким чином, краплі наповнюють всю поверхню (весь обсяг) палаючого об'єкта і захоплюються газовими потоками, перешкоджаючи поширенню пожежі в напрямку руху цих потоків.

Дослідження з реалізації аерозольного імпульсного розпилу ВГР [63, 64, 65] ведуться в багатьох країнах світу. Лідерами в цій області досліджень на сьогоднішній день є фірми Dow Chemical, Factory Mutual Research (США), і Stockhausen GmbH&Co (Німеччина).

В Україні дослідження в галузі водних розчинів вогнегасних речовин, зокрема застосування їх в тонкорозпиленому стані, проводяться з 1998 року на базі УкрНДЦЗ. За цей час проаналізована сировинна і виробнича база України, а також наявність на її внутрішньому ринку домішок і добавок, введення яких в рецептуру РЗП доцільно з точки зору підвищення їх вогнегасної ефективності, економічних і екологічних міркувань. А.Г. Тропіновім, А.В. Антоновим і Ю.В. Цапко проведені дослідження з використанням спектрального методу, які дозволили отримати результати за ефективністю ряду сольових компонентів тонкорозпилених водних розчинів як інгібіторів полум'яного горіння [66].

На сьогоднішній день відомо кілька оригінальних методів підвищення вогнегасної дії води і РЗП на її основі [67, 68]. Практичний інтерес викликає кілька оригінальних методів.

**Перегрів ВГР.** Полягає він у тому, що за фізичними законами вода існує при атмосферному тиску і температурі не більше 100°C. Однак в замкнутому герметичному об'ємі при підвищеному тиску можна нагріти воду до значно

більш високої температури. Оптимальними для отримання тонкого розпилу вважається температура води в межах 160-180°C і тиску 7-9 атм. За цією умовою струмінь води, що виходить з ємкості (вогнегасника) тут же закипає в усьому об'єму, розбиваючись на дрібні краплі. Причому температура струменя, незалежно від витрати і початкового ступеню перегріву, на відстані в 20-30 см падає до 35-40°C, тобто такий струмінь абсолютно безпечний для людини і здатний ефективно охолодити будь-які об'єкти, будь то горючий матеріал або факел полум'я.

**Термохімічна подача ВГР.** Інший спосіб отримання водяного струменя з аналогічними параметрами пропонує використання спеціальних термохімічних зарядів на основі твердих ракетних палив. В цьому випадку вода, яка знаходиться в будь-якій ємкості буде ежектуватися струменем продуктів згоряння вибуху заряду в спеціальну камеру, де перегрівається і розпилюється до приблизно тих же розмірів, що і в разі перегріву. Переваги другого способу полягають в тому, що в черговому режимі немає необхідності підтримувати підвищену температуру і тиск в ємкості з водою.

**Розпил води насосами високого тиску.** У розвинених країнах останні розробки в області водяного пожежогасіння також пов'язані з аерозольним розпилем води, для чого використовуються насоси високого тиску. Тому природно, що розробники пішли шляхом вдосконалення таких установок підвищенням тиску (до декількох сотень атмосфер) при порівняно невеликій витраті води 0,3-0,5 дм<sup>3</sup>/с. До технічних новинок такого типу відноситься пристрій пожежогасіння високого тиску HDL-250 німецької фірми OERTZEN і система Камато-FOGTEC голландської фірми FireX.

**Імпульсний розпил води.** В останні десятиліття інтенсивно розвивається нова технологія подачі ВГР – імпульсна. Створені фірмою FireX установки IFEX, а також їх аналоги: ранцева установка пожежогасіння «ИГЛА-1-0,4»(табл. 1.3), технологія Гірса (табл. 1.4), розроблена вітчизняна установка «Тайфун» Сєверодонецького ВАТ «Хімавтоматика» засновані на принципі

імпульсної подачі ВГР. Однак суттєвим недоліком таких установок з технологічної точки зору є складність їх виготовлення.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики установки «Игла-1-0,4»

Кількість ВГР, л	до 10
Дальність подачі, м	до 10
Дисперсність крапель при використанні води, мкм	< 100
Швидкість струменя в області вогнища пожежі, м/с	не менше 20
Маса в заправленому стані, кг:	
– без дихальної системи	до 20
– з дихальною системою	до 23
Габарити, мм	600x450x300
Час перезарядки для повторного використання, с	20-60

Таблиця 1.4

Технічні характеристики системи ГІРС

Час між імпульсами, с	2-3
Дальність викиду рідини, м	17
Швидкість струменя при вильоті, м/с	120
Кількість розпиленої рідини, л	1
Діаметр струменя, м, на відстані 5 м	3
Середній розмір крапель, мкм	100
Місткість магазину для патронів, шт.	17
Місткість переносної ємкості для рідини, л	15
Маса системи в розрядженому стані, кг, не більше	14
Час захисної дії, хв.	30-40

Подібні установки пожежогасіння дозволяють отримувати розпилені імпульсні струмені з середнім діаметром краплі  $2\div 200$  мікрон, витрачаючи на один «постріл» трохи більше 1 літра води при початковій швидкості витікання з ствола 120-160 м/с (табл. 1.5). При цьому теплопоглинаюча поверхня розпиленого літра води дорівнює  $300\div 500$  м<sup>2</sup>, що дозволяє більш ефективно використовувати ВГР на водній основі і завдяки компактності пристроїв (ранцеві конструкції) підвищити оперативність їх використання при гасінні пожеж і захисту сусідніх з ними об'єктів.

Таблиця 1.5

Початкові гідродинамічні параметри факела ВГР для установок «Тайфун»

№ з/п	Змочувач	$\rho_{\text{ср}},$ кг/м <sup>3</sup>	$\gamma^* 103,$ Н/м	$\beta, 0$	$U_0, \text{ м/с}$ при $\varphi_c=0,95$	$Q, \text{ л/с}$	$d_{\text{ср}}, \text{ мм}$ для $W=10$
1.	Вода	1000	72,8	97	155,9487	0,784	0,048
2.	«Пегас»	1040	28,3	99	154,4122	0,776	0,018
3.	ПТП-1	1080	30,8	101	152,9203	0,769	0,028
4.	ПО-6к	1100	65,3	101	152,1904	0,765	0,046
5.	ПО-1	1130	59,2	102	151,1148	0,759	0,04
6.	«Форетол»	1150	30,2	103	145,4229	0,731	0,024

Незважаючи на істотне розширення можливостей використання води при аерозольному розпиленні в порівнянні з гасінням розпиленою водою, існує ряд обмежень застосування цієї технології [69]. Наприклад, при горінні на відкритому просторі аерозоль легко відноситься повітряними потоками, а при гасінні тліючих матеріалів вода в чистому вигляді взагалі малоефективна, тому що в недостатній мірі змочує горючі речовини.

Однак ці добавки не завжди виключають випадки надмірних витрат води при пожежогасінні (гасіння та захист), оскільки відомо [36], що на пожежі



мають місце випадки повторного займання вже оброблених РЗП поверхонь горіння, які виникають внаслідок теплового впливу палаючих матеріалів. Тому слід відмітити, що питання стосовно ефективності РЗП до повторного займання у звісній мірі ще не вирішено.

Таким чином, аналіз установок, що здійснюють пожежогасіння аерозольними струменями води і води з добавками, показав, що можливості ефективного застосування води, як вогнегасної речовини, далеко не вичерпані і можуть бути істотно розширені шляхом використання гелеутворюючих сполучень, хімічна взаємодія між якими дозволить утримати вогнегасну суміш на вертикальних та похилих поверхнях.

### **1.3 Установки з використанням стволів, які подають на гасіння або захист водні розчини гелеутворюючих сполук**

Суттєво зменшити втрати ВГР (в тому числі і води), а, також, прямі і побічні збитки, дозволяє застосування гелеутворюючих складів (ГУС). Сучасні ГУС складаються, в основному, з двох окремо збережених і роздільно-одночасно поданих компонент.

Гель на поверхні об'єкту пожежогасіння (палаючого або поруч розташованого) створює вогнезахисний шар, що перешкоджає поширенню горіння. Цей шар досить міцно самозакріплюється на похилих і вертикальних поверхнях (навіть на стелі), що, в порівнянні з використанням при пожежогасінні тільки води, значно зменшує втрати ВГР, пов'язані з їх стіканням.

Іншою перевагою ГУС є їх висока вогнезахисна дія, що обумовлена охолоджуючою дією води, яка міститься в гелі. Причому, після випаровування всієї води з гелевого шару утворюється пористий шар висушеного гелю (ксерогель), який фактично виключає повторне займання захищеного горючого матеріалу об'єкта за рахунок своєї низької теплопровідності.

Як показує аналіз останніх досягнень і публікації з даного питання

[31, 32, 34], застосування ГУС дозволяє підвищити ефективність гасіння пожеж, знизити витрату ВГР, прямі і побічні матеріальні збитки.

Додамо, що терміни гель і гелеутворення та інші варіанти, що використовуються для позначення одного і того ж явища і стану речовини, часто зустрічаються в науковій літературі. Разом з цим, семантичне поняття про гелі та гелеутворення ще не має достатньо формальної визначеності в колоїдній хімії та суміжних галузях науки [70, 71].

З огляду на розбіжності авторів щодо визначення гелю, необхідно відзначити, що в даній роботі під терміном «гель» мається на увазі структурована колоїдна система, що повністю втратила текучість. Утворення гелю є підсумком переходу колоїдної системи з вільно-дисперсного стану в зв'язано-дисперсний. Цей процес обумовлений дією сил зчеплення між колоїдними частинками системи або макромолекулами в розчині. При цьому дисперсне середовище знаходиться всередині просторової структури, утвореної як результат взаємодії частини дисперсної фази [72, 73]. Не вдаючись в подробиці хімічних процесів гелеутворення, все ж зауважимо, що в залежності від природи сил зчеплення, які діють між частинками, за П.А. Ребіндером розрізняють два основних види структур: коагуляційні і конденсаційно-кристалізаційні [72, 74]. І в тому і в іншому випадках головною перевагою гелів та їх складових, з точки зору пожежної безпеки, є їх висока вогнезахисна дія, обумовлена охолоджуючою дією води, що міститься в гелеутворюючих компонентах і в самому гелі. Причому, після випаровування всієї води з гелевого шару утворюється пористий шар висушеного гелю (ксерогель), який фактично виключає повторне займання горючих матеріалів об'єкта за рахунок своєї низької теплопровідності. При цьому в науковій літературі зазначається, що підвищення температури ускладнює гелеутворення (охолодження) розчинів полімерів. Для кожної колоїдної системи і розчину полімеру існує певна температура, вище якої коагуляційне структуроутворення стає неможливим [75, 76, 77].

В роботах [78, 79, 80] відзначають, що хімізм процесів, які протікають під

час структуроутворення гелів, не до кінця зрозумілий, в першу чергу це стосується взаємодії алюмінатних і силікатних розчинів. Використання явища гелеутворення при вирішенні практичних завдань вимагає проведення подальших досліджень механізмів створення просторових коагуляційних структур в дисперсних системах і регулювання процесів структуроутворення в цих системах з використанням фізико-хімічної механіки [81].

До основних параметрів золів і гелів традиційно відносять: час гелеутворення, межу міцності гелю на стиск, в'язкість золів, синерезис розчинів гелів, показник водневих іонів гелеутворюючого середовища (рН) та інші [80, 82, 83]. Відзначається зворотна залежність між часом структуроутворення і міцністю гелів, яка близька до лінійної. Вибір компонентів гелеутворюючих вогнегасних складових повинен проводитися з урахуванням параметрів структуроутворення і їх реологічних властивостей.

Для підвищення ефективності пожежогасіння авторами патентів [84, 85] пропонується використовувати рідкофазні гелеутворюючі складові, що складаються з двох окремо збережених і одночасно поданих на осередок пожежі компонент. Перша з них являє собою водний розчин гелеутворюючого силікату лужного металу. Друга – водний розчин речовин, що взаємодіє з силікатом з утворенням стійкого гелю, шари якого досить міцно закріплюються на вертикальних і похилих поверхнях.

На рис. 1.3 наведено схему лабораторної установки для визначення часових меж гелеутворення складів ГУС при їх подачі на екран з близької відстані [32].

Попередні експерименти [82, 86] дали підставу вважати, що швидкість гелеутворення залежить від ряду факторів: концентрацій гелеутворювача і каталізатора гелеутворення, які знаходяться в окремих ємкостях, температури, ступеня дисперсності розпорощених рідких компонентів, інтенсивності подачі, співвідношення обсягів розчинів, що змішуються.

Також встановлено [76], що для забезпечення незначного рівня втрат ВГР за рахунок стікання (менше 5%) необхідно щоб розмір крапель розпорощеної

рідини був не більше 1,0 мм, інтенсивності подавання не більше 0,6 кг/(см<sup>2</sup>) та співвідношення поданих обсягів гелеутворювача і каталізатора гелеутворення від 1:3 до 3:1.

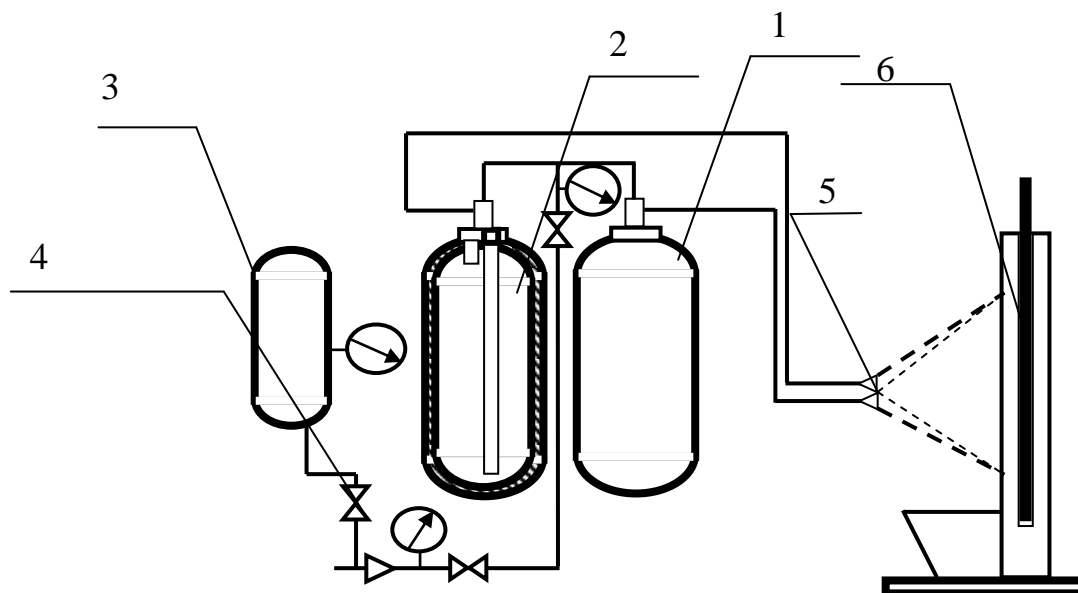


Рис. 1.3 Схема експериментальної лабораторної установки для дослідження явища гелеутворення: 1 – ємкість з водним розчином гелеутворювача; 2 – ємкість з водним розчином каталізатора гелеутворення; 3 – компресор; 4 – вентиль; 5 – розпилювач; 6 – змінний екран.

На сьогодні області гелеутворення встановлені для великої кількості ГУС [77, 81, 82] (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Значення мінімальних концентрацій компонентів гелеутворюючої системи ( $\omega_1$ ) і ( $\omega_2$ ), що викликають швидке гелеутворення для різних систем

№	Перший компонент	Другий компонент	Основний продукт реакції	$\omega_1$ , %	$\omega_2$ , %
1	2	3	4	5	6
<b>Карбонатні системи</b>					
1.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> *	2	5
2.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	MgCl <sub>2</sub> , MgSO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub> ·MgCO <sub>3</sub> *	12	14

<b>Гідроксидні системи</b>					
3.	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub> *	17	22
4.	NaOH	MgSO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub> *	15	22
5.	NaOH	MgCl <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub> *	15	20
6.	NaOH	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	12	20
7.	NaOH	AlCl <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	12	18
8.	NaOH	FeCl <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	12	15
9.	NaOH	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	12	16
<b>Фосфатні системи</b>					
10.	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> *	12	12
11.	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> *	12	10
12.	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	AlCl <sub>3</sub>	AlPO <sub>4</sub> *	12	11
13.	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	FeCl <sub>3</sub>	FePO <sub>4</sub> *	12	14
<b>Боратні системи</b>					
14.	K <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> *	9	12
15.	K <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MgB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> *	9	10
16.	K <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	AlCl <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>3</sub> *	9	12
<b>Гіпсові системи</b>					
17.	CaCl <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub> *	16	11
18.	CaCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub> *	16	12
<b>Силікатні системи</b>					
19.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaO·nSiO <sub>2</sub>	3	3
20.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MgO·nSiO <sub>2</sub>	5	4
21.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgO·nSiO <sub>2</sub>	5	4
22.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	FeSO <sub>4</sub>	FeO·nSiO <sub>2</sub>	5	4
23.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3nSiO <sub>2</sub>	7	8
24.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>	2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3nSiO <sub>2</sub>	3,5	3
25.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3nSiO <sub>2</sub>	4	3
26.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	8	8
27.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Br	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	8	10
28.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	8	12
29.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	12	6+6
30.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	12	13
31.	Na <sub>2</sub> O·nSiO <sub>2</sub>	AlBr <sub>3</sub>	2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3nSiO <sub>2</sub>	3	4

\* - Втрати за рахунок стікання ~ 15–20%.

Як видно з табл. 1.6, найбільш широкі можливості представляють силікатні системи. Для більшості з них характерні широкі області швидкого гелеутворення. Утворені шари гелю мають високу адгезію до різних матеріалів. Для них характерна висока міцність.

Крім того, для проведення експериментів у роботах [32, 76] сконструйовано дві експериментальні автономні установки гасіння гелеутворюючими складами АУГГУС і АУГГУС-П, які принципово не відрізняються від лабораторної.

Названі установки гасіння гелеутворюючими сполуками мають по два стволи-розпилювачі, що розпилюють складові потоку ГУС. У якості каркасу для змонтованої переносної ранцевої установки з міркувань ергономіки використовувався готовий каркас ізолюючого протигаза фірми «Drager».

**АУГГУС.** Для водних розчинів гелеутворюючої вогнегасної речовини (дві компоненти) є дві пластмасові робочі ємкості на 8 літрів кожна, що являють собою ємкості промислово виробленого обприскувача «ВП-202» з робочим тиском до 0,3 МПа.

Тиск 0,3 МПа в цих ємкостях створюється за допомогою стандартного балона зі стисненим повітрям об'ємом 2,0 л (контролюється манометром низького тиску). Контроль тиску в балоні стисненого повітря здійснюється за показаннями манометра високого тиску. Постійний тиск в робочих ємкостях з водними розчинами здійснюється редуктором прямої дії, що відрегульований на тиск 0,3 МПа.

Подача обох складових бінарного потоку відбувається через два окремих ствола-розпилювача. Кореневий кут або кут розпилу  $\beta$  регулюється в межах  $\beta = (4 \div 90^\circ)$  шляхом повороту насадка ствола-розпилювача. Для зручності і можливості швидкого припинення подачі складових ГУС використовуються стволи-розпилювачі з ручками від продувних пістолетів. Спускові гачки пістолетів допускають можливість як одночасного їх натискання для подачі відразу обох складових ГУС, так і натискання окремо з запізненням у часі, в разі необхідності.

АУГГУС-П. У загальних рисах аналогічно виконаний другий варіант з деякими конструктивними відмінностями, а саме: для створення надлишкового тиску в обох пластмасових робочих ємкостях з водними розчинами ГУС використовуються передбачений заводом-виготовлювачем ручний насос; замість 2-х літрового балона стисненого повітря використовується балон (ВМК 6,8-139-300) об'ємом 8 л; замість стволів-розпилювачів з ручками від продувних пістолетів використовуються пневматичні фарборозпилювачі СО-71.

Тиск до значення 0,3 МПа в кожній з робочих ємкостей з водними розчинами ГУС створюється за допомогою ручного насоса, що входить до складу обприскувача пневматичного типу «ВП-202». Балон зі стисненим повітрям використовується для розпилу поданих розчинів з робочих ємкостей за допомогою ручних пневматичних фарборозпилювачів СО-71; для підтримання сталості тиску в 0,3 МПа в робочих ємкостях застосований редуктор прямої дії.

У першому варіанті використання установки здійснюється гідравлічний розпил складових ГУС, в основу якого покладено використання гідравлічного тиску, створеного стисненим повітрям в ємкостях з розчинами.

У другому варіанті здійснюється пневматичний розпил. Пневматичний розпил досягається при використанні пневматичних фарборозпилювачів, принцип роботи яких полягає в розбиванні рідкого розчину, що проходить з великою швидкістю через сопло насадка, на дрібнодисперсні частинки струменем стисненого повітря і утворенням факела розпилення.

Застосування фарборозпилювачів в якості стволів має такі особливості: по-перше, при використанні фарборозпилювачів зі збільшенням кута розпилу на кожні 5° зменшується відстань подачі ВГР на 1 метр до мішені-екрану, а також знижується ефективність гасіння осередків загоряння внаслідок зниження при цьому кількості ГУС на 30-40%, що потрапляє в осередок пожежі [32]; по-друге, через те що розбивання рідкого розчину на дрібнодисперсні частинки здійснюється стисненим повітрям, також відбувається додаткова подача повітря в осередок пожежі, що не бажано.

Максимальна ефективна дальність подачі ВГР в першому і другому

варіанті не більше  $1 \div 1,5$  м, що згідно з загальними технічними вимогами та методами випробувань вогнегасників [87, 88], стосовно мінімальної довжини струменя вогнегасної речовини у вогнегасниках, призначених для гасіння модельних вогнищ класу А – не відповідає вимогам.

Підготовка установок обох варіантів виконання зводиться до наповнення через верхні заливні горловини робочих ємкостей розчинами компонент ГУС.

Разом з цим слід зазначити, що роботи, присвячені гасінню пожеж та захисту об'єктів ГУС із застосуванням згаданих установок, поки не пішли далі експериментальних розробок (окрім гасіння модельних осередків пожежі).

Недоліки установок АУГГУС і АУГГУС-П випливають з того, що їх застосування не регламентовано даними досліджень зовнішньої балістики струменів двох водних розчинів компонент ГУС, які апіорі пов'язані з синергічним ефектом змішування струменів двох водних розчинів – компонент ГУС. Причому, їх змішування здійснюється за рахунок утримання стволів-розпилювачів в ручному режимі, тобто «на око» оцінюються просторові позиції стволів-розпилювачів, які націлюють на осередок пожежі приблизно, до того ж довільним чином реалізується орієнтація спільної подачі струменів компонентів ГУС на об'єкт пожежогасіння. Крім того, при їх створенні тактико-технічним аспектам застосування подібних установок приділялося недостатньо уваги. А ці аспекти взаємопов'язані і з питаннями достовірності теоретико-експериментального аналізу, і з витратою реагентів при подачі двох потоків розчинів – складових (гелеутворюючі компоненти) на об'єкти пожежогасіння, і, відповідно, з практичним використанням установок нового типу.

Разом з тим при гасінні найбільш поширених пожеж – а це, як відомо, пожежі в житлових, виробничих й адміністративних будівлях та спорудах – установки даного типу в даний час не використовуються. А вони, на наш погляд, є вельми перспективним напрямком в пожежогасінні на цих об'єктах. Очевидно, тут слід очікувати істотного зменшення збитків від надмірного залиття води.



Щодо теоретичних досліджень балістики руху звичайних ВГР (зокрема води), то прицільна їх подача розрахунковими траєкторіями вивчалась багатьма авторами.

Розробці спрощеного методу обчислювання часу та дальності польоту матеріальної точки в рухливому газоподібному середовищі присвячена робота [89]. Ці дослідження базуються на розв'язуванні диференціальних рівнянь руху однієї точки та хоча дають допустимі результати з боку точності обчислювання траєкторії її руху, але для практичних завдань пожежогасіння, на наш погляд, не зручні, так як не дають можливості оперативно одержувати очікувані результати за попередніми розрахунками.

В роботі [90] за допомогою розробленої математичної моделі гідродинамічних процесів і теорії планування експериментів, вивчався зв'язок між дальністю подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі та швидкістю витікання із сопла пожежного ствола, з урахуванням фізичних характеристик рідини, ступеня її розпилю. З практичної точки зору обґрунтовано можливості створення процедури розробки схем пожежних стволів для ефективного гасіння пожеж на основі обчислювального експерименту з подальшою оптимізацією цих схем. Але цілеспрямована подача ВГР при пожежогасінні тут не вивчалась.

Більш придатним до вирішення практичних завдань пожежогасіння є, розрахунковий підхід, отриманий в роботах [91, 92], де рівняння траєкторії струменів ВГР в декартовій системі координат подані в параметричній формі або записані в явному вигляді. Але тут розраховуючи параметри траєкторій руху ВГР потрібно використовувати залежність, що є двозначною і виражається через спеціальну функцію Ламберта, яку можна визначити або за допомогою таблиць або в комп'ютерному середовищі Maple. Крім того, тут не розглядалася задача бінарної подачі гелеутворюючих компонентів ГУС двома струменями з двох стволів одночасно, що майже вдвічі ускладнює її розв'язок.

Робота [93] присвячена теоретичному обґрунтуванню і розв'язуванню задачі визначення раціональних параметрів комбінованої подачі ВГР (одночасно, одночасно-послідовно, послідовно-одночасно) та розробці нового

ручного і лафетного стволів комбінованої подачі ВГР, а також створенню технічних засобів комбінованої подачі вогнегасних речовин і тактичних прийомів комбінування подачі вогнегасних речовин зі штатною пожежною технікою. Однак всі питання розглянуті в цій роботі пов'язані з коаксіальною подачею порошкових та водяних струменів складових ВГР, що не може використовуватися при гасінні пожеж гелеутворюючими складовими.

Таким чином, вимагає розробки способів дистанційної бінарної подачі гелеутворюючих складів до осередку пожежі, для реалізацій якого необхідно створити як технічні засоби, що забезпечать подачу такої вогнегасної речовини на потрібну відстань, так і відповідні тактичні прийоми дій пожежних.

### **Висновки по першому розділу**

1. Хоча пожежогасіння на основі використання традиційних конструкцій пожежних стволів з насадками для створення водяних струменів є головним способом боротьби з пожежами, воно супроводжується великою марно витраченою кількістю води, внаслідок чого доцільно перейти до використання компактних та розпилених струменів водних розчинів, які містять добавки, що підвищують вогнегасні властивості води.

2. Аналіз установок, що здійснюють пожежогасіння аерозольними струменями води і води з добавками, показав, що можливості ефективного застосування води, як вогнегасної речовини, далеко не вичерпані і можуть бути істотно розширені шляхом використання гелеутворюючих сполучень, хімічна взаємодія між якими дозволить утримати вогнегасну суміш на вертикальних та похилих поверхнях.

3. Вимагає розробки способів дистанційного бінарного подавання гелеутворюючих складів до осередку пожежі, для реалізацій якого необхідно створити як технічні засоби, що забезпечать подачу такої вогнегасної речовини на потрібну відстань, так і відповідні тактичні прийоми дій пожежних.

## РОЗДІЛ 2. СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ СПОЛУКАМИ

### 2.1 Визначення тактико-технічних вимог до дистанційної подачі гелеутворюючих сполучень

Враховуючи зазначені раніше недоліки існуючих технічних рішень, щодо використання ГУС та неможливості їх застосування на практиці [12], для забезпечення ефективного гасіння пожеж гелеутворюючими складовими, визначена необхідність розробки нових конструкцій (стволів-розпилювачів), що мають відповідати певному переліку вимог.

Дистанція подачі ГУС повинна бути безпечною для оператора-ствольщика та відповідати загальним технічним вимогам та методам випробувань вогнегасників, згідно ДСТУ [87, 88]. В цих вимогах зазначено, що мінімальна довжина струменя вогнегасної речовини у вогнегасниках, призначених для гасіння модельних вогнищ класу А, повинна бути не менше 6 метрів.

Два компоненти ГУС, які до гасіння пожежі зберігають окремо (без вступу в хімічну реакцію одного з другим), треба також і при гасінні подавати на осередок пожежі «окремо», поодинці, але – одночасно. Такі особливості використання ГУС обумовлені обмеженістю часу їх перетворення у протипожежний гель при змішуванні, що може завадити ефективній дії ГУС при гасінні пожеж, як це зазначено формулою винаходу на новий спосіб гасіння гелеутворюючими складами [83, 84].

