

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

---

На правах рукопису



*СИЗИКОВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА  
УСТАНОВОК ПОРОШКОВОГО  
ПОЖЕЖОГАСІННЯ З УНІФІКОВАНИМИ  
АЕРУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ**

05.26.02 — Пожежна безпека

**Автореферат:**

дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

**Харків — 1997**

3 14.84



00738133 (P)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському науково-дослідному інституті пожежної безпеки МВС України (м. Київ) та Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури.

Наукові керівники:

- доктор технічних наук, старший науковий співробітник *Жартовський Володимир Михайлович*;
- кандидат технічних наук *Дунюшкін Володимир Олександрович*.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор *Прохач Едуард Юхимович*;
- кандидат технічних наук *Чередниченко Іван Іванович*.

Провідна організація — Харківський інститут пожежної безпеки МВС України.

Захист дисертації відбудеться *2 липня* 1997 року о *11<sup>00</sup>* годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д02.07.02 при Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури за адресою: 310002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури.

Автореферат розісланий *26 травня 1997р*

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

кандидат технічних наук, доцент

Е. М. Кутовий

## АКТУАЛЬНІСТЬ

Одним із факторів забезпечення протипожежного захисту об'єктів є застосування установок пожежогасіння для гасіння або локалізації пожежі на протязі часу, необхідного для введення в дію оперативних сил і засобів пожежної охорони.

Статистика з пожежами показує, що в Україні залишається тенденція до збільшення їх кількості, числа жертв та матеріального збитку. За минулий 1996 р. в Україні виникло 46,8 тис. пожеж, внаслідок яких загинуло 2462 особи, прямий збиток складає 17,2 млн. гривень. Збитки від пожеж на промислових об'єктах зросли на 24,2%.

Спринклерні і дренчерні установки водяного и пінного пожежогасіння із-за високої інерційності спрацювання (до 600 с) і недостатньої вогнегасної здатності при гасінні пожеж класів В і С не вирішують завдань по забезпеченню пожежної безпеки об'єктів, зокрема нафто- і газодобувної і переробної галузях промисловості, які нині в Україні інтенсивно розвиваються. За кордоном вже більш ніж 40 років для протипожежного захисту таких об'єктів застосовують установки порошкового пожежогасіння (УПП) різноманітних модифікацій і типорозмірів. Перші спроби по створенню УПП, в Україні показали їх перспективність і необхідність подальшого удосконалення та розширення тактико-технічних характеристик (ТТХ).

Основні положення Закону України "Про пожежну безпеку" та Постанови КМ України від 3 квітня 1995 р. №238 "Про затвердження Державної програми забезпечення пожежної безпеки на 1995-2000 роки", як пріоритетний напрям, визначають виконання комплексу НДДКР, пов'язаних з розробкою і впровадженням у виробництво нових видів пожежної техніки і засобів пожежогасіння, в тому числі і УПП.



Розробка і застосування нових УПП з удосконаленими ТТХ, різноманітних конструктивних виконань (з лафетними стволами, з розподільчими мережами, з ручними пожежними стволами), направлені на вирішення проблем підвищення ефективності систем протипожежного захисту об'єктів, що і обумовило вибір теми дисертації і мету роботи.

**МЕТА РОБОТИ** - підвищення ефективності систем протипожежного захисту об'єктів шляхом розробки і застосування УПП з уніфікованими аерувальними пристроями.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні основні завдання: а) розробити нові технічні рішення пристроїв для підготовки ВП до витіснення з резервуарів УПП; б) провести аналіз і розробити класифікацію способів і пристроїв для підготовки ВП до витіснення з УПП в осередок пожежі; в) провести експериментальні дослідження по виявленню параметрів, що характеризують фізико-механічний стан ВП для оцінювання якості його аерації; г) провести теоретичні дослідження по обґрунтуванню діапазону швидкостей аерації ВП в УПП і визначенню впливу температури навколишнього середовища на процес аерації ВП; д) розробити методику і провести експериментальні дослідження процесу аерації ВП в УПП; ж) визначити математичні залежності, що характеризують процес аерації ВП в УПП, розробити та реалізувати на ПЕОМ алгоритм розрахунку конструктивних параметрів аерувальних пристроїв (АП) УПП, що забезпечують якісну аерацію ВП, мінімізацію інерційності спрацювання і нормативні витратні характеристики УПП; к) розробити нормативну документацію на ряд модифікацій УПП з уніфікованими АП - УППУ; л) провести роботи по впровадженню розроблених УПП в серійне виробництво та застосуванню їх в системах протипожежного захисту об'єктів.

**ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ** - установки порошкового пожежогасіння з аерувальними пристроями.

**ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ** - процес аерації ВП в УПП, процес подачі ВП із УПП, процес гасіння пожеж УПП.

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ:** аналіз і узагальнення результатів досліджень, досвіду розробки УПП з АП; методи математичної статистики і обробки даних; лабораторні і стендові дослідження процесу аерації ВП в УПП, фізико-механічного стану ВП, процесу витоку газопорошкової суміші із УПП; натурні вогневі випробування УППУ з уніфікованими АП.

**НАУКОВА НОВИЗНА:** розроблена методика і проведені експериментальні дослідження процесу аерації ВП; теоретично обгрунтовано діапазон швидкостей аерації ВП і експериментально визначені значення швидкостей аерації ВП; теоретично обгрунтовано і експериментально підтверджено вплив температури навколишнього середовища (при 20°C та мінус 60°C) на процес аерації ВП в УПП; визначені математичні залежності, що характеризують процес аерації ВП в УПП; розроблений і реалізований на ПЕОМ алгоритм розрахунку конструктивних параметрів АП УПП; запропонована класифікація способів і пристроїв для підготовки ВП до витіснення з резервуарів УПП в осередок пожежі; розроблені технічні рішення пристроїв для підготовки ВП до витіснення із резервуара УПП; створено ряд модифікацій УПП з уніфікованими АП, що забезпечують якісну аерацію ВП, мінімізацію інерційності спрацювання і нормативні витратні характеристики (патент України №4459); розроблені пропозиції по схемно-компоновочним рішенням УПП для систем протипожежного захисту об'єктів.

#### **НА ЗАХИСТ ВІНОСЯТЬСЯ:**

- методика проведення і результати експериментальних досліджень процесу аерації ВП;
- математичні залежності, що характеризують процес аерації ВП в УПП і алгоритм розрахунку конструктивних параметрів ВП УПП;

- класифікація способів і пристроїв для підготовки ВП до витіснення з резервуарів УПП в осередок пожежі;

- конструктивні рішення УПП, що оснащені уніфікованими АП: з лафетними стволами, з розподільчими мережами, з ручними пожежними стволами і пропозиції по схемно-компоновочним рішенням УПП для систем протипожежного захисту об'єктів.

