

# **Калориметричні дослідження димного пороху**

шифр «**КИСЕНЬ**»

## ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ЛІТЕРАТУРНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	4
1.1 Загальні характеристики компонентів димного пороху	4
1.2 Технологія виробництва димного пороху	8
1.2.1 Опис технологічної схеми виробництва димних порохів	8
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	11
2.1 Опис методу дослідження	11
2.2 Аналіз даних та обробка результатів	13
ВИСНОВКИ	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	20
Додаток А. Акт впровадження в навчальний процес	
Додаток Б. Акт впровадження у виробництво	
Додаток В. Апробація результатів досліджень	

## ВСТУП

Димний порох є найдавнішою вибуховою речовиною. Довгий час (майже 500 років) він залишався єдиною багатофункціональною вибуховою речовиною - використовувався з воєнною метою для вогнепальної зброї, спорядження гранат, підриву гірських порід [1].

Димні порохи, не дивлячись на їх багатотисячлітню історію практичного застосування, до цих пір ще застосовуються як запальник нітроцелюлозних порохів та твердих палив, а також в якості промислової вибухової речовини. Тому димні порохи і в наш час є об'єктом дослідження. Деякі питання, що стосуються фізико-хімічних та термодинамічних властивостей, залишилися досі невивченими. Так, при визначенні експериментальних значень калорійності пороху виникає необхідність порівняння їх з теоретичними розрахунками. Відомо, що теоретичні розрахунки калорійності (теплоти вибуху) базуються на законі Гесса [2]. Згідно якого тепловий ефект реакції може бути розрахованим по відомому рівнянню, використовуючи дані по теплотам утворення вихідних продуктів та продуктів реакції.

# 1 ЛІТЕРАТУРНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Загальні характеристики компонентів димного пороху

**Димний** - це селітро-сірко-вугільний порох. Він складається з калієвої селітри - 75%, дерев'яного вугілля - 15% і сірки 10% (по масі). Для різних марок порохів ці величини можуть змінюватися (коливання близько 1%).

Від чистоти селітри, сірки і вугілля залежать фізичні і балістичні властивості димного пороху, а також безпека виробничої роботи. Селітра стала піддаватися на наших заводах спеціальному очищенню або літруванню з часів Петра I [3]; на цю операцію зверталася особлива увага з метою отримання найменш гігроскопічного, а отже, придатного для тривалого зберігання пороху. Присутність натрієвої селітри і хлористих сполук калію, натрію, кальцію і магнію значно збільшують гігроскопічність калієвої селітри, а значить, і пороху. Для виготовлення пороху беруть **калієву селітру**, оскільки вона менш вбирає вологу з повітря в порівнянні з іншими селітрами.

Сучасні вимоги до калієвої селітри:

- 1) калієва селітра повинна містити не менше 99,8% чистого  $KNO_3$ ;
- 2) вміст  $NaNO_3$  не буде більше 0,03%;
- 3) сполук хлору при розрахунку на  $NaCl$  допускається не більше 0,03%;
- 4) не повинно бути сполук кальцію, магнію і нерозчинних у воді речовин (піску, заліза, дерева);
- 5) зовнішній вигляд – білі кристали з жовтуватим – сіруватим відтінком;
- 6) масова доля калій нітрату - не менше 99,90%;
- 7) масова доля води - не більше 0,08%;
- 8) масова доля хлористих солей в перерахунку на  $NaCl$  - не більше 0,017%;
- 9) масова доля вуглекислих солей в перерахунку на  $K_2CO_3$  - не більше 0,01%;
- 10) масова доля нерозчинного у воді залишку - не більше 0,01%;

**Сірка** виготовляється шляхом очищення або рафінування комової (природної) сірки шляхом перегонки. Основні вимоги до сірки:

1) при згоранні не повинно залишатися більше 0,01% залишку, в ньому не допускається присутності піщинок;

2) при кип'ятінні з водою не повинно вилучатись речовин кислого характеру і не повинно міститися миш'яку більше 0,1%;

3) масова доля сірки - не менше 99,95%;

4) масова доля золи - не більше 0,03%;

5) масова доля органічних речовин - не більше 0,03%;

Призначення зазначених складових частин у поросі наступне: селітра дає кисень для спалювання вугілля, сірка служить для скріплення (цементації) суміші, крім того, володіючи більш низькою температурою займання, ніж вугілля, вона прискорює процес запалення пороху [4].

