

*І.К. Кириченко, д.ф.-м.н., професор, НУЦЗУ,  
К.М. Остапов, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,  
В.В. Сировий, к.т.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ,  
Ю.М. Сенчихін, к.т.н., професор, проф. каф., НУЦЗУ*

## **БІНАРНА ПОДАЧА ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СКЛАДОВИХ НА ОБ'ЄКТИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ УСТАНОВКОЮ АУГГУС-М**

(представлено д.т.н. Кіреєвим О.О.)

Розроблена автономна установка гасіння пожеж АУГГУС-М, що дозволяє здійснювати подачу гелеутворюючих сполук на 10 метрів. Сформульовано і здійснена постановка задачі 4-х факторного (другого порядку) оптимального планування експерименту процесу подачі плоскорадіальних струменів за допомогою стволів-розпилювачів РС-10. Розраховані раціональні значення геометричних параметрів вихідного перетину насадка, вказані особливості застосування розробленої моделі.

**Ключові слова:** гелеутворюючі складові (ГУС), бінарна подача, планування експерименту, плоскорадіальні струмені.

**Постановка проблеми.** Розвиваючи ідеї досліджень, проведених в роботах [1, 2], в частині гасіння пожеж гелеутворюючими складовими (ГУС) із застосуванням автономних установок гасіння типу АУГГУС, було доведено [3], що однією з проблем підвищення ефективності пожежогасіння гелеутворюючими сполуками є неможливість здійснювати пожежогасіння з безпечної для пожежного-рятувальника відстані. Існуючі технічні засоби засоби пожежогасіння гелеутворюючими сполуками та прийоми їх подавання фактично дозволяли проводити гасіння з відстані не більше 1 – 1,5 метра, що з точки зору безпеки особового складу та вимог ДСТУ за максимальною довжиною струменя ВГР, не дозволяють ефективно і широко використовувати ГУС на практиці [4]. У зв'язку з цим локалізація і ліквідація виникаючих загорянь і пожеж класу А вимагає не стільки збільшення кількості подачі на вогнище вогнегасних складових, скільки удосконалення установок типу АУГГУС та кваліфіковано використовувати їх, маючи відповідні науково обґрунтовані рекомендації про те, яким найбільш ефективним чином працювати з пожежно-технічним оснащенням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У літературі з пожежної справи досить повно досліджені питання пожежогасіння подачею компактних і розпилених струменів води в осередок пожежі за допомогою лафетних і ручних стволів. Розроблено методи та методики моделювання самого процесу гасіння пожеж [5, 6]. Однак питання, пов'язані з дистанційною подачею бінарних потоків гелеутворюючих складових при пожежогасінні, а так само вивчення руху компонент ГУС розглядаються нами вперше.

**Постановка завдання та його вирішення.** Мета дослідження – підвищення ефективності використання ГУС установками типу АУГГУС, де гелеутворюючі складові подаються на пожежогасіння дистанційно (рис. 1). Тут в декартовому просторі з урахуванням так званих Ейлерових кутів маємо:  $\alpha$  – кут підвищення стволів відносно горизонту і  $\psi$  – їх відхилення

відносно площини націлювання  $OXY$  на об'єкт пожежогасіння.

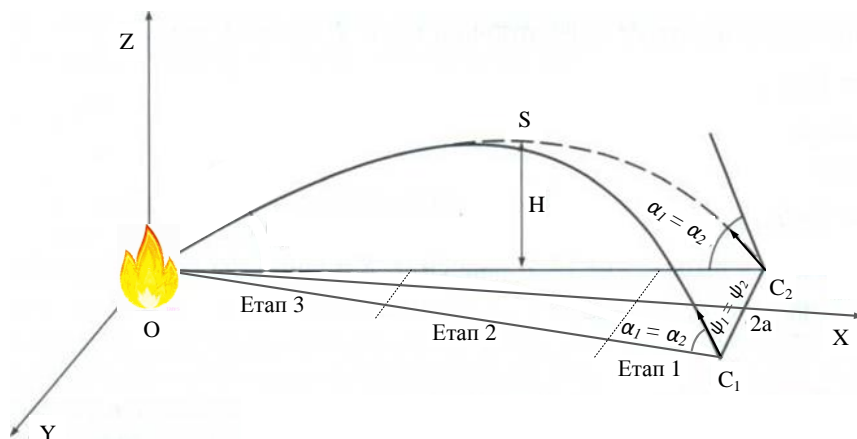


Рис. 1. Схема прицілювання з точок  $C_1$  і  $C_2$  стволів  $C1$  і  $C2$ , що симетрично (відносно площини  $XOZ$ ) подають дві складові ГУС на умовний епіцентр пожежі в точку  $O(0,0,0)$