**ДОСТОВІРНІСТЬ** результатів, одержаних в роботі підтверджується застосуванням теоретично обгрунтованих методів, задовільним погодженням результатів теоретичних, експериментальних і натурних досліджень, застосуванням сучасної вимірювальної та реєстраційної апаратури.

**ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ.** Розроблені технічні рішення АП для УПП, алгоритм розрахунку конструктивних параметрів АП, виявлені математичні залежності, що характеризують процес аерації ВП в УПП є науково-методичною основою для розробки нових і удосконалення існуючих УПП. На основі одержаних в роботі результатів в УкрНДІПБ МВС України розроблена нормативна документація на УПП з уніфікованими АП - ТУ У 14347768.001-94, ТУ У 14347768.002-96.

**ОСОБИСТИЙ ВКЛАД** автора полягає в розробці методики експериментальних досліджень процесу аерації ВП в УПП; обгрунтуванні діапазону швидкостей аерації ВП в УПП і впливу температури навколишнього середовища на процес аерації ВП в УПП /2, 3, 4/; виробленні технічних вимог до АП УПП; визначенні математичних залежностей, що характеризують процес аерації ВП в УПП і розробці алгоритму розрахунку конструктивних параметрів АП в УПП /1/; розробці технічних рішень пристроїв для підготовки ВП для витіснення із резервуарів УПП в осередок пожежі /6, 9, 10/, а також у впровадженні результатів, одержаних в цій роботі, в практику пожежогасіння /5, 7, 8/.

**РЕАЛІЗАЦІЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.** Основні результати роботи реалізовані в рамках НДР, що проводились

по заявці УДПО МВС України (№ державної реєстрації 0196U012742), а також ряду господарчих договорів поміж УкрНДІПБ і підприємством "Полтавагазпром", що проводились в період з 1993 р. по 1996 р.

Результати досліджень впроваджені при розробці технічної документації на УПП з лафетним стволом - УППУ-250АС, УППУ-500АС (ТУ У 14347768.001-94), УПП з розподільчими мережами - УППУ-250РС, УППУ-250РС-01, УППУ-250РС-02, УППУ-500РС, УППУ-500РС-01, УППУ-500РС-02 (ТУ У 14347768.002-96), (патент України №4459), а також УПП з ручними пожежними стволами ОПП-250 (ТУ 220-РСФСР-44-88), (патент Росії №1558409).

На Прилуцькому орендному заводі "Пожежина" і Давліканівському заводі протипожежного обладнання (Росія) освоєно серійний випуск ука-заних установок.

УПП типа УППУ знайшли застосування для протипожежного захисту пожежонебезпечних об'єктів, зокрема на Яблунівському газопереробному заводі і Селецанському технологічному цехові стабілізації газового конденсату підприємства "Полтавагазпром".

**АПРОБАЦІЯ РОБОТИ.** Основні результати роботи доповідались на науково-практичних конференціях: "Проблеми пожежної безпеки Сибіру і Далекого Сходу (м. Іркутськ, 1988 р.); "Проблеми виробництва і застосування вогнегасних порошків" (м. Ленінград, 1991 р.); "Проблеми пожежної безпеки" (м. Харків, 1993 р.); "Пожежна безпека" (м. Київ, 1995 р.).

**ПУБЛІКАЦІЇ.** По темі дисертації опубліковано 22 наукових роботи, в тому числі: вісім наукових статей і тезисів доповідей на наукових конференціях, 11 авторських свідоцтв на винаходи, два Патента України, один Патент Росії.

**СТРУКТУРА И ОБСЯГ РОБОТИ.** Дисертаційна робота складається з вступу, 4 глав, загальних висновків, списку літератури та додатків.

Робота містить 193 сторінки і включає 30 рисунків, 27 таблиць та 8 додатків на 41 сторінці. Список літератури включає 108 найменувань.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ обґрунтовується вибір та актуальність теми, визначається мета, завдання і методологічні основи дослідження, наукова новизна та практична значимість одержаних результатів.

В ПЕРШІЙ ГЛАВІ представлено: результати дослідження можливостей застосування, режимів функціонування і конструктивних особливостей УПП; аналіз технічних вимог до УПП, що визначають їх ефективність; сформульовані завдання досліджень.

Показано, що одним із факторів забезпечення протипожежного захисту об'єктів є застосування установок пожежогасіння, зокрема УПП. Тому виявлення конструктивних параметрів УПП, що забезпечують удосконалення ТТХ УПП дає можливість підвищити ефективність систем протипожежного захисту об'єктів.

Дослідження функціонування УПП показало, що конструктивною особливістю є наявність в їх складі пристроїв, що забезпечують підготовку ВП до витіснення з УПП в осередок пожежі, зокрема, АП. Необхідність підготовки ВП до витіснення із УПП шляхом його аерації і спущування обумовлена негативною властивістю ВП до ущільнення, тобто до втрати текучості під час тривалого функціонування УПП в режимі чергування.

Однією із умов забезпечення витіснення ВП із УПП є обґрунтований вибір співвідношення маси робочого газу і маси заряду ВП в УПП.

Дослідження технічних характеристик УПП з масою заряду від 250 до 6000 кг, дозволило виявити лінійну залежність (1) маси робочого газу  $m_r$ , від маси заряду ВП -  $M_n$  перед пуском УПП:

$$m_r = (0,018 - 0,024)M_n, \text{ кг.} \quad (1)$$

Встановлено, що тривалість періоду підготовки ВП до витіснення  $t_{nн}$  із УПП з масою заряду від 250 до 6000 кг знаходиться в межах

від 15 до 30 с, а питомі затрати енергії робочого газу на витіснення ВП із УПП -  $K_w$  складають від 1500 до 2600 Дж·кг<sup>-1</sup>.

Проведений аналіз показав, що основними із вимог, які визначають ефективність УПП є: забезпечення швидкодії пуску УПП і подачі ВП із УПП в захищену зону, тобто забезпечення мінімальної інерційності спрацювання УПП; забезпечення подачі ВП із УПП в захищену зону з нормативною інтенсивністю -  $\mathcal{J}$  і тривалістю -  $\tau_u$ .

Дослідження технічних характеристик елементної бази УПП показує, що для автоматичних УПП найбільшою складовою сумарної інерційності спрацювання може бути інерційність установок пожежної сигналізації або іншого спонукального пристрою -  $\tau_{uc}$  (до 330 с), а для УПП з ручним пуском - тривалість підготовки ВП до витіснення із резервуара УПП -  $\tau_{ub}$  (до 30 с).  $\tau_{ub}$  є функцією витрати робочого газу -  $G_v$ , що поступає в резервуар з ВП при роботі УПП, яка залежить, зокрема від такого конструктивного параметра УПП, як площа поперечного перерізу проточної частини АП -  $F$ .