**Вугілля** з усіх трьох складових частин вимагає найбільшого вивчення та дотримання спеціальних умов випалу. Якщо селітру і сірку порохіві заводи можуть отримувати зі сторони, піддаючи їх хімічному аналізу, то вугілля вони змушені випалювати самі, оскільки аналізом можна встановити придатність вугілля і недоліки його позначаються лише в готовому пороху. Вугілля, що йде на виробництво димного пороху, повинно легко займатися, швидко згорати і по можливості бути мало гігроскопічним. Для всіх сортів чорного пороху вживається вугілля, випалене з малощільних дерев'яних порід, наприклад з крушини, вільхи, осики, ліщини, верби. Смолисті породи дерев при обпаленні дають нагар, що ускладнює займання пороху. Дерева, призначені для випалювання порохового вугілля, повинні бути від 2 до 10-річного віку, оскільки дуже молоді дерева дають багато золи, а деревина старого лісу неоднорідна. Для отримання вугілля дерево слід обпалювати без доступу повітря. Випалювання в ямах або котлах, при якому виходить перепалене, смолисте і багате золою вугілля, давно вже в минулому; перейшли до більш

досконалого способу випалювання вугілля в циліндрах або ретортах, при якому можливе регулювання випалу зміною температури і часу. Залежно від температури випалу виходить вугілля з різним вмістом вуглецю, а отже, різний за властивостями. Існують три сорти порохового вугілля: чорний, бурий і шоколадний. Чим нижчий ступінь випалу, тим менше швидкість горіння вугілля, відповідно і пороху.

Стосовно дерев'яного вугілля, то це пористий продукт, сконденсований залишок піролізу деревини або кори, який має окрім властивостей палива, ще й властивості неактивного сорбенту. Теплота згорання вугілля знаходиться в межах від 30 до 35 МДж/кг. Елементарний склад (головним чином, С, Н та N+O) вугілля визначається в основному температурою піролізу.

Для виробництва димних порохів використовують різні марки дерев'яного вугілля [5] в залежності від природи (порода деревини, кора) та степеню обжигу.

Для трубчатих порохів - з кори берези: ІВ - березовий високовуглецевий, ІН - березовий низьковуглецевий.

Для трубчатих порохів - з деревини крушини: КВ - крушинний високовуглецевий, КС - крушинний середньовуглецевий, КН - крушинний низьковуглецевий.

Для шнурового пороху - з деревини вільхи або липи: Ш - шнуровий.

Для мисливських та порохів для рушниць - з деревини вільхи та липи: ОР - мисливський.

За фізико-хімічними показниками дерев'яне вугілля повинно відповідати вимогам і нормам, вказаним у таблиці 1 [2].

Таблиця 1- Фізико-хімічні властивості дерев'яного вугілля

Найменування показника	Норма для марки						
	ІВ	ІН	КВ	КС	КН	Ш	ОР
1. Зовнішній вигляд	Відсутність видимих сторонніх домішок (піску, глини, трісок та ін.), кусків вугілля різних дерев'яних порід, кусків розмірами менше 10 мм, недопаленого і перепаленого вугілля, вугілля зі смолистим і попелястим нальотом на поверхні, сучків діаметром більше 5 мм, для марок Ш та ОР – більше 15 мм						
2. Колір вугілля у зламі шматків	чорно-бурий	шоколадний	від бурого до темно-коричневого	від світло-коричневого до бурого	шоколадний	від синювато-чорного до чорного	від чорного до чорного з коричневим відтінком
3. Масова доля вуглецю, %	57,5 – 62,5	50 – 55	69 – 74	60 – 64	55 – 59	78 – 87	74 – 82
4. Масова доля золи, %, не більше	10,0	10,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5. Масова доля вологи, %, не більше	7	8	7	7	7	7	7
6. Температура займання, К (°С), не вище	533 (260)	533 (260)	518 (245)	533 (260)	533 (260)	– –	508 (235)

## 1.2 Технологія виробництва димного пороху

### 1.2.1 Опис технологічної схеми виробництва димних порохів

Процес виробництва димних порохів складається з наступних фаз [7]:

- Подрібнення калієвої селітри;
- Подрібнення вугілля;
- Плавлення і чешуювання сірки;
- Спільне подрібнення сірки та вугілля (одержання подвійної сірко-вугільної суміші);
- Змішування потрійного (калієва селітра і сірко-вугільна суміш) складу в бочках;
- Просіювання потрійного складу;
- Зарядка конвертів;
- Пресування порохового складу;
- Розрядки конвертів і розбиття плитки;
- Охолодження порохової плитки;
- Зернення плитки;
- Полірування порохового зерна;
- Відпиловка зерна;
- Сортування пороху;
- Мішка пороху;
- Укупорка пороху.