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– створення нової конфігурації установки пожежогасіння АУГГУС-М;

– проведення експериментальних досліджень робочих параметрів установки пожежогасіння АУГГУС-М;

– розроблення нової конструкції стволів-розпилювачів для пожежогасіння з використанням ГУС;

– встановлення оптимальних (раціональних) співвідношень параметрів дистанційної бінарної подачі ГУС на пожежогасіння.

*Нова установка пожежогасіння гелеутворюючими сполуками.* Для реалізації дистанційної бінарної подачі ГУС на безпечну та відповідну вимогам ДСТУ відстань, розроблена автономна установка гасіння пожеж класу А гелеутворюючими сполуками АУГГУС-М, конструкція якої зображена на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Установка АУГГУС-М: а) передня частина; б) задня частина

Дана установка [7] містить несучий каркас (раму), де встановлено дві ємкості з підвищеною кількістю компонент розчину ГУС і два балона зі стисненим повітрям, які мають індикатори візуального контролю тиску в ємкостях і об'єднані редуктором прямої дії. При чому, компоненти ГУС, що містяться в ємкостях під тиском стислого повітря, завдяки системі сполучних гнучких шлангів знаходяться і в стволах-розпилювачах, 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 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. Від відомих установок нова установка відрізняється збільшеним запасом компонент ВГР, та за рахунок нових запропонованих стволів-розпилювачів СР-10, можливістю дистанційно (до 10 м) і прицільно подавати на гасіння ГУС протягом 1-2 хвилин. Причому подача ВГР/ГУС може відбуватися як по одинці (ВГР), так і обома стволами (ГУС), разом таким чином, що сполуки компонент ГУС вже на підступах до осередку пожежі починають утворювати гель.

На рис. 3 наведено фото виготовленого і апробованого одного з двох стволів-розпилювачів СР-10, які використовуються при подачі на відстань до 10 м компонентів ГУС компактними і плоско-радіальними струменями.



**Рис. 3. Ствол-розпилювач СР-10: а) фото загального вигляду; б) подача струменю на відкритому просторі**

Показані також їх конструктивні особливості виготовлення щодо основного принципу роботи з ними [8].

Кожний ствол пістолетного типу СР-10 містить порожнистий корпус з деякою внутрішньою “вибіркою” матеріалу, яка об'ємно пов'язана з одного боку з вхідним циліндричним отвором, до якого через перехідник різьбовим з'єднанням приєднаний кульовий кран, що регулює подачу через нього водного розчину ВГР/ГУС, а з протилежного боку з вихідним профільно-регульованим перетином, що утворюється завдяки змінним кришкам зі спеціальним “П”-подібним вирізом в них, реалізуючи таким чином подачу водних розчинів плоско-радіальними струменями в атмосферу. Розмір вихідного отвору за шириною регулюється зміною кришок з “П”-подібним вирізом з різною

шириною перетину, а за висотою – товщиною жорстких пластин, що розміщуються між корпусом і кришкою.

Що стосується пожежогасіння з подачею розчинів двох компонент 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.

Розглядаючи процес подачі ГУС в осередок пожежі як дію складної технічної системи, задачі якої формалізують методами теорії планування експериментів для отримання найкращих результатів [9]. Для цього розглядають узагальнену залежність:

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

де  $y_j$  – шукана змінна, яка залежить від параметрів досліджуваного процесу;  $x_1, x_2, \dots, x_i$  – параметри, що змінюються в ході проведення експериментів.

Отримані за допомогою АУГГУС-М експериментальні дані підготовлюють до досліджень методом оптимального планування експерименту і зведено до табл. 1 [10].