Форми обох розпилених струменів повинні забезпечувати якомога більший відсоток використання компонент ГУС для гасіння пожежі з заданої відстані (більше 6 метрів). В роботах [4, 44] показано, що плоско-радіальні струмені дозволяють вирішувати це завдання, охоплюючи «одночасно» більший фронт пожежі, ніж за допомогою компактних струменів. Це при подачі ГУС на відстань

до 10 метрів не дає передчасно або з запізненням створювати гель на об'єкті пожежогасіння, реалізуючи його на цій дистанції більш ефективно.

Розміщення, орієнтація та рух обох стволів у просторі під час прицілювання на об'єкт пожежогасіння, повинні забезпечувати максимальну ефективність застосування ГУС при подачі їх на відстань більше 6 метрів та якомога менше залежати від біомеханічних рухів ствольщиків різної кваліфікації. В роботах [5, 6] запропоновано виконувати фіксацію стволів-розпилювачів за допомогою спеціального пристосування для наведення їх на об'єкт пожежогасіння з верифікацією по кутах піднесення до горизонту, кутах відхилення відносно площини прицілювання, висоті і базовій ширині симетричного розміщення, що дозволяє більш ефективно подавати на відстань до 10 метрів два компоненти ГУС і не допускає передчасного або запізненого їх змішування.

Загальні технічні характеристики запатентованої мобільної установки АУГГУС-М, до складу якої входять нові стволи-розпилювачі, що здійснюють дистанційну подачу ГУС, а саме: робочий тиск, розмір, об'єм ємностей для вогнегасної речовини та ін. повинні бути максимально наближені до існуючої протипожежної техніки з метою уніфікації їх використання, та відповідати вимогам державних стандартів.

Таким чином, дистанційна подача гелеутворюючих сполук повинна передбачати одночасну подачу двох плоско-радіальних струменів з компонентами суміші на відстань не менше 6 метрів так, щоб не допустити передчасного або запізненого змішування компонент ГУС.

## **2.2 Технічне забезпечення дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками**

### **2.2.1 Установка АУГГУС-М для реалізації способу дистанційної подачі бінарних розчинів ВГР/ГУС**

Дослідна установка АУГГУС-М [29] призначена для дослідження тактико-технічних характеристик процесу дистанційної подачі бінарних

гелеутворюючих сполук і гасіння пожеж твердих горючих речовин. Конструкція експериментальної установки дозволяє використовувати стволи-розпилювачі, що формують плоско-радіальні струмені, які більш ефективно подають на відстань близько 10,0 метрів два компонента ГУС і допускають можливість змішувати їх над/перед осередком пожежі [24].

В основі створення нової установки було закладено завдання підвищення ефективності використання установок типу АУГГУС, що конструктивно досягалось шляхом забезпечення цілеспрямованого дистанційного подавання компактних або розпилених струменів ГУС в простір над/перед осередком пожежі так, що їх краплі рухаючись по заздалегідь розрахованих траєкторіях, спочатку не контактують одна з одною, а на кінцевій стадії польоту в момент досягнення ними необхідного простору над/перед осередком пожежі змішуються і між ними відбувається механічна і хімічна взаємодія, в результаті якої суміш, осідаючи у вигляді шарів гелю, накриває поверхню об'єктів, що горять, локалізуючи і/або припиняючи горіння [21].

Поставлене завдання розв'язується удосконаленням конструкції установки типу АУГГУС, за рахунок створення мобільної дослідної установки АУГГУС-М (рис. 2.1). Дана установка містить несучий каркас (раму) (1), де встановлено дві ємкості (2) з підвищеною ємкістю компонент розчину ГУС і два балона зі стисненим повітрям (3), які мають індикатори візуального контролю тиску в ємностях (4) і об'єднані редуктором прямої дії. При чому, компоненти ГУС, що містяться в ємностях під тиском стислого повітря, завдяки системі сполучних гнучких шлангів (5) знаходяться і в стволах-розпилювачах (6), які мають по одному крану для їх закриття і відкриття, що пов'язано з окремою або спільною подачею компонент ГУС на об'єкт пожежогасіння. Запропонована конструкція відрізняється тим, що у ній додатково реалізовано систему наведення стволів-розпилювачів (7) на об'єкт пожежогасіння з верифікацією за кутами нахилу до горизонту, кутами відхилення, висоті й базовій ширині симетричного розміщення і фіксації стволів-розпилювачів, що встановлено на несучому каркасі (на рамі) [25].

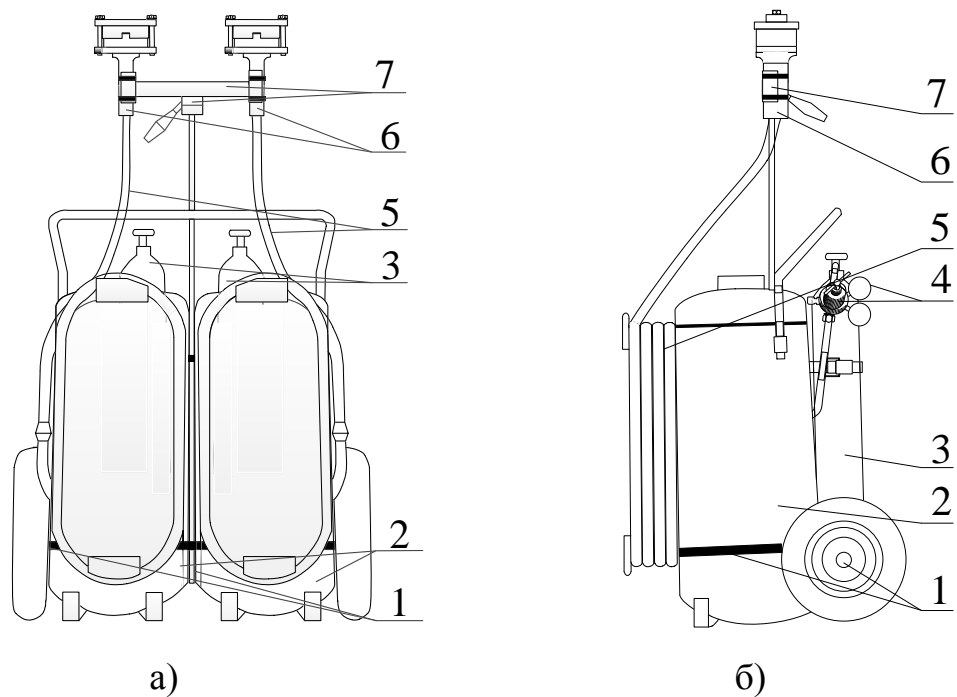


Рис. 2.1 Дослідна установка АУГГУС-М: а) фронтальна проекція; б) профільна проекція;  
Комплектуючі частини до установки АУГГУС-М: 1 – рама візка установки; 2 – ємності з водними розчинами складових ГУС; 3 – балони зі стисненим повітрям; 4 – редуктор з показниками тиску (манометрами); 5 – система сполучних гнучких шлангів; 6 – два стволи-розпилювачі; 7 – пристосування для наведення стволів

На зазначений устрій установки АУГГУС-М отримано патент на корисну модель (ДОДАТОК 3).

Від відомих установок АУГГУС і АУГГУС-П нова установка відрізняється збільшеним запасом компонент ВГР, та можливістю дистанційно (до 10 м) і прицільно подавати на гасіння ГУС протягом 1-2 хвилин. Причому подача ВГР/ГУС може відбуватися як звичайними так і плоско-радіальними струменями, які вже на підступах до осередку пожежі починають утворювати гель. Багато нових конструкторських рішень АУГГУС-М захищені патентами України.

Установка може бути використана як для досліджень тактико-технічних характеристик процесу дистанційної подачі водних і гелеутворюючих бінарних сполук (траєкторія, площа враження та ін.), при різних кутах нахилу стволів-розпилювачів, так і для гасіння реальних пожеж [9].

Дана установка пройшла апробацію в умовах полігону, що забезпечило процес проведення експериментів, в тому числі і при гасінні модельних вогнищ. На рис. 2.2 показано випробування установки АУГГУС-М, при проведенні експериментів по гасінню модельного вогнища класу 1А, з дистанційною подачею ГУС.



Рис. 2.2 Один з тактичних прийомів, як приклад використання запропонованої установки АУГГУС-М

Рисунком 2.2 визначається один з тактичних прийомів подачі в осередок пожежі компонент бінарного потоку ГУС, двома стволами-розпилювачами симетрично віддалених один від одного та націленими на вогнище під рівними кутами нахилу до горизонту  $\alpha_1 = \alpha_2$  і відхилення  $\psi_1 = -\psi_2$ , за заздалегідь розрахованими траєкторіями їх руху. Такий прийом був визнаний в роботі [8], як найбільш прийнятний для дистанційної подачі ГУС, з якого чітко видно, що змішування крапель компонент ГУС на третьому етапі їх руху з подальшим осадженням на об'єкті пожежогасіння є досить ефективним прийомом.

2.2.2 Ствол-розпилювач СР-10 для подачі плоско-радіальних струменів при пожежогасінні на невеликі відстані (до 10 м)

Для вирішення завдань подачі ВГР/ГУС в закритих приміщеннях в роботі [6] запропоновано використання стволів-розпилювачів, які здатні формувати плоско-радіальні струмені. Причому, якщо подавати дві компоненти ГУС з двох стволів СР-10, то розпилені потоки їх струменів можна змішувати у просторі над/перед осередком пожежі, щоб забезпечити своєчасне утворення

гелю для ефективного гасіння пожежі. Останній, осідаючи на вогнище, накриває застигаючим гелем палаючі поверхні, сприяючи тим самим більш активній локалізації та припиненню горіння частин об'єкта пожежогасіння на невеликих (до 10 м) відстанях. Конструкція спеціального ствола-розпилювача СР-10 захищена патентом України № 114070 [16, 27] (ДОДАТОК Ж).

На рис. 2.3 представлені збірна схема і фото ствола-розпилювача СР-10, який може використовуватися при подачі на відстань до 10 м компонентів ВГР/ГУС компактними і плоско-радіальними струменями в замкнутому просторі приміщень різного призначення, а також на відповідних (за розміром) відкритих майданчиках. Показані також його конструктивні особливості виготовлення та основний принцип роботи з ним.

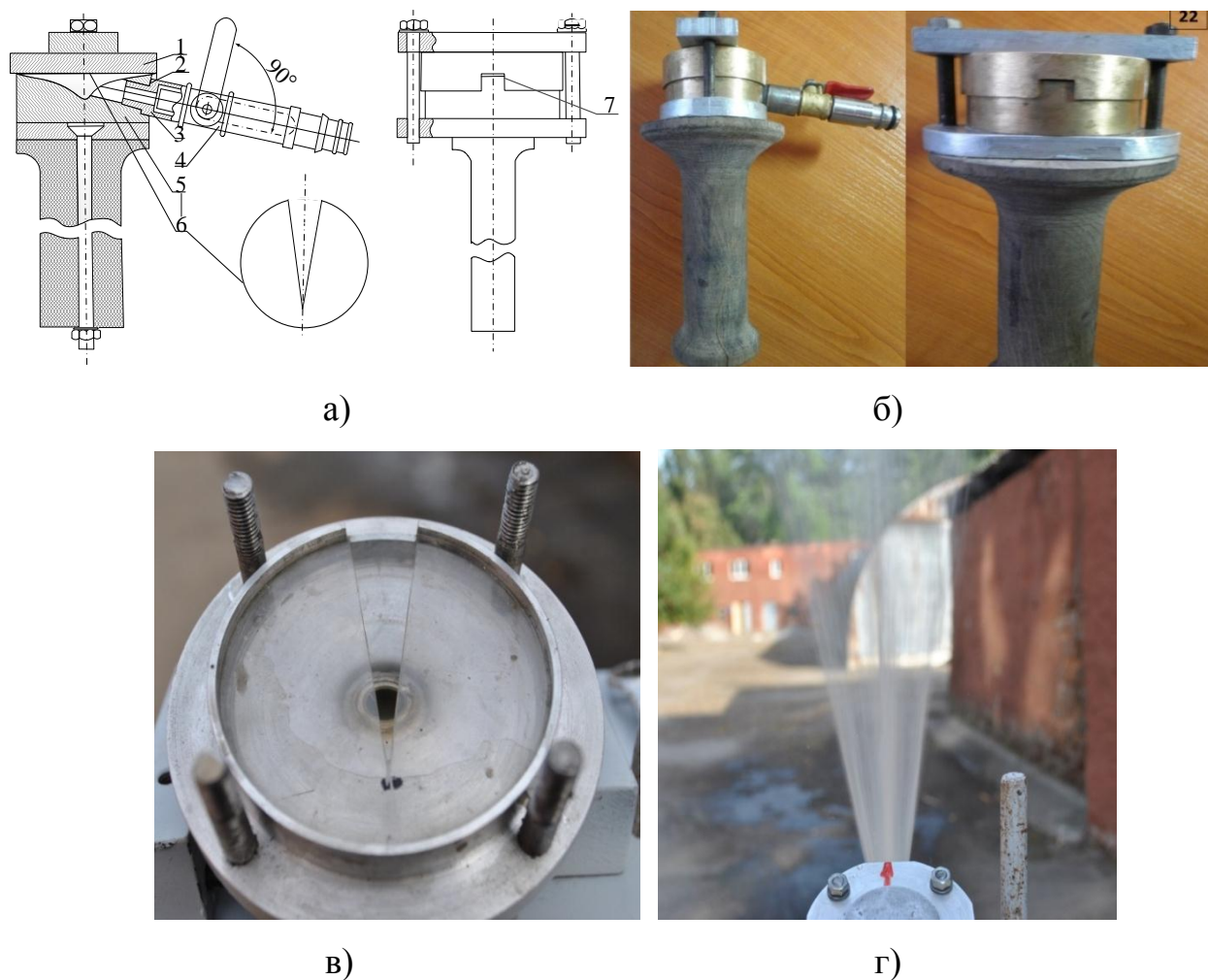


Рис. 2.3 Ствол-розпилювач СР-10: а) збірна схема; б) фото загального вигляду; в) ствол з відкритою кришкою; г) подача струменю на відкритому просторі



Ствол пістолетного типу СР-10 містить порожнистий корпус (5) з деякою внутрішньою «вибіркою» матеріалу, яка об'ємно пов'язана з одного боку з вхідним циліндричним отвором (2), до якого через перехідник (3) різьбовим з'єднанням приєднаний кульовий кран (4), що регулює подачу через нього водного розчину ВГР/ГУС, а з протилежного боку з вихідним профільно-регульованим перетином, що утворюється завдяки змінним кришкам (1) зі спеціальним «П»-подібним вирізом в них (7), реалізуючи таким чином подачу водних розчинів плоско-радіальними струменями в атмосферу. Розмір вихідного отвору за шириною регулюється зміною кришок (1) з «П»-подібним вирізом з різною шириною перетину, а за висотою – товщиною жорстких пластин (6), що розміщуються між корпусом (5) і кришкою (1).

Що стосується випадків пожежогасіння з подачею розчинів двох компонент ВГР/ГУС, то вони через вхідні отвори корпусів обох стволів СР-10, потрапляючи кожна в свій корпус, виприскуються під напором, з прямокутних перетинів між корпусами і кришками в повітряний простір, а в подальшому змішуються і утворюють вогнегасну суміш, зокрема гель.

Разом з цим слід зазначити, що обидві запатентовані в Україні конструкції стволів-розпилювачів [12, 27] самі по собі можуть використовуватися не тільки при гасінні пожеж, а й для захисту людей і сусідніх з пожежею об'єктів від впливу на них НФП [20], в першу чергу теплового випромінювання.

2.2.3 Насадок для подачі плоско-радіальних струменів при пожежогасінні на відстані понад 10 м

Схеми і конструкція нового насадка для створення плоско-радіальних струменів за патентом України № 105235 (ДОДАТОК Г), наведені на рис. 2.4.

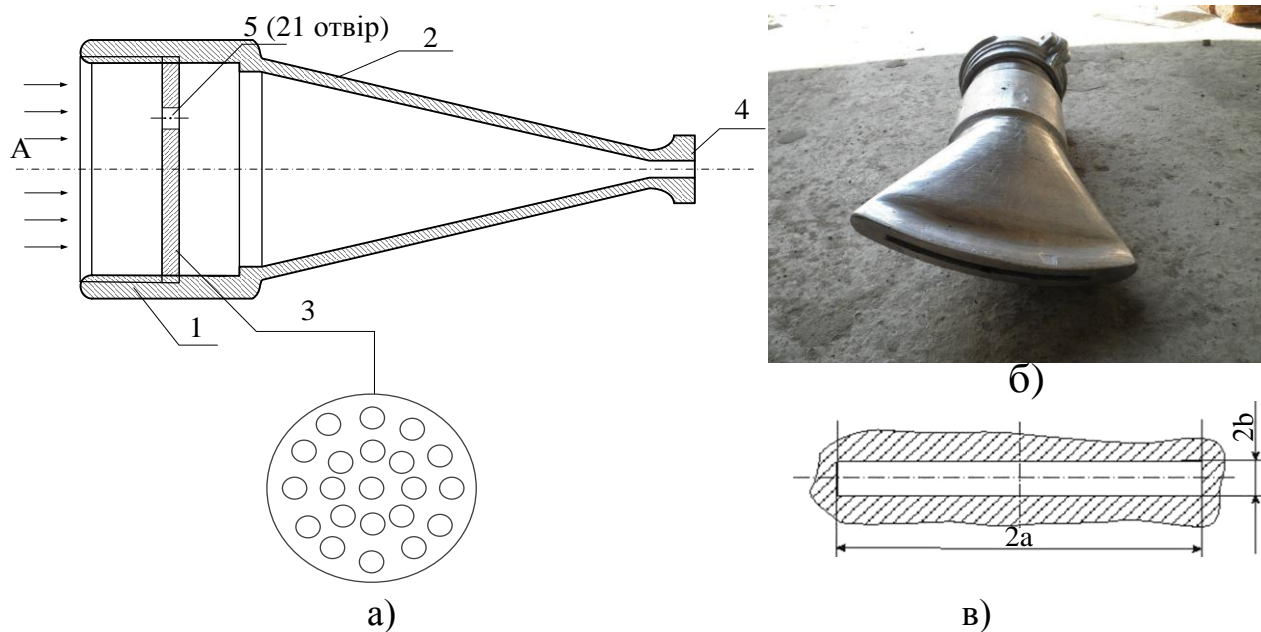


Рис. 2.4 Загальний вигляд конструкції і схеми елементів насадка для створення плоско-радіального струменя: а) конструктивне виконання насадка; б) фото пристрою з боку щілинного отвору; в) перетин вихідного щілинного отвору

На рис. 2.5 представлено фото випробування натурального зразка насадка [12], щодо подачі плоско-радіального струменя ВГР для пожежогасіння.



Рис. 2.5 Подача ВГР у вигляді плоско-радіальних струменів водних розчинів, відповідно до патенту України [2, 4]

Насадок (рис. 2.4) складається з наступних елементів: вхідного циліндричного отвору (1), який може приєднуватися до рукавної лінії; корпусу (2), виконаного у вигляді плоского розтруба з двох, з'єднаних між собою половинок, що утворюють вихідний кінець у вигляді паралельних напрямків, та створюють прямокутний перетин (4); однієї або декількох циліндричних перегородок (3) з отворами малого діаметру (5), які з'єднані з корпусом 2, наприклад тим же різьбовим з'єднанням для фільтрації рідини і ділення її потоку на струмені, що формують в подальшому плоско-радіальний струмінь. Використання додаткових циліндричних перегородок (3) з отворами малого діаметру (5) не ускладнює типову конструкцію насадка, однак дозволяє не тільки фільтрувати, а й зменшувати водяні циліндричні потоки, трансформуючи їх в плоско-радіальні струмені. Потім ці струмені ВГР/ГУС використовуються для пожежогасіння або одним потоком струменю, або двома при змішуванні компонент ГУС над/перед осередком пожежі. Крім того, така конструкція дає можливість підвищити міцність насадка, його ремонтпридатність і ефективність застосування [20].

На прикладі наведених в табл. 2.1 вибірових даних експериментальних досліджень, були розглянуті [7, 10] основні моменти щодо створення конструкції насадка без залучення основних положень методики планування експерименту, яку, як правило, використовують при наявності обмеженої кількості дослідного матеріалу (табл. 2.1).

З даних табл. 2.1 зрозуміло, що з точки зору екстремальної дальності і ширини «охоплення» фронту пожежі, маємо конкурентно здатні параметри перетину (рис. 2.4в) вхідного щілинного отвору – ширина  $2a$  і висота  $2b$  – відповідно досліді № 14, при  $\alpha = 30^\circ$ .

Таблиця 2.1

Данні експериментів для підбору раціональних параметрів насадка при однаковій швидкості витікання водного розчину зі ствола розпилювача  $V_{0c}$

№	Тиск на насадку, кПА	Висота $b$ щілини, мм	Ширина $a$ щілини, мм	Дальність подачі, м	Ширина подачі, м	Час подачі струменя, с
1	700	1	100	14	4	0,56
2	700	1	120	14	5	0,56
3	700	1	130	13	5,5	0,52
4	700	1	140	12	6	0,48
5	700	1	150	12	7	0,48
6	700	2	100	16	9	0,64
7	700	2	120	17	10	0,68
7	700	2	130	17	11	0,68
9	700	2	140	19	11	0,76
10	700	2	150	20	12	0,8
11	700	3	100	31	9	1,24
12	700	3	120	31	11	1,24
13	700	3	130	30	12	1,2
14	700	3	140	31	15	1,24
15	700	3	150	24	18	0,96
16	700	4	100	29	10	1,16
17	700	4	120	27	11	1,08
18	700	4	130	27	12	1,08
19	700	4	140	26	14	1,04
20	700	4	150	24	14	0,96
21	700	5	100	23	10	0,92
22	700	5	120	22	11	0,88
23	700	5	130	22	11,5	0,88
24	700	5	140	21,5	12,5	0,86
25	700	5	150	20	14	0,8

Основними критеріями отримання бажаного варіанта геометрії насадка є більша дальність та ширина подачі струменя, який здатний «накрити» пожежу за фронтом.

Товщина стінок лиття корпусу насадка приблизно така ж, як і висота прямокутного перетину його розпилювача: близько 3 мм (рис. 2.4в). Основні

варійовані геометричні параметри насадка: ширина  $2a$  і висота  $2b$  уточнювалися в ході досліджень, що проводилися на основі випробувань з використанням теорії планування експерименту і формувалися у вигляді даних паспорту-шаблону до розроблюваних стволів/насадків (табл. 2.1).

Таким чином, технічне забезпечення дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими складами включає в себе при подачі гелеутворюючих складів на відстань до 10 м запатентовану мобільну установку, що забезпечує цілеспрямовану дистанційну подачу струменів новими стволами-розпилювачами, особливістю яких є наявність змінних кришок зі спеціальним «П»-подібним вирізом, а при подачі на відстані понад 10 м запатентований насадок, які забезпечують накриття поверхні об'єктів, що горять, шарами гелю.

### **2.3 Визначення параметрів прицільної подачі струменів ВГР/ГУС стволами-розпилювачами при гасінні пожеж**

Відповідно до плану проведення експериментальних досліджень кожний ствол-розпилювач при подачі компонент ВГР/ГУС на умовний осередок пожежі встановлюється поодиноці на своєму штативі спеціально сконструйованому для установок АУГГУС.

Для вирішення практичних завдань, пов'язаних з вільним рухом матеріальних тіл в повітрі, зокрема, з формуванням параметрів прицільної подачі струменів ВГР/ГУС на вогнище пожежі установками типу АУГГУС, наука балістика дозволяє записати рівняння траєкторій польоту тіл (крапель) в повітряному просторі в аналітичній формі. Їх математичні вирази представимо у вигляді систем рівнянь, що враховують вплив певної кількості значущих параметрів.

Що б це показати можна скористатися методикою, викладеною в роботах [94, 95, 96] до аналітичних досліджень траєкторій руху вогнегасних речовин у вільному повітряному просторі.

### 2.3.1 Пояснення, щодо викладу аналітичних залежностей опису осьової лінії руху струменя ВГР

Нехай струмінь води направлений зі ствола-розпилювача під кутом  $\alpha$  до горизонту (рис. 2.6) з умовою, що вона рухається в атмосферному середовищі, опір якого пропорційний швидкості  $v$  елементарної частинки струменя (краплі). Встановимо параметри траєкторії руху цього струменя.

Ідеалізуємо досліджуваний процес, вважаючи, що подрібнення самих крапель струменя за рахунок присутності в водних розчинах ВГР/ГУС спеціальних добавок відсутнє. Тоді спираючись на класичні дослідження руху тіла, кинутого під кутом  $\alpha$  до горизонту, траєкторії польоту крапель ВГР будуть виглядати як показано на рис. 2.6.

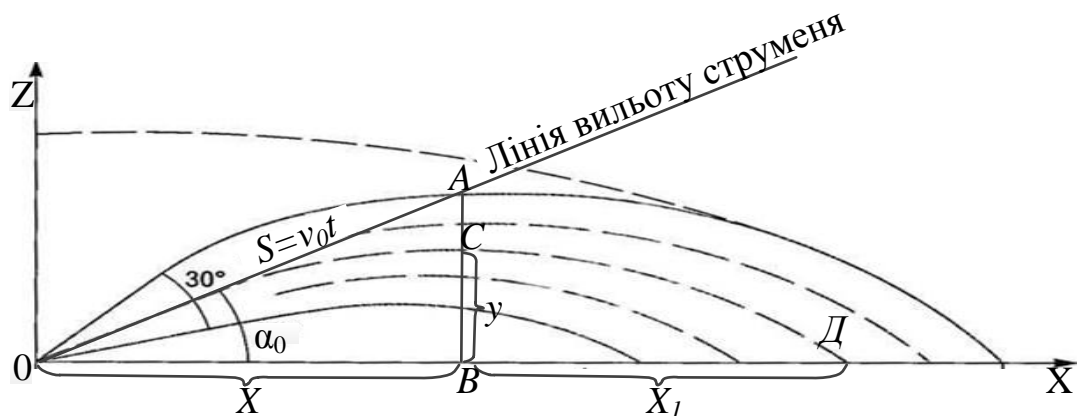


Рис. 2.6 Ілюстрація до задачі виведення рівняння траєкторії польоту крапель ВГР з початковою швидкістю руху  $v_0$  під дією сили тяжіння

Рівняння траєкторії польоту крапель ВГР з початковою швидкістю  $v_0$  без опору їх руху (при дії сили тяжіння) записуються в найбільш простий спосіб враховуючи наступні міркування.

Нехай в безповітряному просторі струмінь ВГР спрямовано під кутом нахилу  $\alpha_0$  з початковою швидкістю  $v_0$  (рис. 2.6). Вилітаючи зі ствола, краплі струменя стануть описувати подібні параболічні траєкторії, симетрично розташовані щодо осередненої траєкторії осьової лінії струменя, яка спрямована в епіцентр вогнища пожежі (точка Д). Будемо шукати параметр  $Z$  висоти над горизонтом уявної осьової лінії траєкторії крапель, яка буде

визначати рух струменя уздовж осі  $OX$  від початку свого руху (точка  $O$ ) при заданих значеннях  $v_0$  і  $\alpha_0$ .

$$Z = AB - AC \quad (2.1)$$

Відрізок  $AC$  визначає зниження струменя під лінією її вильоту за час польоту до точки  $C$ , що по суті характеризує пройдений вільно падаючим тілом шлях, який визначається формулою

$$AC = h = gt^2/2 \quad (2.2)$$

При цьому  $OA = v_0 t$ . Або інакше, повний проміжок часу руху деякої «узагальненої» краплі  $OB$  до точки  $C$  знаходиться з виразу:

$$t = OA/v_0. \quad (2.3)$$

З трикутника  $OAB$  видно, що  $OA = X/\cos\alpha_0$ . Таким чином,  $t = X/v_0 \cos\alpha_0$ . Тоді:

$$AC = gX^2/2v_0^2 \cos^2\alpha_0 \quad (2.4)$$

Підставивши знайдені значення  $AB$  і  $AC$  в вираз (2.4), отримаємо шукане рівняння траєкторії:

$$Z = Xtg\alpha - X^2g/2v_0^2 \cos\alpha_0 \quad (2.5)$$

Рівняння (2.5) описує траєкторію руху струменя ВГР по осьовій лінії в безповітряному просторі під дією тільки сили тяжіння з початковою швидкістю  $v_0$  і являє собою симетричну параболу відомого виду.

При русі крапель струменя в повітрі, крім сили тяжіння, на них буде діяти

і сила опору повітря. Сила опору повітря, а отже, інтенсивність її впливу на струмінь ВГР, може перевершувати силу тяжіння. Тоді параболічна траєкторія осьової лінії струменя є асиметричною, що мало місце при експериментах. Причому, ця тенденція проявляється тим більшою мірою, чим менше маса рухомих крапель ВГР (велике дроблення крапель) і вище початкова швидкість їх руху [10].