Калієва селітра зі складу надходить на подрібнення в млин системи «Леша» (рис. 1, поз. 1).

Очищена сірка у вигляді лусочок і дерев'яне вугілля, поміщені в мішки, зі складів надходять в будівлю виготовлення подвійної суміші. Сірко-вугільна суміш готується в залізних бочках (рис. 1, поз.5), де відбуваються змішування і доподріблення компонентів.



При отриманні сірко-вугільної суміші в безперервному процесі сірка спочатку очищається шляхом плавлення в котлах апарату чешуювання (рис. 1, поз. 2) і формування у вигляді лусочок на холодному барабані (рис. 1, поз. 3), потім вертикальним елеватором і горизонтальним шнеком подається на автоматичні ваги. Вугілля подрібнюється на одновалковій дробарці (рис. 1, поз. 4) і направляється вертикальним елеватором на ваги. Зважені порції сірки та вугілля двома горизонтальними шнеками направляються в кульовий млин (рис. 1, поз. 6), де відбувається подрібнення сірки та вугілля, отримання подвійної суміші, яка в міру вивантаження з млина вертикальним елеватором і горизонтальним шнеком спрямовується на гуркіт для просіювання.

Просіяну подвійну суміш збирають в приймальному бункері, звідки вивантажують для розвішування.

Калієва селітра і сірко-вугільна суміш, навішені в мішки, подаються для змішування потрійного складу в шкіряні або дерев'яні бочки (рис. 1, поз. 7). Приготований потрійний склад з дерев'яних або шкіряних бочок подається в апарат просіювання (рис. 1, поз. 8). Далі просіяний склад транспортується на фазу зарядки конвертів.

Якщо потрійний склад йде в якості готового продукту, то порохова м'якість (ПМ) транспортується в проміжний льох або на закупорювання.

Після складання комплекту конвертів з потрійним складом (у кількості 26 штук) він транспортується на вагонетці на фазу пресування складу в порохову плитку на гідравлічному пресі з обігрівом (рис. 1, поз. 9).

Отримана порохова плитка в конвертах після пресування на вагонетці перевозиться в розряджальну майстерню, де відбувається відділення конвертів від порохової плитки. Далі порохова плитка в мішках направляється в приміщення охолодження плитки (рис. 1, поз. 10).