Згідно теорії оптимального планування експерименту представимо залежність часу руху крапель (дальності подачі) води в залежності від чотирьох змінних факторів  $x_i, i = 1, \dots, 4$ , поліноміальною квадратичною моделлю

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

де значення  $b_0, b_i$ , – 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  $y$ .

Виразимо дану функцію  $y$  в нормованих (безрозмірних) значеннях, тобто у вигляді:

$$\begin{aligned} y = & b_0 + b_1(x_1 - 1,5)/2 + b_2(x_2 - 30)/20 + b_3(x_3 - 7,35)/3,35 + \\ & + b_4(x_4 - 1,225)/0,525 + b_{11}(x_1 - 1,5)^2 + b_{12}(x_1 - 1,5)((x_2 - 30)/20) + \\ & + b_{13}(x_1 - 1,5)((x_3 - 7,35)/3,35) + b_{14}(x_1 - 1,5)(x_4 - 1,225)/0,525 + \\ & + b_{22}((x_2 - 30)/20)^2 + b_{23}((x_2 - 30)/20)((x_3 - 7,35)/3,35) + \\ & + b_{24}((x_2 - 30)/20)(x_4 - 1,225)/0,525 + b_{33}((x_3 - 7,35)/3,35)^2 + \\ & + b_{34}((x_3 - 7,35)/3,35)((x_4 - 1,225)/0,525) + b_{44}((x_4 - 1,225)/0,525)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

а потім, зробивши відповідні обчислення запишемо цю функцію в реальних вимірюваних значеннях  $X_1, X_2, X_3$  і  $X_4$ . Тут  $X_i$  (товщина вирізу,

мм) та  $X_2$  (виріз сектору, град) вихідного перетину насадка ствола-розпилювача;  $X_3$  (дальність) і  $X_4$  (ширина) фронту подачі ГУС, м.

**Табл. 1.** Експериментальні данні з підбору раціональних параметрів ствола-розпилювача РС-10 при швидкості витікання водного розчину зі ствола  $V_0 = 16,2$  м/с під тиском 500 кПа і кутом  $\alpha = 30$  градусів

№	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$y$
	Товщина $b$ вирізу, мм	Виріз $\varphi^\circ$ сектору	Дальність подачі, м	Ширина подачі, м	Час подачі струму, с
1	0,5	10	4,66	0,8	0,56
2	0,5	20	4,65	0,9	0,56
3	0,5	30	4,33	1,1	0,52
4	0,5	40	4,0	1,2	0,48
5	0,5	50	4,0	1,4	0,48
6	1,0	10	5,0	1,55	0,64
7	1,0	20	5,67	1,55	0,68
7	1,0	30	5,7	1,6	0,68
9	1,0	40	5,83	1,6	0,76
10	1,0	50	6,67	1,65	0,8
11	1,5	10	10,6	1,65	1,24
12	1,5	20	10,65	1,7	1,24
13	1,5	30	10,7	1,7	1,2
14	1,5	40	10,5	1,75	1,24
15	1,5	50	9,0	1,652	0,96
16	2,0	10	8,0	1,6	1,16
17	2,0	20	9,1	1,5	1,08
18	2,0	30	9,0	1,55	1,08
19	2,0	40	9,0	1,4	1,04
20	2,0	50	8,0	1,4	0,96
21	2,5	10	7,7	1,05	0,92
22	2,5	20	7,65	1,0	0,88
23	2,5	30	7,4	0,9	0,88
24	2,5	40	6,63	0,75	0,86
25	2,5	50	6,66	0,7	0,8

Коефіцієнти рівняння регресії в виразі (2) знаходимо з використанням методу найменших квадратів:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= 0,85; b_1 = 0,09; b_2 = 0,02; b_3 = 0,2; b_4 = 0,38; b_{11} = 0,108; \\
 b_{12} &= -0,05; b_{13} = -0,44; b_{14} = 0,35; b_{22} = -0,02; b_{23} = -0,03; \\
 b_{24} &= -0,04; b_{33} = 0,21; b_{34} = -0,19; b_{44} = 0,14.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Таким чином, після переходу від нормованих значень до реальних, отримуємо (5):

$$\begin{aligned}
 y &= 0,56 - 0,009X_1 + 0,02X_2 + 0,13X_3 - 1,27X_4 + 0,109X_1^2 \\
 &- 0,003X_1X_2 - 0,13X_1X_3 + 0,67X_1X_4 - 0,0008X_2^2 - \\
 &- 0,0004X_2X_3 - 0,004X_2X_4 + 0,02X_3^2 - 0,11X_3X_4 + 0,52X_4^2.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Досліджуючи даний вираз на екстремум знаходимо наближені значення оптимальних змінних  $x_j^{opt}$ ,  $j=1, \dots, 4$ ,

$$X_1^{opt} = 1,76 \text{ мм}; \quad X_2^{opt} = 23,77^\circ; \quad X_3^{opt} = 9,41 \text{ м}; \quad X_4^{opt} = 1,71 \text{ м}.$$

Звідки знаходимо  $y^{opt} = 1,158 \text{ с}$ .

Розглянемо максимальну ефективність подачі вогнегасної речовини при  $X_1^{opt} = 1,76 \text{ мм}$ ;  $X_2^{opt} = 23,77^\circ$  град.

Їх графічна залежність показана на рис. 4.

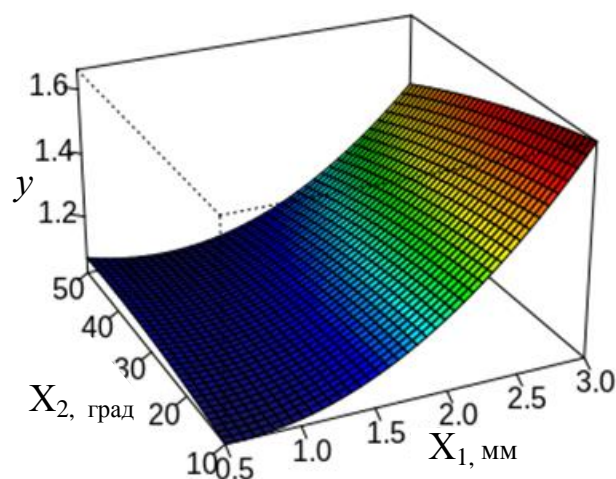


Рис. 4. Графік функції  $y_1$  при перетині площинами:  $X_1^{opt} = 1,76 \text{ мм}$ ;  $X_2^{opt} = 23,77^\circ$

Аналогічна графічна залежність максимальної ефективності подачі вогнегасної речовини при  $X_3^{opt} = 9,41 \text{ м}$ ;  $X_4^{opt} = 1,71 \text{ м}$  показана на рис. 5.

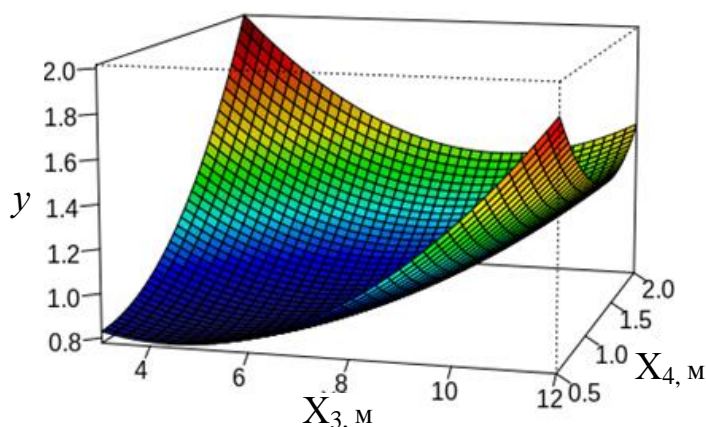


Рис. 5. Графік функції  $y_1$  при перетині площинами:  $X_3^{opt} = 9,41 \text{ м}$ ;  $X_4^{opt} = 1,71 \text{ м}$ .

Нагадаємо, що основними критеріями вимірювання змінюваної геометрії насадка ствола-розпилювача в наших дослідженнях є дальність



подачі, і ширина плоскорадіального струменя, яка здатна «накрити» вогнище пожежі по фронту або здійснити захист сусідніх з вогнищем об'єктів від теплового випромінювання факела полум'я.

З графіків видно, що оптимальна геометрія вихідного перетину відповідає розмірам: висота 1,76 мм; виріз сектору  $23,77^\circ$ . При цьому максимальна ефективність подачі вогнегасної речовини на об'єкт пожежогасіння відповідає дальності подачі плоскорадіального струменя  $L_{\max} = 9,41$  м при ширині охоплення фронту 1,71 м.