Для аналітичного дослідження руху одного струменю в подібних випадках можна розглянути подачу ідеалізованого струменя рідини з пожежного ствола, розташованого в точці початку декартової системи координат  $ZOX$  і спрямованого під кутом  $\alpha$  до горизонту з урахуванням опору повітря. Тут за звичаєм теж вважається, що початкова швидкість вильоту «елементарної» частинки струменя масою  $m$  дорівнює  $v_0$ , а опір середовища пропорційний (з коефіцієнтом  $k$ ) швидкості  $v$  частинки струменю. Позначивши через  $g$  прискорення тяжіння, маємо систему диференціальних рівнянь [10]

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot \frac{dx}{dt} = 0 \\ \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot \frac{dz}{dt} = -g \end{cases} \quad (2.6)$$

Також відомим є частинний розв'язок цієї системи в параметричному вигляді

$$\begin{aligned} x &= a \left( 1 - e^{-\frac{g}{c}t} \right) \\ z &= b \left( 1 - e^{-\frac{g}{c}t} \right) - ct \end{aligned} \quad (2.7)$$



$$\text{де } a = \frac{mv_0}{k} \cos \alpha; b = \frac{m}{k^2} (mg + kv_0 \sin \alpha); c = \frac{mg}{k}.$$

Отримане рішення, яке описує зміни координат  $x$  і  $z$  в залежності від узагальненої координати часу  $t$  не зручне для використання на практиці. Тут більш зручним для реалізації є математичний запис рівняння траєкторії в явному вигляді. Його визначити нескладно, якщо в (3.16) виконати такі дії:

спочатку з першого виразу системи (2.7) знаходимо  $1 - e^{-\frac{g}{c}t} = x/a$ . Потім, замість  $1 - e^{-\frac{g}{c}t}$  підставимо  $x/a$  в другий вираз системи (2.7). В результаті

$$\text{отримаємо } z = \frac{b}{a}x - ct, \text{ звідки } t = \frac{bx - az}{ac}.$$

Тепер, підставляючи вираз для часу  $t$  в першу формулу (2.7), знаходимо величину  $x$ :

$$x = a \left( 1 - e^{-\frac{g}{ac^2}(bx - az)} \right)$$

звідки

$$z = \frac{1}{a} \left( bx + \frac{ac^2}{g} \ln \left( 1 - \frac{x}{a} \right) \right). \quad (2.8)$$

Або, інакше, в системі координат  $ZOX$ , в явному вигляді маємо:

$$z = \frac{xkmg + xk^2v_0 \sin \alpha + m^2gv_0 \cos \alpha \ln \left( \frac{mv_0 \cos \alpha - xk}{mv_0 \cos \alpha} \right)}{k^2v_0 \cos \alpha}. \quad (2.9)$$

Тобто вираз (2.9) описує ідеалізовану осьову лінію траєкторії руху струменя рідини в полі земного тяжіння враховуючи опір повітря, коли джерело струменю ВГР знаходиться в точці початку координат (рис. 2.7).

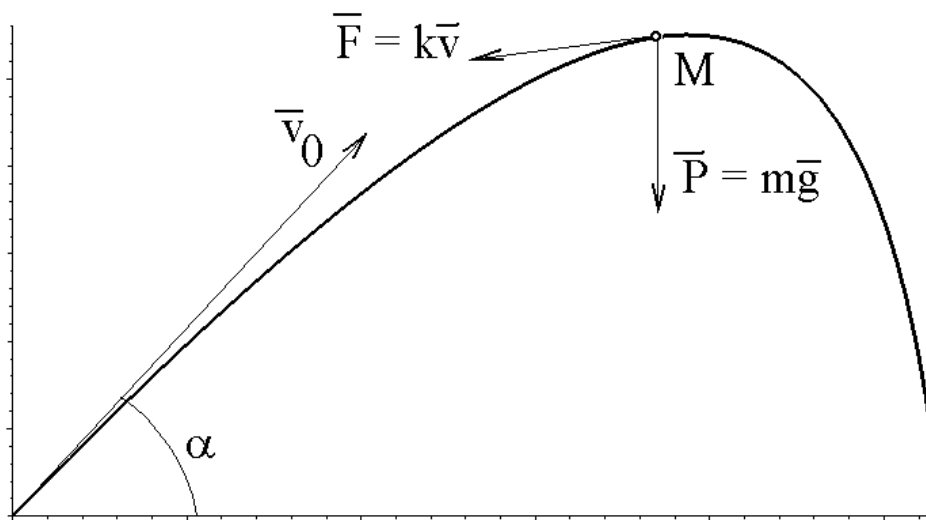


Рис. 2.7 Схематичне уявлення осьової лінії польоту крапель струменя ВГР з урахуванням опору повітря.

Слід відзначити, що визначення осьових траєкторій руху двох (рис. 2.7) симетрично поданих компонент ГУС – однакові кути  $\alpha$  і швидкості  $v_0$  – можна знайти шляхом розв’язування аналогічних (2.9) нелінійних алгебраїчних рівнянь експоненціально-тригонометричного вигляду [94]. В даному випадку слід додатково враховувати кути зміни напрямку стволів ( $\psi$ ) відносно напрямку подачі компонент ГУС на об’єкт пожежогасіння.

В роботі [97] показано, що розв’язок рівнянь (2.7-2.9) вдається одержати у замкненому вигляді з використанням функції Ламберта  $W(x)$ , тобто тією функцією, що задовольняє умові  $W(x)e^{W(x)} = x$  [97]. В результаті у математичному середовищі Maple [98] можна знайти аналітичні вирази, які виражають залежність  $v_0$  від  $\alpha$  з використанням функцій Lambert  $W(x)$  та RootOf [97].

Таким чином вираз (2.9) є остаточним при визначенні руху одного струменя у явному вигляді вздовж осьовій лінії траєкторії в повітряному середовищі, опір якого пропорційний швидкості  $v$  елементарної частинки (краплі) цього струменя.

Відзначимо, максимум рівня подачі такого струменя по висоті, який буде дорівнювати:

$$z_0 = \frac{m}{k^2} \left( kv_0 \sin \alpha + mg \ln \left( \frac{mg}{mg + kv_0 \sin \alpha} \right) \right) \quad (2.10)$$

і досягається в точці абсцис

$$x_0 = \frac{mv_0^2}{2} \frac{\sin 2\alpha}{mg + kv_0 \sin \alpha}. \quad (2.11)$$

### 2.3.2 Розрахунок траєкторії руху компонент ВГР/ГУС через дві точки.

Розглянемо іншу практичну задачу, що відноситься до руху струменів ВГР/ГУС, які повинні пройти через завідомо відомі точки у просторі.

При розробці тактико-технічного забезпечення до систем пожежогасіння з використанням ГУС виникає практична задача розрахунку траєкторії кожної з двох компонент, що подаються за допомогою устрою, подібного АУГГУС, на осередок пожежі за умови проходження кожної складової ГУС через задані точки (наприклад, для двох компонент ГУС, через  $A_1$  і  $A_2$  і точку  $B$ . Джерело струменів в цьому випадку знаходяться в точках  $C1$  і  $C2$  (рис. 2.8).

Нехай потрібно визначити кути симетричного нахилу стволів-розпилювачів  $C1$  і  $C2$  ( $\alpha$ ) і початкову однакову швидкість вильоту частинок (крапель) струменів ( $v_0$ ), при яких струмені «охоплюють» відповідні точки:  $A_1$  і  $A_2$  і  $B$  з відомими координатами. Якщо трасувати струмені ВГР/ГУС так, що вони будуть рухатися симетрично після витікання з обох стволів  $C1$  і  $C2$ , та запроектувати їх траєкторії на площині  $XOZ$ , як показано на рис. 2.8, то це завдання вдається звести до вже відомої задачі [95].

У цьому випадку достатньо розглянути і розв'язати наступну систему двох рівнянь з двома невідомими  $\alpha$  і  $v_0$

$$z_1 = \frac{x_1 k m g + x_1 k^2 v_0 \sin \alpha + m^2 g v_0 \cos \alpha \ln \left( \frac{m v_0 \cos \alpha - x_1 k}{m v_0 \cos \alpha} \right)}{k^2 v_0 \cos \alpha},$$

$$z_2 = \frac{x_2 k m g + x_2 k^2 v_0 \sin \alpha + m^2 g v_0 \cos \alpha \ln \left( \frac{m v_0 \cos \alpha - x_2 k}{m v_0 \cos \alpha} \right)}{k^2 v_0 \cos \alpha} \quad (2.12)$$

де:  $m$  – маса елементарної частинки струменя (краплі води),  $k$  – коефіцієнт опору зовнішнього середовища,  $g$  – прискорення вільного падіння.

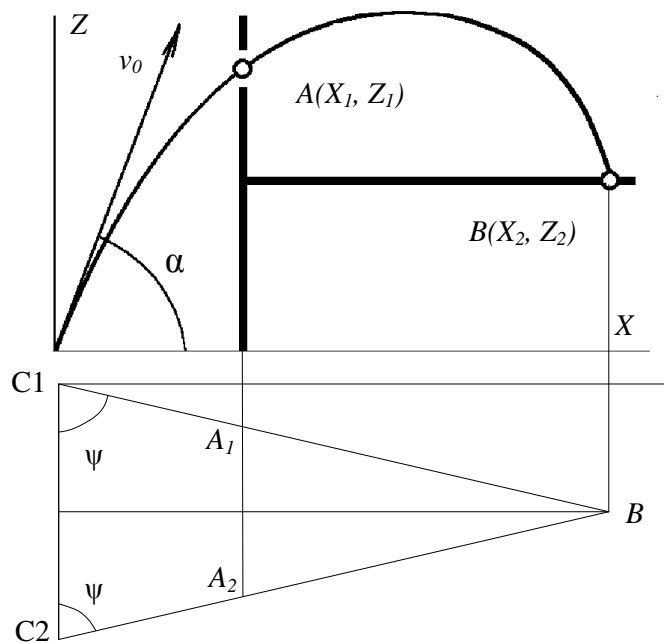


Рис. 2.8 Фронтальна і горизонтальна проекції щодо визначення двох симетричних осьових траєкторій руху компонент ГУС для обох струменів що охоплюють задані точки  $A$  і  $B$

Функція Ламберта  $W(x)$  є розв'язком рівняння  $W(x)e^{W(x)} = x$ . Її наближені значення можна обчислити таким чином:

$$W(x) = P - Q + \frac{Q}{P} + \frac{Q(Q-2)}{2P^2} + \frac{Q(6-9Q+2Q^2)}{6P^3} +$$

$$+ \frac{Q(-12+36Q-22Q^2+3Q^3)}{12P^4} + O\left(\left\{\frac{Q}{P}\right\}^5\right) \quad (2.13)$$

де  $P = \ln x$  і  $Q = \ln \ln x$ .

У розглянутому комп'ютерному просторі Maple за допомогою оператора RootOf знаходиться функціональна залежність параметрів траєкторій від кута нахилу  $\alpha_0$  і початкової швидкості  $v_0$  для кожного із струменів [98].

Таким чином, аналітичні вирази, що описують осьові траєкторії руху струменів ВГР/ГУС, дозволяють скласти алгоритми трасування руху РЗП, які необхідні для забезпечення можливості аналітичного розв'язування завдань, що сприяють підвищенню ефективності гасіння і захисту об'єктів пожежогасіння при використанні мінімальної кількості експериментальних даних. Зокрема – декартових координат двох-трьох точок, через які мають проходити траєкторії струменів конкретних площин наведення (прицілювання) стволів-розпилювачів на епіцентр пожежі або об'єкта пожежогасіння.

Таким чином, аналіз осьових траєкторій, що отримані за допомогою функції Ламберта, руху струменів гелеутворюючих складів дозволяє визначити параметри прицільної бінарної подачі (кута нахилу стволів та початкової швидкості вильоту вогнегасних речовин) розробленими стволами-розпилювачами.

## **2.4 Тактико-технічне забезпечення прицільної подачі навісних і «прямо» спрямованих бінарних потоків гелеутворюючих сполук**

### **2.4.1 Прицільна дистанційна подача гелеутворюючих складів**

Відповідно до завдань проведення експериментальних досліджень, обидва стволи-розпилювачі при подачі компонент ВГР/ГУС на умовний осередок пожежі були встановлені поодиночі на своїх штативах, спеціально сконструйованих для установок типу АУГГУС, де стволи було жорстко зафіксовано на відповідній відстані (один від одного) за визначеними кутами нахилу  $\alpha$  та відхилення  $\psi$  (рис. 2.9).



а)



б)

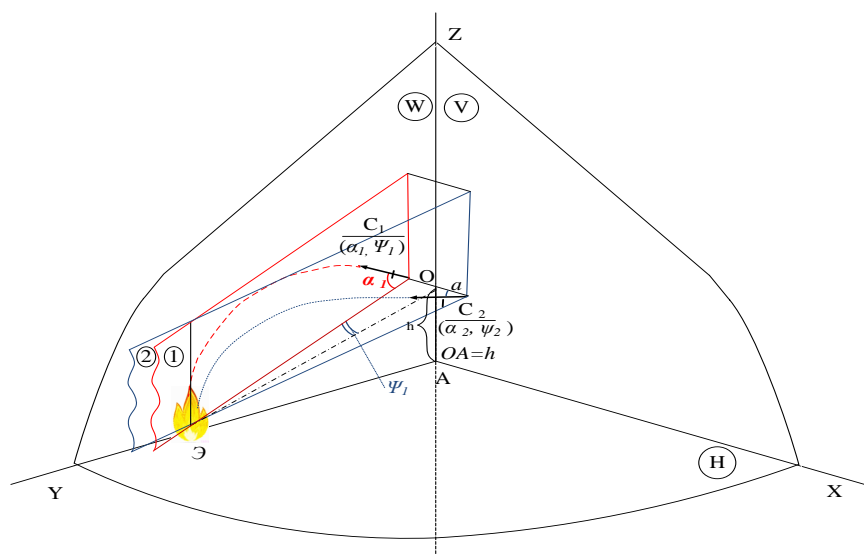
Рис. 2.9 Фіксація стволів-розпилювачів при проведенні експериментів:

а) установка АУГГУС з додатковими штативами, що забезпечують прицільну подачу ВГР/ГУС; б) симетричне розташування стволів-розпилювачів відносно площини наведення, націлених в епіцентр мішені-екрану

У початковому положенні кожен ствол направляєтся на умовний об'єкт пожежогасіння (мішень-екран), розташовуючись в просторі на вихідній позиції згідно схеми рис. 2.10 з наступними геометричними параметрами:  $h_1$  і  $h_2$  – рівень (висота) базування ствола-розпилювача  $C_1$  і  $C_2$  по відношенню до об'єкта пожежогасіння;  $2a$  – відстань симетричного розташування їх відносно площини наведення на вогнище пожежі (OXYZ) в напрямку осі OX;  $\alpha_i$  і  $\psi_i$ ,  $i=1,2$  – кути нахилу та відхилення в відповідних допоміжних площинах прицілювання на об'єкт пожежогасіння ① і ②.

Як видно з рис. 2.10 для практичного розв'язання питання з пожежогасіння та захисту об'єктів, що знаходяться поблизу пожежі, можна використовувати кілька пропозицій, пов'язаних з теоретичним описом траєкторій польоту в атмосфері повітря кожного з двох розпилених струменів ВГР/ГУС, націлених на об'єкт пожежогасіння поодиночі. Математичний опис досліджуваних фізичних явищ, не завжди простий тому, що являє собою опис процесів системами рівнянь, які формуються на основі емпіричних даних з використанням будь-то апроксимуючих поліномів, чи виразів, одержаних в рамках теорії оптимального планування експерименту, або класичним

експериментально-теоретичним шляхом запису рівнянь руху тіл, що кинуті під кутом до горизонту.



а)



б)



в)

Рис. 2.10 Умови проведення експериментів: а) розміщення стволів-розпилювачів  $C_1$  і  $C_2$ , що подають на умовний осередок пожежі (точка  $E$ ) компоненти бінарного потоку ГУС:  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – кути нахилу до горизонту стволів,  $\psi_1$  і  $\psi_2$  – кути їх відхилення,  $2a$  – відстань між стволами на рівні  $h_1 = h_2 = h$ ; б) фото «прицільної подачі» 1-м стволом одного струменя складової ГУС, в) фото «прицільної подачі» 2-м стволом іншого струменя складової ГУС

Тим не менш, згідно запропонованого методу фізичного моделювання рух кожної з компонент ВГР/ГУС при пожежогасінні, можна математично описати будь-яким з розглянутих в роботі відомих способів, щоб потім в

остаточному рішенні завдань їх об'єднану дію розглядати використовуючи зв'язний принцип суперпозицій.

Так чи інакше, з балістики рідинних струменів [99] відомо, що траєкторію руху сукупності елементарних тіл (крапель) у вільному просторі може бути визнано параболою. Слід додати, що для досліджень, які базуються на визначенні траєкторій руху струменів ВГР напівемпіричними залежностями є проста і зручна в практичній реалізації пропозиція – використовувати напівемпіричну формулу [45], що нагадує традиційний по запису вид параболи другого степеня:

$$z = ytg\alpha - y2g(1 + KV_0^2 \cdot L_{\max}) / 2V_0^2 \cos\alpha \quad (2.14)$$

де:  $\alpha$  – кут нахилу ствола-розпилювача, що подає водний розчин;  $K$  – емпіричний коефіцієнт, який визначається для даного водного розчину, подачею струменя на максимальну дистанцію  $L_{\max}$  (при  $\alpha \approx 30^\circ$ );  $V_0$  – початкова швидкість витікання ВГР на зрізі ствола-розпилювача;  $z$  і  $y$  – поточні координати траєкторії руху ВГР в повітрі;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $h$  – висота розташування ствола.

Таке уявлення траєкторій руху струменів може бути використано в якості базового приклада, який дозволить достатньо просто описати шукані рішення до трасування струменів кожної компоненти ВГР/ГУС, що направляються стволами-розпилювачами С1 та С2 на одну і ту ж саму ціль, де вони повинні зустрітися. Причому, при пожежогасінні з використанням ГУС тут нескладно поставити питання про визначення більш «сприятливих» моментів змішування їх компонент в процесі польоту.

Для пояснення цих особливостей формування параметрів прицільної подачі бінарних струменів ВГР/ГУС при пожежогасінні запишемо на основі формули (2.14) два рівняння з двома невідомими кутами  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , при певних наперед заданих умовах. Іншими словами, на прикладі використання формули



(2.14) покажемо, як слід створювати передумови для розробки тактико-технічного забезпечення до використання установок пожежогасіння типу АУГГУС.

За початкові умови прийmemo наступні вихідні данні: дистанцію  $L_0$ , від установки до осередку пожежі; можливість рівності початкових швидкостей струменів з обох стволів-розпилювачів, наприклад,  $V_1 = V_2 = V_0$  при рівному тиску в обох однакових по конструкції стволах,  $P_0$ .

На рис. 2.11 відповідно до виразу (2.14) показано декілька траєкторій струменів ВГР/ГУС, рух яких розглядається в наших дослідженнях в площинах націлювання на об'єкт пожежогасіння.

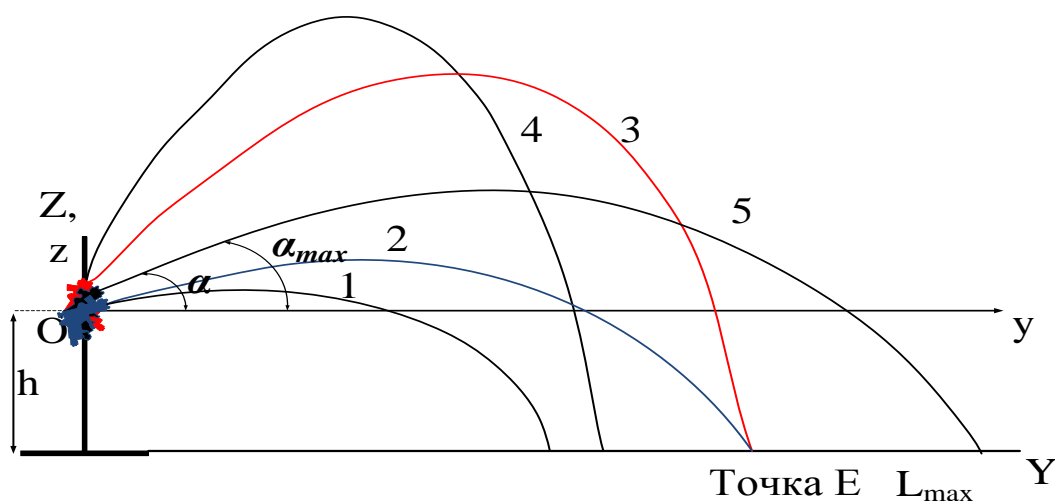


Рис. 2.11 Апроксимуючі криві розрахункових траєкторій за формулою (2.14): 1 і 2 – види настільних траєкторій; 3 і 4 – види навісних траєкторій; 5 – траєкторія, де може бути досягнута максимальна дальність подачі струменя  $L_{max}$  в горизонтальному напрямку при куті нахилу ствола-розпилювача

$$\alpha_{max} \approx 30^{\circ}$$

Серед цих траєкторій, як видно з рис. 2.11, вибором навісної 3 ( $\alpha_1 \geq 30^{\circ}$ ) і настільної 2 ( $\alpha_2 \leq 30^{\circ}$ ) траєкторій та застосуванням їх на пожежі може бути

забезпечено пожежогасіння, тобто попадання обох компонент ГУС в епіцентр пожежі (точка  $E$ ), що знаходиться на дистанції  $L_0$  від установки типу АУГГУС.

Розвиваючи ідеї досліджень [32, 82, 76] щодо гасіння пожеж гелеутворюючими складовими із застосуванням установок типу АУГГУС було встановлено [8, 9], що кількість ВГР, яка потрапляє в осередок пожежі дистанційно, не завжди забезпечує локалізацію та ліквідацію горіння модельного вогнища 1А. Мають місце непоодинокі ситуації, коли виникає необхідність проводити додаткове гасіння, з метою повної ліквідації пожежі, за допомогою додаткових сил та засобів, в тому числі з використанням тих же АУГГУС (рис. 2.12).



Рис. 2.12 Гасіння гелеутворюючими складами, модельного вогнища 1А, установкою АУГГУС-П

У зв'язку з цим, при ліквідації виникаючих осередків горіння класу А, що поширюються, потрібно збільшувати кількість поданої на осередок пожежі ВГР, задіявши мінімум два пожежних стволи. Крім того, тут необхідно ще й застосовувати відповідне тактико-технічне забезпечення. Інакше кажучи мати і кваліфіковано використовувати науково обґрунтовані рекомендації – яким

найбільш ефективним чином працювати з подібним пожежно-технічним оснащенням.

Суть викладеного стало основою патенту України на винахід «Спосіб гасіння пожеж» (Додаток М), де було поставлено завдання підвищення ефективності і зменшення витрат вогнегасної речовини при гасінні гелеутворюючими складами.

Головним у винаході є потреба здійснювати гасіння гелеутворюючими сполуками шляхом змішування двох компонент за рахунок цілеспрямованої дистанційної подачі складових ГУС. При цьому потрібно щоб механічна й хімічна взаємодії між компонентами ГУС відбувалися, наприклад, на третьому етапі їх руху, що дозволить зменшити втрати від передчасного гелеутворення та дозволить здійснювати активну дію на об'єкт пожежогасіння. Тобто, спрямовуючі дві складові ГУС під різними кутами нахилу і/або відхилення для забезпечення їх руху заздалегідь розрахованими траєкторіями (можливо з різних точок базування стволів-розпилювачів, віддалених один відносно одного на деякій відстані), формуються умови своєчасного утворення в просторі над/перед пожежею рідкої гелеутворюючої суміші реагентів, подальшого покриття нею та утримання її у вигляді застигаючого захисного гелю на поверхнях твердих речовини і матеріалів, що горять.

Таким чином здійснюється локалізація і/або припинення горіння та досягається ефективно (з мінімальними втратами) використання ГУС. У цьому тактико-технічному напрямі є переваги перед відомими способами пожежогасіння, що використовувалися раніше.

Найбільш близькою до запропонованого способу подачі ГУС, була пропозиція, що заявлена в роботах [84, 85]. Вона полягає в тому, що ВГР/ГУС, що потрапляє в осередок пожежі, формується тут же, шляхом змішування двох розчинів на поверхні, що горить.

Недоліки цього способу обумовлені тим, що він регламентує змішування двох розчинів саме на поверхні, що горить, та зумовлює свою реалізацію небезпечним і/або неефективним методом. Наприклад, не дистанційно, а саме

звичайним пролиттям двох компонентів на об'єкт захисту чи пожежогасіння з двох ємкостей за допомогою звичайних насадків. Більше того, мінімальна дальність пожежогасіння для переносних та пересувних вогнегасників, згідно ДСТУ 3675-98 та ДСТУ 3734-98 є 3 та 6 метрів, відповідно. Тому навряд чи можна вважати ефективним і спосіб подачі ГУС з використанням відомих дослідних установок АУГГУС і АУГГУС-П [1], що забезпечують ефективне пожежогасіння з відстані не більше 1-1,5 метра. У зв'язку з цим є актуальним доопрацювання їх конструкції та питань виведення складових бінарного потоку на прицільні траєкторії, оскільки складові компонент у наслідок розбіжності швидкостей можуть: одні – перелітати вогнище, тоді як інші – не долітати.

Також, у випадках застосування установок типу АУГГУС без належної їх переробки та без створення до них тактико-технічного забезпечення є висока вірогідність несвоєчасного утворення крапель гелю у початковій фазі руху бінарного потоку ГУС до вогнища пожежі, внаслідок чого краплі гелю, що утворюються, осідатимуть і випадатимуть на підступах до об'єкту пожежогасіння. Ефективність використання ГУС, в цих випадках, не буде відповідати поставленій цілі.

На рис. 2.13 показано, що поставлена задача вирішується способом одночасної подачі у вогнище пожежі двох незалежних розпилених струменів бінарного потоку ВГР/ГУС стволами-розпилювачами, націленими на вогнище під різними кутами нахилу до горизонту і/або відхилення у відповідності за заздалегідь розрахованими траєкторіями їх руху до вогнища [17, 19]. Ця задача може бути розв'язана також за умовою одночасної подачі у вогнище пожежі двох незалежних розпилених струменів з різних точок базування стволів-розпилювачів, віддалених один від одного на деякій відстані.

З рис. 2.13 витікає, що процес руху потоків двох складових ГУС теж поділяється, на три етапи: етап 1 – викид складових ГУС в атмосферу; етап 2 – їх вільний рух відносно розташування об'єкта пожежогасіння; етап 3 – попадання на об'єкт пожежогасіння. Усі три етапи відносяться до зовнішньої

балістики гідродинамічних потоків водних розчинів і тому допускають прогнозування свого руху в просторі розрахунковими методами [15].

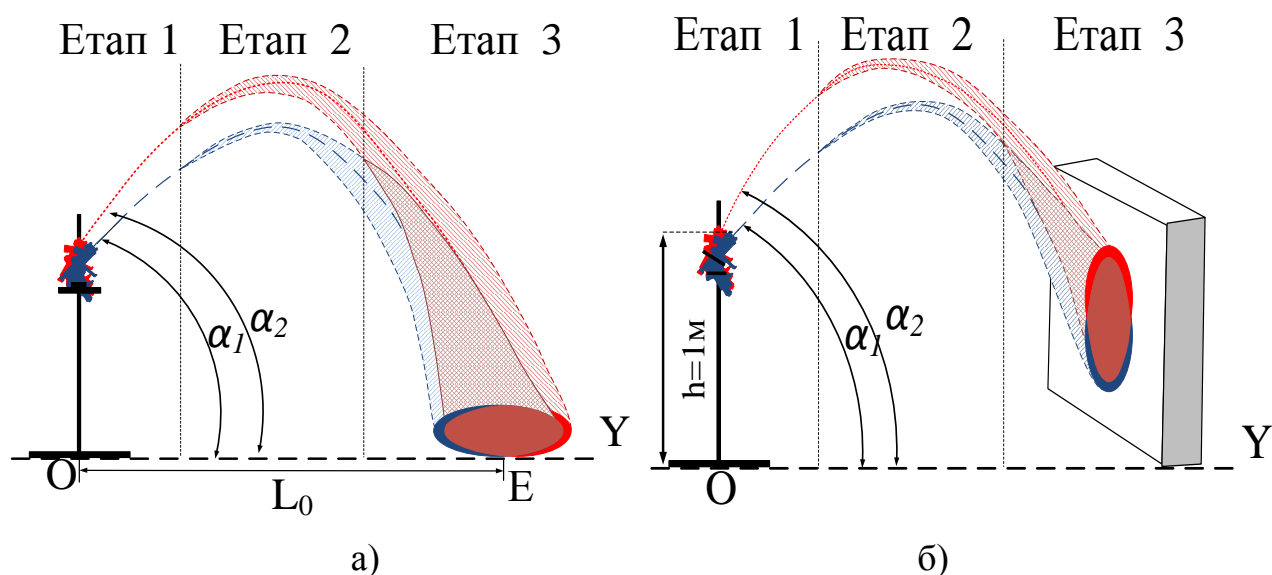


Рис. 2.13 Схеми подачі на осередок пожежі двох незалежних один від одного розпилених струменів бінарного потоку ГУС стволами-розпилювачами, націленими в епіцентр горіння за незалежними траєкторіям руху при гасінні:

- а) горизонтально розташованих об'єктів; б) похило розташованих (вертикальних) поверхонь, що горять

Тобто, саме третій етап характеризується моментом, коли поступальні швидкості частинок (крапель) гідродинамічних потоків уздовж осі ОХ близькі один до одного, а також до нульових значень. Тоді їх рух здійснюється за траєкторією вільного падіння, або припиняється, коли краплини зустрічають на своєму шляху похило (вертикально) розташовані поверхні, що горять, і остаточно на них змішуються утворюючи суміш захисного гелю, для якого характерна здатність закріплюватися на вертикальних і похилих поверхнях, у тому числі й на стелях.

