

**ВПЛИВ ОРГАНІЧНИХ ДОБАВОК
НА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ РЕЖИМИ ГОРІННЯ ПНМС
В УМОВАХ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР НАГРІВУ ТА ЗОВНІШНІХ ТИСКІВ**

Кириченко О.В.,

Черкаська академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,

Ващенко В.А.,

Черкаський державний технологічний університет,

Зайка П.І.,

Омельченко О.М.,

Тупицький В.М.

Черкаська академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

Разработаны экспериментально-статистические модели, позволяющие рассчитывать скорость горения тройных пиротехнических нитратосодержащих систем, а также прогнозировать взрывоопасные режимы их горения в условиях повышенных температур нагрева и внешних давлений с относительной погрешностью 2...5 %.

Ключевые слова: экспериментально-статистические модели, тройные пиротехнические нитратосодержащие системы, взрывоопасные режимы горения.

Вступ

Останнім часом в Україні все більшого застосування набувають піротехнічні вироби різного призначення на основі металізованих конденсованих систем, до яких належать механічно ущільнені суміші порошків магнію, нітратів лужних та лужноземельних металів (NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Sr(NO}_3)_2$, $\text{Ba(NO}_3)_2$) та органічних технологічних добавок (парафіну, стеарину, нафталіну та антрацену) (далі – піротехнічні нітратно-магнієві суміші (ПНМС) [1 – 8]. ПНМС у разі порушення правил пожежної безпеки під час їх використання при різних зовнішніх умовах (наприклад, підвищених температурах, зовнішніх тисках тощо) становлять значну вибухову та пожежну небезпеку. Це підтверджується тим, що в Україні за останні роки сталося сотні пожеж та вибухів різноманітних піротехнічних виробів, які спричинили руйнування будівель (збитки становлять більше мільйона гривень), загибель та травматизм людей. Таким чином, не вирішено ряд питань забезпечення пожежовибухобезпеки при застосуванні піротехнічних виробів у вказаних умовах. Головна причина такого стану полягає у неповноті нормативної бази вимог пожежної безпеки піротехнічних виробів. Наприклад, відсутній достатній контроль якості виробів під час їх використання, який ґрун-

The experimental-statistical models, which allow to calculate the speed of burning of the triple pyrotechnic nitrate-containing systems, and also forecast the explosive modes of their burning in the conditions of promoted temperatures of heating and external pressures with the relative error 2...5 % has been developed in the article.

Keywords: experimental-statistical models, triple pyrotechnic nitrate-containing systems, explosive modes of burning.

тується на базі даних по пожежонебезпечним властивостям виробів на основі ПНМС. Тому метою даної роботи є отримання такої бази даних шляхом систематизації відомостей по горінню розглядуваних ПНМС (в першу чергу, по швидкості горіння) у вигляді нескладних експериментально-статистичних моделей, зручних для практичних розрахунків.

Результати досліджень

Нижче наводяться експериментально-статистичні моделі, отримані відомими методами математичної статистики [9 – 11]. За допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення [1, 12], що дозволяє в діалоговому режимі на ПЕОМ класу IBM по отриманим моделям розраховувати рівні швидкості горіння розглядуваних систем, які характеризують їх здатність до спалахування та згасання при підвищених температурах нагріву та зовнішніх тисках.

Моделі для розрахунку впливу органічних добавок на залежності швидкості горіння від початкової температури. Такі моделі мають вигляд (для коефіцієнта надлишку окислювача $a = 0,2...3,0$, коефіцієнта ущільнення $K_y = 0,95...0,98$, середнього розміру частинок порошку магнію $d_m = 74$ мкм, середнього розміру частинок порошку окислювача

$d_N = 100...140$ мкм, температури нагріву $T_0 = 293...673$ К, зовнішнього тиску $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па ($P = 2,45 \cdot 10^7$ Па), відносної масової величини органічної добавки $e = 0...0,1$):

$$u(e, T_0) = u_0(e) \cdot T_0^{g_0(e)}, \quad (1)$$

де u – швидкість горіння (м/с), К; $u_0(e)$, $g_0(e)$ – емпіричні параметри. За допомогою розробленого пакета прикладних програм залежності $u_0(e)$ та $g_0(e)$ були отримані у вигляді поліноміальних багаточленів. Остаточні експериментально-статистичні моделі для прогнозування впливу величини e на залежності $u(T_0)$ представлені у табл. 1 – 4. Порівняння результатів розрахунків по моделям (1) з отриманим масивом експериментальних даних показує, що відмінності між ними не перевищують 2...4 %.