Таким чином, проведені на основі теорії оптимального планування експерименти і їх результати підтвердили працездатність пристрою для утворення плоскорадіальних струменів вогнегасних речовин в умовах близьких до реальних.

**Висновки.** В умовах навчального полігону Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗУ) здійснено експериментальні дослідження, щодо подачі ГУС до об'єктів пожежогасіння на відстань до 10 м, дані яких науково оброблено і систематизовано за методикою оптимального планування експериментів. Сконструйовані і виготовлені натурні зразки стволів-розпилювачів РС-10 для подачі плоскорадіальних струменів ГУС на відстань до 10 м. Сформульовано і здійснена постановка задачі 4-х факторного (другого порядку) оптимального планування експерименту процесу подачі плоскорадіальних струменів за допомогою стволів-розпилювачів РС-10. Розраховані раціональні значення геометричних параметрів вихідного перетину насадка, вказані особливості застосування розробленої моделі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А: монография / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев. — Харьков: НУЦЗУ, 2015. — 254 с.
2. Киреев А.А. Определение показателя огнетушащей способности гелеобразующих огнетушащих составов при тушении модельного очага пожара 1А / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, А.В. Савченко // Проблемы пожарной безопасности. — 2010 — Вип. 28. — С. 74 — 80. — Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Problems OfFireSafety/vol28/29.pdf>.
3. 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. — Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3311>
4. Ostapov K. M., Senchihin Yu. N., Syrovoy V. V. Development of the installatio for the binary feed ofgelling for mulations to extinguishing facilities // Scienceand Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. 2017. Issue 132. P. 75–77. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3891>

5. Ольшанский В.П. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ / В.П. Ольшанский, О.А. Дубовик. – Харьков. «Митець», 2005. – 236 с.

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

7. Пат. 118440 Україна, МПК А 62 С 31/00, А 62 С 31/02. Установка дистанційного гасіння пожеж гелеутворюючими складами / Голендер В.А., Росоха С.В., Сенчихин 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.

8. Пат. 114070 Україна, МПК А 62 С 31/00, А 62 С 31/02. Ствол-розпилювач з насадком для створення плоско-радіального струменю рідинної вогнегасної речовини / І. А. Лемешев, В.А. Голендер, С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов, заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – №201603989. Заявл. 09.09.2016; Надр. 27.02.2017; Бюл. 4. – 4 с.

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

10. Стрілець В.В. Аналіз процесу подавання гелеутворюючих складів / В.В. Стрілець, Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов, В.В. Сировой // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2018. – Вып. 44. – С. URL: <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8216>

*Отримано редколегією 14.03.2019*

И.К. Кириченко, К.М. Остапов, В.В. Сировой, Ю.Н. Сенчихин

#### **Бинарная подача гелеобразующих составов на объекты пожаротушения установкой АУТГУС-М**

Разработана автономная установка пожаротушения АУТГУС-М, которая позволяет осуществлять подачу гелеобразующих составов на 10 метров. Сформулированы и осуществлена постановка задачи 4-х факторного (второго порядка) оптимального планирования эксперимента процесса подачи плоскорadiaльных струй с помощью ствол-распылителей РС-10. Рассчитаны оптимальные значения геометрических параметров выходного сечения насадка, указанные особенности применения разработанной модели.

**Ключевые слова:** гелеобразующих составляющие (ГУС), бинарная подача, планирование эксперимента, плоскорadiaльные струи.

I. Kirichenko, K. Ostapov, V. Sirovoj, Y. Senchykhin

#### **Binary feeding of gelling compounds to fire fighting objects by the installation of AUGGUS-M**

An autonomous fire extinguishing unit AUGGUS-M was developed, which allows the delivery of gel-forming compositions to 10 meters. The formulation of the problem of 4-factor (second order) optimal experimental planning of the process of supply of plane-radial jets using PC-10 nebulizers was formulated and implemented. The optimal values of the geometrical parameters of the nozzle output section are calculated, the specified features of the application of the developed model.

**Keywords:** gel forming components, binary feed, experiment planning, plane radial jets.