2.4.2 Тактико-технічні завдання бінарної подачі ВГР/ГУС на осередок пожежі при роботі з установками типу АУГГУС

Нехай подача складових ГУС здійснюється умовно з однієї точки (рис. 2.14а). Тоді очевидно, що для підвищення ефективності гасіння стволи-

розпилювачі C1 і C2, що розміщені у точці O, повинні бути орієнтовані в просторі таким чином, щоб спрямовані ними струмені сходились в точці E епіцентру пожежі [18]. Останнє цілком можливо здійснити, розташувавши стволи-розпилювачі в базовій системі координат OXYZ в площині прицілювання YOZ в точці O, як показано на рис. 2.14б.

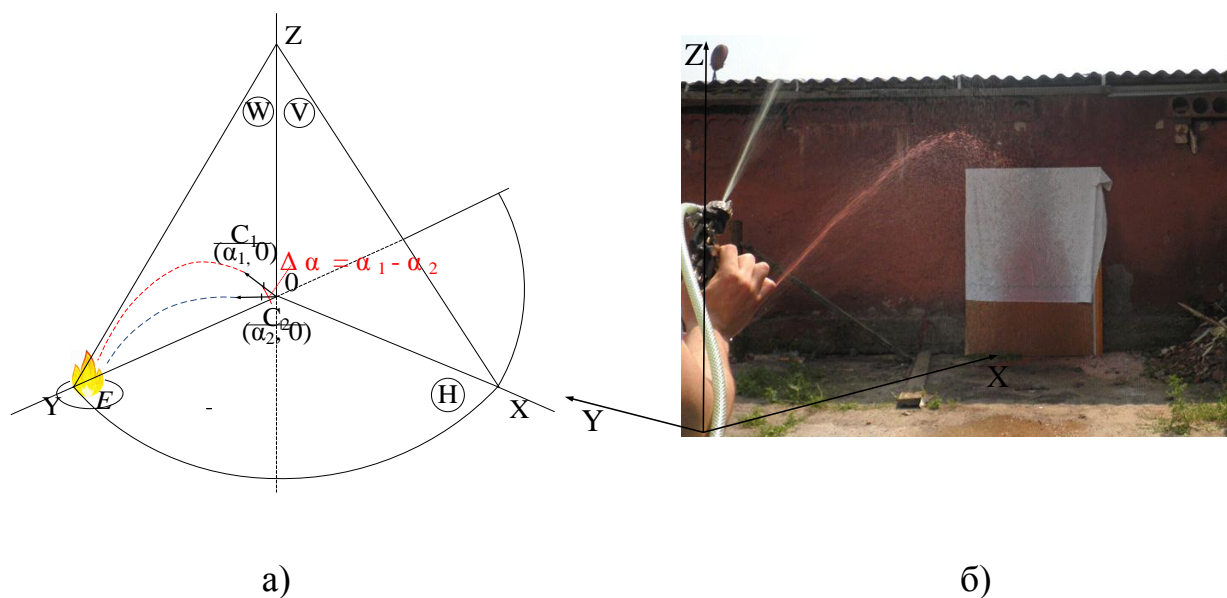


Рис. 2.14 Подача струменів на пожежогасіння: а) схема розташування стволів-розпилювачів C1 і C2, що подають в епіцентр пожежі (точка E) компоненти бінарного потоку ГУС,  $\alpha_1 > \alpha_2$  – кути нахилу стволів до горизонту,  $\psi_1 = \psi_2 = 0$  – кути відхилення; б) фото подачі компонент розпиленої води з однієї точки установкою АУГГУС двома струменями ( $\alpha_1 > \alpha_2$ ;  $\psi_1 = \psi_2 = 0$ )

Щоб оперативно реалізувати запропонований спосіб дистанційної подачі потоків струменів ГУС при пожежогасінні за допомогою установок типу АУГГУС на практиці необхідно мати так зване комп'ютерне забезпечення розрахунків балістики руху розпилених струменів-компонентів в повітрі (2.14). До числа достатніх умов вирішення такого завдання слід віднести формування в процесі оперативної розвідки пожежі вихідних умов. До їх числа, насамперед, відносяться: топографія – знаходження цілі на рівні (вище, нижче) горизонту зрізу стволів-розпилювачів; дистанція до осередку пожежі повинна укладатися

в прийнятні (для даної оперативної обстановки) номінальні межі можливого використання установки з точки зору забезпечення діапазону дії конкретної установки  $L_0 \leq L_{\max}$ ; метеорологія – вітер відсутній або є поправки на вітер; а також відповідний робочим процесам в системі установок пожежогасіння тиск  $P_0$ . Таким чином, визначається тактичний прийом використання даної установки та інші дані її раціонального застосування, про які далі йтиметься.

У зазначеному сенсі запатентований спосіб подачі ВГР/ГУС на пожежогасіння допускає застосування різних тактико-технічних прийомів, які були випробувані в умовах полігону [9].

Узагальнимо їх в характерні для конкретних прийомів гасіння тактико-технічні завдання.

**Завдання 1.** Розглянемо найбільш наочний і тому первісно застосований при розробці нової установки типу АУГГУС випадок, який має наступну топографію завдання: 1) вітер відсутній; 2) ціль (осередок пожежі) знаходиться практично на рівні горизонту зрізу стволів-розпилювачів та на доступній для роботи відстані  $L_0$  і робочому тиску  $P_0$ ; 3) стволи С1 і С2 розташовані в точці  $O$  так, що площини їх прицілювання збігаються з площиною наведення на осередок YOZ(Рис. 2.14).

Як вже відмічалось, нескладним і цілком доступним способом є така подача двох складових ГУС стволами-розпилювачами, яку можна здійснити якщо розташувати стволи С1 і С2 в точці  $O(0,0,0)$  системи координат OXYZ в площині YOZ наведення їх на ціль, як показано на рис. 2.14а. Тоді рух струменя однієї компоненти ГУС буде здійснюватися навісною траєкторією, а іншої - настильною траєкторією. Такий варіант подачі ВГР/ГУС, можна описати системою двох рівнянь з двома невідомими кутами  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , при відомих початкових умовах: початкові швидкості витікання струменів з обох стволів рівні  $V_0$ ; дистанція до вогнища відповідає умові  $L_0 \leq L_{\max}$ .

**Аксиома.** Для однакових швидкостей витікання складових ГУС зі стволів-розпилювачів, розташованих в одній точці площини наведення, на рівні

осередку загоряння, існує система двох рівнянь з двома невідомими кутами нахилу стволів, яка має ненульове рішення, що визначає прицільну подачу струменів бінарного потоку ГУС в епіцентр горіння точку  $E$ . Причому, одна з траєкторій є навісна, а друга – настильна.

Якщо не враховувати вплив метеорологічних факторів і розглядати так звані номінальні умови, то розшукувана пара кутів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , може бути знайдена з розв'язку відповідної системи рівнянь (2.15). Назвемо її параметричною за параметром  $L_0$ , тому що для кожного значення  $L_0$ , з напіввідкритого інтервалу  $0 < L_0 \leq L_{\max}$ , єдине дійсне рішення для  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  визначиться з двох виразів:

$$\begin{aligned} L_0 \operatorname{tg} \alpha_1 - L_0^2 g (1 + KV_0^2 L_{\max}) / 2V_0^2 \cos \alpha_1 &= 0, \quad \text{де } 30^\circ \leq \alpha_1 < 90^\circ \\ L_0 \operatorname{tg} \alpha_2 - L_0^2 g (1 + KV_0^2 L_{\max}) / 2V_0^2 \cos \alpha_2 &= 0, \quad \text{де } 30^\circ \geq \alpha_2 > 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Іншими словами, однорідна система двох рівнянь з двома невідомими має єдиний розв'язок (не враховуючи періодичність тригонометричних функцій). Суть цього рішення – значення кутів нахилу стволів-розпилювачів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , що забезпечують прицільне попадання в точку  $E$ , двох складових бінарного потоку ГУС: з ствола  $S1$  – навісною траєкторією, зі ствола  $S2$  – настильною траєкторією. При цьому, для поєднаних в точці  $O$  стволів, кути відхилення від площини наведення  $YOZ$  повинні задовольняти умові:

$$\psi_1 = -\psi_2 = 0 \quad (2.16)$$

У межах своїх областей визначення розв'язок системи (2.15), за умови (2.16), дає необхідні для забезпечення ефективного пожежогасіння значення кутів нахилу стволів, які визначаються як чисельні значення функцій  $f_1$  і  $f_2$  для конкретних параметрів  $L_0$ ,  $K$ ,  $L_{\max}$ ,  $V_0$ . Тобто в найбільш загальному вигляді (опускаючи трансцендентні викладання) отримаємо наступні значення:



$$\begin{aligned}\alpha_1 &= f_1(L_0, K, L_{\max}, V_0), \quad \text{де } 30^\circ \leq \alpha_1 < 90^\circ; \\ \alpha_2 &= f_2(L_0, K, L_{\max}, V_0), \quad \text{де } 30^\circ \geq \alpha_2 > 0;\end{aligned}\tag{2.17}$$

Причому, для всіх значень  $L_0$  з відкритого інтервалу  $(0, L_{\max})$  є тільки одна пара  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , що забезпечує потрапляння обох струменів в епіцентр (точка  $E$ ).

**Висновок 1.** Згаданих розв'язків вигляду (2.17) може бути нескінченно багато, якщо стволи розміщувати на різних висотах, щодо рівня розташування осередку пожежі, і/або так, що вони будуть розміщуватись один від одного в горизонтальному напрямку осі  $OX$  на певних (для спрощення завдання, рівних  $a_1 = -a_2$ ) відстанях, тобто симетрично відносно площини наведення  $YOZ$ .

Якісний аналіз розв'язків (2.17) свідчить, що при  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_{\max} \approx 30^\circ$  ( $L_0 \rightarrow L_{\max}$ ), коли подача ВГР/ГУС йде з однієї точки ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ;  $\psi_1 = -\psi_2$  та  $h_1 = h_2 = h$ ) досліджувані траєкторії подачі в осередок складових бінарного потоку ГУС «зливаються» в своєму русі до осередку пожежі в прямому і переносному розумінні. Так що, розташування стволів один біля одного, стає причиною передчасного змішення складових ГУС з утворенням частинок гелю буквально від початку руху компонент за єдиною траєкторією. В результаті цього частинки суміші ГУС не всі будуть долітати до самого вогнища, а стануть передчасно випадати в «осадок» (рис. 2.15), що не бажано.



Рис. 2.15 Приклад подачі ВГР з передчасним змішуванням компонент ГУС, коли  $\alpha_1 = \alpha_2$ ,  $\psi_1 = \psi_2 = 0$  та  $h_1 = h_2$

**Завдання 2.** Передчасного утворення частинок гелю можна уникнути, якщо розташувати стволи-розпилювачі в різних точках площини наведення, на деякій відстані  $\Delta h = (h_1 - h_2)$  один від одного за висотою (рис. 2.16), при цьому направити їх на осередок пожежі згідно з розрахунковими значеннями кутів нахилу  $\alpha_1 = \alpha_2$ , для того ж розглянутого діапазону змін  $L_0$  ( $0 < L_0 < L_{\max}$ ). Кути відхилення  $\psi_1$  і  $\psi_2$ , як і раніше повинні задовольняти умові (2.16), тобто  $\psi_1 = \psi_2 = 0$ .



Рис. 2.16 Націлення ( $\alpha_1 \approx \alpha_2$ ) бінарних складових ГУС на мішень-екран, з метою уникнення передчасного утворення гелю при  $\Delta h = (h_1 - h_2)$  і  $\psi_1 = \psi_2 = 0$

В основному такий підхід може бути рекомендований, коли горюче навантаження розташовується на горизонтальній поверхні. Математичні викладки, пов'язані зі створенням тактико-технічного забезпечення ефективного пожежогасіння для цього, будуть аналогічні попередньому випадку (завдання 1) враховуючи відому з аналітичної геометрії заміну змінних при паралельному перенесенні системи координат уздовж осі OZ.

**Висновок 2.** При подачі ВГР за варіантом 2, будемо мати траєкторії руху обох компонент ГУС однакові за формою, що природним чином дозволить потрапляти у відповідну точку прицілювання (точка E), яка знаходиться на відстані  $L_0$ . Однак зауважимо, що в поступальному русі до цілі, краплі

розпиленого верхнього струменя будуть з часом осідати з невеликим відставанням на поверхню, що захищається від пожежі, тобто з деяким запізненням, накриваючи вже наявну «пляму» крапель розпиленого нижнього струменя. Цілком зрозуміло, що це явище обумовлено конкретним значенням  $\Delta h$  і тут після закінчення певного проміжку часу  $\Delta t$  з'являється можливість утворення гелю. А це в умовах пожежі може негативно позначитися, як на якості утвореного гелю так і на ефективності його використання.

**Завдання 3.** Більш зручно та ефективно запобігти передчасному гелеутворенню на шляху руху струменів складових ВГР до осередку пожежі, можливо іншим способом. Для цього стволи-розпилювачі належить розташувати симетрично відносно площини наведення на відстані  $2a$  один від одного (рис. 2.17), і направити їх на осередок пожежі під рівними кутами нахилу  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ , кожен у своїй допоміжній площині прицілювання, які відповідно до геометричних побудов перетинаються по лінії, перпендикулярній горизонтальній площині  $H$ , що проходить через точку  $E$  епіцентру пожежі. Кути відхилення при цьому теж повинні бути рівними з точністю до знака  $\psi_1 = -\psi_2$ , як і відстані віддалення стволів-розпилювачів від площини наведення ( $\alpha_1 = -\alpha_2$ ) та при однаковій висоті їх розташування  $h_1 = h_2 = h$ . Діапазон змін  $L_0$  той же –  $0 < L_0 < L_{\max}$ .

У цьому третьому варіанті при створенні тактико-технічного забезпечення ефективного пожежогасіння з використання ГУС в силу абсолютної симетрії завдання для області визначення  $\alpha$  матимемо:

$$z = L_0 \operatorname{tg} \alpha - L_0^2 g (1 + KV_0^2 L_{\max}) / 2V_0^2 \cos \alpha = 0 \quad \text{де} \quad 90^\circ \geq \alpha_1 > 0^\circ \quad (2.18)$$

$$L_0 = L_{np} / \cos \psi$$

де  $L_{np}$  – реальна відстань від зрізу стволів до осередку пожежі вздовж площин прицілювання.

Останній вираз для  $L_0$  в формулі (2.18) коригує дальність подачі струменів відповідно до відхилення допоміжних площин прицілювання ① і ②, на кут  $\psi$  у взаємно протилежні сторони площини наведення стволів на осередок пожежі.

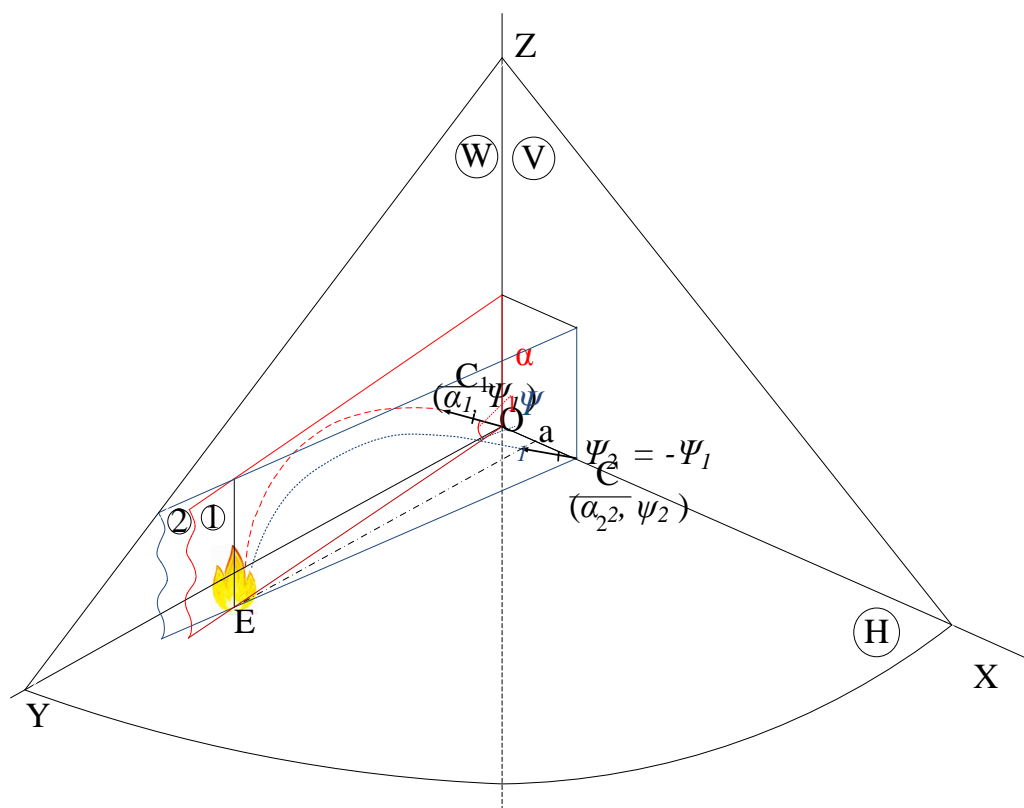


Рис. 2.17 Схема подачі ВГР на відстань  $L_0$  до осередку пожежі двома струменями при розташуванні стволів розпилювачів на одному рівні

Однак, вважаючи, що  $\psi_1 = -\psi_2$  при симетричному розташуванні площин націлювання, щодо площини наведення, при рівних кутах нахилу стволів  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  так само, як і при рівних відстанях їх розміщення від площини наведення  $a_1 = -a_2 = a$  і на одній висоті їх розташування, одна з траєкторій завжди буде дзеркальним відображенням іншої, незалежно навісна вона або настільна. Так, що система (2.15) перетворюється в одне рівняння:

$$z = L_0 \operatorname{tg} \alpha - L_0^2 g (1 + KV_0^2 L_{\max}) / 2V_0^2 \cos \alpha = 0 \quad \text{де} \quad 90^\circ \geq \alpha_1 > 0^\circ \quad (2.19)$$

розв'язок якого має задовольняти тактико-технічним можливостям установки з відповідним співвідношенням геометричних параметрів:

$$L_0 = \alpha / \cos \psi \quad (2.20)$$

і має вигляд:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = f_1(L_0, K, L_{\max}, V_0, a), \quad \text{де} \quad 0^\circ < \alpha < 90^\circ \quad (2.21)$$



Рис. 2.18 Фото «прицілювання» стволів-розпилювачів для обох струменів складових ГУС ( $\psi_1 = -\psi_2$ ).

**Завдання 4.** У більш загальному варіанті (рис. 2.19) система рівнянь (2.15) ускладнюється не тільки за рахунок паралельного перенесення системи координат в напрямку осі OZ, (як і в завданні 2), але і за рахунок симетричного розміщення, відносно площини наведення (як в завданні 3). Проте, математичні

викладки, пов'язані зі створенням тактико-технічного забезпечення пожежогасіння для цього випадку, принципово не відрізняються від завдання 3.

Для повноти викладення розглянутих завдань повторимо схему подачі ВГР при розташування стволів-розпилювачів симетрично на рівні висоти  $h$ , яка узагальнює проведені випробування

Якщо  $\psi_1 = -\psi_2$  і  $h_1 = h_2 = h$ , як це визначено в патенті на спосіб гасіння, то цей найбільш загальний випадок (рис. 2.19) може бути приведений до вже розглянутого, враховуючи таке ж саме симетричне розміщення стволів  $C_1$  і  $C_2$  щодо площині  $YOZ$ , при забезпеченні виконання додаткової умови (2.19):  
 $a/L_0 = \cos\psi_0$ .

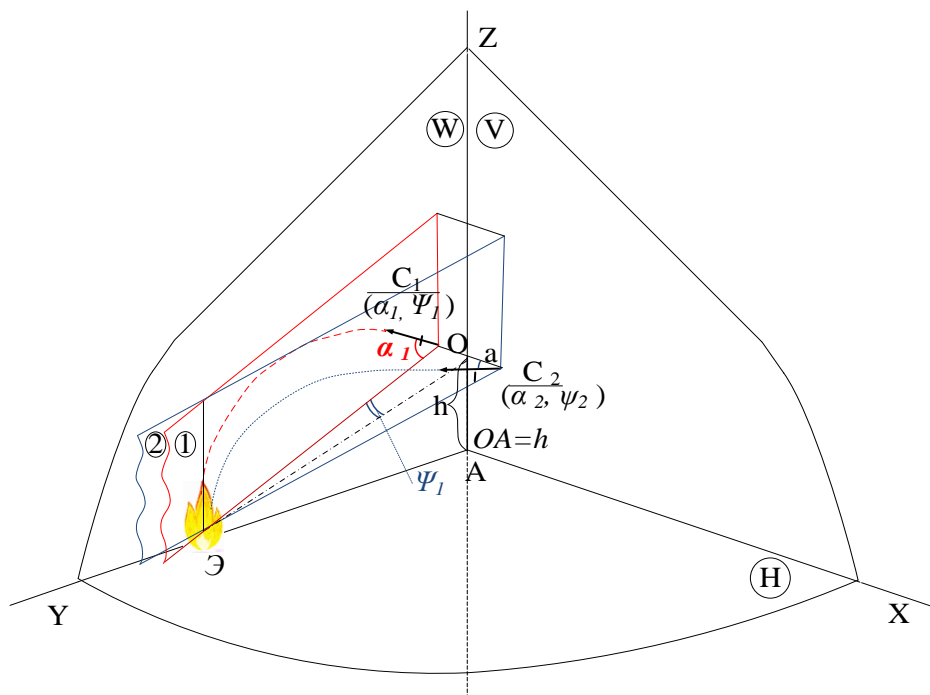


Рис. 2.19 Схема подачі ВГР при розташування стволів-розпилювачів на рівні висоти  $h$  відносно пожежі на дистанцію  $L_0$ .

При цьому суть підходу до рішення цієї узагальненої задачі не зміниться, а самі рішення визначаються значеннями функцій для конкретних параметрів, що в загальній формі запису має вигляд:

$$\alpha_1 = f_1(L_0, K, L_{\max}, V_0, a) \quad \text{де } 0^\circ \geq \alpha_1 > 90^\circ \quad (2.22)$$

Тактика пожежогасіння, перерахованими тактико-технічними прийомами подачі ГУС, буде зводитись до наступного:

1) детермінування об'єкта пожежогасіння, з точки зору його розташування (вище/нижче) зрізу стволів-розпилювачів, а також – під яким кутом нахилу він знаходиться по відношенню до осьової лінії струменів;

2) розміщення у вихідній позиції стволів, в залежності від прийому подачі ГУС, на відповідні з цим відстані один від одного, з прийнятним віддаленням  $L_0$  від епіцентру пожежі, з рівними кутами відхилення ( $\psi_1, \psi_2$ );

3) виставлення визначених розрахунковим шляхом кутів нахилу стволів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  по відношенню до горизонту;

4) надання однакових початкових швидкостей витікання  $V_0$  обом струменям – складовим ГУС, що вилітають з цих стволів.

Таким чином, раніше отримані вирази і залежності [9, 19] можуть бути використані як основа алгоритму до визначення кутів нахилу стволів-розпилювачів при раціональному (оптимальному) трасуванні струменів складових ГУС на практиці.

Підсумовуючи розглянуті тактико-технічні можливості пожежогасіння ГУС та проведенні при цьому випробування, а також беручи до уваги особливості пожежогасіння з їх використанням, а саме – до певного часу уникати змішення двох складових компонент ГУС, можна стверджувати, що найбільш просто забезпечити дистанційне пожежогасіння з ГУС можна при розміщенні стволів-розпилювачів симетрично відносно площини наведення на відстані  $2a$  один від одного та подачі ВГР під однаковими кутами нахилу до горизонту  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  і відхилення  $\psi_1 = -\psi_2$

Блок-схема розробленого алгоритму представлена на рис. 2.20

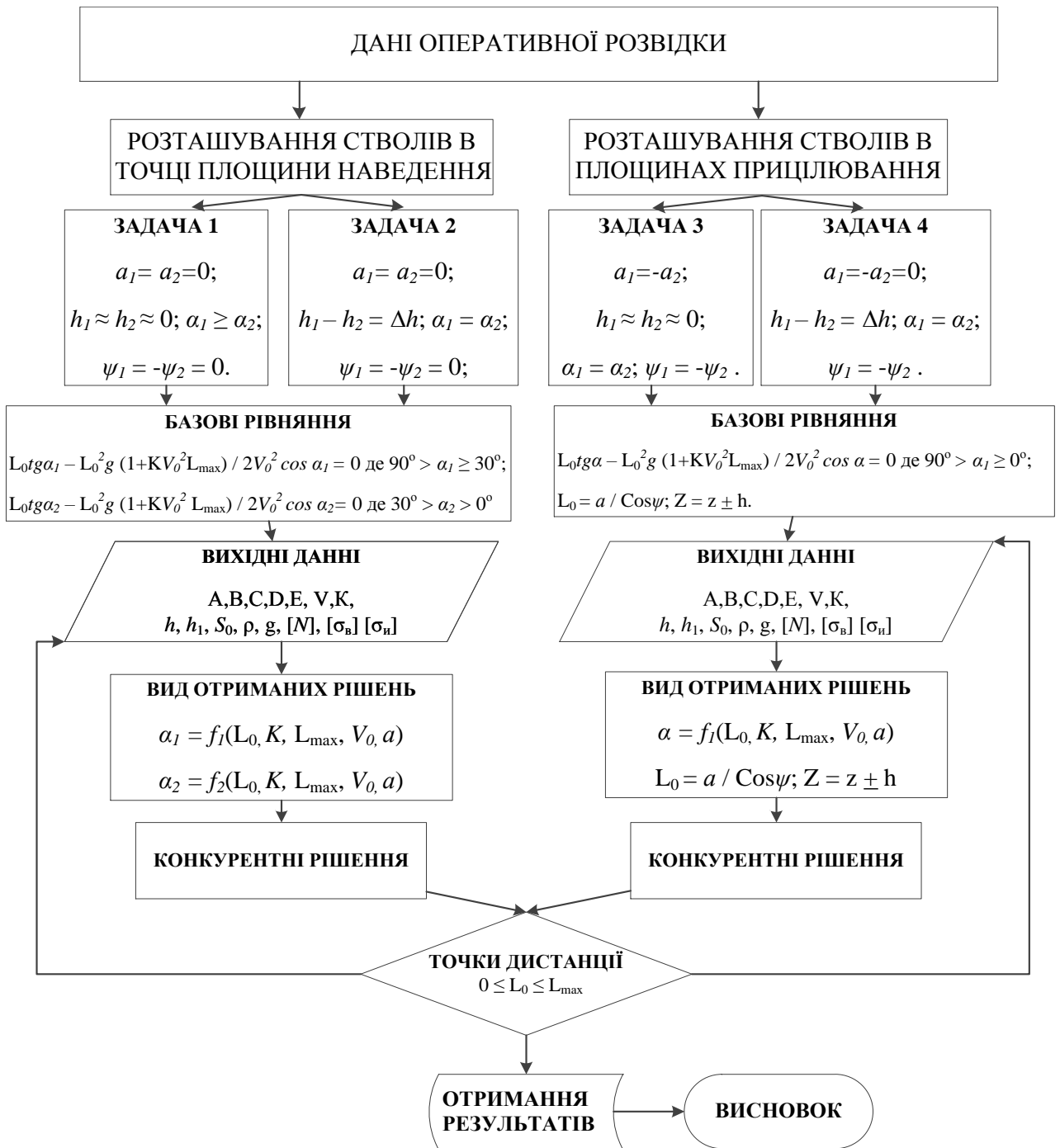


Рис. 2.20 Алгоритм до створення тактико-технічного забезпечення ефективного використання установок типу АУГГУС

При цьому слід відмітити, що момент початку змішування компонент ГУС повинен припадати на третій або на закінчення другого етапу руху складових бінарного потоку в повітрі, коли розпилені потоки струменів перетинаються над/перед осередком пожежі (рис 2.21а і рис. 2.21б).