Тому, для здійснення розробки і застосування УПП, існує необхідність виявлення конструктивних параметрів АП УПП, що забезпечують якісну аерацію ВП, мінімізацію інерційності спрацювання і нормативні витратні характеристики УПП, яка обумовлює поставлені в роботі завдання та шляхи їх вирішення.

На рисунку 1 наведена структурно-логічна схема досліджень, що відображає мету, поставлені в роботі завдання і шляхи їх вирішення.

ГЛАВА 2 присвячена: аналізу і створенню класифікації способів та пристроїв для підготовки ВП к витісненню з УПП; експериментальним дослідженням фізико-механічного стану ВП, теоретичним та експериментальним дослідженням процесу аерації ВП.

На основі проведеного аналізу літературних і патентних джерел розроблена класифікаційна схема пристроїв для підготовки ВП до витіснення з УПП в осередок пожежі.

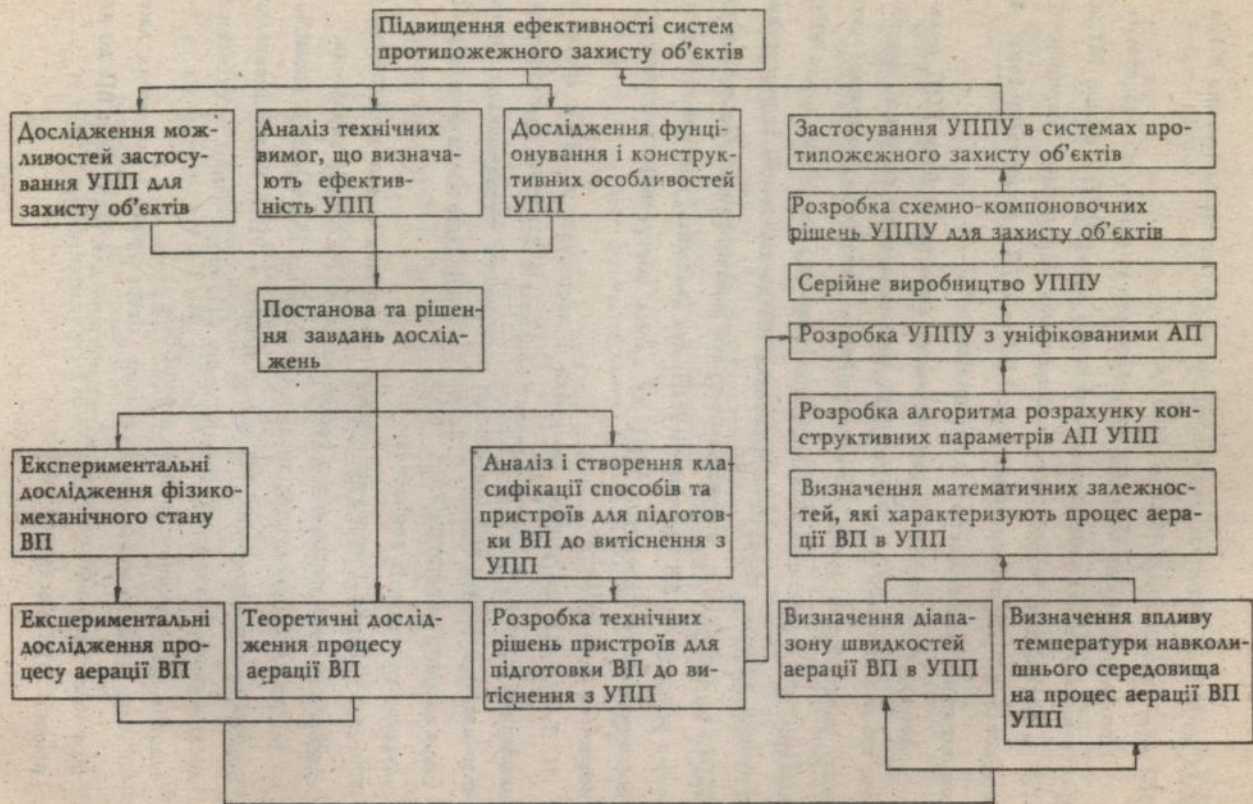


Рисунок 1 - Структурно-логічна схема дослідження

При створенні цієї схеми прийняті такі класифікаційні ознаки: вид використаної енергії для впливу на ВП в резервуарі УПП, спосіб і режим підготовки ВП, конструктивне виконання пристрою.

Встановлено, що в практиці розробки та виготовлення УПП, для здійснення підготовки ВП до витіснення найбільш поширеним є використання енергії стиснутого газу, що поступає через АП в резервуар УПП для створення в ньому робочого тиску.

Виявлені шляхи вдосконалення і тенденції розвитку пристроїв для підготовки ВП до витіснення з УПП дозволили розробити ряд нових технічних рішень /5, 6, 9, 10/, одне із яких, що захищене патентом України №4459, вибране для вирішення поставлених в роботі завдань.

В результаті експериментальних досліджень по визначенню параметрів, що характеризують фізико-механічний стан ВП для оцінювання якості аерації ВП /2/, встановлено, що початковий опір зсуву ВП марки П-2АП, складає  $\tau_0 = 340 \text{ Па}$ , а гранична напруга зсуву, що визначає перехід частинок ВП в шарі із нерухомого стану в рухомий складає  $\tau_{\text{пред}} = 400 \text{ Па}$ .

Наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу аерації ВП в УПП /3/, що спрямовані на визначення швидкостей аерації ВП і впливу на цей процес температури навколишнього середовища.

Відзначається, що при дослідженнях процесів, які супроводжуються псевдозрідженням сипких матеріалів використовується такий параметр, як швидкість псевдозрідження або, з урахуванням специфіки нестационарного, швидкоплинного (від 15 до 30 с) в замкнутому об'ємі процесу заповнення резервуара УПП стиснутим газом, - швидкість аерації ВП.