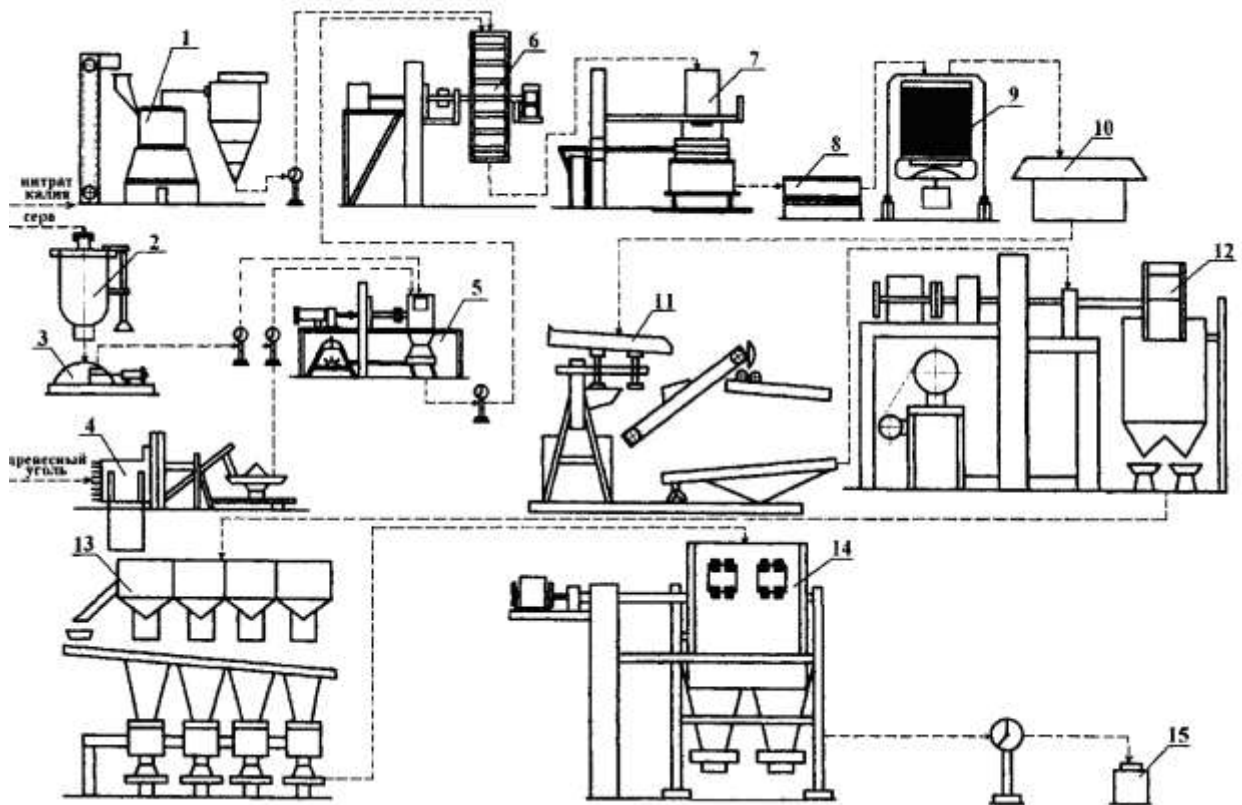


Рис. 1 – Технологічна схема виробництва димних порохів

1 - млин з сепаратором для нітрату калію; 2 - плавники сірки, 3 - апарат чешуювання сірки, 4 - валкова дробарка вугілля; 5 - апарат змішування сірки та вугілля з гуркотом; 6 - апарат отримання порохового складу; 7 - апарат просійки; 8 - збірка для пресування (конверти); 9 - прес для плитки, 10 - апарат для охолодження плитки; 11 - апарат зернення плитки, 12 - барабан полірувальний, 13 - апарат сортування; 14 - апарат змішування загальних партій; 15 – закупорювання.

Охолоджена порохова плитка подається на фазу зерніння, де на зернильній машині (рис. 1, поз. 11) відбувається отримання порохового зерна. Далі зерно надходить на полірування в полірувальні барабани (рис. 1, поз. 12).

Відполіроване зерно відокремлюється від пилу і направляється на сортування пороху (рис. 1, поз. 13). Відсортоване порохове зерно подається на мішку (рис. 1, поз. 14) для складання загальних партій димних порохів за марками. Після мішки порох розвішується і пакується. (рис. 1, поз.15).

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис методу дослідження

Калориметрія – сукупність методів вимірювання кількості теплоти, яка виділяється або поглинається при протіканні різних фізичних та хімічних процесів. Методи калориметрії застосовують при визначенні теплоємності, теплових ефектів хімічних реакцій, розчинності, змочуванні, адсорбції, радіоактивному розпаді, також у промисловості для визначення теплоутворювальної здатності палива. Засновником калориметрії вважають шотландського (англійського) хіміка та фізика Джозефа Блейка.

Прилад, що використовується для таких вимірювань, називається калориметром (рис.2). Калориметричний посуд являє собою циліндричну ємність; для попередження корозії він зазвичай виготовляється із золота або платини. У своїй донній частині ємність має поглиблення, в котре щільно вставляється термометр опору ( у металічному корпусі) разом з оточуючим його електричним нагрівачем. У верхній частині розміщується тонка трубка, через яку калориметр заповнюють досліджуваною речовиною. Крім того, калориметр зазвичай має велику кількість металічних стрічок («крилець») для покращення теплообміну.

Існує багато різних типів калориметрів. При вимірюванні теплоємності проточним калориметром до трубки, по якій тече досліджувана речовина, підводиться відомий потік тепла, вимірюється температура середина на вході та виході; необхідність вимірювань теплоти реакції, кількості виділеної (поглинутої) теплоти також визначають за підвищенням (пониженням) температури реагуючого потоку.

У рідинному калориметрі досліджувана речовина може реагувати у розчинному стані усередині ізольованого посуду; у цьому випадку виділене (поглинуте) тепло визначається по вимірюванню температури ємності та її вмісту (теплоємність матеріалів у конструкції зазвичай визначають тим

самим калориметром, використовуючи в якості джерела тепла електричний нагрівач).