а)

б)

Рис. 2.21 Результат змішування компонент ГУС на третьому етапі руху двох струменів їх бінарних потоків, націлених на осередок пожежі по незалежним траєкторіям руху при гасіння палаючих об'єктів: а) розташованих на горизонтальній поверхні; б) розташованих вертикально або похило по відношенню до струменів бінарного потоку

Таким чином, в основу тактико-технічного забезпечення прицільної подачі навісних і «прямо» спрямованих бінарних потоків гелеутворюючих сполучень необхідно покласти розташування стволів-розпилювачів для подачі вогнегасних компонентів симетрично відносно площини наведення на відстані  $2a$  один від одного та подачі ВГР під однаковими кутами нахилу до горизонту  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  та однаковими відхиленнями  $\psi_1 = -\psi_2$ , забезпечивши при цьому перетинання розпилених потоків струменів над/перед осередком пожежі.

### Висновки по другому розділу

1. Дистанційна подача гелеутворюючих складів повинна передбачати одночасну подачу двох плоско-радіальних струменів з компонентами суміші на відстань не менше 6 метрів таким чином, щоб не допустити передчасного або запізненого змішування компонент ГУС.

2. Технічне забезпечення дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими складами включає в себе запатентовану мобільну установку, що забезпечує цілеспрямовану дистанційну подачу струменів новими стволами-розпилювачами, особливістю яких є наявність змінних кришок зі спеціальним «П»-подібним вирізом, таким чином, щоб забезпечити накриття поверхні об'єктів, що горять, шарами гелю.

3. Аналіз осьових траєкторій, що отримані за допомогою функції Ламберта, руху струменів гелеутворюючих складів дозволяє визначити параметри прицільної бінарної подачі (кута нахилу стволів та початкової швидкості вильоту вогнегасних речовин) розробленими стволами-розпилювачами

4. В основу тактико-технічного забезпечення прицільної подачі навісних і «прямо» спрямованих бінарних потоків гелеутворюючих сполучень необхідно пожити розташування стволів-розпилювачів для подачі вогнегасних компонентів симетрично відносно площини наведення на відстані  $2a$  один від одного та подачі ВГР під однаковими кутами нахилу до горизонту  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  та однаковими відхиленнями  $\psi_1 = -\psi_2$ , забезпечивши при цьому перетинання розпилених потоків струменів над/перед осередком пожежі.

## **РОЗДІЛ 3. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБУ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ СПОЛУКАМИ**

### **3.1 Оцінка достовірності фізичного моделювання процесу трасування струменів компонентів гелеутворюючих складів**

#### 3.1.1 Особливості фізичного моделювання

Як зазначалося в розділі 1 (при дослідженні стану питання щодо подачі рідинних вогнегасних речовин і їх сполук до об'єктів пожежогасіння) аналіз особливостей роботи пристроїв і установок пожежогасіння здійснюється, як правило, дослідним шляхом і поєднанням його з математичними методами теорій, що базуються на експериментальному матеріалі фізичного моделювання [100].

Говорячи про такі дослідження і про пристрої дистанційної подачі вогнегасних речовин (ВГР) та гелеутворюючих сполук (ГУС) для пожежогасіння твердих горючих матеріалів (ТГМ) в житлових, промислових і в інших об'єктах, будемо мати на увазі не тільки сам процес гасіння вогнегасними речовинами і ГУС, що подаються на осередок пожежі, але й здійснення захисту пожежних-рятувальників від впливу на них небезпечних факторів пожежі (НФП) [101, 102].

На початку експериментальних досліджень вивчався рух одиночних і бінарних струменів води, що імітували подачу рідинних ВГР чи ГУС (ВГР/ГУС) на об'єкти пожежогасіння, в якості яких використовувалися мішені-екрани [13]. При цьому застосовувалися дослідні установки АУГГУС і АУГГУС-П, розроблені О.О. Кіреєвим, О.В. Бабенко, О.В. Савченко та ін. [104, 105], які дозволяли визначитися з подачею ВГР/ГУС на конкретні об'єкти (мішені) з точки зору зовнішньої балістики незатоплених струменів.

З метою рішення задач аналізу і ухвалення розв'язків (щодо ефективного використання подібних установок) отримані експериментальні дані

накопичувалися і оброблялися вручну та за допомогою програмного забезпечення обчислювального типу [106]. Також передбачалося розв'язувати і науково-технічні питання вдосконалення вже існуючих, а згодом і конкретні деталі створення нових установок даного типу.

Одним з варіантів обладнання, що застосовувалися при випробуваннях, були експериментальні установки в двох конструктивних виконаннях [32] (рис. 3.1а, і рис. 3.1б), які мають по два стволи-розпилювача, що можуть направляти на вогнище пожежі кожен одну з компонент бінарного потоку ВГР/ГУС окремо.

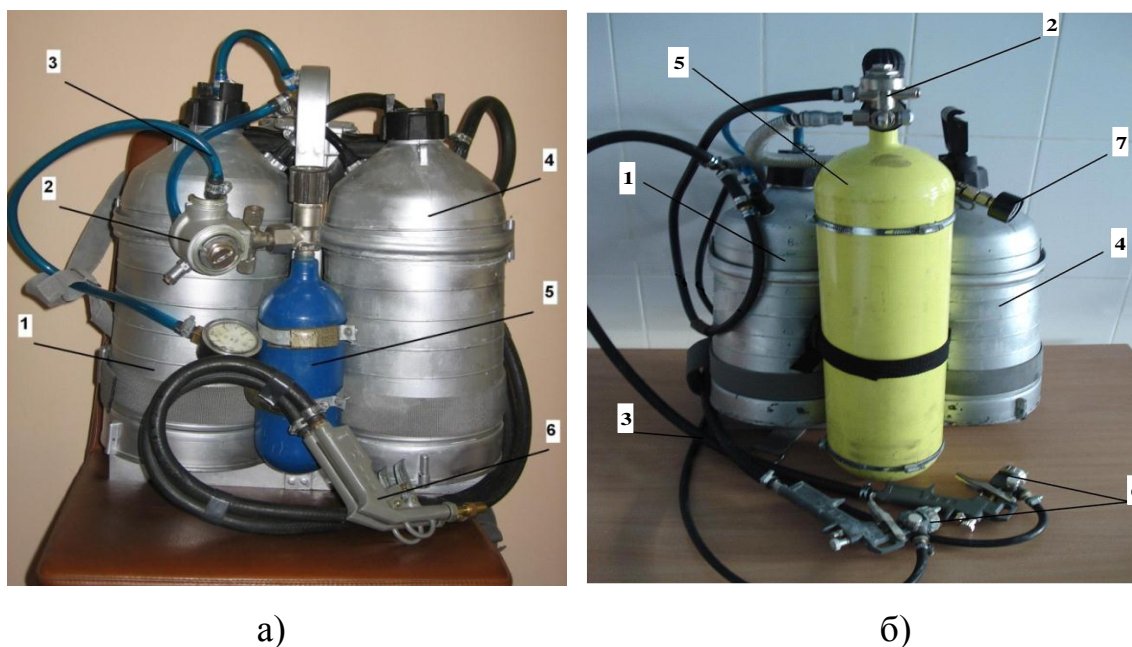
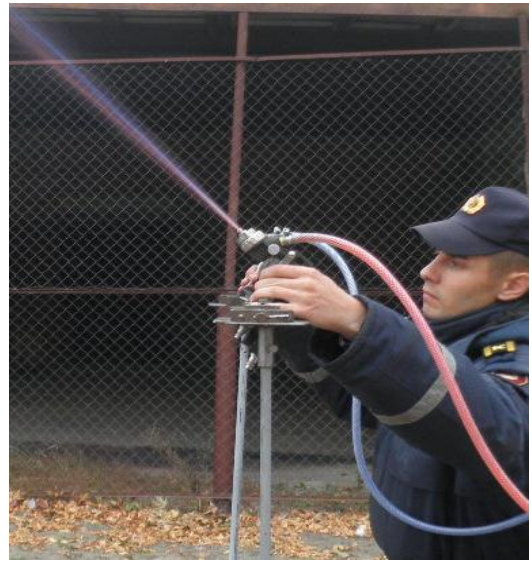


Рис. 3.1 Фото установок гасіння гелеутворюючими сполуками: а) установка АУГГУС; б) установка АУГГУС-П, де: 1, 4 – ємності з водним розчином сполук ВГР; 2 – редуктор; 3 – гнучкі з'єднувальні шланги; 5 – балон зі стисненим повітрям; 6 – два стволи-розпилювачі; 7 – манометр високого тиску

До цього додавалося два спеціально сконструйованих [1] допоміжних пристрої (рис. 3.2) для фіксації кутів нахилу  $\alpha$  і відхилення  $\psi$  стволів-розпилювачів, які розташовувалися нерухомо в площинах їх націлювання на об'єкт пожежогасіння, що дало змогу забезпечити подачу двох незалежних потоків у вигляді розпорошених струменів ВГР.



а)



б)

Рис. 3.2 Пристрій для фіксації кутів нахилу до горизонту і кутів відхилення стволів-розпилювачів: а) фіксація одного зі стволів-розпилювачів під заданим кутом нахилу  $\alpha_1$  (вид з боку вихідного отвору); б) задіяння закріпленого у допоміжному пристрої ствола-розпилювача при  $\alpha_1 = 45^0$  (вид збоку)

В процесі експериментальних досліджень використовувалися наступні стандартні прилади та елементи:

- рулетка для вимірювання подоланих відстаней рухомими потоками струменів ВГР або складовими бінарного потоку ГУС;
- барвник для підфарбування потоків струменів води, що імітують подачу ГУС на осередок пожежі (гуаш червоного та синього кольору);
- змінні (разові) мішені-екрани для реєстрації подачі потоків струменів підфарбованої води до відповідної зони на мішень-екрані (рис. 3.3), які склеювалися з аркушів паперу А4, що зручно для масштабування і розшифрування результатів експериментів [3];
- хронометр (секундомір) для реєстрації тривалості дослідних процесів;
- цифрові фото і відеокамера, для фіксації процесів експериментальних досліджень;

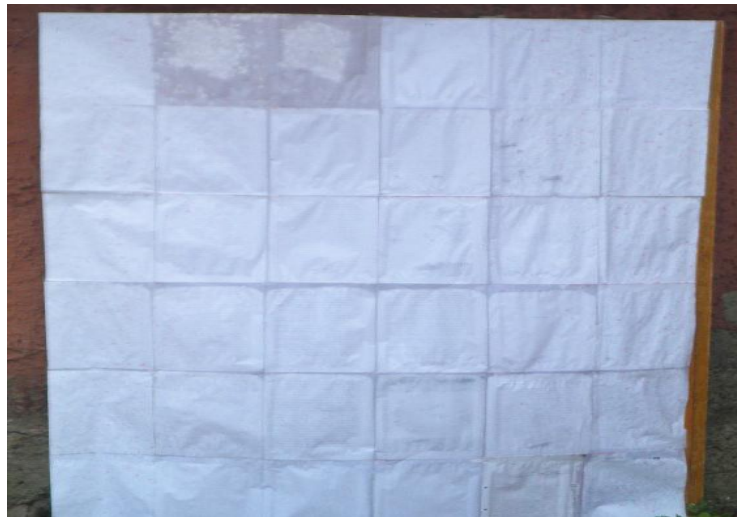


Рис. 3.3 Фото масштабованої разової мішені-екрану

– еталонний метр для масштабування реєстрованих на фото і відеокамеру матеріалів досліджень;

– інший вимірювальний і шанцевий інструмент.

Оскільки в дослідженнях [1, 2], значна кількість позитивних наукових результатів було отримано при проведенні експериментів з подаванням на умовні осередки пожежі або захисту в якості ВГР води (замість ГУС), то цей різновид експериментів, запропонований в роботі, було названо адаптованим методом фізичного моделювання [1].

### 3.1.2 Послідовність виконання операцій при підготовці установок типу АУГГУС та перевірка їх працездатності

Згідно до загальних правил [100], безпечної експлуатації стволів-розпилювачів при оцінці працездатності установок типу АУГГУС і для визначення їх гідродинамічних параметрів і характеристик, після наповнення робочих ємкостей відповідними розчинами компонент ГУС, виконувалися наступні операції [1, 14, 15]:

- перевірка міцності і герметичності стволів-розпилювачів під тиском;
- визначення фактичних витрат;
- визначення дальності і висоти водяного струменя;
- визначення кута нахилу факела розпиленої води;

– визначення ширини розпилу струменя та якості рівномірності розподілу крапель при подачі їх на об'єкт пожежогасіння.

Механічна міцність і герметичність стволів-розпилювачів перевіряється з відкритими перекриваючими пристроями (кранами) і заглушеним вихідним отвором ствола-розпилювача. Час витримки під тиском не менше 2 хвилин.

Вимірювання величини робочого та максимально допустимого тиску проводиться за допомогою манометра для технічних вимірювань, встановленого на вхідному отворі ствола-розпилювача, і призначеного для під'єднання шлангів [101].

Контроль за обсягом витраченої води при випробуваннях стволів-розпилювачів або насадків може здійснюватися витратоміром або з використанням запропонованих у роботі [27] прозорих ємкостей, з нанесеними на них відповідними відмітками, для складових ВГР/ГУС за патентом України № 113280, які в подальшому доцільно використовувати при застосуванні гелеутворюючих складів (Додаток Д).

### 3.1.3 Аналіз процесу подачі вогнегасних сумішей установками типу АУГГУС з використанням методу фізичного моделювання

Як відомо з зовнішньої балістики незатоплених струменів [44, 88] до числа основних параметрів, що характеризують процес подачі водних розчинів ВГР на гасіння пожеж, відносяться: траєкторія, дальність, висота подачі та розпил струменя при безпосередньому наближенні до об'єкту пожежогасіння [101, 103]. Тому, на початковому етапі експериментальних досліджень було розроблено шаблон для відпрацювання тактико-технічного забезпечення (інструкції по експлуатації) установок типу АУГГУС на прикладах подачі струменів підфарбованої води до умовно захищеного об'єкту (мішені-екрану) стволами розпилювачами, як кожним по одинці так і з обох разом, чого раніше при створенні установок типу АУГГУС не робилося [13].

У зв'язку з цим для отримання фактичного експериментального матеріалу спочатку вирішувалося завдання аналізу руху струменів ВГР з урахуванням так

званих [1] Ейлеревих кутів ( $\alpha$  кут відносно горизонту і  $\psi$  відхилення відносно площини націлювання на об'єкт пожежогасіння), які визначають в просторі координат OXYZ орієнтацію стволів-розпилювачів (рис. 3.4), для конкретного тиску в системі забезпечення роботи установок, що досліджувалися, та відповідного максимального значення дальності і висоти струменів ВГР в процесі їх подачі на мішень-екран.

На початковому етапі подача одноосібних і бінарних потоків струменів компонент ВГР/ГУС, здійснювалась за допомогою стволів-розпилювачів пістолетного типу, що входили до складу зазначених установок, за схемою зображеною на рис. 3.4.

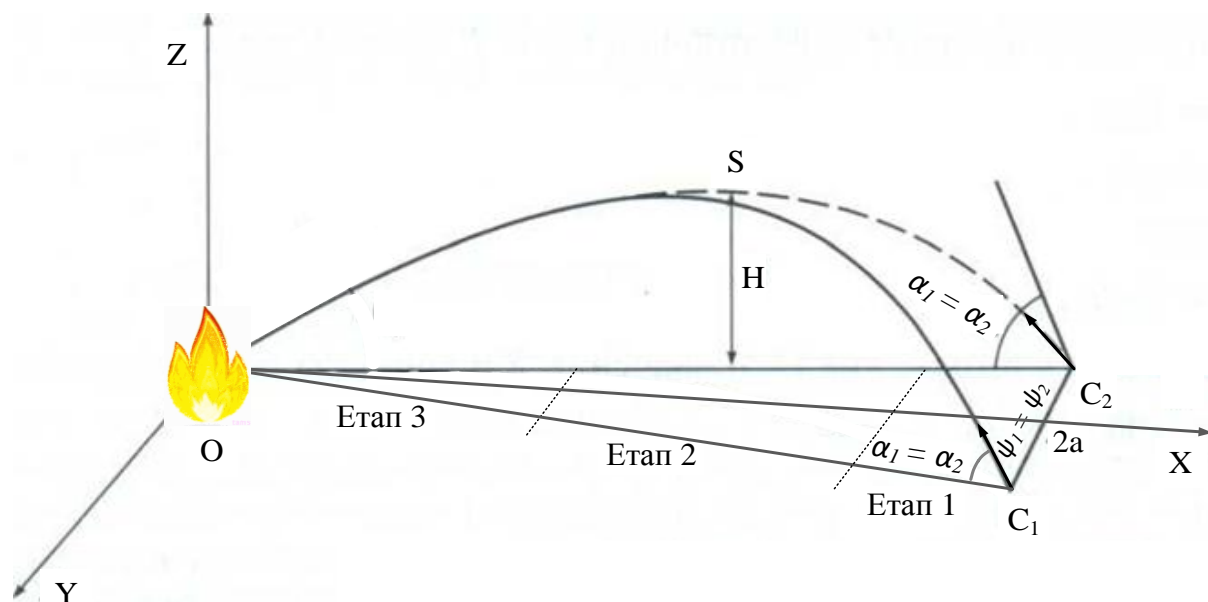


Рис. 3.4 Умовна загальна схема проведення експериментів на прикладі прицілювання на пожежу стволів C1 і C2, що подають дві компоненти ВГР/ГУС з різних точок C1 і C2, симетрично розташованих відносно площини наведення стволів XOZ на умовний епіцентр пожежі в точку O (0,0,0);  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  та  $\psi_1$  і  $\psi_2$  – кути орієнтації стволів по відношенню до горизонту та площини прицілювання

На роботу ранцевих установок типу АУГГУС і АУГГУС-П суттєво впливають біомеханічні рухи оператора-ствольщика, що направляє струмені



ВГР/ГУС на осередок при гасінні пожежі. Тому для проведених досліджень ці установки були доповнені спеціальними нерухомими стійками у вигляді пристроїв фіксації кутів нахилу до горизонту і кутів відхилення стволів-розпилювачів в площині прицілювання (рис. 3.2). Сама установка, будь-то АУГГУС чи АУГГУС-П, розташовувалася окремо від стволів-розпилювачів, які було нерухомо встановлено поряд на стійках. Це дозволило під час експериментів запобігти впливу біомеханіки оператора-ствольщика на чистоту експериментів та достовірність експериментальних даних.

На рис. 3.5 наведено фото, яке відтворює схему традиційного моделювання процесів подачі ВГР у вигляді одного з проведених випробувань. Тут на фоні умовної площини  $W$ , відбувалося націлювання однакових стволів на умовну пожежу, де обидва струменя подавалися на мішень-екран з стволів-розпилювачів пістолетного типу, розташованих майже в одній точці з однаковими кутами нахилу відносно горизонту  $\alpha$  та відхилення  $\psi_1$  відносно цілі. Це дало змогу встановити максимальну дальність подачі компактного струменя ВГР/ГУС з установки АУГГУС ( $L_{\max}=4$  м) та АУГГУС-П ( $L_{\max}=5$  м).



Рис. 3.5 Фото випробувань експериментальних установок типу АУГГУС (проекція на площину  $W$ ), з імітацією подачі потоку компонент ГУС зі стволів-розпилювачів, розташованих дуплетом (паралельно один над іншим) з однаковими кутами нахилу до горизонту  $\alpha = 30^0$  та з нульовим кутом відхилення  $\psi = 0$  (максимальна дальність  $L_{\max} = 5$  м)

Слід підкреслити, що траєкторії розпорошених крапель струменів ВГР/ГУС, тут і в подальших експериментальних дослідженнях розглядаються як їх осереднені осьові лінії розпилених потоків, притаманні подібним дослідженням [102]. Тобто, щоб влучити в середину мішені-екрану (осередок пожежі), що знаходиться на відстані  $L = 4,0$  м від пожежного-рятівника з установкою типу АУГГУС, потрібно нахилити ствол-розпилювач в його площі націлювання  $XOZ$  на кут  $\alpha = 30^0$  по відношенню до горизонту.

### 3.1.4 Оцінка накопичених результатів

За необхідності підвищення продуктивності натурних випробувань з подачі ГУС, на початковому етапі гелеутворюючі сполуки було заміщено підфарбованою водою, яка більш доступна, та за своїми гідродинамічними властивостями близька до ГУС (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Порівняльні гідродинамічні параметри ВГР (вода) з ГУС

№ з/п	Робочі розчини		Густина, кг/м <sup>3</sup>	Поверхневий натяг, $\times 10^{-3}$ , Н/м
1.	Вода		1000	72,8
2.	ГУС (1)	$Na_2O \cdot 2,95SiO_2(3\%)+$	1040	
		$CaCl_2(3\%)$	1040	
3.	ГУС (2)	$Na_2O \cdot 2,95SiO_2(12\%)+$	1075	
		$NH_4H_2PO_4(25\%)$	1125	

Наявність результатів, отриманих як у випадку подачі у якості вогнегасної речовини гелеутворюючих складів (ГУС 1 та ГУС 2), так і у

випадку подачі підфарбованої води дозволило визначити достовірність застосування для розробки практичних рекомендацій підфарбованої води. Для цього було перевірено (див. табл.3.2) укладання результатів з використанням ГУС в довірчі інтервали, які були розраховані з надійністю 0,95 за результатами використання підфарбованої води,

$$x = \bar{x} \pm 1.96 \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (3.1)$$

де  $n$  – кількість випадків подачі підфарбованої води, за результатами здійснення яких визначались відповідні математичні очікування  $\bar{x}$  та середньоквадратичні відхилення  $\sigma_x$  для дальності, ширини та часу подачі.

Аналіз показників, які наведені в таблиці 3.2, дозволяє стверджувати, що з надійністю 0,95 для проведення досліджень щодо ефективності бінарної подачі ГУС до осередку пожежі можна використовувати підфарбовану воду.

При чому, для візуальної ідентифікації і відрізнення однієї складової потоку струменя від другої, що подавалися на умовну пожежу, в одній робочій ємкості вода була підфарбована в червоний колір, в іншій – в синій (див. рис. 3.5).

Як і очікувалося, рух підфарбованих струменів води обох сплук потоку ВГР, що імітує подачу компонент ГУС на об'єкт пожежогасіння, здійснювався параболічними траєкторіями (рис. 3.5). Тому, за допомогою отриманих фото і відео матеріалів, із застосуванням підфарбованої води, можливо досить точно встановити геометричні параметри траєкторій руху ГУС (наприклад, максимальну дальність і висоту подачі) в залежності від Ейлєревих кутів і робочого тиску (напору) в конкретних стволах, доданих до установок типу АУГГУС.

Таблиця 3.2

Результати подачі компактних струменів ВГР/ГУС на мішень-екран установкою АУГГУС з однаковими кутами нахилу стволів при різних тисках в установці

№ з/п			Дальність подачі, м				Ширина подачі, м				Час подачі, с			
			1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
1		Тиск, МПа	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
2	Вогнегасна суміш	ГУС 1	2,9	3,4	3,9	4,4	0,5	0,6	0,65	0,75	0,75	0,85	0,95	1,2
3		ГУС 2	3	3,5	4	4,5	0,5	0,6	0,65	0,75	0,7	0,8	0,9	1,1
4		Вода фарбована 1	2,8	3,3	3,8	4,3	0,5	0,6	0,65	0,75	0,6	0,75	0,85	1
5		Вода фарбована 2	3	3,5	4	4,5	0,45	0,55	0,6	0,7	0,85	0,9	1	1,2
6		Вода фарбована 3	2,95	3,5	3,95	4,5	0,55	0,65	0,7	0,8	0,75	0,8	0,9	1,15
7		Вода фарбована 4	2,9	3,45	3,9	4,35	0,55	0,6	0,75	0,85	0,65	0,75	0,9	1,1
8		Довірчий інтервал		2,81	3,32	3,81	4,32	0,47	0,56	0,61	0,71	0,60	0,73	0,85
9	3,02			3,55	4,02	4,55	0,56	0,64	0,74	0,84	0,82	0,87	0,97	1,2

Таким чином, з надійністю 0,95 для проведення досліджень щодо ефективності бінарної подачі гелеутворюючих складів до осередку пожежі можна використовувати підфарбовану воду.

### **3.2 Визначення конструктивних параметрів ствола-розпилювача (насадка) для подачі поодиноких плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів**

Відомо, що дослідження складних систем, до яких відноситься робота пожежно-рятувальних підрозділів, пов'язані з системним підходом, основний принцип якого полягає у прагненні врахувати якомога більшу кількість параметрів і характеристик, що надають вирішальний вплив на достовірність отриманих результатів, особливо у випадках системи «ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – ПОЖЕЖА» [102].

Для вивчення подібних складних технічних систем (СТС) розроблені математичні методи, які отримали загальну назву «Планування експерименту» або «Теорія оптимального експерименту», що дозволяє активно втручатися в проведені при цьому досліди [107, 108].

Розглядаючи процес подачі ВГР/ГУС в осередок пожежі як дію СТС, формалізуємо задачу її моделювання [109, 110] і знайдемо оптимальні (раціональні) значення параметрів плоско-радіальних струменів, що подаються в осередок пожежі.

В таких завданнях кількість вхідних і вихідних параметрів може бути як завгодно великою. При цьому деякі з них можна не враховувати, як несуттєві для даного досліджуваного процесу, інші задати, як початкові умови. Наприклад, робочий тиск (напір води) в установці в конкретному випадку можна вважати величиною сталою. Інші, такі як висота **a** і ширина **b** ( $x_1$  і  $x_2$ ) щілини на зрізі насадки, дальність і ширина ( $x_3$  і  $x_4$ ) розпилення ВГР/ГУС будуть змінювати свої значення та суттєво впливати на екстремальні значення шуканих оптимумів.

У найбільш загальному вигляді такі завдання математично формулюються наступним чином:

$$y_j = f(x_1, x_2, \dots, x_i), \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad j = 1, 2, \dots, l. \quad (3.2)$$

де  $y_j$  – досліджувані змінні, критично залежні від параметрів досліджуваного процесу;  $x_1, x_2, \dots, x_i$  – параметри процесів, що змінюються в ході проведення експериментів.

Зокрема, в створених насадках і стволах-розпилювачах [12, 27], що подають рідинні вогнегасні речовини і здатні зрошувати вогнище пожежі на дистанціях до 10 метрів і понад 10 метрів, була передбачена можливість варіювання конструктивними параметрами згідно патенту [27] і патенту [12] (ДОДАТОК Г і ДОДАТОК Ж). При проведенні випробувань методом фізичного моделювання, струмені води подавалися на відповідну відстань і з відповідними кутами нахилу.

Для реєстрації досліджуваних параметрів і характеристик процесів використовувались раніше наведені прилади та обладнання, а так само фото і відеоапаратура [14].

На прикладі досліджень працездатності натурального зразка насадка за патентом [12] використовуємо основні особливості застосування теорії планування експериментів при конструюванні подібних насадків та стволів-розпилювачів. При цьому траєкторії руху двох складових потоку ВГР/ГУС до їх змішування над/перед об'єктом пожежогасіння можна розглядати незалежно згідно з принципу суперпозиції, загальноприйнятим в механіці, – принципу незалежності дії факторів, в даному випадку принципом створення гелю.

При побудові плану експерименту щодо подачі ВГР при пожежогасіння одним стволом, за допомогою покадрового розшифрування відео зйомок руху ВГР, реєструвалися значення узагальненого параметра  $y$ , еквівалентного дальності польоту водяного струменя до цілі, який залежить від змінних  $x_1, x_2, x_3, i x_4$  (табл. 3.3). В останньому стовпчику цієї таблиці вказано

час руху крапель струменя у вільному польоті. При цьому кут піднесення ствола відповідав рекомендованому для досягнення максимальної дальності  $L_{\max}$  значенню  $\alpha = 30^\circ$ .

Для будь-якого виду струменів в подібних завданнях (особливо при обмеженій вибірці) зручно скористатися теорією оптимального планування [111, 112]. Планування експерименту дозволяє отримати значення часу руху крапель (дальності подачі) підфарбованої води в залежності від чотирьох змінних факторів  $x_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$ , представляючи цю залежність поліноміальною квадратичною моделлю.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i x_i + \sum_{i=1, i \neq j}^4 b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^4 b_{ij} x_i^2 \quad (3.3)$$

де значення  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$  – відповідні коефіцієнти регресії при нульовому ( $x_0 = 1$ ), лінійному, квадратичному змінних параметрах  $x_i$ ;  $b_{ij}$  – коефіцієнти регресії, що вказують на вплив змінних  $x_i$  і  $x_j$  на  $y$ .

Для отримання математичної моделі області оптимуму у вигляді рівняння (3.3) можна застосувати композиційний план ортогонального експерименту [112] для чотирьох факторів  $x_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$ , який має вигляд, наведений в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Композиційний план ортогонального експерименту

Найменування		Фактори				
		X <sub>1</sub> , мм	X <sub>2</sub> , мм	X <sub>3</sub> , м	X <sub>4</sub> , м	
Нульовий рівень		3	125	22,5	11	
Інтервал варіантів		2	25	8,5	7	
Дослід	X <sub>0</sub>	План				Час руху у (с)
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	
1	+1	1	100	14	4	0,56
2	+1	5	100	14	4	0,54
3	+1	1	150	14	4	0,52

Продовження таблиці 3.3

4	+1	5	150	14	4	0,48
5	+1	1	100	31	4	0,46
6	+1	5	100	31	4	0,64
7	+1	1	150	31	4	0,68
8	+1	5	150	31	4	0,66
9	+1	1	100	14	18	0,76
10	+1	5	100	14	18	0,8
11	+1	1	150	14	18	1,24
12	+1	5	150	14	18	1,22
13	+1	1	100	31	18	1,2
14	+1	5	100	31	18	1,21
15	+1	1	150	31	18	0,96
16	+1	5	150	31	18	1,16
17	+1	-1,414	125	22,5	11	1,08
18	+1	5,828	125	22,5	11	1,06
19	+1	0,172	89,65	22,5	11	1,04
20	+1	3	160,35	22,5	11	0,96
21	+1	3	125	10,481	11	0,92
22	+1	3	125	34,519	11	0,88
23	+1	3	125	22,5	1,102	0,87
24	+1	3	125	22,5	20,898	0,86
25	+1	3	125	22,5	0	0,8

Примітка: Дані табл. 3.3 перераховані до плану ортогонального експерименту [7]. Тут  $x_1 \rightarrow X_1$  (висота) і  $x_2 \rightarrow X_2$  (ширина) вихідного перетину насадка, мм;  $x_3 \rightarrow X_3$  (дальність) і  $x_4 \rightarrow X_4$  (ширина) фронту подачі ВГР, м. Кут встановлення насадка  $\alpha = 30^\circ$  відповідає дальності  $L_{\max}$  [45].

Введемо перетворення:

$$x'_i = x_i^2 - \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \quad (3.4)$$

де для нашого випадку число експериментів  $N = 25$ .

Коефіцієнти рівняння регресії в виразі (3.3) для центрального композиційного ортогонального плану знаходимо за формулами



$$b_0 = \frac{1}{25} \sum_{u=1}^{25} y_u, b_i = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^{25} x_{iu}^2}, b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{iu} x_{ju} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{iu} x_{ju})^2}, b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x'_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x'_i)^2} \quad (3.5)$$

де  $i, j = 1, \dots, 4, i \neq j$ .

Для центрального композиційного ортогонального планування другого порядку за чотирма факторами в системі Maple була створена програма, за допомогою якої знаходимо кодовані значення коефіцієнтів:

$$b_0 = \frac{1}{25} \sum_{u=1}^{25} y_u = 0,86; \quad b_1 = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{1u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} x_{1u}^2} = 0,02; \quad b_2 = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{2u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} x_{2u}^2} = 0,03;$$

$$b_3 = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{3u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} x_{3u}^2} = 0,04; \quad b_4 = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{4u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} x_{4u}^2} = 0,2; \quad b_{12} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{1u} x_{2u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{1u} x_{2u})^2} = -0,006;$$

$$b_{13} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{1u} x_{3u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{1u} x_{3u})^2} = 0,03; b_{14} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{1u} x_{4u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{1u} x_{4u})^2} = 0,008; b_{23} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{2u} x_{3u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{2u} x_{3u})^2} = -0,05;$$

$$b_{24} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{2u} x_{4u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{2u} x_{4u})^2} = 0,03; b_{34} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x_{3u} x_{4u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x_{3u} x_{4u})^2} = 0,01; b_{11} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x'_{1u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x'_1)^2} = 0,02;$$

$$b_{22} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x'_{2u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x'_2)^2} = -0,02; b_{33} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x'_{3u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x'_3)^2} = -0,07; b_{44} = \frac{\sum_{u=1}^{25} x'_{4u} y_u}{\sum_{u=1}^{25} (x'_4)^2} = -0,09.$$

Даний метод дозволяє спочатку знайдену функцію  $Y$  виразити в нормованих (безрозмірних) значеннях, тобто у вигляді:

$$\begin{aligned}
y = & b_0 + b_1(x_1 - 3) / 2 + b_2(x_2 - 125) / 25 + b_3(x_3 - 22,5) / 8,5 + b_4(x_4 - 11) / 7 + \\
& + b_{12}((x_1 - 3) / 2)((x_2 - 125) / 25) + b_{13}((x_1 - 3) / 2)((x_3 - 22,5) / 8,5) + \\
& + b_{14}((x_1 - 3) / 2)((x_4 - 11) / 7) + b_{23}((x_2 - 125) / 25)((x_3 - 22,5) / 8,5) + \\
& + b_{24}((x_2 - 125) / 25)((x_4 - 11) / 7) + b_{34}((x_3 - 22,5) / 8,5)((x_4 - 11) / 7) + \\
& + ((b_{11}((x_1 - 3) / 2)^2 + b_{22}((x_2 - 125) / 25)^2 + b_{33}((x_3 - 22,5) / 8,5)^2 + \\
& + b_{44}((x_4 - 11) / 7)^2),
\end{aligned}$$

а потім, зробивши відповідні обчислення за даною програмою, записати цю функцію в реальних вимірюваних значеннях  $X_1, X_2, X_3$  і  $X_4$ .

Таким чином, після переходу від нормованих значень до реальних значень, отримуємо:

$$\begin{aligned}
y = & -1,12 - 0,04X_1 + 0,01X_2 + 0,07X_3 + 0,04X_4 - 0,0001X_1X_2 + \\
& + 0,002X_1X_3 + 0,0006X_1X_4 - 0,0003X_2X_3 + 0,0002X_2X_4 + 0,0002X_3X_4 + \quad (3.6) \\
& + 0,004X_1^2 - 0,00003X_2^2 - 0,001X_3^2 - 0,002X_4^2.
\end{aligned}$$

Розв'язуючи систему рівнянь

$$\begin{cases}
\frac{\partial y}{\partial x_1} = -0,04 + 0,008x_1 - 0,0001x_2 + 0,006x_3 + 0,0006x_4 = 0, \\
\frac{\partial y}{\partial x_2} = 0,02 - 0,0001x_1 - 0,00006x_2 - 0,0003x_3 + 0,0002x_4 = 0, \\
\frac{\partial y}{\partial x_3} = 0,07 + 0,006x_1 - 0,0001x_2 - 0,006x_3 + 0,0006x_4 = 0, \\
\frac{\partial y}{\partial x_4} = 0,04 + 0,0006x_1 + 0,0002x_2 + 0,0002x_3 - 0,004x_4 = 0
\end{cases} \quad (3.7)$$

знаходимо значення змінних  $X_i^{opt}, j=1, \dots, 4$ , в стаціонарній точці:

$$X_1^{opt} = 3,29 \text{ мм}; \quad X_2^{opt} = 195,76 \text{ мм}; \quad X_3^{opt} = 17,01 \text{ м}; \quad X_4^{opt} = 22,12 \text{ м}.$$

Обчислюючи другі похідні даної моделі (3.3)

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_1} = 0,008 \equiv a_{11}, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_1} = -0,0001 \equiv a_{12} \equiv a_{21},$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_3} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_1} = 0,002 \equiv a_{13} \equiv a_{31}, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_4} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_4 \partial x_1} = 0,0006 \equiv a_{14} \equiv a_{41},$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_2} = 0,00006 \equiv a_{22}, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_3} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_2} = -0,0003 \equiv a_{23} \equiv a_{32},$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_4} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_4 \partial x_2} = 0,0002 \equiv a_{24} \equiv a_{42}, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_3} = -0,002 \equiv a_{33},$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_4} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_4 \partial x_3} = 0,0002 \equiv a_{34} \equiv a_{43}, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_4 \partial x_4} = -0,004x \equiv a_{44}.$$

знаходимо, що в стаціонарній точці  $X_i^{opt}, j=1, \dots, 4$  екстремум буде при  $y_{\max} = 1,18 \text{ с}$ .

Використання проведених розрахунків в системі Maple [114, 115, 116] дозволило оцінити значимість коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента при рівні значимості 0,05 і числі степенів свободи  $N_0 - 1 = 3$ . Дана модель перевірена на адекватність за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$ . Її аналіз показує, що конструктивні параметри насадка  $X_1^{opt} = 3,3 \text{ мм}$ ,  $X_2^{opt} = 195,8 \text{ мм}$  забезпечать максимальну ефективність подачі плоско-радіальних гелеутворюючих складів з точки зору дальності і ширини розпилу вогнегасної речовини.

Графічні інтерпретації отриманих розв'язків, представлені на рис. 3.6 і рис. 3.7, свідчать про те, що оцінка області раціональних геометричних параметрів насадка відповідає знайденим розмірам щілинного отвору конструкції насадка.

Тобто, підтверджена доцільність створення і працездатність пристроїв для утворення плоско-радіальних струменів вогнегасних речовин при гасінні пожеж і захисту об'єктів, що знаходяться поблизу пожежі. Такі типи насадків і стволів-розпилювачів можна рекомендувати до застосування не тільки при

гасінні пожеж на значних відстанях відкритих майданчиків, але й на невеликі дистанції в закритих приміщеннях будівель та споруд.

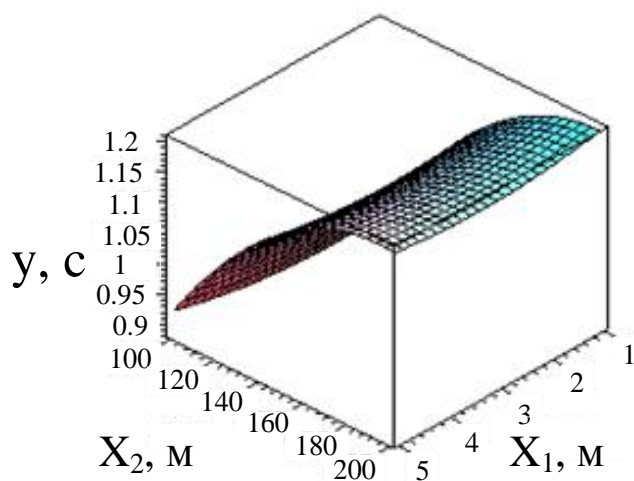


Рис. 3.6. Графік функції  $u$  при перетині площинами:

$$X_1 = 3,3 \text{ мм}, \quad X_2 = 195,8 \text{ мм}$$

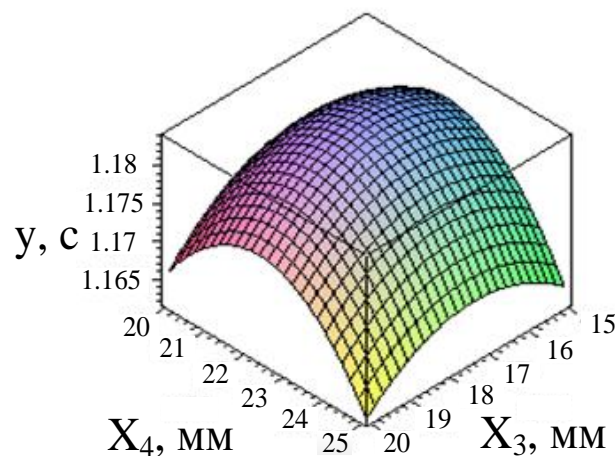


Рис. 3.7. Графік функції  $u$  при перетині площинами:

$$X_3 = 17,0 \text{ м}, \quad X_4 = 22,1 \text{ м}$$

Для проведення аналогічних досліджень, щодо визначення оптимальних (раціональних) параметрів геометрії щілиного отвору ручного ствола пістолетного типу СР-10 маємо подібні дані випробувань (табл. 3.3). Використовувати такі стволи зручно при гасінні не масштабних пожеж в будівлях та спорудах [117, 118] з використанням розчинів звичайних ВГР та гелеутворюючих складів ГУС (табл. 3.4).

Тут, як видно з рис. 2.3, розмір вихідного отвору за шириною регулюється зміною кришок (1) з «П»-подібним вирізом з різною шириною перетину, а за висотою – товщиною жорстких пластин (6), що розміщуються між корпусом (5) і кришкою (1).

Враховуючи не складне технологічне виконання конструкції ствола пістолетного типу СР-10, що допускає варіювання геометричних розмірів його вихідного отвору простим підбором шуканих розмірів, зрозуміло, що з точки зору екстремальної дальності і ширини охоплення фронту пожежі, можна

спростити пошук раціональних параметрів вирізу сектору змінної пластини  $\varphi_0$  та її товщини  $b$ , користуючись відомим простим методом спроб і помилок. Тоді вочевидь маємо конкурентно здатні параметри перетину вихідного щілинного отвору відповідно дослідів № 14, при  $\varphi_0 = 30^\circ$  і  $b = 1,5$  мм.

Таблиця 3.4

Данні експериментів з підбору раціональних параметрів ствола-розпилювача СР-10 при швидкості витікання водного розчину зі ствола  $V_0 = 16,2$  м/с під кутом  $30^\circ$

№	Тиск в системі, кПА	Товщина $b$ вирізу, мм	Виріз $\varphi^\circ$ сектору	Дальність подачі, м	Ширина подачі, м	Час подачі струму, с
1	500	0,5	10	4,66	0,4	0,57
2	500	0,5	20	4,65	0,5	0,57
3	500	0,5	30	4,33	0,55	0,53
4	500	0,5	40	4,0	0,6	0,42
5	500	0,5	50	4,0	0,7	0,42
6	500	1,0	10	5,0	0,9	0,62
7	500	1,0	20	5,67	1,0	0,7
7	500	1,0	30	5,7	1,1	0,71
9	500	1,0	40	5,83	1,1	0,72
10	500	1,0	50	6,67	1,2	0,82
11	500	1,5	10	10,6	0,9	1,31
12	500	1,5	20	10,65	1,1	1,31
13	500	1,5	30	10,7	1,2	1,32
14	500	1,5	40	10,5	1,3	1,3
15	500	1,5	50	9,0	1,32	1,11
16	500	2,0	10	8,0	1,0	0,99
17	500	2,0	20	9,1	1,1	1,12
18	500	2,0	30	9,0	1,2	1,11
19	500	2,0	40	9,0	1,4	1,11
20	500	2,0	50	8,0	1,4	0,99
21	500	2,5	10	7,7	1,0	0,95
22	500	2,5	20	7,65	1,1	0,95
23	500	2,5	30	7,4	1,15	0,91
24	500	2,5	40	6,63	1,24	0,81
25	500	2,5	50	6,66	1,3	0,82

Основними критеріями отримання бажаного варіанта геометрії насадка, як і в попередньому випадку, є досягнення якомога більшої дальності та ширини подачі струменя, що здатний «накрити» пожежу по фронту.

Таким чином, для забезпечення ефективної подачі плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів визначені основні конструктивні параметри ствола-розпилювача (виріз сектору жорсткої пластини  $\varphi_0=30^\circ$  при її товщині  $b=1,5$  мм), який передбачається використовувати для подачі плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів на відстані до 10 м, та насадка ствола (висота 3,3 мм та ширина 195,8 мм, що відповідає області раціональних геометричних параметрів) у разі пожежогасіння на більшій відстані.

### **3.3 Експериментальна перевірка ефективності способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі компонентів вогнегасної речовини**

Апробація тактичного прийому дистанційної подачі ВГР/ГУС навісними струменями за допомогою експериментальної установки АУГГУС-М проводилася в умовах полігону. Проведені експерименти мали за мету застосування АУГГУС-М для дистанційного гасіння пожеж класу А не тільки ГУС, але і водою. Умови проведення дослідів були аналогічні (для зручності порівняльного аналізу ефективності використання ГУС).

У першій серії дослідів на модельне вогнище 1А, розташоване на дистанції 10 м, в якості вогнегасної речовини спочатку подавалася вода з 2-х стволів-розпилювачів, встановлених на спеціальних штативах і спрямованих на вогнище в своїх площинах прицілювання під рівними кутами нахилу  $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$  (рис. 3.8).



Рис. 3.8 Гасіння модельного вогнища 1А водою з використанням експериментальної установки АУГГУС-М

При цьому, висота розміщення стволів  $h_1 = h_2 \approx h$  практично збігалася з рівнем майданчика модельного вогнища 1А за висотою, причому так щоб мали місце всі ознаки симетричної подачі ВГР/ГУС ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ;  $\psi_1 = -\psi_2$ ), щодо розташуванням стволів в площині наведення на вогнище всієї установки.

Отримані результати наведені в табл. 3.5, де Q – витрати вогнегасної речовини, а t– час гасіння модельного вогнища.

Таблиця 3.5

Порівняльна оцінка ефективності гасіння модельного вогнища за допомогою води та гелеутворюючих складів [6].

№	1 м				10 м			
	ГУС		Вода		ГУС		Вода	
	Q, л	t, с	Q, л	t, с	Q, л	t, с	Q, л	t, с
1	2,8	34,4	7,4	94,4	4,3	53,2	8,3	86,3
2	3,4	31,9	7,2	65,4	3,4	52,5	7,6	90,1
3	2,6	42,4	7,3	86,5	3,4	45,6	9	83,6
4	3,3	48,2	7,6	88,7	3,5	60,8	8,1	86,3
5	3,4	40,7	7,5	91	3,1	55,3	9,3	89,5
6	3,5	29,1	8,5	102,7	3,2	45,9	8,9	90,8
7	2,9	36,1	7,7	88,5	3,9	48,5	8	80,4
8	3,1	29,3	8,5	73,8	3,5	58,5	9,5	89,2

Продовження таблиці 3.5

9	2,8	35,3	8	84,5	3,3	55,4	9,4	86,7
10	2,6	43,2	9,2	82,3	4	65,3	7,6	88,4
11	2,9	39,5	8,3	63,4	3,5	53,2	8	87,2
12	3,6	35,6	8,1	66,1	2,9	56,2	9,8	94,4
13	2,6	39	7,2	68,2	3,4	42,1	8,4	85,8
14	3,1	34,5	8,2	71,2	3,9	46,1	7,7	98,4
15	2,7	40,6	9,6	91,4	4,1	56	7,9	93,8
16	2,5	44,4	8	87,3	4,2	41,6	8,4	89,6
17	2,4	33,1	8	81,9	3,4	55,2	8,3	94,8
18	3,5	33,1	6,7	78,7	3,5	54,8	7,2	98,3
19	3,2	42,0	8,6	62,2	3,8	61,0	7,7	92,4
20	3,0	51,0	8,2	73,8	2,7	55,1	9,9	91,8
	2,995	38,17	7,99	80,1	3,55	53,115	8,45	89,89
	0,371	5,961	0,702	11,562	0,425	6,370	0,800	4,624

Отримані результати по кожному варіанту гасіння, оскільки у кожному випадку використовувалися вибірки з об'ємом  $n = 20 < 30$ , були перевірені на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уїлкі [111].

Для цього, наприклад, стосовно до часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м спочатку були розраховані середні значення часу гасіння

$$\bar{t}_{ГУС}(10 м) = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ГУС_i}(10 м)}{n}, \quad (3.8)$$

де  $t_{ГУС_i}$  – час гасіння ГУС в  $i$ -ому дослідженні, с;

середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{t_{ГУС}}(10 м) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (t_{ГУС_i}(10 м) - \bar{t}_{ГУС}(10 м))^2}, \quad (3.9)$$

та



$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^n (t_{ГУС_i}(10 м) - \bar{t}_{ГУС}(10 м))^2 = 717,54, \quad (3.10)$$

де  $m_2$  – вибірковий центральний момент другого порядку.

Оскільки оцінки  $t_{ГУС_i}(10 м)$  є результатом обробки незалежних спостережень, вони були розташовані в порядку неспадання і позначені символами  $t_{ГУС_1}(10 м), t_{ГУС_2}(10 м), \dots, t_{ГУС_{n=20}}(10 м)$ . В табл. 3.6 приведена впорядкована серія отриманих значень часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м.

Таблиця 3.6

Впорядковані результати часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_i, c$	65,3	61	60,8	58,5	56,2	56	55,4	55,3	55,2	55,1
$(t_i - \bar{t})^2$	148,4	62,1	59,0	29,0	9,52	8,32	5,22	4,77	4,35	3,94
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_i, c$	54,8	53,2	53,2	52,5	48,5	46,1	45,9	45,6	42,1	41,6
$(t_i - \bar{t})^2$	2,84	0,01	0,01	0,38	21,3	49,2	52,0	56,4	121,3	132,6
					0	1	6	8	3	0
$\bar{t}, c$	53,12									
$\sigma, c$	6,37									
$n \cdot m_2$	771,02									

Також була обчислена (див. табл.3.7) проміжна сума S по формулі:

$$S = \sum_i^k a_{n-i+1} \cdot (t_{ГУС(n-i+1)} - t_i) = 26,79, \quad (3.11)$$

де  $k$  – індекс, який має значення від 1 до  $n/2=12$ ;  $a_{n-i+1}$  – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки  $n$  (його значення, що наведені в табл. 3.7, взяті з табл.10 [111]).

Таблиця 11 [111] для рівня значимості  $\alpha=0,05$  та  $n=20$  дає значення  $W_{табл} = 0,905$ . Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m^2} = \frac{717,54}{771,02} = 0,931 \geq W_{табл} = 0,905, \quad (3.12)$$

розподіл у відповідності до [111] вважається нормальним.

Таблиця 3.7

Упорядкована серія отриманих значень часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м

$k$	$t_{(20-k+1)}, c$	$t_k, c$	$t_{(20-k+1)} - t_k, c$	$a_{n-k+1}$	$a_{n-k+1} \cdot (t_{(20-k+1)} - t_k)$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	65,3	41,6	23,7	0,4493	10,648
2	61	42,1	18,9	0,3098	5,8552
3	60,8	45,6	15,2	0,2554	3,8821
4	58,5	45,9	12,6	0,2145	2,7027
5	56,2	46,1	10,1	0,1807	1,8251
6	56	48,5	7,5	0,1512	1,134
7	55,4	52,5	2,9	0,1245	0,3611
8	55,3	53,2	2,1	0,0997	0,2094
9	55,2	53,2	2	0,0764	0,1528
10	55,1	54,8	0,3	0,0539	0,0162
S					26,787
S <sup>2</sup>					717,54

Розрахунки, аналогічні (3.8)-(3.12), були виконані також для аналізу витрат вогнегасної речовини та часу гасіння модельного вогнища у

відповідності до вихідних даних, що наведені в табл. 3.5. Вони показали, що отримані результати розподілені за нормальним розподілом. Це дозволило перейти до перевірки, наскільки значимо різняться середні значення витрат вогнегасної речовини та часу гасіння модельного вогнища, отримані по незалежним вибіркам, використовуючи t-критерій Стьюдента [107].

В цьому випадку, наприклад для ситуації, коли порівнюється час гасіння модельного вогнища з відстані 10 м, розглядалась гіпотеза

$$H_0 : \bar{t}_{ГУС}(10 м) = \bar{t}_{вода}(10 м) \quad (3.13)$$

та її альтернатива

$$H_1 : \bar{t}_{ГУС}(10 м) \neq \bar{t}_{вода}(10 м), \quad (3.14)$$

яка доводить відмінність середніх значень.

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію [110] спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. У якості критерію для перевірки нуль-гіпотези

$$H_0 : \sigma_{ГУС}(10 м) = \sigma_{вода}(10 м) \quad (3.15)$$

був обраний F-критерій

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{6,37}{4,62} = 1,38, \quad (3.16)$$

де  $\sigma_1^2$  – більша з оцінок дисперсій в двох вибірках.

При цьому критичне значення  $F_{кр}$ , яке при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  та числі ступенів свободи

$$\nu_{\text{ГУС}}(10\text{ м}) = n_{\text{ГУС}} - 1 = 19, \nu_{\text{вода}}(10\text{ м}) = n_{\text{вода}} - 1 = 19, \quad (3.17)$$

де  $n_{\text{ГУС}} = n_{\text{вода}} = 20$  – кількість експериментальних результатів, в яких оцінювався час гасіння модельного вогнища за допомогою ГУС та води відповідно, дорівнює

$$F_{\text{кр}} = F_{\text{табл}} = 2,15. \quad (3.18)$$

Видно, що в розглянутих випадках правомірною визнається нуль-гіпотеза (3.14) та допускається рівність дисперсій під час гасіння модельного вогнища за допомогою ГУС та води.

Виходячи з цього, стандартна помилка різниці  $S_t(10\text{ м})$ , з урахуванням того, що вибірки малого розміру ( $<30$ ), та число ступенів свободи  $\nu$  при обчисленні t-критерію розраховуються [110] наступним чином

$$S_t(10\text{ м}) = \sqrt{\frac{(n_{\text{ГУС}} - 1) \cdot \sigma_{\text{ГУС}}^2 + (n_{\text{вода}} - 1) \cdot \sigma_{\text{вода}}^2}{n_{\text{ГУС}} + n_{\text{вода}} - 2} \cdot \left( \frac{1}{n_{\text{ГУС}}} + \frac{1}{n_{\text{вода}}} \right)} = \quad (3.19)$$

$$= \sqrt{\frac{(20 - 1) \cdot 6,37^2 + (20 - 1) \cdot 4,62^2}{20 + 20 - 2} \cdot \left( \frac{1}{20} + \frac{1}{20} \right)} = 1,76;$$

$$n_{\text{літо}} + n_{\text{зима}} - 2 = 38. \quad (3.20)$$

В результаті

$$t_{\text{набл}} = \frac{|\bar{t}_{\text{ГУС}}(10\text{ м}) - \bar{t}_{\text{вода}}(10\text{ м})|}{S_t(10\text{ м})} = \frac{|53,12 - 89,89|}{1,76} = 10,91. \quad (3.21)$$

Оскільки

$$t_{\text{набл}} = 10,91 > t_{\text{табл}}(\alpha = 0,05) = 2,04, \quad (3.22)$$

можна говорити, що при рівні значимості  $\alpha=0,05$  результати, отриманні під час гасіння модельного вогнища з відстані 10 м водою та ГУС відрізняються.

Аналогічним чином у відповідності до (3.13)-(3.22) була перевірена відмінність у витратах вогнегасної суміші та часі гасіння у відповідності до вихідних даних, які наведені в табл. 3.5. В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Результати перевірки ефективності способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі компонентів вогнегасної речовини

	1 м				10 м			
	Q, л		t, с		Q, л		t, с	
	ГУС	Вода	ГУС	Вода	ГУС	Вода	ГУС	Вода
x	2,995	7,99	38,17	80,1	3,55	8,45	53,115	89,89
G	0,371	0,702	5,961	11,562	0,425	0,800	6,370	4,624
F <sub>табл</sub>	2,15							
F <sub>набл</sub>	1,89		1,94		1,88		1,38	
Висновок	H <sub>0</sub>		H <sub>0</sub>		H <sub>0</sub>		H <sub>0</sub>	
t <sub>табл</sub>	2,04							
t <sub>набл</sub>	28,15		1,93		2,27		10,91	
Висновок	H <sub>1</sub>		H <sub>1</sub>		H <sub>1</sub>		H <sub>1</sub>	

Аналіз результатів, що наведені в табл.3.8, показує, що відмінність у витратах вогнегасної суміші та часі гасіння є суттєвою.

Таким чином, з рівнем значимості  $\alpha=0,05$ , розрахованим за критерієм Стьюдента, результати гасіння модельного вогнища за допомогою розробленого способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі вогнегасної речовини є кращими, ніж у випадку гасіння модельного вогнища за допомогою води, що підтверджує його ефективність.

### **Висновки по третьому розділу**

1. З надійністю 0,95 для проведення досліджень щодо ефективності бінарної подачі гелеутворюючих складів до осередку пожежі можна використовувати підфарбовану воду.