Моделі для розрахунку впливу органічних добавок на залежності швидкості горіння від зовнішнього тиску. Дані моделі мають ви-

гляд (для $a = 0,2...3,0$, $K_Y = 0,90...0,95$, $d_M = 74$ мкм, $d_N = 100...140$ мкм, $T_0 = 293$ К ($T_0 = 673$ К), $P = 0,98 \cdot 10^5...2,45 \cdot 10^7$ Па, $e = 0...0,1$):

$$u(e, P) = u_1(e) \cdot P^{g_1(e)} \quad (\text{м/с}), \quad (2)$$

де $u_1(e)$, $g_1(e)$ – емпіричні параметри. Вказані залежності $u_1(e)$ та $g_1(e)$ за допомогою розробленого пакета прикладних програм були отримані у вигляді простих поліноміальних багаточленів. Остаточні, для прогнозування впливу органічних добавок на залежності швидкості горіння від зовнішнього тиску були розроблені експериментально-статистичні моделі, які представлені у табл. 5 – 8. Порівняння результатів розрахунків по моделям (2) з отриманими експериментальними даними показує, що відмінності між ними не перевищують 3...5 %.

Таблиця 1

Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння системи $\text{Mg} + \text{NaNO}_3$ від температури нагріву

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + парафін ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,63 \cdot 10^{-4} - 0,11 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,62 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{1,72 + 2,20 \cdot e - 8,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + парафін ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(1,33 - 12,8 \cdot e + 0,88 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,20 + 2,50 \cdot e - 26,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + стеарин ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,63 \cdot 10^{-4} - 0,21 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,017 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{1,72 + 20,0 \cdot e - 2,20 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + стеарин ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(1,33 + 6,36 \cdot e - 119,20 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,20 + 2,30 \cdot e - 2,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + нафталін ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(6,30 \cdot 10^{-5} + 0,12 \cdot 10^{-2} \cdot e - 0,015 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{1,72 + 3,9 \cdot e - 46,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + нафталін ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(1,33 - 11,8 \cdot e + 80,0 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,20 + 1,10 \cdot e - 1,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + антрацен ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,63 \cdot 10^{-4} - 0,13 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,71 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{1,72 + 3,5 \cdot e - 10,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + антрацен ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(1,33 - 13,70 \cdot e + 94,0 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,20 - 0,20 \cdot e + 0,53 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$

Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння системи Mg + KNO₃ від температури нагріву

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
Mg + KNO ₃ + + парафін ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,31 \cdot 10^{-4} - 0,22 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,34 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,81+1,1 \cdot e-16,0 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + парафін ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(0,62 - 25,2 \cdot e + 0,42 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,10+1,2 \cdot e-51,2 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + стеарин ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,31 \cdot 10^{-4} - 0,42 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,008 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,82+10,0 \cdot e-1,13 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + стеарин ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(0,65 + 3,20 \cdot e - 198,30 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,12+1,20 \cdot e-4,10 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + нафталін ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(3,20 \cdot 10^{-5} + 0,07 \cdot 10^{-2} \cdot e - 0,031 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,81+6,94 \cdot e+23,20 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + нафталін ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(0,78 - 21,20 \cdot e + 159,10 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,12+0,56 \cdot e-0,58 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + антрацен ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,31 \cdot 10^{-4} - 0,24 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,35 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,81+1,74 \cdot e-21,20 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + антрацен ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(0,64 - 25,91 \cdot e + 46,70 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,14-0,41 \cdot e+0,26 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$

Таблиця 3

Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння системи Mg + Sr(NO₃)₂ від температури нагріву

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + парафін ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,21 \cdot 10^{-4} - 0,33 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,24 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,51+0,74 \cdot e-23,70 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + парафін ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(0,40 - 36,14 \cdot e + 0,28 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,071+0,84 \cdot e-72,50 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + стеарин ($a = 1,0$, $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па)	$u = \left(0,24 \cdot 10^{-4} - 0,63 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,005 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,54+0,72 \cdot e-0,75 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + стеарин ($a = 1,0$, $P = 2,45 \cdot 10^7$ Па)	$u = \left(0,43 + 2,13 \cdot e - 324,10 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,71+6,82 \cdot e-6,62 \cdot e^2}$