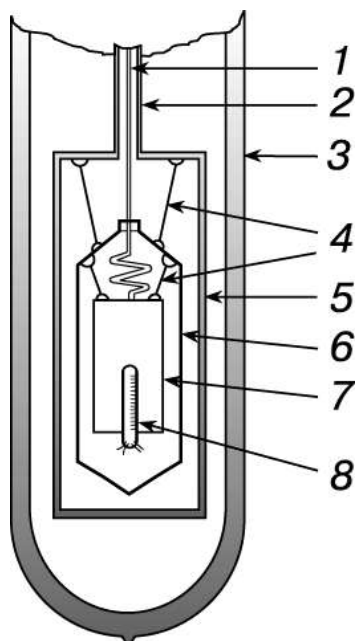


Рис. 2 – Високоточний адіабатичний калориметр

1 - трубка для заповнення калориметра; 2 - трубка для відкачки калориметра; 3 - криостат (сосуд Дьюара); 4 - нитки підвіски; 5 - вакуумний контейнер; 6 - адіабатичний екран; 7 - калориметричний посуд; 8 - термометр з нагрівачем.

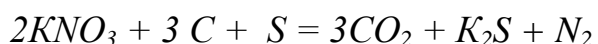
При визначенні теплоти реакції у бомбовому калориметрі рідка та тверда речовини спалюються або вибухають в атмосфері кисню усередині теплоізолюваної ємності з досить товстими стінками, здатної витримати підвищення тиску, котрим супроводжується процес вибуху досліджуваної речовини. Калориметри можуть бути, з одної сторони, досить мініатюрними, щоб виміряти теплофізичні властивості декількох міліграмів речовини, а з іншої сторони, досить великими, щоб виміряти метаболічне тепло.

Калориметри застосовують для вимірювання теплофізичних властивостей матеріалів у широкому діапазоні температур – від

температур, лише на долі градусу відмінних від абсолютного нуля (-273,16° C), до перевищуючих 1000° C.

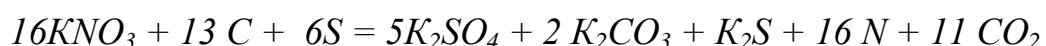
## 2.2 Аналіз даних та обробка результатів

Перше рівняння вибухового розкладу димного порошу знаходимо у книзі [8], яка вийшла 1848 року:



З 270 г димного порошу (2 KNO<sub>3</sub> + 3 C + S) виділяється теплота (ΔH)=[3(-393,51)+1(-387,3)] - [2(-494,0)] = -579,8 кДж, а з 1000 г димного порошу виділяється -2147,5 кДж теплоти.

Шишков у 1907 році [9] видає наступне рівняння вибухового розкладу димного порошу:

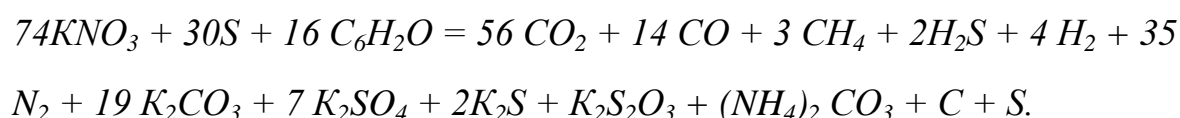


Їм навіть надається і значення ентальпії (теплоти) вибухового розкладу димного порошу, яке дорівнює -3373,0 кДж на 1000 г порошу.

Розрахуємо ентальпію розкладу димного порошу за рівнянням Шишкова, використовуючи ентальпії утворення сполук, які приймають участь у реакції (табл. 2).

З 1964 г димного порошу виділяється теплота [5(-1437,7)+2(-1151,5)+1(-387,3)+11(-393,51)] - [16(-494,0)] = - 6303 кДж, а з 1000 г димного порошу виділяється - 3209,3 кДж теплоти.

Більш чітке рівняння вибухового розкладу димного порошу запропонував у 1940 році Бейлінг [10]:



Розрахувати ентальпії розкладу димного порошу по рівнянню Бейлінга складно, оскільки дерев'яному вугіллю як компоненту цього порошу приписана хімічна формула C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>O, а не С (вуглець) як у попередніх

рівняннях. Знайти значення ентальпії утворення дерев'яного вугілля у довідниках не можливо. Саме дерев'яне вугілля не є хімічною речовиною – це продукт піролізу деревини. Обидва зразки дерев'яного вугілля, отримані з одного й того ж самого виду деревини, можуть відрізнятися за вмістом вуглецю, водню та кисню. Крім цього, у дерев'яному вугіллі є наявними неорганічні солі (зола) та волога, тому у випадку дерев'яного вугілля ми повинні говорити про ентальпію утворення дерев'яного вугілля як бруто-ентальпію утворення, вводячи поправку на вміст золи та води як інертних речовин та на вміст вуглецю (табл. 3). Залежність ентальпії утворення дерев'яного вугілля від вмісту вуглецю ще більше ускладнює задачу розрахунку ентальпії вибухового розкладу димних порохів, що базуються на наслідках із закону Гесса. У рівнянні Бейлінга дерев'яне вугілля представлене хімічною формулою, яка вказує на те, що вміст вуглецю у ньому складає 80% по масі, водню – 2,2% по масі та 17,8% по масі кисню.

Таблиця 2 - Ентальпія утворення ( $\Delta H_{обр}^0$ ) продуктів вибуху та вихідних компонентів димного пороху

Найменування	Ентальпія за [9], ккал/моль	Ентальпія за [1], кДж/моль	Найменування	Ентальпія за [9], ккал/моль	Ентальпія за [1], кДж/моль
CO <sub>2</sub>	+94,3	-393,51	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+272,3	-
CO	+26,4	-110,53	KCNS	+49,8	-
CH <sub>4</sub>	+18,11	-84,9	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	+228,0	-
H <sub>2</sub> S	+5,0	-20,50	K <sub>2</sub> O	+86,8	-361,7
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	+281,1	-1151,5	KNO <sub>3</sub>	+119,5	-494,0
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+340,6	-1437,7	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> O (дерев'яне вугілля)	Немає даних	Немає даних
K <sub>2</sub> S	+87,3	-387,3			

У таблиці 3 представлені результати елементного аналізу дерев'яного вугілля різного ступеню обжигу, отриманого в одній печі [2], які визначають зв'язок між елементами (вуглець, водень, кисень) та

розрахованими нами значеннями вищої ентальпії згорання по Дюлонгу [11], які відповідають певному елементному складу вугілля.

Таблиця 3 – Елементний аналіз та ентальпії згорання зразків дерев'яного вугілля однієї печі

№ зразку	Вміст елементів, % по масі			Вища ентальпія згорання за Дюлонгом, ккал/кг
	вуглець	водень	кисень	
1	57,3	5,5	37,2	4922,7
2	61,0	5,7	33,3	5458,7
3	63,6	6,6	29,8	6129,6
4	70,7	5,4	23,9	6543,9
5	75,6	4,8	19,6	6909,7
6	78,2	4,6	17,2	7162,9
7	80,0	3,7	16,3	7036,9
8	85,3	3,2	11,5	7499,6
9	86,5	3,0	10,5	7570,7
10	87,7	3,5	8,8	7913,2
11	90,4	2,4	7,2	7821,2
12	90,9	2,0	7,1	7728,1
деревина	49,5	6,3	44,2	4266,7

Графічні залежності розрахункових теплот (ентальпії) згорання від складу вугілля представлені на рисунку 3 та 4.

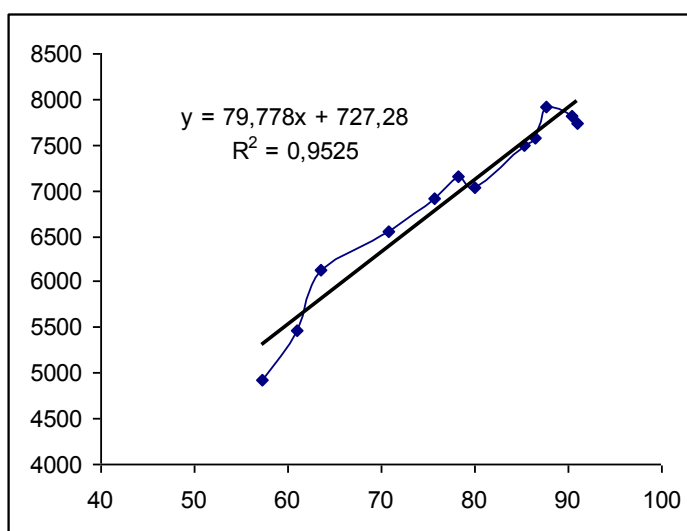


Рис. 3 – Залежність ентальпії згорання дерев'яного вугілля, розрахованої за формулою Дюлонга, від % по масі вмісту вуглецю в них.



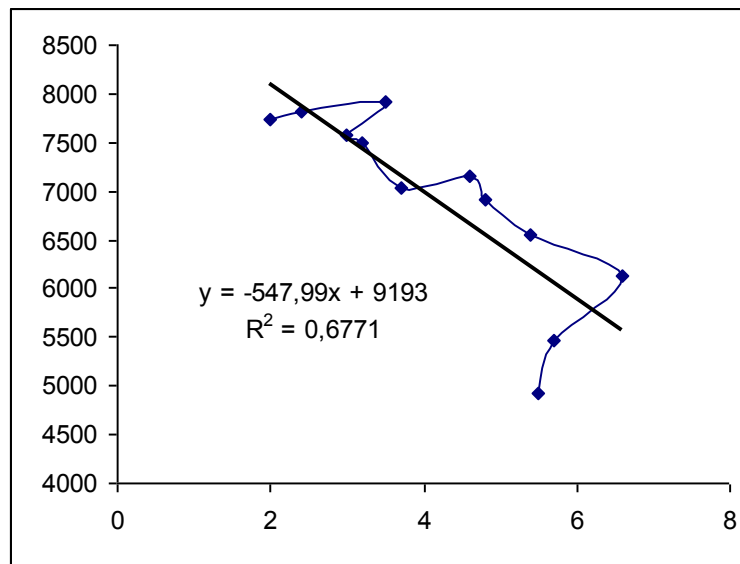


Рис. 4 – Залежність ентальпії згорання дерев'яного вугілля, розрахованої за формулою Дюлонга, від % по масі вмісту водню в них.

**Результати досліджень.** Калориметричні дослідження проводили на бомбових калориметрах С-2000 (Німеччина) у середовищі кисню, тиск кисню в бомбі  $25 \pm 1$  атм, температура термостату  $20$  °С та В-08-М (Казахстан) у вакуумі (залишковий тиск  $0,00001$  МПа). Компоненти димних порохів (горючі – дерев'яне вугілля, сірка) спалювали у середовищі кисню (С-2000), а димний порошок спалювали як у вакуумі (В-08-М), так і у середовищі кисню (С-2000).

Для досліджень були використані хімічні речовини тієї ж хімічної чистоти, при якій вони використовуються у масовому виробництві димних порохів [9]. Дерев'яне вугілля має вологість  $4,4$  % по масі, вміст золи  $0,52$  % по масі. Вміст у дерев'яному вугіллі вуглецю складало  $77,2$  % по масі, водню  $4,70$  % по масі, кисню –  $18,10$  % по масі. Вміст основної речовини у нітраті калію не менше  $99,9\%$  по масі, у сірці – не менше  $99,95\%$  по масі. Результати спалювання компонентів димного порошку представлені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Теплота згорання димного порошу та його компонентів

Найменування зразку	Стан наважки	Тиск кисню у бомбі, МПа	Теплота згорання ( $\Delta U$ ) у бомбі, кДж/кг
Дерев'яне вугілля марки ОР	подрібнена	2,5	28445,7
Сірка	подрібнена	2,5	9605,0
Димний порошок	подрібнена	2,5	5507,0
Димний порошок*	подрібнена	вакуум, залишковий тиск 0,00001 МПа	3202,8

\* У відповідності до стандарту визначення калорійності димних порохів виконується у суміші 50:50 з баліститним порохом НБПл.

Привертає увагу до себе факт того, що теплота згорання димного порошу у вакуумі та у середовищі кисню дуже відрізняються. Це пов'язано з тим, що у середовищі кисню згорання димного порошу протікає більш повно та утворюються продукти згорання, які мають більші значення ентальпії утворення.

Теплота згорання зразку дерев'яного вугілля при постійному об'ємі (у бомбі) може розглядатися як зміна внутрішньої енергії  $\Delta U$ . Структурна хімічна формула (масою 1 кг) його відповідає  $C_{64,33}H_{47,00}O_{11,31}$  сухої беззольної маси, при цьому теплота згорання його буде складати 29845,2 (кДж/кг). Тоді розрахункова теплота утворення при постійному об'ємі згідно рівняння горіння:

$C_{64,33}H_{47,00}O_{11,31} + 70,43 O_2 = 64,33 CO_2 + 23,5 H_2O$  буде мати величину (-2185,6 кДж/кг).

Теплота згорання зразку сірки дечим перевищує теплоту її теоретичного згорання за реакцією:  $S + O_2 = SO_2$ , замість - 9296,5 кДж/кг вона складає - 9605,0 кДж/кг, що може бути пов'язаним з її алотропним та полімерним станом.

Димний порошок, спалений у вакуумі, має набагато нижчу теплоту згорання, ніж димний порошок, спалений у середовищі кисню.

Розрахунок теплоти згорання у бомбі (постійний об'єм) по рівнянню розкладу Бейлінга, використовуючи отриману теплоту утворення дерев'яного вугілля ( $C_6H_2O$ ) та рівну теплоті утворення дерев'яного вугілля (

$C_{64,33}H_{47,00}O_{11,31}$  ) пропорційно молекулярним масам, дає величину 3036,6 кДж/моль. Розрахункова величина теплоти згорання при постійному тиску складає - 2769,6 кДж/кг.

Згорання димного порошу у середовищі кисню можна розглядати за двома варіантами:

- згорають тільки горючі компоненти;
- у горінні беруть участь усі компоненти (по механізму взаємодії), а далі продукти взаємодії (горіння) догорають до повного окислення.

Теоретично теплота горіння при постійному об'ємі димного порошу за першим варіантом повинна складати (-5227,4 кДж/кг), за другим варіантом (-4350,0 кДж/кг).

Виходячи з цього, горіння димного порошу у кисні є більш ймовірним за першим варіантом. Для кінцевого висновку необхідно провести хімічний аналіз твердого залишку після спалювання.

## ВИСНОВКИ

Проведені калориметричні дослідження димного порошу та його горючих компонентів. Калориметричні дослідження проводили на бомбових калориметрах С-2000 (Німеччина) у середовищі кисню, тиск кисню в бомбі  $25 \pm$  атм, температура термостату  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  та В-08-М (Казахстан) у вакуумі (залишковий тиск  $0,00001 \text{ МПа.}$ ) Компоненти димних порохів (горючі – дерев'яне вугілля, сірка) спалювали у середовищі кисню (С-2000), а димний порошок спалювали як у вакуумі (В-08-М), так і у середовищі кисню (С-2000).

За отриманою теплотою горіння можна сказати, що горіння димного порошу у кисні є більш ймовірним за тим варіантом, коли у ньому беруть участь тільки горючі компоненти.

По результатам досліджень розрахована теплота утворення дерев'яного вугілля певного складу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Келли Д. Порох. От алхимии до артиллерии: История вещества, которое изменило мир / пер с англ. А.Турова. – М.: Колибри, 2005. – С.38–39. – 340 с. – (Вещи в себе).
2. Розман Б.Ю.Технология пороха (Пороха, механические смеси). – М., 1937. – С. 82 – 84.
3. Коханович Н. Русский порох // Химия и жизнь. – 2000. – № 7. – С. 54–57.
4. Химическая энциклопедия (в пяти томах). Гл. редактор И.Л.Кнуньянц. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1988 – 1998.
5. ОСТ 84-2281-86. Уголь древесный для дымного пороха. Технические условия. – Введен впервые 01.07.87. – М.:Изд-во стандартов, 1986. – 25 с.
6. Буллер М.Ф. Физико-химические свойства и технологии дымных порохов: монография. – Сумы: Сумской государственной университет, 2011. – 233 с.
7. Создание комплексно-механизированного и автоматизированного производства дымного пороха: отчет о НИР (разделы I и IV) / НИИ ПМ.– Пермь, 1976. – 106 с.
8. Тиммерганс. Начальныя основанія артиллеріи. Часть 1. О порохъ / Пер. с франц. А.Носова. – С.Петербургъ: Типографія Артиллерійскаго Департамента Военнаго Министерства, 1844. – 378 с.
9. Забудскій Г.А. . Взривчатія вещества. – Санкт-Петербург. : Типографія А.С.Суворина, 1907. – 295 с.
10. Бейлинг К., Дрекопф К. Взрывчатые вещества и средства взрывания. – М.: Оборонгиз, 1941. – 304с.
11. Гофтман М.В. Прикладная химия твердого топлива. –М.: Металургиздат, 1963. – 597с.