2. Для забезпечення ефективної подачі плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів визначені основні конструктивні параметри ствола-розпилювача (виріз сектору жорсткої пластини  $\phi_0=30^\circ$  при її товщині  $b=1,5$  мм), який передбачається використовувати для подачі плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів на відстані до 10 м, та насадка ствола (висота 3,3 мм та ширина 195,8 мм, що відповідає області раціональних геометричних параметрів) у разі пожежогасіння на більшій відстані.

3. З рівнем значимості  $\alpha=0,05$ , розрахованим за критерієм Стьюдента, результати гасіння модельного вогнища за допомогою розробленого способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі вогнегасної речовини є кращими, ніж у випадку гасіння модельного вогнища за допомогою води, що підтверджує його ефективність.

## РОЗДІЛ 4. ВАРІАНТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 4.1 Тактичне забезпечення подачі вогнегасної речовини установкою АУГГУС-М

Практична реалізація розглянутих прийомів подачі ВГР/ГУС на осередок пожежі мало на увазі втілення розроблених технічних рішень в конструкцію нової мобільної установки АУГГУС-М (ДОДАТОК 3). До того ж до неї, так само як і до інших подібних установок пожежогасіння з використанням ГУС, потрібне і тактико-технічне забезпечення, що характеризує рух розпиленних струменів ВГР/ГУС в повітрі, в залежності від параметрів завдань, що відносяться до конкретних випадків гасіння пожеж і захисту об'єктів, які знаходяться поруч. Наприклад: пожежогасіння навісними струменями або «прямо» спрямовано їх подачею.

Слід відмітити, що розглянуті в роботі варіанти використання установок типу АУГГУС для пожежогасіння відображають реальні ситуації розгляду пожеж, де може передбачатися використання комп'ютерної балістики [119, 120]. Тут розрахунковим шляхом можуть оперативно встановлюватися, не тільки траєкторії руху потоків струменів ВГР/ГУС, але і на якому певному етапі над/перед осередком пожежі, починати змішування компонентів ГУС з утворенням гелю, який накриває об'єкт пожежогасіння відразу, або локалізує його послідовно на кожній окремій ділянці.

У кожній з розглянутих в роботі задач, які можна віднести до теорії прийняття рішень, керівником гасіння пожежі (КГП) має набір альтернатив пожежогасіння, що залежать від конкретних дій з АУГГУС-М. Сказане, в термінах теорії прийняття рішень, формулюється наступним чином.

Ухвалення рішення КГП – це процес вибору однієї з можливостей (альтернатив –  $A_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) наявних рекомендацій користувачеві технічних засобів, після реалізації яких, досягається конкретний результат (вихід –  $I_j$ ,

$i = 1, 2, 3, \dots$ ). Або інакше: альтернативи – це та безліч можливостей, з яких вибирають, а вихід – це той результат, який може виникнути при виборі тієї чи іншої альтернативи.

Який з результатів  $I_j$  настане при виборі конкретної альтернативи  $A_i$ , можна визначити в результаті розв’язування конкретної задачі аналізу. Тобто функція реалізації встановлює відповідність між реалізованою можливістю (згідно з прийнятою альтернативою) і одержаним в результаті прийняття рішень наслідком (згідно з результатами розв’язування задачі аналізу).

Форми опису функцій реалізації з математичного аналізу різноманітні. Зокрема, в задачах дослідження операцій і теорії прийняття рішень функціями реалізації, може служити упорядкований набір – список всіх розв’язків, знайдених на етапі аналізу у вигляді таблиць, графіків, аналітичних залежностей, отриманих теоретично або експериментально. Даний результат можна представити у вигляді граф-схеми, якісно реалізованої функції цілі, відносно подачі ВГР/ГУС навісними або прямоточними потоками (рис. 4.16).

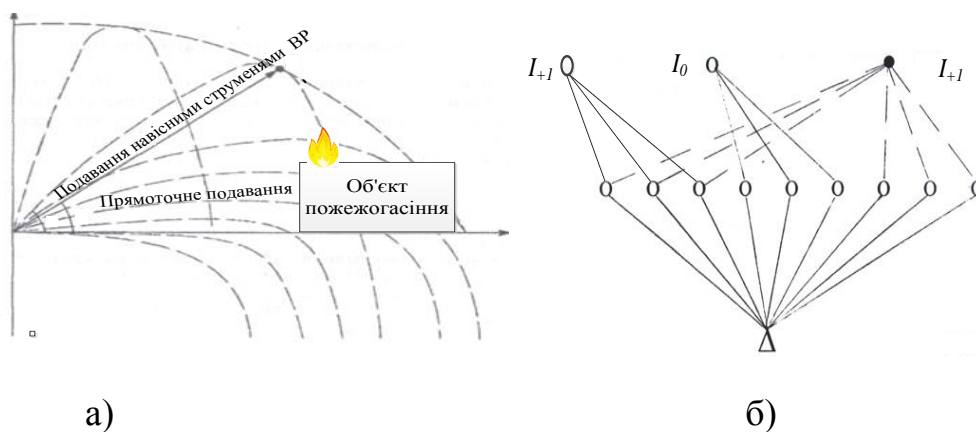


Рис. 4.1 Граф-схема прийняття рішення щодо варіанту подачі ВР/ГУС а) навісна чи «прямо» спрямована подача струменів на об’єкт пожежогасіння; б) граф-схема завдань прийняття рішень з пожежогасіння: «+1» – мета досягнута (пожежу ліквідовано); «0» – мета частково досягнута (локалізація); «-1» – мета не досягнута (локалізація не досягнута);  $i = 1, 2, 3, \dots$  – повний перелік альтернатив, з яких КГП вибирає, при використанні



Якісний аналіз функціонального зв'язку між альтернативами і наслідками визначають такі узагальнені показники:

- « $I_{+1}$ » – бінарний потік ВГР/ГУС накрив епіцентр пожежі в точці  $E$  з координатами  $(X, Z)$ ;
- « $I_0$ » – потік струменів не потрапив в епіцентр, але опинився у периметрі пожежі;
- « $I_{-1}$ » – потік ВГР/ГУС взагалі не потрапив на площу пожежі.

Разом з цим, як впливає з аналізу вже розглянутих завдань (розділ 3), вирази вигляду (4.1) дозволяють отримати повний список співвідношень, координат альтернативних траєкторій струменів в просторі, в залежності від поточного часу і характерних властивостей тактичних завдань, наприклад параметра  $\alpha$  – кута нахилу стволів установки над горизонтом та ін.

Математично, усі тактичні завдання узагальнено можуть бути описані рівнянням:

$$\max_{\alpha} K(\alpha, L_0, P, d, h \dots) \quad (4.1)$$

де  $K$  – якісна цільова функція, яка «пробігає» значення:

$$K = \begin{cases} +1, & \text{якщо пожежа ліквідована;} \\ 0, & \text{якщо осередок локалізовано;} \\ -1, & \text{якщо мета не досягнута.} \end{cases}$$

Некеровані параметри завдання, задаються конкретними показниками:  
 $P = const$  – тиск в установці,  $h$  – рівень висоти об'єкта пожежогасіння;  
 $L_{\max} - L_{\min} = d$  – глибина опрацювання площі пожежі.

Керованими змінними будуть:  $\alpha$  – кут нахилу;  $L$  – відстань від АУГГУС-М до об'єкта пожежогасіння. На їх зміну накладаються обмеження

$$0 < \alpha < 90^\circ; \quad L_{\min} < L_0 < L_{\max}. \quad (4.2)$$

де  $L_{\min}$  – мінімальна відстань наближення установки АУГГУС-М до об'єкта пожежогасіння,  $L_{\max}$  – максимальна відстань, на яку можна віддалити установку від об'єкта пожежогасіння.

Зрозуміло, що ситуаційно обумовлені обмеження (4.2) визначаються в ході розвідки пожежі. Разом з цим в кожній з розглянутих задач додатково вводяться свої специфічні параметри, властиві тому чи іншому завданню, наприклад, дані про обстановку пожежі (метеорологічні умови та ін.).

Таким чином, вибір варіанту (навісної або прямої) подачі гелеутворюючих складів здійснюється шляхом вибору рішення за допомогою граф-схеми, що якісно реалізує функції обраної цілі, з урахуванням ситуаційних обмежень, визначених в ході розвідки пожежі.

#### 4.2 Обґрунтування пропозицій щодо навісної подачі гелеутворюючих складів

Щоб задовольнити тактико-технічному обмеженню (4.2) при подачі ВГР/ГУС навісними струменями на пожежогасіння, необхідно розташувати установку на необхідній відстані  $L(\alpha, \psi, h, a)$  і виставити відповідно до траєкторії параметри:  $h_1 = h_2 = h$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ;  $a_1 = -a_2 = a$ ;  $\psi_1 = -\psi_2 = \psi$ .

Безліч рішень цього тактико-технічного завдання для типового модельного вогнища 1А представлено в таблиці 4.1. і на рис. 4.2.

Таблиця 4.1

Результати рішення задачі подачі ВГР/ГУС у точку епіцентру пожежі  $E$

Кут піднесення $\alpha$	30	40	50	60	70	80	89	90
Дистанція $L_0(\alpha)$ , м	9,7	8,5	7,1	5,3	3,4	2,8	1.2	-

Як видно з рисунку, прицільно направити струмені ВГР/ГУС на горизонтально розташовану ціль в точці  $E$  епіцентру вогнища можна розташувавши установку АУГГУС-М на нескінченній множині дистанцій  $L$ .

Тактика ведення оперативних дій в цьому випадку диктує наступний порядок їх виконання:

- 1) на підставі даних розвідки пожежі маємо інформацію про метеорологічні умови, геометрію вогнища та значення інших некерованих параметрів завдання;
- 2) враховуючи рельєф місцевості вибирається позиція для АУГГУС-М і знаходяться прийнятні значення  $L$ , та інші необхідні параметри завдання.
- 3) на їх підставі визначається необхідний кут  $\alpha$ .

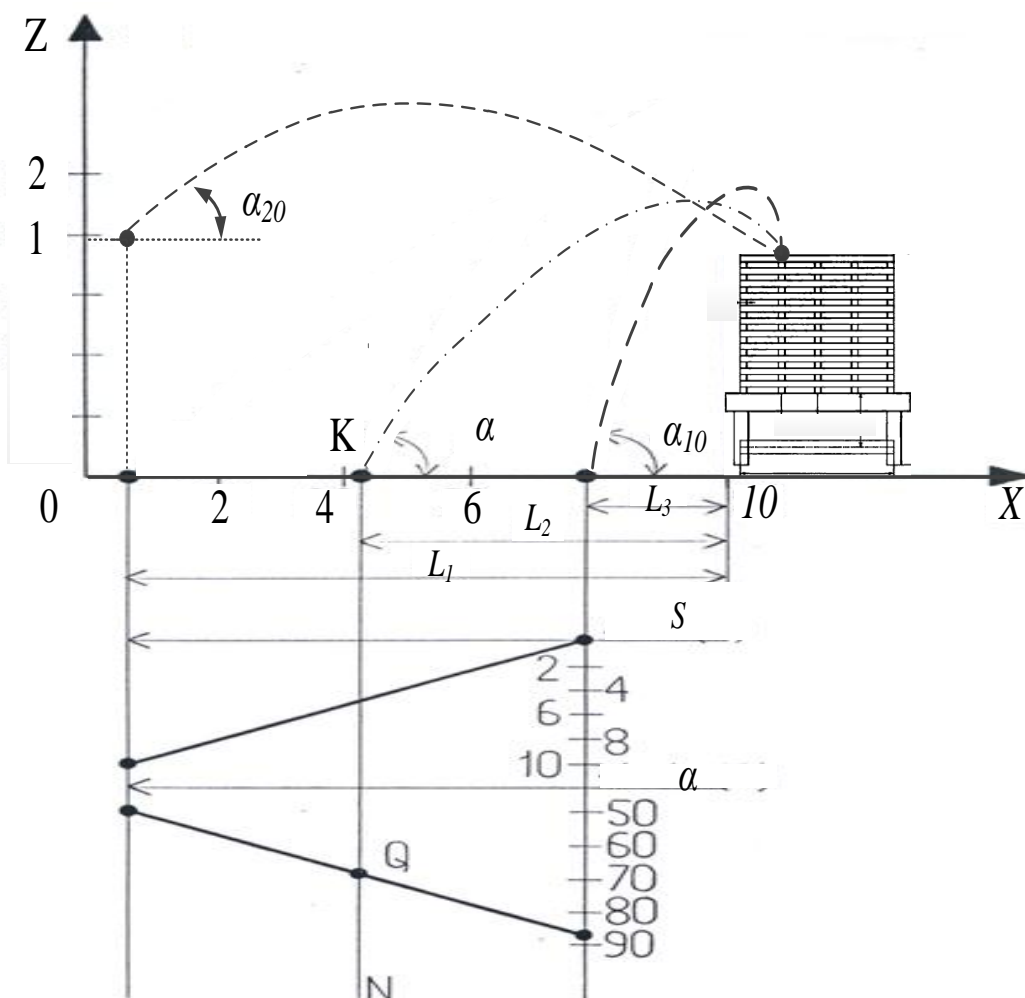


Рис. 4.2 Введення обмежень і номограма до задачі 4 – подача потоку ВГР/ГУС в точку на рівень поверхні модельного вогнища 1А

Якщо виявиться, що такого значення кута в таблиці 4.1 немає, тоді відстань від установки АУГГУС-М до місця загоряння коригується з умов особливостей місцевості.

Тобто, при застосуванні АУГГУС-М для пожежогасіння навісними струменями, головне цільове обмеження обумовлено тим, щоб струмені ВГР/ГУС потрапляли у площину пожежі (бажано близько до епіцентру) з точністю до деякого  $\Delta L_1$ , тобто випадки, коли осьові лінії струменів виходять за зону вогнища пожежі («недоліт» – «переліт») не припустимі:

$$Y' \pm \Delta L_1 = L_0, \quad (4.3)$$

де знак « $\pm$ » відповідає ситуації «недоліту» чи «переліту».

Апробація тактичного прийому дистанційної подачі ВГР/ГУС навісними струменями за допомогою експериментальної установки АУГГУС-М проводилася в умовах полігону. Проведені на полігоні експерименти мали за мету застосування АУГГУС-М для дистанційного гасіння пожеж класу А не тільки ГУС, але і водою. Умови проведення дослідів були аналогічні (для зручності порівняльного аналізу ефективності використання ГУС).

У першій серії дослідів на модельне вогнище 1А, розташоване на дистанції 10 м, в якості вогнегасної речовини спочатку подавалася вода з 2-х стволів-розпилувачів, встановлених на спеціальних штативах і спрямованих на вогнище в своїх площинах прицілювання під рівними кутами нахилу  $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$  (рис. 4.3). При чому, висота розміщення стволів  $h_1 = h_2 \approx h$  практично збігалася з рівнем майданчика модельного вогнища 1А за висотою, причому так, щоб мали місце всі ознаки симетричної подачі ВГР/ГУС ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ;  $\psi_1 = -\psi_2$ ), щодо розташуванням стволів в площині наведення на вогнище всієї установки.



а)



б)

Рис. 4.3 Гасіння модельного вогнища 1А водою з використанням експериментальної установки АУГГУС-М: а) локалізація вогнища загорання; б) ліквідація горіння додатковим гасінням

В результаті дистанційного гасіння водою модельного вогнища вдалося локалізувати горіння за час порядку 1 хв. При цьому було витрачено кожним стволом води приблизно по 3 літри. В наступні 30-35 секунд, пожежу було повністю ліквідовано додатковим гасінням внутрішніх порожнин укладеного штабелю деревини з використанням підготовленої (загально прийнятою в таких випадках тактикою гасіння) ранцевою установкою АУГГУС. У другій серії дослідів на таке ж модельне вогнище 1А, таким же чином подавалися компоненти ГУС (рис. 4.4).



а)



б)

Рис. 4.4 Гасіння вогнища 1А: а) локалізація при дистанційній подачі компонент ГУС на 10 м; б) ліквідація горіння додатковим гасінням

Порівняння даних експериментів показали, що в разі дистанційної подачі гелеутворюючого складу (замість води), з'являється можливість локалізувати вогнище в два рази швидше. А завершення гасіння вогнища можна проводити з використанням ранцевої установки АУГГУС заправленою водою.

Таким чином, під час гасіння навісними струменями для потрапляння вогнегасної речовини у площину пожежі необхідно не допустити вихід осьових ліній струменів за зону вогнища пожежі, при цьому пожежогасіння з використанням гелеутворюючих складів є вдвічі ефективнішим у порівнянні з гасінням водою.

#### **4.3 Розробка рекомендацій стосовно «прямо» спрямованої подачі вогнегасної речовини**

Інша тактична задача – прицільна подача бінарного потоку гелеутворюючих складів «прямо» спрямовано на вертикально розташований об'єкт пожежогасіння з досить близької відстані, наприклад, в жилomu приміщенні на меблеву стінку, що горить. Тут, висота розміщення стволів  $h_1 = h_2 \approx h$  при подачі ВГР/ГУС «прямою наводкою» (в силу відносно невеликих відстаней) істотно не вплине на кривизну траєкторій струменів, тому що перешкода (об'єкт пожежогасіння) виникає на частині траєкторії струменів, конфігурація яких близька до прямих ліній. У зв'язку з можливим характером подій (потрапляння в епіцентр вогнища точку  $E$ ), в випадку подачі ВГР/ГУС прямо спрямованими струменями, виникає необхідність уточнити деякі тактичні особливості. Наприклад, який відсоток подачі ВГР/ГУС дискретними струменями (якщо такий тактичний прийом використовується при пожежогасінні) в середньому буде успішним?

Яких слід вжити заходів для зменшення площі розсіювання ВГР/ГУС та інші питання, що характеризують очікуваний позитивний результат? Все це, взагалі, пов'язано з природою стохастичних процесів [121].

Для того щоб дати на подібні запитання вичерпні відповіді, потрібен окремий розгляд явищ розсіювання з точки зору статистичних закономірностей, властивих їм. Тобто, треба додатково дослідити закон розподілу точок («плям») попадання бінарних потоків в ціль, з'ясувати випадкові чинники, що визначають параметри розсіювання, порівняти їх між собою за ступенем важливості.

Так, можна очікувати, що для отримання найкращих результатів при подачі бінарних потоків ВГР/ГУС в задану точку вертикально розташованої цілі рух складових потоку ВГР/ГУС буде відбуватися за траєкторіями в межах першого етапу їх параболічного руху. Тобто, коли траєкторія близька до прямої лінії (подача ВГР/ГУС відбувається прямо спрямовано). В цьому випадку, для забезпечення попадання бінарного потоку в ціль (епіцентр загоряння), повинні бути відомими і кут  $\alpha$  і відстань  $L_1$ , а також деякі інші ймовірні параметри задачі при прийнятті рішень з використанням АУГГУС-М. Тоді, якщо відомо параметри розсіювання при направленні потоку ВГР/ГУС в точку  $E$ .

Скориставшись класичним математичним апаратом, неважко визначити математичне очікування і середньоквадратичне відхилення випадкового значення (відхилення  $R$ ) точки попадання потоку від геометричного центру цілі («мішені»). При цьому, для спрощення будемо розглядати об'єкт пожежогасіння у вигляді кола (такий підхід зручний з практичної точки зору розсіювання струменів компонентів ВГР/ГУС, що подаються на вогнище):

$$m(R) = \sum R1/N \quad (4.4)$$

де  $N$  – число спроб подачі ВГР/ГРС дискретно.

Вважаючи систематичну помилку відсутньою, а співвідношення діаметра мішені і параметра розсіювання рівним  $1/2$ , ймовірність попадання  $P$  в епіцентр горіння точки  $E$  при одній спробі визначається формулою:

$$P = 1 - e^p \quad (4.5)$$

При цьому  $P$  – значення, яке визначається співвідношенням

$$\Phi(p) = 1/2 \quad , \quad (4.6)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа.

Тоді середньоквадратичне відхилення розглянутого випадкового значення буде мати вигляд

$$R = DX \times NP(1 - P). \quad (4.7)$$

Оперуючи даними експериментів, пов'язаних з подачею компонент ВГР/ГУС прямо спрямовано, представимо їх у вигляді таблиці 4.2 і номограми (рис. 4.5). Як уже зазначалося, в цій тактичній задачі необхідно забезпечити потрапляння бінарного потоку в задану точку на певній ділянці, вертикально розташованого об'єкта пожежогасіння.

Таблиця 4.2

Розрахункові дані робочих параметрів АУГГУС-М при подачі ВГР/ГУС  
«прямо» спрямовано

Відстань $L$ , м	8,9	6,8	4,6	3,5	2,0	1,1	0,45	-
Кут $\alpha$ , град	35	45	50	60	75	80	85	90

Тактика прийняття рішень КГП тут ґрунтується на оцінці співвідношень між різними відстанями  $L$  до епіцентру і кутом нахилу стволів-розпилювачів установки  $\alpha$ . Тоді відповідно до наперед заданої точністю  $\varepsilon$ , рух бінарного потоку розглядається тільки на ділянці траєкторії першого етапу.



Для різних відстаней до епіцентру і кутів нахилу установки, характеристики даного процесу  $(\alpha, L)$  фіксовані. Рух потоку розглядається тільки до перетину траєкторії потоку з вертикально розташованим об'єктом пожежогасіння. Іншими словами, в таблиці 4.2 наведені відстані, які для даного значення кута відповідають найкращим з можливих значень  $L_1$ , тобто такі, що весь процес укладається в перший етап руху потоку ВГР/ГУС. А значить, як впливає з номограми, у КГП є набір альтернатив, які забезпечують виконання оперативної задачі з позитивним результатом.

В цьому випадку вхідними даними є можливі діапазони відстаней між установкою і епіцентром пожежі точкою  $E$ , а вихідними – прийнятний діапазон кутів нахилу установки до горизонту, що забезпечує можливість подачі складових ВГР/ГУС «прямо» спрямовано (рис. 4.5а).

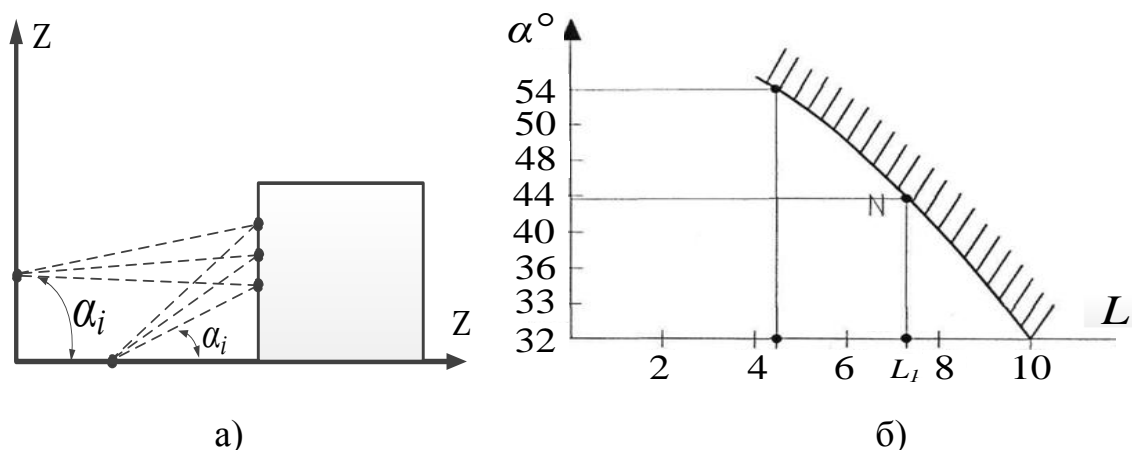


Рис. 4.5 Подача струменів потоку ВГР/ГУС «прямо» спрямовано:

а) графічна ілюстрація до задачі; б) номограма до задачі

Порядок використання номограми наступний. По горизонталі відкладається відстань між об'єктом пожежогасіння і установкою; по вертикалі – маємо кут нахилу стволів установки до горизонту (рис. 4.5а). Заштрихована частина номограми рис. 4.5 б відповідає діапазону характеристик розташування АУГГУС-М, коли подача ВГР/ГУС «прямою» наводкою неможлива.

Цю ж задачу можна розглядати в зворотній послідовності. Задається одне з можливих значень дистанції  $L_1$ . Тоді відповідний бажаний кут  $\alpha$  визначається як проекція точки  $N$  на вісь абсцис (рис. 4.5,б). При відсутності прицілу кути піднесення стволів-розпилювачів при задіянні установки «прямо» спрямовано визначаються з елементарного співвідношення:

$$\alpha = \arctg (z/L_1), \quad (4.8)$$

де  $z$  – висота розташування епіцентру цілі (точка  $E$ ), в яку необхідно направити бінарний потік вогнегасної речовини.

Прийнятність такого тактичного прийому подачі ГУС на вертикально розташований об'єкт пожежогасіння знайшов своє підтвердження в інших серіях порівняльних експериментів з дослідною установкою АУГГУС-М (рис. 4.6).

Розшифрування фото і відеоматеріалів цих досліджень свідчить, що обрана дистанція до модельного вогнища (6 м) і «пряма» наводка подачі ГУС на вогнище дозволили відразу припинити горіння об'єкта пожежогасіння, минаючи стадію локалізації, причому, в найкоротші терміни (30 секунд).

Таким чином, прийняття рішення керівником гасіння пожежі у випадку прямої подачі вогнегасної речовини ґрунтується на розробленій номограмі, в якій реалізовані обґрунтовані співвідношення між відстанню до епіцентру пожежі і кутом нахилу стволів-розпилювачів установки.



а)



б)



в)



г)

Рис. 4.6 Серія порівняльних експериментів з установкою АУГГУС-М:

- а) підготовлене модельне вогнище, рівне за сумарним пожежним навантаженням до вогнища 1А; б) палаючий вертикально розташований модельний об'єкт пожежогасіння; в) дистанційна подача ГУС до припинення горіння модельного вогнища; г) захисний гель, який утворився на поверхні модельного вогнища в наслідок пожежогасіння

### Висновки по четвертому розділу

1. Вибір варіанту (навісної або прямоочної) подачі гелеутворюючих складів здійснюється шляхом вибору рішення за допомогою граф-схеми, що якісно реалізує функції обраної цілі, з урахуванням ситуаційних обмежень, визначених в ході розвідки пожежі.
2. Під час гасіння навісними струменями для потрапляння вогнегасної речовини у площину пожежі необхідно не допустити вихід осьових ліній струменів за зону вогнища пожежі, при цьому пожежогасіння з використанням гелеутворюючих складів є вдвічі ефективнішим у порівнянні з гасінням водою.
3. Прийняття рішення керівником гасіння пожежі у випадку «прямоочної» подачі вогнегасної речовини ґрунтується на розробленій номограмі, в якій реалізовані обґрунтовані співвідношення між відстанню до епіцентру пожежі і кутом нахилу стволів-розпилювачів установки.

## ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано вирішення важливої науково-практичної задачі забезпечення ефективності гасіння пожеж гелеутворюючими сполуками за рахунок використання стволів-розпилювачів, що мають нову конструкцію для дистанційної подачі компонентів гелеутворюючих сполук, та застосування відповідних тактичних прийомів в процесі пожежогасіння.

1. За результатами аналізу особливостей пожежогасіння на основі використання традиційних конструкцій пожежних стволів з насадками для створення водяних струменів визначена доцільність розширення їх можливостей шляхом використання гелеутворюючих сполук, хімічна взаємодія між якими дозволить утримати вогнегасну суміш на вертикальних та похилих поверхнях. Внаслідок цього вимагає розробки способів дистанційної бінарної подачі гелеутворюючих складів до осередку пожежі, для реалізацій якого необхідно створити як технічні засоби, що забезпечать подачу такої вогнегасної речовини на потрібну відстань, так і відповідні тактичні прийоми в процесі пожежогасіння.

2. Розроблено спосіб дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі компонентів вогнегасної речовини стволами-розпилювачами для подачі плоско-радіальних струменів, який забезпечує їх одночасну подачу з компонентами суміші на відстань не менше 6 метрів таким чином, щоб не допустити передчасного або запізненого змішування вогнегасних речовин. Технічне забезпечення цього способу включає в себе запатентовану мобільну установку, що забезпечує цілеспрямовану дистанційну подачу струменів таким чином, щоб забезпечити накриття поверхні об'єктів, що горять, шарами гелю, за допомогою нових стволів-розпилювачів. Показано, що для прицільної подачі навісних і «прямо» спрямованих бінарних потоків гелеутворюючих сполук необхідно розташувати стволи-розпилювачи для подачі вогнегасних компонентів симетрично відносно площини наведення під однаковими кутами нахилу до горизонту відносно

площини наведення та однаковими відхиленнями відносно осі наведення, забезпечивши при цьому перетинання розпилених потоків струменів над/перед осередком пожежі.