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + нафталін (a = 1,0, P = 0,98·10 ⁵ Па)	$u = \left(3,15 \cdot 10^{-5} + 0,041 \cdot 10^{-2} \cdot e - 0,032 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,58-11,20 \cdot e+15,41 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + нафталін (a = 1,0, P = 2,45·10 ⁷ Па)	$u = \left(0,41 - 23,10 \cdot e + 17,61 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,70+0,34 \cdot e-3,10 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + антрацен (a = 1,0, P = 0,98·10 ⁵ Па)	$u = \left(0,21 \cdot 10^{-4} - 0,040 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,21 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,56+1,27 \cdot e-3,30 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + антрацен (a = 1,0, P = 2,45·10 ⁷ Па)	$u = \left(0,43 - 4,24 \cdot e + 32,10 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,71-0,62 \cdot e+0,17 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$

Таблиця 4

**Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння
системи Mg + Ba(NO₃)₂ від температури нагріву**

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + парафін (a = 1,0, P = 0,98·10 ⁵ Па)	$u = \left(0,17 \cdot 10^{-4} - 0,026 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,18 \cdot e^2 \right) \cdot T_0$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + парафін (a = 1,0, P = 2,45·10 ⁷ Па)	$u = \left(0,38 - 3,20 \cdot e + 0,24 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,067+0,62 \cdot e-10,0 \cdot e^2}$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + стеарин (a = 1,0, P = 0,98·10 ⁵ Па)	$u = \left(0,16 \cdot 10^{-4} - 0,83 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,0042 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,61+5,10 \cdot e-8,80 \cdot e^2}$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + стеарин (a = 1,0, P = 2,45·10 ⁷ Па)	$u = \left(0,31 + 1,72 \cdot e - 436,10 \cdot e^2 \right) \cdot T_0$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + нафталін (a = 1,0, P = 0,98·10 ⁵ Па)	$u = \left(1,52 \cdot 10^{-5} + 0,04 \cdot 10^{-2} \cdot e - 0,03 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,57-15,6 \cdot e+11,0 \cdot e^2}$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + нафталін (a = 1,0, P = 2,45·10 ⁷ Па)	$u = \left(0,31 - 47,2 \cdot e + 20,0 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,05+0,24 \cdot e-0,25 \cdot e^2}$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + антрацен (a = 1,0, P = 0,98·10 ⁵ Па)	$u = \left(0,16 \cdot 10^{-4} - 0,43 \cdot 10^{-2} \cdot e + 0,18 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,44+0,89 \cdot e-40,0 \cdot e^2}$
Mg + Ba(NO ₃) ₂ + + антрацен (a = 1,0, P = 2,45·10 ⁷ Па)	$u = \left(0,34 - 43,20 \cdot e + 0,26 \cdot e^2 \right) \cdot T_0^{0,051-0,82 \cdot e+0,14 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$

**Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння
системи $\text{Mg} + \text{NaNO}_3$ від зовнішнього тиску**

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 293 \text{ K}$)	$u = \left(0,80 - 0,44 \cdot e^{0,26}\right) \cdot P^{0,30-0,20 \cdot e+0,77 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 673 \text{ K}$)	$u = \left(2,81 - 2,29 \cdot e^{0,25}\right) \cdot P^{0,10+0,66 \cdot e-4,40 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 293 \text{ K}$)	$u = \left(0,88 - 0,96 \cdot e^{0,16}\right) \cdot P^{0,30+1,0 \cdot e-16,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 673 \text{ K}$)	$u = \left(2,81 - 3,29 \cdot e^{0,12}\right) \cdot P^{0,10+2,46 \cdot e-20,4 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 293 \text{ K}$)	$u = \left(0,80 - 1,18 \cdot e^{1,22}\right) \cdot P^{0,30-0,50 \cdot e+2,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 673 \text{ K}$)	$u = \left(2,80 - 3,03 \cdot e^{0,60}\right) \cdot P^{0,10-0,80 \cdot e+2,0 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 293 \text{ K}$)	$u = \left(0,80 - 0,71 \cdot e^{0,22}\right) \cdot P^{0,30-2,0 \cdot e+0,77 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{NaNO}_3 +$ + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 673 \text{ K}$)	$u = \left(2,81 - 2,45 \cdot e^{0,20}\right) \cdot P^{0,10+0,76 \cdot e-6,40 \cdot e^2}$