Швидкість аерації -  $\omega_a$  - це відношення об'ємної витрати стиснутого газу -  $G_V$ , що поступає з джерела тиску УПП через АП в резервуар УПП до площі поперечного перетину резервуара УПП -  $f_p$ :

$$\omega_a = G_V \cdot f_p^{-1}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (2)$$

Показано, що швидкість аерації ВП -  $\omega_a$  має знаходитись в діапазоні, де нижньою границею є мінімальна швидкість аерації ВП -  $\omega_a'$ , нижче якої частинки ВП перебувають в нерухомому стані, а верхньою границею є швидкість витання частинок ВП -  $\omega_a''$ , перевищення якої обумовлює створення стійких каналів і ущільнення ВП струменями стиснутого газу, неоднорідність по щільності і порозності структури ВП в резервуарі з ВП. Ця умова виражається такою нерівністю:

$$\omega_a' < \omega_a < \omega_a'' \quad (3)$$

Для кількісного визначення мінімальної швидкості аерації ВП стиснутим повітрям -  $\omega_a'$  і швидкості витання частинок -  $\omega_a''$  марки П-2АП, при температурах навколишнього середовища 20°C і мінус 60°C (для позначення відповідних параметрів використовуються індекси "20" і "-60"), застосовувались відомі емпіричні залежності (6) і (7), які визначають взаємозв'язок критеріїв Рейнольдса і Архімеда:

$$\omega_{a20}' = Re_{20} \cdot v_{20} \cdot d_p^{-1}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}; \quad \omega_{a-60}' = Re_{-60} \cdot v_{-60} \cdot d_p^{-1}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (4)$$

$$\omega_{a20}'' = Re_{20}'' \cdot v_{20} \cdot d_p^{-1}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}; \quad \omega_{a-60}'' = Re_{-60}'' \cdot v_{-60} \cdot d_p^{-1}, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}; \quad (5)$$

$$Re_{20} = \frac{Ar_{20}}{1400 + 5,22\sqrt{Ar_{20}}}; \quad Re_{-60} = \frac{Ar_{-60}}{1400 + 5,22\sqrt{Ar_{-60}}}, \quad (6)$$

$$Re_{20}'' = \frac{Ar_{20}}{18,6 + 0,61\sqrt{Ar_{20}}}; \quad Re_{-60}'' = \frac{Ar_{-60}}{18,6 + 0,61\sqrt{Ar_{-60}}}; \quad (7)$$

$$Ar_{20} = \frac{g \cdot d_p^3 \cdot (\rho_H - \rho_{a20})}{v_{20}^2 \cdot \rho_{a20}}; \quad Ar_{-60} = \frac{g \cdot d_p^3 \cdot (\rho_H - \rho_{a-60})}{v_{-60}^2 \cdot \rho_{a-60}}; \quad (8)$$

де  $V_{20}$ ,  $V_{60}$  - кінематична в'язкість стиснутого повітря;  $Re_{20}$ ,  $Re_{60}$  - критерії Рейнольдса при мінімальній швидкості аерації ВП;  $d_e$  - еквівалентний діаметр частинок ВП, м;  $Ar_{20}$ ,  $Ar_{60}$  - критерій Архімеда;  $\rho_n$  - насипна густина ВП,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  $\rho_{a20}$ ,  $\rho_{a60}$  - густина стиснутого повітря,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  $g$  - прискорення вільного падіння,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$ ;  $Re_{20}^*$ ,  $Re_{60}^*$  - критерії Рейнольдса при швидкості витання частинок ВП.

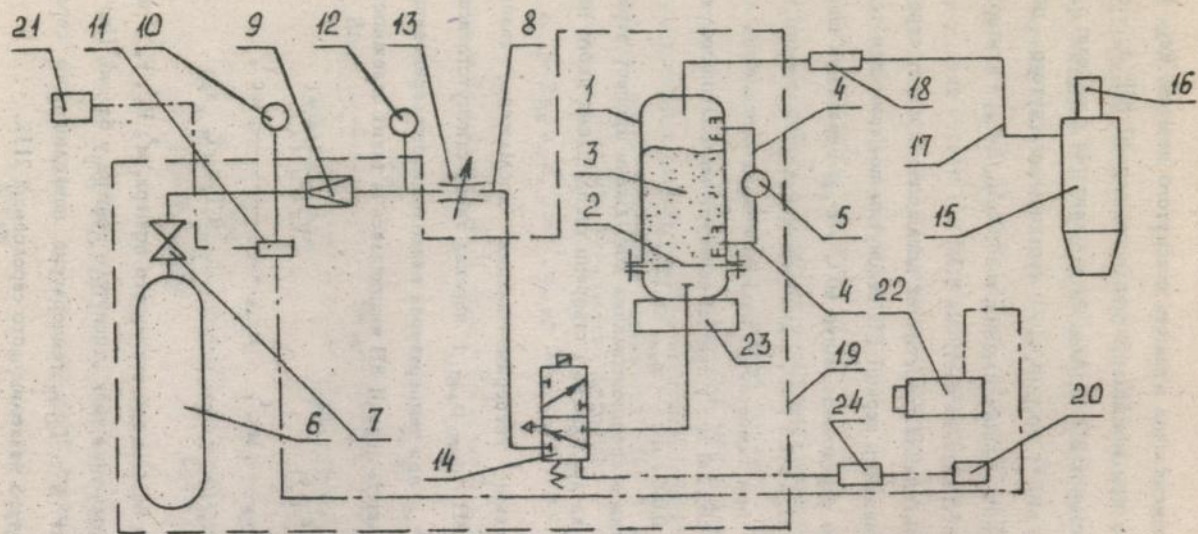
В результаті виконаних теоретичних досліджень процесу аерації ВП встановлено, що швидкість аерації ВП стиснутим повітрям при температурі навколишнього середовища мінус  $60^\circ\text{C}$  -  $\omega_{a60}$  перевищує швидкість аерації при  $20^\circ\text{C}$  -  $\omega_{a20}$  в 1,2 раза, а діапазон швидкостей аерації ВП має такі границі: при температурі навколишнього середовища  $20^\circ\text{C}$  -  $0,0019 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1} < \omega_{a20} < 0,1300 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ; при температурі навколишнього середовища мінус  $60^\circ\text{C}$  -  $0,0023 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1} < \omega_{a60} < 0,1500 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

Для проведення експериментальних досліджень процесу аерації ВП розроблена методика досліджень і створено стенд, схема якого наведена на рисунку 2.

При проведенні експериментальних досліджень визначалась швидкість аерації ВП -  $\omega_{a20}$ ,  $\omega_{a60}$  і перепад тиску стиснутого повітря в шарі ВП -  $\Delta P_{20}$ ,  $\Delta P_{60}$  при температурах навколишнього середовища  $20^\circ\text{C}$  і мінус  $60^\circ\text{C}$ . Швидкість аерації ВП визначалась із таких залежностей:

$$\omega_{a20} = \frac{V_6 (P_n^6 - P_x^6)}{R \cdot T_1 \tau_{пв} \cdot f_p}, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}; \quad \omega_{a60} = \frac{V_6 (P_n^6 - P_x^6)}{R \cdot T_2 \tau_{пв} \cdot f_p}, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (10)$$

де  $V_6$  - об'єм балона для стиснутого повітря,  $\text{м}^3$ ;  $P_n^6$ ,  $P_x^6$  - початковий і кінцевий абсолютний тиск стиснутого повітря у балоні, Па;  $R$  - газова стала,  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ;  $T_1$  - температура навколишнього середовища  $293\text{K}$ ;  $T_2$  - температура навколишнього середовища  $213\text{K}$ .