3. Визначені основні конструктивні параметри ствола-розпилювача (виріз сектору жорсткої пластини  $\varphi_0=30^\circ$  при її товщині  $b=1,5$  мм), який передбачається використовувати для подачі плоско-радіальних струменів гелеутворюючих складів на відстані до 10 м, та насадка ствола (висота 3,3 мм та ширина 195,8 мм, що відповідає області раціональних геометричних параметрів) у разі пожежогасіння на більшій відстані. Показано, що з рівнем значимості  $\alpha = 0,05$ , розрахованим за критерієм Стюдента, результати гасіння модельного вогнища за допомогою розробленого способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі вогнегасної речовини є у двічі кращими (як за кількістю ВГР, так і за часом гасіння), ніж у випадку гасіння модельного вогнища за допомогою води. Також, для проведення досліджень щодо вдосконалення тактичних прийомів бінарної подачі гелеутворюючих складів до осередку пожежі з надійністю 0,95 можна використовувати підфарбовану воду.

4. Впровадження розробленого способу дистанційного пожежогасіння шляхом бінарної подачі компонентів вогнегасної речовини стволами-розпилювачами для подачі плоско-радіальних струменів показало, що його застосування при виборі варіантів (навісної або прямої) подачі гелеутворюючих складів буде ефективним, якщо:

- у разі гасіння навісними струменями для потрапляння вогнегасної речовини у площину пожежі необхідно не допустити вихід осьових ліній струменів за зону вогнища пожежі (при цьому пожежогасіння з використанням гелеутворюючих складів є вдвічі ефективнішим у порівнянні з гасінням водою);

- у випадку прямої подачі вогнегасної речовини необхідно спиратись на розроблену номограму, в якій реалізовані обґрунтовані співвідношення між відстанню до епіцентру пожежі і кутом нахилу стволів-розпилювачів установки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Росоха С.В. Анализ процесса подачи и траектории потока струй огнетушащего вещества установкой АУТГОС / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, А.А. Киреев, К.М. Остапов // Проблемы пожарной безопасности. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 38. – С. 56–65.
2. Росоха С.В. Решение задачи конструирования пожарного ствола-распылителя / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов, Ю.Ю. Дендаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 89. – С. 228-233.
3. Росоха С.В. Моделирование тушения пожаров класса А бинарными гелеобразующими составами / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, Ю.Ю. Дендаренко, В.А. Шаломов, К.М. Остапов // Сб. науч. тр.: Строительство, Материаловедение, Машиностроение. – Днепр: ПГАСА, 2016. – Вып. 92. – С. 120–125.
4. Росоха С.В. Планирование эксперимента и конструирование насадок пожарных стволов для дистанционного тушения пожаров гелеобразующими составами / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов, Ю.Ю. Дендаренко // Вісник кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2016. – Випуск 4(99). – С. 94–99.
5. Росоха С.В. Повышение эффективности пожаротушения подачей огнетушащих составов бинарными потоками / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, В.В. Сыровой, К.М. Остапов // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 85, С. 275-280.
6. Остапов К.М. Дистанционное пожаротушение бинарными потоками огнетушащих составов / К.М. Остапов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 86, С. 276–279.
7. Кириченко И.К. Планирование эксперимента в задачах дистанционной подачи гелеобразующих составов в очаги возгораний / И.К. Кириченко, В.В. Сыровой, К.М. Остапов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2016. – Вип. 40. – С. 99–107.

8. Сенчихин Ю.Н. Тактика подачи потока струй огнетушащих составляющих установками типа АУТГОС / Ю.Н. Сенчихин, В.В. Сыровой, К.М. Остапов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2017. – Вып. 41. – С. 168–176.

9. Остапов К.М. Особенности применения опытной установки АУТГОС-М / К.М. Остапов, Ю.Н. Сенчихин, В.В. Сыровой // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2017. – Вип. 88, С. 276–279.

10. Ostarov K.M. Development of the installation for the binary feed of gelling formulations to extinguishing facilities / K.M. Ostarov, Yu.N. SENCHIHIN, V.V. SYROVOY // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – Budapest: Rózsadomb, 2017. – Issue 132 – P. 75–77.

11. Росоха С.В. Исследование траекторий движения струй гелеобразующих составов / С.В. Росоха, В.В. Сыровой, К.М. Остапов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2017. – Вып. 42. – С. 168-176.

12. Киреев А.А. Об особенностях тушения пожаров гелеобразующими огнетушащими составами / А.А. Киреев, К.М. Остапов, Ю.Н. Сенчихин // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: міжнар. наук-прак. конф., 01-02 жовтня, 2015 р. : тези доп. – Х., 2015. – С. 73–75.

13. Остапов К.М. Исследование тактико-технических аспектов применения автономной установки тушения гелеобразующими составами / К.М. Остапов, Ю.Н. Сенчихин // Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах: всеукр. наук.-прак. конф., 28-29 жовтня, 2015 р. : тези доп. – Х., 2015. – С. 169–171.

14. Росоха С.В. Имитационное моделирование движения огнетушащих составляющих ГОС установками АУТГОС и АУТГОС-П / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов // Чрезвычайные ситуации: Теория, практика, инновации: міжнар. науч.-прак. конф., 19-20 жовтня, 2015 р.: тезиси докладов. – Гомель, 2015. – С. 55–56.

15. Остапов К.М. Способ имитационного моделирования подачи составляющих ГОС установками типа АУТГОС / К.М. Остапов, С.В. Росоха // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. матер. X межд. научн.-практ. конф. молод. учен.: курс. (студ.), слуш. магистр. и адъюнктов (аспир.) 7-8 апреля 2016 года: В 2-х ч. Ч. 1. – Минск: КИИ, 2016. – С. 151–152.

16. Сенчихин Ю.Н. К задаче о подборе рациональных параметров при конструировании пожарного ствола-распылителя / Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов // Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матер. міжн. наук.-практ. конф. 20-21 жовтня 2016 року. – Львів: ЛДУБЖД, 2016. – С. 449–451.

17. Остапов К.М. Разработка тактического обеспечения к принятию решений рационального (оптимального) использования АУТГОС при работе двумя стволами, подающими ГОС в очаг пожара / К.М. Остапов, Ю.Н. Сенчихин // Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до європейського простору: мат. 18 всеукр. наук.-практ. конф. рят. 11-12 жовтня 2016 року. – Київ: XV Міжнар. вист. форум «Технології захисту/ПожТех – 2016». – С. 228–230.

18. Остапов К.М. Экспериментально-теоретические исследования пожаротушения гелеобразующими составами / К.М. Остапов // «Проблеми пожежної безпеки» («Fire Safety Issues») матер. міжн. наук.-практ. конф. 28-29 жовтня 2016 року. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – С. 31–35.

19. Сыровой В.В. Особенности бинарной подачи гелеобразующих составов на пожаротушение / В.В. Сыровой, К.М. Остапов, Ю.Н. Сенчихин // «Проблеми пожежної безпеки» («Fire Safety Issues») матер. міжн. наук.-практ. конф. 28-29 жовтня 2016 року. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – С. 31–35.

20. Сенчихин Ю.Н. Техническое устройство (насадок) для создания плоскорадиальной завесы с улучшенными тактико-техническими показателями / Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов, Ю.Ю. Дендаренко // Чрезвычайные ситуации:



предупреждение и ликвидация. Матер. VII межд. науч.-практ. конф., Минск: НИИ ПБ и МЧС республики Беларусь – 2016 г., 520 с. – С. 251–252.

21. Остапов К.М. Пожежогасіння за допомогою установки автономного гасіння гелеутворюючими складами АУТГОС-М / К.М. Остапов, Ю.Н. Сенчихин, В.В. Сыровой // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій. Матер. VIII межн. наук.-практ. конф., 18-19 травня 2017 р.: тези доп. – Ч., 2017. – С. 251–252.

22. Дендаренко Ю.Ю. Вплив гідравлічних параметрів плоскорадіального водяного струменя-екрана на його нерозривність / Ю.Ю. Дендаренко, О.Д. Блащук, Ю.М. Сенчихін, К.М. Остапов // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій. Матер. VIII межн. наук.-практ. конф., 18-19 травня 2017 р.: тези доп. – Ч., 2017. – С. 165–166.

23. Дендаренко Ю.Ю. Удосконалення конструкції насадка на пожежний лафетний ствол для створення плоскорадіального водяного струменя-екрана / Ю.Ю. Дендаренко, О.Д. Блащук, Ю.М. Сенчихін, К.М. Остапов // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій. Матер. VIII межн. наук.-практ. конф., 18-19 травня 2017 р.: тези доп. – Ч., 2017. – С. 178–179.

24. Остапов К.М. Тактические приемы подачи огнетушащих составов с использованием АУТГОС-М / К.М. Остапов, В.В. Сыровой // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: методы, технологии, проблемы и перспективы. Матер. межн. заоч. науч.-практ. конф., 28 апреля 2017 г.: тезисы докл. – Минск, 2017. – С. 126–131.

25. Сенчихін Ю.М. Совершенствование устройств дистанционной доставки гелеобразующих составов к очагам возгорания / Ю.М. Сенчихін, К.М. Остапов // Надзвичайні ситуації: безпека та захист. матер. VII всеукр. наук.-практ. конф., 20-21 жовтня 2017 р.: тези доп. – Ч., 2017. – С. 171-173.

26. Пат. 105235 Україна, МПК А62 С31/00. Насадок для створення плоско-радіальної водяної завіси / Росоха С.В., Сенчихін Ю.М., Голендер В.А., Остапов К.М., Дендаренко Ю.Ю., заявник і патентовласник Національний

університет цивільного захисту України. – № 201508629. Заявл. 07.09.2015; Надр. 10.03.2016; Бюл. 5. – 4 с.

27. Пат. 113280 Україна, МПК А62 С13/00, А62 С35/10, А62 С37/12. Улаштування ремонтно-придатного вогнегасника / Росоха С.В., Ткачова Ю.М. Сенчихін Ю.М., Голендер В.А., Остапов К.М. - заявник і патентовласник ПП ППТП «СПЕЦПОЖТЕХНІКА». – № 201606618. Заявл. 16.06.2016; Надр. 25.01.2016; Бюл. 2. – 4 с.

28. Пат. 114070 Україна, МПК А 62 С31/00, А62 С31/02. Ствол-розпилювач з насадком для створення плоско-радіального струменю рідинної вогнегасної речовини / І.А. Лемешев, В.А. Голендер, С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихін, К.М. Остапов, заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № 201603989. Заявл. 09.09.2016; Надр. 27.02.2017; Бюл. 4. – 4 с.

29. Пат. 118440 Україна, МПК А62 С31/00, А62 С31/02. Установка дистанційного гасіння пожеж гелеутворюючими складами / Голендер В.А., Росоха С.В., Сенчихін Ю.Н., Сировой В.В., Остапов К.М. – заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № 201701600. Заявл. 20.02.2017; Надр. 10.08.2017; Бюл. 15. – 5 с.

30. Пат. 116757 Україна, МПК А62С 5/033, А62С 31/00. Спосіб гасіння пожеж / Голендер В.А., Кіреєв О.О., Сенчихін Ю.Н., Росоха С.В., Остапов К.М., Ткачов А.Ф. – заявник і патентовласник ПП «НПП «СПЕЦПОЖТЕХНІКА»». – № 201602864. Заявл. 22.03.2016; Надр. 25.04.2018; Бюл. 8. – 5 с.

31. Мировая пожарная статистика. Отчет № 22 / Международная Ассоциация Пожарно-спасательных служб. Центр пожарной статистики // 2012 / [www.ctif.org](http://www.ctif.org).

32. Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А: монография / Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.

33. Основи теорії розвитку та припинення горіння (Ч. 1) / [Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М.]. – Черкаси: ЧПБ, 2005. – 350 с.
34. Беліков А.С. Підвищення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій за рахунок зниження горючості деревини / А.С. Беліков, В.А. Шаломов, Є.М. Корж, С.Ю. Рагімов // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. - 2017. - Вып. 98. - С. 38-44.
35. Беликов А.С. Огнезащитное покрытие для снижения горючести древесины / А.С. Беликов, Г.Г. Капленко, Е.Н. Корж, Е.В. Дзедина, Л.Д. Устимович // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Безопасность жизнедеятельности. - 2016. - Вып. 93. - С. 221-227.
36. Тарахно О.В. Фізико–хімічні основи використання води в пожежній справі / О.В. Тарахно, А.Я. Шаршанов. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 252 с.
37. Карпенчук И.В. Методы расчёта кавитационных сопел для получения мелкораспылённой воды или водного огнетушащего раствора / И.В. Карпенчук, С.Г. Петуховский // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2007. – № 2 (16). С. 162–169.
38. Калугін В.Д., Кустов М.В. Вогнегасні емульсії: теорія, сполуки, використання: монографія / В.Д. Калугін, М.В. Кустов – Х. : НУЦЗУ, 2011. – 178 с.
39. John Norman Fire Officers Handbook of Tactics / Norman John. –South Sheridan Road Tulsa, Oklahoma, 2012 – 311 p.
40. Основи тактики гасіння пожеж: навч. посіб. / В.В. Сировий, Ю.М. Сенчихін, А.А. Лісняк, І.Г. Дерев`янку. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – 216 с.
41. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности / А.Г. Котов. – К.: Репро-Графика, 2003.– 270 с.
42. Стволи пожежні ручні. Технічні умови: ДСТУ 2112-92 (ГОСТ 9923-93). – [Чинний від 1994-01-01]. –К.: Держстандарт України, 1994. – 31 с.

43. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту / затверджений наказом МНС України від 13.03.2012 р. № 575. – К., 2012. – 152 с.

44. Вамболь С.О. Моделювання дисперсної фази процесу встановлення водних завіс у системах управління екологічної безпекою / С.О. Вамболь // Екол. безпека. – 2012. – № 2. – С. 15–18.

45. Горбань Ю.И. Пожарные работы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране / Горбань Ю.И. – М.: Пожнаука, 2013. – 352 с.

46. Дендаренко Ю.Ю., Виноградов А.Г., Дядченко О.І., Шеренков І.А. Новий підхід до охолодження резервуарів з нафтою і нафтопродуктами під час пожеж: Матеріали наук.-практ. конф. // Науковий збірник. – Черкаси: ЧПБ, 2001. – С. 134–139.

47. Патент 80884 Україна, МПК (2006) А 62 С 31/00. Насадок для створення плоскорадіальної водяної завіси / Шкарабура М.Г., Дендаренко Ю.Ю., Дядченко О.І., Вітько М.М., Тищенко Є.А, заявник і патентовласник Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України. – Надр. 12.11.2007, Бюл. №18.

48. Мешалкин Е.А. Состояние и перспективы разработок изделий для тушения тонкораспыленной водой / Е.А. Мешалки, П.П. Шевченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 1. – С. 68–75.

49. Христич В.В. Сучасні способи підвищення ефективності гасіння пожежі розпорошеною водою / В.В. Христич, М.В. Маляров, С.М. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – Вып. 40. – С. 201–205.

50. Smith D.P. Water mist fire suppression system. / D.P. Smith // Fire Safety Eng. – 1995. – V. 2, № 2. – P. 10–15.

51. Данэнгадэр С.А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизм, особенности, перспективы / С.А. Данэнгадэр // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13, № 6. – С. 78–81.

52. Chow W.K. A review on studying extinguishing room fires by water mist / Chow W.K., Li Y.F. // J. Appl. Fire Sci. – 2002–2003. – V. 11, № 4. – С. 367–403.

53. Mawhinney J.R. A closer look at the fire extinguishing properties of water mist / J.R. Mawhinney, B.Z. Dlygogorski, A.K Kim // Fire Saf. Sci. Proc. 4-th Int. Symp. – 1994. – P. 47–60.

54. Душкин А.Л. Оптимизация параметров потоков тонкораспылённых огнетушащих веществ / А.Л. Душкин, А.В. Карпышев, М.Д. Сегаль // Пожаровзрывобезопасность. 2010. – № 1. – С. 39–44.

55. Лінчевський Є.А. Розробка тактичного забезпечення до імпульсних вогнегасників / Є.А. Лінчевський, В.В. Сировий // Пожежна безпека: [зб. наук. праць]. – Ч. 3. – Черкаси: ЧИПБ. – 1999. – С. 21–23.

56. Ross R.H. Water film thickness effect from automatic fire sprinklers / R.H. Ross, D.L. Honkonen, S.R. Salaymeb // Trans. Amer. Nucl. Soc. – 1991. – V. 63. – P. 188–220.

57. The Milford Haven tank fire / Golec R.A. «Hydrocarbon Process», 1985, № 10, Sec. 1, P. 97–98.

58. Данэнгадэр С.А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизм, особенности, перспективы / С.А. Данэнгадэр // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13, № 6. – С. 78–81.

59. Цикановский В.Л. Принципы построения переносных импульсных огнетушителей для профессиональных спасателей/ В.Л. Цикановский // Перспективные разработки науки и техники: межд. науч-практ. конф., 16-30 ноября, 2006 г.: тезисы докл. – Прага – Белгород – Днепропетровск, – 2006. – С. 312–314.

60. Бабенко В.С. Дальнобойность гидроимпульсной струи / В.С. Бабенко, А.П. Кремена // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – Вып. 32, С. 13–19.

61. Дугин Г.С. Новые решения и оборудование для тушения пожаров / Г.С. Дугин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2007. – № 6. – С. 68–71.

62. Вогнегасніречовини : посібник / [Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П. та ін.]. – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.

63. Бондаренко С.Н. Обзор современных средств объёмного тушения / С.Н. Бондаренко // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУБЖ, 2001. – С. 174–176.
64. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / А.Н. Семко. – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
65. Виноградов С.А. Исследования изменения скорости полета высокоскоростной струи водяного огнетушащего вещества / С.А. Виноградов, И.Н. Грицына, Р.В. Пономаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – Вып. 34. – С. 51–56.
66. Храмцов С.П. Вода для тушения пожаров / С.П. Храмцов // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 4. – С. 72–75.
67. Жартовський С.В. Використання водних вогнегасних речовин комплексної дії для гасіння твердих і рідких речовин / С.В. Жартовський, Р.В. Уханський, М.І. Копильний // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2013. – № 14. – С. 112–119.
68. Собурь С.В. Установки пожаротушения автоматические / Собурь С.В. – М.: ПожКнига, 2012. – 336 с.
69. Исаева Л.К. Экология пожаров / Л.К. Исаева. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 273 с.
70. Analysis of sol evolution in sol-gel synthesis by use of rheological measurements / Tănase Dobre, Oana Cristina Părvulescu, Gustav Iavorschi, Anicuța Stoica, Marta Stroescu. // U.P. B. Sci. Bull., Series B, V. 71, Iss. 3, 2009, p. 55–64.
71. Глосарій термінів з хімії [уклад. Й. Опейда, О. Швайка]. — Донецьк: Вебер, 2008. — 758 с.
72. Біофізична та колоїдна хімія / [А.С. Мороз, Л.П. Яворська, Д.Д. Луцевич та ін.]. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 600 с.
73. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. — Донецьк.: Східний видавничий дім, 2001—2004.
74. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.Д. Сумм. — 2-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 240 с.

75. Скородумова О.Б. Исследование процессов термодеструкции органо-неорганических гелей  $\text{SiO}_2$  / О.Б. Скородумова, Е.В. Тарахно, А.Ю. Лозовской // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 231–235.

76. Савченко А. В. Результаты комплексного исследования огнетушащей эффективности гелеобразующих систем для тушения пожаров в жилых зданиях / А. В. Савченко, О. А. Островерх, О. М. Семкив, А. С. Холодный // Проблемы пожарной безопасности. - 2014. - Вып. 35. - С. 188-193

77. Киреев А.А. Исследование концентрационных областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах на основе силиката натрия / А.А. Киреев, В.М. Романов, Г.В. Тарасова // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: АО «Фолио», 2004. – Вып. 15.– С. 107–110.

78. Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія: підручник / В.І. Гомонай. — Ужгород: ВАТ «Патент», 2006. — 496 с.

79. Дібрівний В.М. Курс колоїдної хімії (Поверхневі явища та дисперсні системи): навчальний посібник / В.М. Дібрівний, В.В. Сергеев, Ю.Я. Ван-Чин-Сян. — Львів: «Інтелект — Захід», 2008. — 160 с.

80. Колоїдна хімія з основами фізичної хімії високомолекулярних сполук: підручник / І.О. Усков, Б.Г. Єременко, С.С. Пелішенко, В.В. Нижник. – К.: Вища шк., 1995. – 142 с.

81. Савченко А. В. Оценочные испытания технологии использования гелеобразующих систем для защиты резервуаров хранения нефтепродуктов от теплового воздействия пожара / А. В. Савченко, О. А. Островерх, И. М. Хмыров, Т. М. Ковалевская // Проблемы пожарной безопасности. - 2017. - Вып. 41. - С. 154-161.

82. Кіреєв О.О. Определение областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2\text{-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2\text{-FeSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  / О.О. Кіреєв, В.М. Романов, А.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: АО «Фолио», 2004.– специальный вып. – С. 34–37.

83. Hamounda A.A. Factors affecting alkaline sodium silicate gelation for in-depth reservoir profile modification / A.A. Hamounda, H.A. Akhlaghi Amiri // Energies, 2014. – no. 7. – pp. 568–590.

84. Деклараційний пат. 60882А Україна, МПК7 А 62 С 1/00. Спосіб гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В.; заявник та патентовласник Академія пожежної безпеки України. – № 20030326004; заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, Бюл. № 10.

85. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК7 А 62 С 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В.; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – № 2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. № 32.

86. Савченко А. В. Перспективы использование огнетушащих бинарных гелеобразующих систем с морской водой в качестве катализатора гелеобразования / А. В. Савченко, О. А. Островерх // Проблемы пожарной безопасности. - 2017. - Вып. 42. - С. 121-127.

87. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань: ДСТУ 3675–98. – [Чинний від 1998-01-30]. – К.: Держстандарт України, 1998. – 34 с.

88. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги : ДСТУ 3734–98. – [Чинний від 2000-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2000. – 12 с.

89. Ольшанский В.П. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй / Ольшанский В.П., Халыпа В.М., Дубовик О.А. – Харьков: Митець, 2004. – 116 с.

90. Шаповалова О.О. Розробка схем пожежних стволів, оптимальних за критерієм дальності подачі вогнегасної речовини. Дисертація кандидата технічних наук. – Харків: АПБ України, 2000. – 182 с.

91. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, А.Е. Шаповалова. – Харьков: «Фолио», 2001. – 195 с.



92. Ольшанский В.П. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ / В.П. Ольшанский, О.А. Дубовик. – Харьков. «Митець», 2005. – 236 с.
93. Шкоруп О.І. Визначення раціональних параметрів комбінованої подачі вогнегасних речовин для підвищення ефективності пожежогасіння: дис. канд. техн. наук: 06.10.03. – Макиївка, 2003. – 211 с.
94. Куценко Л.М. Методи геометричного моделювання в задачах пожежної безпеки / Куценко Л.М., Бобов С.В., Росоха С.В. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 175 с.
95. Рева Г.В. Анімаційне комп'ютерне моделювання деяких процесів в задачах пожежної безпеки / Г.В. Рева, Л.М. Куценко, С.В. Росоха // Проблемы пожарной безопасности. Юбилейный выпуск. – Харьков: АПБУ, 2003. – С. 147–163.
96. Ольшанский В.П. О пологой траектории гидравлической пожарной струи / В.П. Ольшанский // Вестник НТУ «ХПИ» Динамика и прочность машин. –2004. – Вып. 20. – С. 81–86.
97. Valluri S.R., Jeffrey D.J., Corless R.M. Some applications of the Lambert W function to physics / S.R. Valluri, D.J. Jeffrey, R.M. Corless // Canadian: J. Physics, 2000. – Vol. 78. – p. 823–831.
98. Аладьев В.З. Программирование и разработка приложений в Maple: монография / В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба. – Гродно: ГрГУ; Таллинн: Межд. акад. Ноосферы, Балт. отд., 2007. – 458 с.
99. Кузьо І. В. Теоретична механіка. Динаміка: [навч. посіб. для вищ. техн. навч. закл. III-IV рівнів акредитації]. Кн. 1 / І.В. Кузьо, Т.М. Ванькович, Я.А. Зінько. – Львів: Растр-7, 2012. – 444 с.
100. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ДСТУ ГОСТ 8.207:2008. – [Чинний від 2008-10-01]. – К.: Держстандарт України, 2008. – 7 с.
101. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика / [Л.Є. Пелевін, Д.О. Міщук, В.П. Рашківський та ін.]. – К.: КНУБА, МОНУ, 2015. – 340 с.

102. Пархоменко Р.В. Пожежна тактика: Практикум. Вид. 2-ге / Р.В. Пархоменко, Б.В. Болібрух, Д.О. Чалий. – Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-2006», 2012. – 408 с.

103. Delmar Learning Firefighter's Handbook Essentials of Firefighting and Emergency Response / Learning Delmar. – USA: Delmar Publishers, 2004 – 1056 p.

104. Кіреєв О.О. Використання гелеутворюючих систем для попередження, локалізації та ліквідації пожеж та загорянь / О.О. Кіреєв, С.Д. Муравйов, О.В. Бабенко // Хранение и переработка зерна. – 2003. – № 12(54). – С. 52–54.

105. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих составов на модельных очагах пожаров класса А из ДВП и ДСП / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2011. – Вып. 30. – С. 83–88.

106. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І.В., Бойко О.Р., Софіна О.Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.

107. Лугінін О.Є. Статистика. Підручник. 2-е видання, перероблене та доповнене / О.Є. Лугінін. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 608 с.

108. Беликов А.С. Принятие решений по снижению потерь времени при ликвидации аварий на объектах / А.С. Беликов, А.С. Чаплыгин, В.А. Шаломов, А.М. Кравчук // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. - 2014. - Вып. 76. - С. 18-22.

109. Лугінін О.Є., Білоусова С.В. Статистика: Підручник / О.Є. Лугінін, С.В. Білоусова. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 580 с.

110. Свердан М.М. Основи наукових досліджень: навч. посіб. / М.М. Свердан, М.Р. Свердан. – Чернівці : Рута, 2006. – 352 с.

111. Основи теорії планування експерименту. Навч. Посібник / В.М. Засименко — Львів: Видав. ДУ «ЛП», 2000. — 205 с.

112. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології: наук. зб. Вип. 12 / Гол. ред. Я. Бурак. – Л. : Центр мат. моделювання Ін-ту приклад. проблем механіки і мат. ім. Я. Підстригача НАН України, 2010. – 215 с.

113. Горбань І.І. Теорія ймовірностей і математична статистика для наукових працівників та інженерів / І.І. Горбань. – Київ : ІПММ і С НАН України, 2003. – С. 244.

114. Михалевич В.М. Математичне програмування разом з Maple. Частина I. Методи розв'язування задач лінійного програмування: навчальний посібник / В.М. Михалевич – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 158 с.

115. Економіко-математичне моделювання: навч. посібн. / Т.С. Клебанова, О.В. Раєвнева, С.В. Прокопович та ін. – Х : ІНЖЕК, 2010. – 328 с.

116. Дудко В.С. Економіко-математичне моделювання: навчальний посібник для студ. вищ. навчал. закл.: в 2 частинах / В.С. Дудко, Т.Д. Краснова, В.В. Лаговський. – Ірпінь: НУДПСУ, 2010. – 448 с.

117. Росоха С.В. Анімаційне комп'ютерне моделювання деяких процесів в задачах пожежної безпеки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка» / С.В. Росоха. — Київ, 2003. — 16, [1] с.

118. Савченко А.В. Оценка времени тушения пожара в квартире при использовании гелеобразующих составов. Учет коэффициента использования огнетушащего вещества / А.В. Савченко, А.А. Киреев, А.А. Шаршанов // Науковий вісник будівництва: [зб. наук. праць]. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ, АБУ, 2007. – Вип. 40. – С. 281–287

119. Росоха С.В. Геометрична форма струменя рідини з пожежного ствола з урахуванням опору повітря // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 16. – Мелітополь: ТДАТА. – 2002 – С. 88–92.

120. Dariusz Gil, Piotr Placek «Armatura wodna i pianowa», Centralna Szkoła Państwowej, Straży Pożarnej, Czestochowa, 2003, С. 65–67.

121. Вамболь С.О. Технічна механіка рідини і газу: підручник / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко. – Х.: НУЦЗУ, 2016. 300 с.

Наукове видання

Остапов Костянтин Михайлович  
Росоха Сергій Володимирович  
Сенчихін Юрій Миколайович  
Сировий Володимир Васильович

УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОДАВАННЯ ВОГНЕГАСНИХ  
РЕЧОВИН З ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ СКЛАДОВИМИ

монографія

Підписано до друку 24.10.2019. Формат 60x80 1/16.  
Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. аркушів 8,0.  
Навч.-вид. лист. 5,3. Тираж 300 прим.

НУЦЗУ, 61023, Харків, вул. Чернишевська, 94.