Таблиця 6

**Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння
системи $\text{Mg} + \text{KNO}_3$ від зовнішнього тиску**

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
$\text{Mg} + \text{KNO}_3 +$ + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 293 \text{ K}$)	$u = \left(0,41 - 0,89 \cdot e^{0,48}\right) \cdot P^{0,16-0,41 \cdot e+0,36 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{KNO}_3 +$ + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 673 \text{ K}$)	$u = \left(1,40 - 4,57 \cdot e^{0,51}\right) \cdot P^{0,05+0,33 \cdot e-2,20 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{KNO}_3 +$ + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 293 \text{ K}$)	$u = \left(0,42 - 1,82 \cdot e^{0,30}\right) \cdot P^{0,15+0,5 \cdot e-32,10 \cdot e^2}$
$\text{Mg} + \text{KNO}_3 +$ + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 673 \text{ K}$)	$u = \left(1,40 - 6,57 \cdot e^{0,24}\right) \cdot P^{0,05+1,22 \cdot e-40,6 \cdot e^2}$

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
Mg + KNO ₃ + + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 293$ K)	$u = \left(0,41 - 2,36 \cdot e^{2,38}\right) \cdot P^{0,16-1,10 \cdot e+4,1 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 673$ K)	$u = \left(1,42 - 6,05 \cdot e^{1,20}\right) \cdot P^{0,05-1,62 \cdot e+1,02 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 293$ K)	$u = \left(0,42 - 1,43 \cdot e^{0,43}\right) \cdot P^{0,16-4,10 \cdot e+0,38 \cdot e^2}$
Mg + KNO ₃ + + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 673$ K)	$u = \left(1,41 - 4,92 \cdot e^{0,43}\right) \cdot P^{0,054+0,38 \cdot e-12,81 \cdot e^2}$

Таблиця 7

**Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння
системи Mg + Sr(NO₃)₂ від зовнішнього тиску**

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 293$ K)	$u = \left(0,27 - 1,23 \cdot e^{0,78}\right) \cdot P^{0,12-0,60 \cdot e+0,26 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 673$ K)	$u = \left(0,92 - 6,91 \cdot e^{0,76}\right) \cdot P^{0,032+0,23 \cdot e-13,20 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 293$ K)	$u = \left(0,27 - 2,86 \cdot e^{0,48}\right) \cdot P^{0,074+0,032 \cdot e-48,1 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 673$ K)	$u = \left(0,82 - 9,31 \cdot e^{0,36}\right) \cdot P^{0,031+0,82 \cdot e-61,4 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 293$ K)	$u = \left(0,26 - 3,54 \cdot e^{3,66}\right) \cdot P^{0,074-0,017 \cdot e+6,04 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 673$ K)	$u = \left(0,91 - 12,06 \cdot e^{1,18}\right) \cdot P^{0,03-2,41 \cdot e+6,04 \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 293$ K)	$u = \left(0,25 - 2,12 \cdot e^{0,67}\right) \cdot P^{0,12-6,10 \cdot e+0,29 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
Mg + Sr(NO ₃) ₂ + + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 673$ K)	$u = \left(0,91 - 7,32 \cdot e^{0,64}\right) \cdot P^{0,031+0,28 \cdot e-18,70 \cdot e^2}$

Вплив добавок органічних речовин на залежності швидкості горіння системи $Mg + Ba(NO_3)_2$ від зовнішнього тиску

Моделі Системи (вихідні дані)	Експериментально-статистичні моделі
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 293\text{ K}$)	$u = \left(0,21 - 1,64 \cdot e^{0,92}\right) \cdot P^{0,075-0,60 \cdot e+0,19 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + парафін ($a = 1,4$, $T_0 = 673\text{ K}$)	$u = \left(0,72 - 9,12 \cdot e^{1,02}\right) \cdot P^{0,025+0,16 \cdot e-16,8 \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 293\text{ K}$)	$u = \left(0,23 - 3,65 \cdot e^{0,64}\right) \cdot P^{0,075+0,25 \cdot e-64,1 \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + стеарин ($a = 1,4$, $T_0 = 673\text{ K}$)	$u = \left(0,71 - 12,60 \cdot e^{0,48}\right) \cdot P^{0,024+0,63 \cdot e-81,1 \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 293\text{ K}$)	$u = \left(0,21 - 4,72 \cdot e^{4,85}\right) \cdot P^{0,074-0,15 \cdot e+0,51 \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + нафталін ($a = 1,4$, $T_0 = 673\text{ K}$)	$u = \left(0,72 - 12,10 \cdot e^{2,42}\right) \cdot P^{0,023-3,21 \cdot e+0,52 \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 293\text{ K}$)	$u = \left(0,20 - 2,82 \cdot e^{0,86}\right) \cdot P^{0,072-8,10 \cdot e+0,18 \cdot 10^{-4} \cdot e^2}$
$Mg + Ba(NO_3)_2 +$ + антрацен ($a = 1,4$, $T_0 = 673\text{ K}$)	$u = \left(0,74 - 10,10 \cdot e^{0,82}\right) \cdot P^{0,026+0,19 \cdot e-25,1 \cdot e^2}$