1-резервуар для ВП; 2-аерувальний пристрій; 3-вогнегасний порошок; 4-імпульсні трубки; 5-диференціальний манометр; 6-балон газувий; 7-вентиль; 8-газопідвідна магістраль; 9-редукційний клапан; 10-манометр високого тиску; 11-датчик тиску; 12-манометр низького тиску; 13-дросель; 14-електропневмоклапан; 15-циклон; 16-фільтр; 17-трубопровід; 18-скляна трубка; 19-камера тепла та холоду; 20, 21-випрямлячі постійного струму; 22-осцилограф; 23-вібраційний стэнд; 24-реле часу

Рисунок 2 - Схема експериментального стенда для дослідження процесу аерації ВП

Як додатковий критерій для оцінювання якості аерації ВП використовувалась величина затрат енергії стиснутого повітря за одиницю часу -  $E$  на аерацію ВП, яка визначалась із залежностей:

$$E_{20} = \omega_{a20} \cdot f_p \cdot \Delta P_{20}, \text{ Вт}; \quad E_{60} = \omega_{a60} \cdot f_p \cdot \Delta P_{60}, \text{ Вт}. \quad (11)$$

В результаті обробки результатів вимірювань встановлено, що при заданій довірчій імовірності  $P=0,95$  і розподіленні випадкових величин Стюдента, відносна похибка визначення значень вимірюваних величин не перевищує 12%.

Встановлено, що при аерації ВП, величина перепаду тиску стиснутого повітря -  $\Delta P$ , при температурах  $20^\circ\text{C}$  -  $\Delta P_{20}$  і мінус  $60^\circ\text{C}$  -  $\Delta P_{60}$  перевищувала значення, експериментально одержаної, напруги зсуву шару ВП, тобто  $\Delta P_{20}=420\text{Па}$  і  $\Delta P_{60}=440\text{Па} > \tau_{\text{пред}}=400\text{Па}$ .

Встановлено, що швидкість аерації ВП стиснутим повітрям при температурі навколишнього середовища  $20^\circ\text{C}$  і мінус  $60^\circ\text{C}$  відповідно дорівнюють  $\omega_{a20}=4,8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\omega_{a60}=5,9 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  і знаходяться в раніше теоретично обгрунтованих діапазонах швидкостей аерації ВП, а затрати енергії стиснутого повітря в одиницю часу на аерацію ВП при температурі навколишнього середовища мінус  $60^\circ\text{C}$  складають  $E_{60}=0,22 \text{ Вт}$ , а при  $20^\circ\text{C}$  -  $E_{20}=0,17\text{Вт}$ , що також узгоджується з даними теоретичних досліджень.

ГЛАВА 3 присвячена: визначенню математичних залежностей, що характеризують процес аерації ВП в УПП; розробці алгоритму розрахунку конструктивних параметрів АП УПП; натурним вогневим випробуванням УППУ; розробці, на основі одержаних в роботі результатів, ряду модифікацій УППУ.

В другій главі показано, що граничні умови, що визначають області якісної аерації ВП в УПП, виражаються нерівністю (3). Виходячи з того, що процес наповнення вільного об'єму резервуару УПП з ВП стиснутим повітрям представляє собою термодинамічний процес, виявлення залежностей, що характеризують процес аерації ВП в УПП, здійснювалось на

основі відомих рівнянь: збереження енергії, газового стану і рівняння Бернаулі. При цьому застосовувались припущення, що на протязі всього часу роботи УПП виконуються умови нерозривності газового потоку, процес наповнення резервуара УПП з ВП стисненим газом - ізотермічний, а коефіцієнт витрати сталій.

Розрахунково-функціональна схема по визначенню залежностей, що характеризують процес аерації ВП в УПП наведена на рисунку 3.

Показано, що швидкість аерації ВП є функцією об'ємної витрати стиснутого повітря -  $G_v$ , що поступає в резервуар УПП, а процес наповнення вільного об'єму резервуара УПП з ВП відбуваються спочатку в надкритичному, а потім підкритичному режимі витoku стиснутого газу.

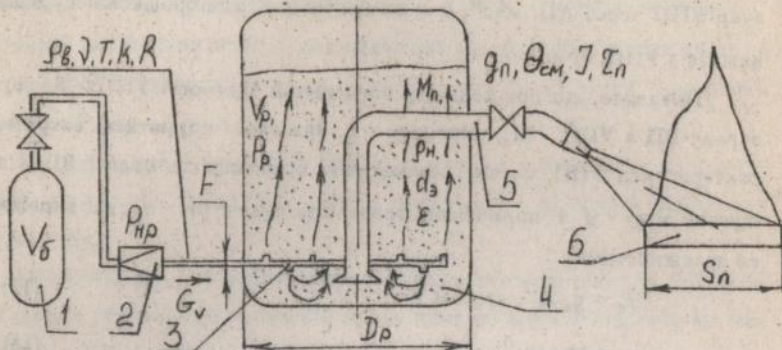
Використовуючи залежність (2), а також відомі залежності, що визначають об'ємні витрати стиснутого газу при надкритичному і підкритичному режимах витoku стиснутого газу в резервуар запропоновані рівняння, що визначають відповідно максимальну (12) і мінімальну (13) швидкість аерації ВП в УПП при температурах навколишнього середовища  $T=293\text{K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ), газовій сталій  $R=287,14 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , і показнику адіабати  $k=1,4$ .

$$\omega_a^{\max} = 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot \mu F \cdot P_{np} \cdot \rho_a^{-1} \cdot D_p^{-2}, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (12)$$

де  $\mu$  - узагальнений коефіцієнт витрати стиснутого повітря, що поступає у вільний об'єм резервуара УПП через газовий редуктор, АП і ВП;  $F$  - площа поперечного перерізу проточної частини АП УПП,  $\text{м}^2$ ;  $P_{np}$  - абсолютний тиск настройки редуктора, Па;  $\rho_a$  - густина стиснутого повітря при відповідному тиску настройки редуктора,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  $D_p$  - внутрішній діаметр резервуара УПП, м.

$$\omega_a^{\min} = \frac{1,15 \cdot 10^{-2} \cdot \mu F \cdot P_{np} \cdot \sqrt{\sigma^{2/k} - \sigma^{(k+1)/k}}}{\rho_a \cdot D_p^2}, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (13)$$

де  $\sigma$  - відношення тиску в резервуарі УПП -  $P_p$  до тиску настройки редуктора -  $P_{np}$ .



1-джерело стиснутого повітря з запірно-пусковим пристроєм (ЗПП);  
2-редуктор тиску; 3-аерувальний пристрій; 4-резервуар з ВП; 5-трубо-  
провід подачі ВП з ЗПП; 6-осередок пожежі

Рисунок 3 - Розрахунково-функціональна схема по визначенню залежностей, що характеризують процес аерації ВП

Виходячи з умови (3), яка визначає діапазон швидкостей ВП в УПП, для забезпечення якісної аерації ВП в УПП повинні виконуватись такі нерівності /1/:

$$\omega_a^{\max} \leq \omega_a; \quad (14)$$

$$\omega_a^{\min} > \omega_a. \quad (15)$$

Запропоновано рівняння, яке визначає залежність витрати ВП з УПП -  $g_n$  від площі поперечного перерізу проточної частини АП УПП -  $F$  при температурі стисненого повітря  $T=293K$  ( $20^\circ C$ ), газівий сталій  $R=287,14$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> і показнику адіабати  $k=1,4$ . Рівняння має вигляд:

$$g_n = G_v \cdot P_p \cdot \theta_{cm} = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot F \cdot P_{np} \cdot \theta_{cm}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (16)$$

де  $G_v$  - об'ємна витрата стисненого повітря, яке надходить в резервуар УПП через АП,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\theta$  - концентрація газопорошкової суміші, яка витікає з УПП,  $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Показано, що при заданих: вогнегасній здатності УПП -  $S_n$  і масі заряду ВП в УПП -  $M_n$ , параметр -  $g_n$  визначає нормативні витратні характеристики УПП, а саме: нормативну інтенсивність подачі ВП в захищену зону -  $\mathcal{G}$  і нормативну тривалість подачі ВП -  $\tau_n$ , які виражаються залежностями:

$$\mathcal{G}_n = g_n \cdot S_n^{-1}, \text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}; \quad (17)$$

$$\tau_n = M_n \cdot g_n^{-1}, \text{с}. \quad (18)$$

Витрата ВП з УПП -  $g_n$  визначається з залежності (17), при цьому  $\tau_n$ , яка визначається з залежності (18) повинна знаходитись в межах від 20 до 30 с.

З рівняння (16) одержана залежність для визначення площі поперечного перерізу проточної частини АП УПП:

$$F = \frac{g_n \cdot 10^3}{2,4 \mu \cdot P_{\text{пр}} \cdot \theta_{\text{см}}}, \text{м}^2. \quad (19)$$

При відомому значенні площі  $F$ , тривалість підготовки ВП до витіснення з УПП -  $\tau_{\text{пр}}$ , яка забезпечує мінімальну інерційність спрацювання УПП за умов виконання залежностей (14), (15), (17) і (18), визначається з рівняння:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{3,62 \cdot 10^{-3} \cdot V_{\text{св}} [\psi(\sigma_2) - \psi(\sigma_1)]}{F \cdot \mu}; \quad (20)$$

де  $V_{\text{св}}$  - вільний об'єм резервуара УПП, який заповнено ВП,  $\text{м}^3$ ;  $\psi(\sigma_1)$  - витратна функція витікання стисненого повітря, яка залежить

від  $\sigma_1$  - відношення тиску в резервуарі УПП на початку процесу наповнення  $P_1$  до тиску настройки редуктора  $P_{np}$ ;  $\psi(\sigma_2)$  - витратна функція витікання стисненого повітря, яка залежить від  $\sigma_2$  - відношення тиску в резервуарі УПП наприкінці процесу наповнення  $P_2$  до тиску настройки редуктора  $P_{np}$ .

Наведено, реалізований на ПЕОМ, алгоритм розрахунку конструктивних параметрів АП УПП, який розроблено на основі визначених залежностей.

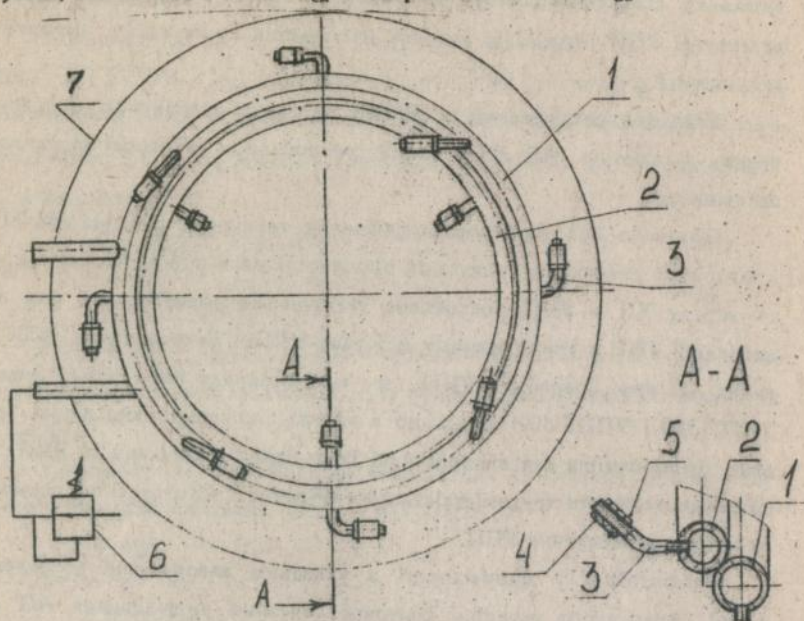
Показано, що, на основі розроблених: технічного рішення АП УПП і алгоритму розрахунку, виявленій залежності маси робочого газу від маси заряду ВП в УПП розроблена технічна документація на ряд модифікацій УПП з уніфікованими АП типу УППУ. Використання уніфікованих АП при розробці УПП з масою заряду 250 і 500 кг (моделі УППУ-250 і УППУ-500) здійснено з метою створення однотипних АП двох типорозмірів для використання їх в різних модифікаціях УПП, що дозволяє зменшити трудомісткість проектування і виготовлення, підвищити якість виготовлення УПП.

Розраховані у відповідності з указанням алгоритмом розрахунку площі поперечного перерізу проточної частини уніфікованих АП для УПП моделей УППУ-250 і УППУ-500 відповідно склали:  $F_{250} = 4,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,  $F_{500} = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Маса робочого газу (стисненого повітря) для моделей УППУ-250 і УППУ-500 відповідно склали:  $m_r^{250} = 5,9 \dots 7,2 \text{ кг}$ ,  $m_r^{500} = 12 \dots 14 \text{ кг}$ . Показник питомих витрат енергії робочого газу на витіснення ВП з УПП склав від 2016 до 2416 Дж·кг<sup>-1</sup>.

Загальний вигляд уніфікованого АП УПП наведено на рисунку 4.

Представлено результати натурних вогневих випробувань /4/, розроблених УППУ, в ході яких визначались: вогнегасна здатність УПП при гасінні модельного вогнища класу В - S<sub>в</sub>, тривалість підготовки ВП

до витіснення з резервуара УПП -  $\tau_{\text{вв}}$ , концентрація газопорошкової суміші, яка витікає з УПП -  $\theta_{\text{см}}$  і витрата ВП з УПП -  $g_{\text{в}}$ .



1-верхній кільцевий трубопровід; 2-нижній кільцевий трубопровід;  
3-форсунка; 4-зворотній клапан; 5-хомут; 6-пневматичний клапан;  
7-резервуар УПП

Рисунок 4 - Загальний вигляд уніфікованого аерувального пристрою УПП

Показано, що гасіння модельного вогнища класу В площею  $S_{\text{п}} - 20 \text{ м}^2$ , в якому в якості горючої речовини використовувався газовий конденсат, досягалось за 6-10 с. Тривалість підготовки ВП до витіснення з резервуара УПП (інерційність спрацювання) -  $\tau_{\text{вв}}$  знаходилась в межах від 15 до 18 с. Максимальна швидкість аерації ВП в УПП -  $\omega_{\text{а}}^{\text{max}}$  складала  $0,02 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . Середня витрата ВП з УПП -  $g_{\text{в}}$  складала  $10,1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ , а середня концентрація газопорошкової суміші  $\theta_{\text{см}} - 88 \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

На рисунку 5 - наведено графіки змінювання в часі витрати стиснутого повітря -  $G$ , концентрації газопорошкової суміші -  $\theta$  і витрати ВП з УПП -  $g_n$  при натурних випробуваннях УПП.

Результати натурних вогневих випробувань УПП показали, що в процесі роботи УПП досягається ефективно пожежогасіння за рахунок забезпечення якісної аерації ВП, мінімальної інерційності спрацювання і нормативних витратних характеристик УПП.

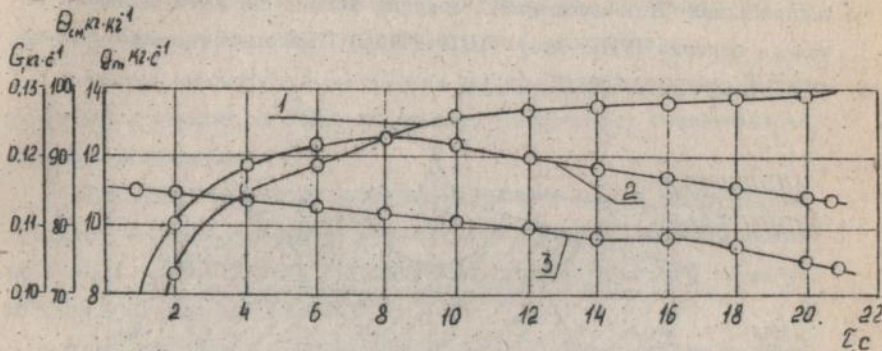


Рисунок 5 - Змінювання витрати стиснутого повітря ( $G$ -1), концентрації газопорошкової суміші ( $\theta_{cm}$ -2) та витрати ВП ( $g_n$ -3) при випробуваннях УППУ-250РС по гасінню модельного вогнища класу В

В ГЛАВІ 4 розглянуто питання організації серійного виробництва і застосування УППУ для протипожежного захисту пожежонебезпечних об'єктів.

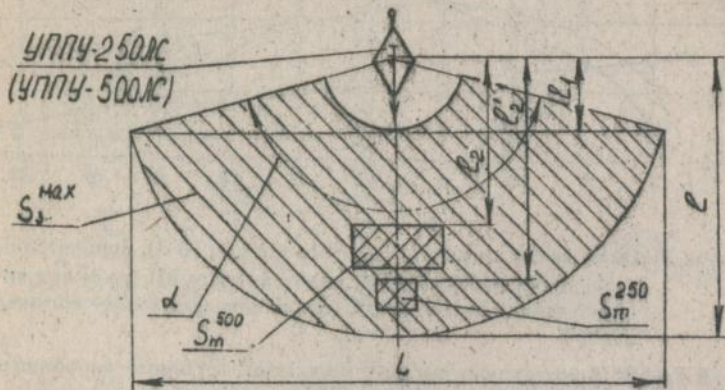
На Прилуцькому заводі "Пожмашина" освоєне серійне виробництво розроблених на основі результатів цієї роботи УПП типу УППУ восьми модифікацій (патент України №4459) /7, 8/.

УППУ з лафетним стволом забезпечують захист площі до  $2000 \text{ м}^2$ , в межах якої забезпечується гасіння розливів ЛЗР і ГР площею до  $40 \text{ м}^2$ .

На рисунку 6 представлено тактичні можливості УПП типів УППУ-250АС і УППУ-500АС.

УППУ з розподільчою мережею забезпечують гасіння у виробничих приміщеннях розливів ЛЗР і ГР загальною площею до  $64 \text{ м}^2$  (при номінальній витраті ВП з УППІ забезпечується інтенсивність подавання ВП  $\sigma = 0,3 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$  на протязі  $\tau_{\text{п}} = 30 \text{ с}$ ).

З урахуванням ТТХ УППУ, схемно-компоновочних рішень УППУ і вимог нормативних документів розроблено проекти захисту об'єктів підприємства "Полтавагазпром", зокрема залізничної зливо-наливної естакади бензину (УППІ типу УППУ-500АС) і насосної газопроводу бензину (УППІ типу УППУ-500РС).



$S_{\text{max}}$  - максимальна площа, що захищається (до  $2000 \text{ м}^2$ );  $S_{\text{m}}^{250}$ ,  $S_{\text{m}}^{500}$  - вогнегасна здатність, відповідно УППУ-250АС ( $20 \text{ м}^2$ ) УППУ-500АС ( $40 \text{ м}^2$ );  $L$  - максимальний фронт, що захищається ( $75 \text{ м}$ );  $e$  - максимальна довжина порошкового струменя ( $40 \text{ м}$ );  $e_1$  - мінімальна відстань від УППУ до об'єкту, що захищається;  $e_2$ ,  $e_2$  - відстань від УППУ до об'єкту, що захищається;  $\alpha$  - кут повороту лафетного стволу УППУ у горизонтальній площині ( $150^\circ$ )

Рисунок 6 - Тактичні можливості УППУ-250АС та УППУ-500АС на об'єкті, що захищається

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

На основі розробки і застосування ряду модифікацій нових УПП з уніфікованими АП, які забезпечують якісну аерацію ВП, мінімізацію інерційності спрацювання і нормативні витратні характеристики УПП досягнуто підвищення ефективності систем протипожежного захисту об'єктів.

1 На основі аналізу способів і пристроїв для підготовки ВП до витіснення із резервуарів УПП запропонована їх класифікація.

2 Розроблені нові технічні рішення пристроїв для підготовки ВП до витіснення з резервуарів УПП, які захищені авторськими свідоцтвами на винаходи та патентами.

3 Проведені теоретичні дослідження процесу аерації ВП, в результаті яких обґрунтовано діапазон швидкостей аерації ВП в УПП і визначено вплив температури навколишнього середовища (при 20°C та мінус 60°C) на процес аерації ВП в УПП.

4 Для оцінювання якості аерації ВП в УПП експериментально виявлені параметри, які характеризують фізико-механічний стан ВП.

5 Розроблені методика, стенд і проведені експериментальні випробування процесу аерації ВП в УПП.

Експериментально визначені значення швидкостей аерації ВП. Встановлено, що ці значення знаходяться в теоретично обґрунтованому діапазоні швидкостей аерації ВП. Експериментально встановлено вплив температури навколишнього середовища на процес аерації ВП, що підтверджує можливість експлуатації УПП в умовах низьких температур (до мінус 60°C).

6 Визначені математичні залежності, які характеризують процес аерації ВП в УПП, розроблений і реалізований на ПЕОМ алгоритм розрахунку конструктивних параметрів АП УПП, які забезпечують якісну аерацію ВП, мінімізацію інерційності спрацювання і нормативні витратні характеристики.

7 На основі результатів цієї роботи розроблена нормативна технічна документація на УПП з лафетними стволами - ТУ У 14347768.001-94 та з розподільчими мережами - ТУ У 14347768.002-96.

8 На Прилуцькому заводі "Пожмашина" освоєне серійне виробництво УПП з лафетними стволами - УППУ-250АС, УППУ-500АС; з розподільчими мережами - УППУ-250РС, УППУ-250РС-01, УППУ-250РС-02, УППУ-500РС, УППУ-500РС-01, УППУ-500РС-02 (патент України №4459).

В УкрНДІПБ МВС України розроблені схемно-компоновочні рішення УППУ, які використані при проектуванні систем протипожежного захисту об'єктів підприємства "Полтавагазпром": Яблуновського газопереробного заводу, Селещанського технологічного цеху стабілізації газового конденсату.

Зміст дисертації викладено в 22 роботах. Основні з них:

1. Сизиков А.А. Особенности процесса подготовки огнетушащих порошков к вытеснению из установок порошкового пожаротушения // Средства порошкового пожаротушения: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992 - С.92-97.

2. Сизиков А.А. Методика оценки качества аэрации ОП в порошковых огнетушителях и установках порошкового пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности. / Под ред. Палюха В.Г. - Харьков. Мин. обр. Украины, МВД Украины, 1993 - С.143-145.

3. Сизиков А.А., Снятков В.А. Псевдооживление огнетушащих порошков в условиях низких температур // Средства порошкового пожаротушения: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. - С.65-71.

4. Дуношкин В.А., Сизиков А.А. и др. Экспериментальные исследования установки порошкового пожаротушения // Средства порошкового пожаротушения: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО МВД РФ, 1993 - С.26-31.

5. Сизиков А.А., Снятков В.А. Аэрирующее устройство для установок порошкового пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. научно-практической конференции / - Иркутск. ИФ ВИПТШ МВД СССР, 1988 - С. 46.

6. Тимошенко А.М., Снятков В.А., Сизиков А.А. Установка порошкового пожаротушения с программным управлением // Проблемы производства и применения огнетушащих порошков: Тез. докл. научно-практической конференции / - Ленинград. МВД СССР, 1991. - С. 59.

7. Сизиков А.А., Дунюшкин В.А. и др. Организация и перспективы промышленного производства и применения установок порошкового пожаротушения в Украине // Пожарная безопасность / Под ред. Антонова А.В. - Киев, МВД Украины, 1995 - С.159-161.

8. Тимошенко А.М., Сизиков А.А. и др. Современное состояние и перспективы развития элементной базы установок пожаротушения / Пожарная безопасность / Под ред. Антонова А.В. - Киев, МВД Украины, 1995. - С. 322-324.

9. А.с. №1443888 (СССР). Патент Украины №4459. Установка для тушения пожара порошком /Сизиков А.А., Снятков В.А. и др./ Открытия. Изобретения. - 1988. - №46 - С. 18.

10. А.с. №1558409 (СССР). Патент России №1558409. Огнетушитель порошковый /Сизиков А.А., Пивовар П.В. и др./ Открытия. Изобретения. - 1990. - №15 - С. 23.

Sizikov A.A. Research and elaboration of dry chemical extinguishing systems with unified airators.

The dissertation on scientific degree - candidat of technical sciences by speciality 05.26.02 - fire safety, Kharkov State Tehnical University of Construction and Architecture, Kharkov, 1997.

The essence of the dissertation under consideration is reflected in 22 scientific works. The paper contains: theoretical and experiment research of airating processes and dry chemical inflating from the dry chemical extinguishing systems; elaboration (based on the revealed matematics dependence) of the calculation algorithm of constructive parameters of airators; results of fire tests of dry chemical extinguishing systems on location. On the basic of the elaborated modifications for the new dry extinguishing systems with unified airators, which provide minimization of inertia staring and normative expenditure characteristics, the problem of increasing the effectiveness of fire protection of objects is solved.

Key words: dry chemical extinguishing systems, process of airating of dry chemical unified airators.

## АННОТАЦІЯ

Сизиков А.А. Исследование и разработка установок порошкового пожаротушения с унифицированными аэрирующими устройствами.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.02 - пожарная безопасность, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков, 1997.

Защищается работа, сущность которой отображена в 22 научных трудах и содержит теоретические и экспериментальные исследования процессов аэрации и подачи огнетушащего порошка из установок порошкового пожаротушения, разработку, на основании выявленных математических зависимостей, алгоритма расчета конструктивных параметров аэрирующих устройств, результаты натурных огневых испытаний установок порошкового пожаротушения. На основе разработки и применения ряда модификаций новых установок порошкового пожаротушения с унифицированными аэрирующими устройствами, обеспечивающими минимизацию инерционности срабатывания и нормативные расходные характеристики, достигнуто повышение эффективности систем противопожарной защиты объектов.

Ключові слова: установки порошкового пожежогасіння, процес аерації вогнегасного порошку, уніфіковані аерувальні пристрої, системи протипожежного захисту об'єктів.

Здано у виробництво 13.05.97р. Підписано до друку 13.05.97р.  
Формат 60x84 1/16. Об'єм 1,5 д.л. Замовлення М-548. Тираж 110.

Друкарня, вул.Дегтярівська, 156



**AB 38.208**