Висновки

1. Для прогнозування вибухонебезпечних режимів горіння ПНМС розроблено експериментально-статистичні моделі з розрахунку швидкості їх горіння в умовах підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків.
2. Проведені розрахунки по розробленим моделям повністю відповідають отриманим експериментальним даним (відносна похибка не перевищує 2...5 %).

ЛІТЕРАТУРА

1. Ващенко В. А., Кириченко О. В., Лега Ю. Г., Заика П. И., Яценко И. В., Цибулин В. В. Процессы горения металлизированных конденсированных систем. – К.: Наукова думка, 2008 – 745 с.
2. Кириченко О. В., Акиншин В. Д., Цибулин В. В., Яценко И. В., Ващенко В. А. Моделирование экстремальных термовоздействий на поверхность металлических оболочек изделий на основе пиротехнических нитрат-

ных систем в динамических условиях эксплуатации // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2007. – № 3 (109) ч. 1. – С. 114 – 119.

3. Ващенко В. А. Высокотемпературные технологические процессы взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами. Монография. – М.: Деп. в ВИНТИ 07.08.96, № 62 – хп 96. – 408 с.
4. Ващенко В. А. Взаимодействие волны горения с конденсированными системами металл + окислитель в динамических условиях. – М.: Деп. в ВИНТИ 03.03.94, № 39 – хп 94.
5. Ващенко В. А. Численно-экспериментальное прогнозирование оптимальных режимов нагрева металлической оболочки внешним сверхзвуковым газовым потоком и внутренней пристеночной струей жидкого металла. – М.: Деп. в ВИНТИ 18.02.94, № 23 – хп 94.
6. Заика П. И., Ващенко В. А. Исследования пределов горения конденсированных систем металл + окислитель при повышенных температурах нагрева // Сборник научных тру-

- дов Харьковского института пожарной безопасности "Проблемы пожарной безопасности". – Харьков: Институт пожарной безопасности, 1998. – вып. 4. – С. 88 – 90.
7. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Заика П. И., Цибулин В. В. Пожароопасные свойства пиротехнических нитратных систем // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Комплексне використання сировини, енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві неорганічних речовин". – Черкаси, Україна, 27 – 29 травня 2004 року. – С. 73.
 8. Кириченко О. В., Цибулин В. В., Ващенко В. А., Заика П. И. Скорость горения нитратных систем в динамических условиях эксплуатации // Матеріали науково-практичної конференції "Комплексне використання сировини, енерго-та ресурсозберігаючі технології у виробництві неорганічних речовин". – Черкаси, Україна, 27 – 29 травня 2004 року. – С. 75.
 9. Шахназарова С. Л., Кафаров В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1978. – 305 с.
 10. Виленкин С. Я. Статистическая обработка результатов исследования случайных величин. – М.: Энергия, 1979. – 320 с.
 11. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
 12. Ващенко В. А. Комплекс программных средств для решения инженерных задач на ПЭВМ, совместимых с IBM PC, AT, XT по моделированию, оптимизации и управлению процессами взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами. – М.: Деп. в ВИНТИ 02.03.94, № 31 – хп 94.
- Кириченко О.В.**, к.т.н., доцент кафедри пожежно-профілактичної роботи Черкаської академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля.
- Ващенко В.А.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики Черкаського державного технологічного університету.
- Заїка П.І.**, к.т.н., доцент, начальник кафедри пожежно-профілактичної роботи Черкаської академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля.
- Омельченко О.М.**, викладач, Черкаська академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля.
- Тупицький В.М.**, Черкаська академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля.