

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну  
Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Використання рентгенофлуоресцентного аналізу для встановлення залежності  
природи продуктів пострілу від складу елементів набою

Галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія

Спеціальність 161 – Хімічна технологія та інженерія

Освітня програма – Хімічна технологія та інженерія

ДРХТІ. 2018090.20.06.00

Виконав: здобувач 2 курсу, група ХТІм – 20 – 1 \_\_\_\_\_ Д.В. Ярема

Керівник: канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ Т.В. Іванішена

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ О.І. Стремецький

До захисту допускаю:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Т.В. Іванішена

\_\_\_\_\_ 2021 р.

Хмельницький, 2021

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій та дизайну  
Кафедра хімії та хімічної інженерії  
Освітній рівень магістр  
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія  
Шифр і назва  
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія  
Шифр і назва  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Іванішена Т.В.

“ 25 ” серпня 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ярема Денис Васильович

Прізвище, ім'я, по батькові

1.Тема кваліфікаційної роботи Використання рентгенофлуоресцентного аналізу для встановлення залежності природи продуктів пострілу від складу елементів набою

Керівник роботи Іванішена Тетяна Володимирівна

Прізвище, ім'я, по батькові

Затверджено наказом ректора університету від “ 25 ” 08 2021 р. № 102

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру 20.12.2021 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи склад пороху та продуктів пострілу, технологія виробництва пороху, стрілецька зброя та конструкція набою

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз інформації, щодо складу пороху та продуктів пострілу, проведення експериментальних досліджень якісного складу пороху та продуктів пострілу, рентгенофлуоресцентний аналіз та обробка результатів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Залежність між природою продуктів пострілу та складом набоїв, якісний склад порохових зарядів, якісний склад продуктів пострілу

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд джерел науково-технічної інформації	Іванішена Т.В., зав.кафедрою		
Вибір об'єктів та методик дослідження	Іванішена Т.В., зав.кафедрою		
Експериментальний розділ	Іванішена Т.В., зав.кафедрою		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 25 серпня 2021 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	до 10.09.2021	виконано
1 Огляд джерел науково-технічної інформації	до 01.10.2021	виконано
1.1 Рентгенофлуоресцентний аналіз	до 01.10.2021	виконано
1.2 Технологія виробництва пороху та його склад	до 01.10.2021	виконано
1.3 Стрілецька зброя та конструкція набою	до 01.11.2021	виконано
1.4 Криміналістичне дослідження продуктів пострілу	до 01.11.2021	виконано
1.5 Рентгенофлуоресцентний аналіз в криміналістиці	до 01.11.2021	виконано
2 Об'єкти та методи дослідження	до 01.12.2021	виконано
2.1 Об'єкти дослідження	до 01.12.2021	виконано
2.2 Рентгенофлуоресцентний аналіз та обробка результатів	до 01.12.2021	виконано
3 Експериментальна частина	до 01.12.2021	виконано
3.1 Дослідження якісного складу порохових зарядів	до 01.12.2021	виконано
3.2 Дослідження якісного складу продуктів пострілу	до 10.12.2021	виконано
3.3 Залежність між природою продуктів пострілу та складом набоїв	до 10.12.2021	виконано
Висновки	до 10.12.2021	виконано

Студент \_\_\_\_\_

Підпис

Д.В. Ярема \_\_\_\_\_

Ініціали, прізвище

Керівник проекту \_\_\_\_\_

Підпис

Т.В. Іванішена \_\_\_\_\_

Ініціали, прізвище

## Реферат

Кваліфікаційна робота магістра: Використання рентгенофлуоресцентного аналізу для встановлення залежності природи продуктів пострілу від складу елементів набою

Автор роботи – студент групи ХТІм – 20 – 1 Д.В. Ярема

Керівник роботи – канд. техн. наук, доцент Т.В. Іванішена

Обсяг дипломної роботи 86 сторінок, рисунків 43, таблиць 9, джерел посилання 15.

графічної частини    слайдів презентації.

Ключові слова: РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ, КРИМІНАЛІСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПОРОХОВИЙ ЗАРЯД, ЗБРОЯ, ПОРОХ, ПРОДУКТИ ПОСТРІЛУ.

У роботі проведено аналіз літературних джерел, що стосуються пороху та його складу. Проаналізовано та вибрано рентгенофлуоресцентний аналіз для дослідження пороху та продуктів пострілу. Досліджено якісний склад порохових зарядів.. Обґрунтовано та встановлено можливість використання рентгенофлуоресцентного аналізатора для встановлення продуктів пострілу та елементів набою.

Студент групи ХТІм – 20 – 1

Д.В. Ярема

Дата подання роботи до захисту 23.12.21

## ВСТУП

Дедалі більше злочинів вчиняються з застосуванням вогнепальної зброї. Це пов'язано перш за все з тим, що ринок вогнепальної зброї став ліберальнішим, а також з'явилося більше можливостей для здобуття зброї незаконним шляхом. Суспільна небезпечність злочинів вчинених з використанням вогнепальної зброї дуже велика, адже ставить під загрозу життя і здоров'я однієї, чи декількох осіб.

В результаті проведення пострілу утворюються продукти, що відкладаються на зброї, перешкодах, об'єктах речової обстановки на місці злочину, а також на руках та предметах одягу людини, яка стріляла, вхідних та вихідних ранах потерпілого. Виявлення унікальних речовин, притаманних тільки продуктам пострілу – таких, як свинець, цинк, мідь, стибій, дифеніламін надає можливість встановити факт здійснення пострілу, визначити дистанцію пострілу, надати інформацію про тип використаної зброї, боєприпасу, пороху тощо.

Виявлення продуктів пострілу все частіше здійснюється з застосуванням сучасної приладів та методів дослідження. Метою представленої роботи було встановлення залежності природи продуктів пострілу від складу елементів набою з застосуванням рентгенофлуоресцентного аналізу.

Для досягнення мети необхідно вирішення ряду завдань, а саме:

- дослідити якісний склад порохового заряду набою;
- дослідити якісний склад продуктів пострілу;
- встановити залежність складу продуктів пострілу від складу елементів набою.

Об'єкт дослідження: пороховий заряд та продукти пострілу, які утворюються при його згоранні.

Предмет дослідження: залежність складу продуктів пострілу від складу елементів набою.

Методи дослідження: енергодисперсійний рентгенофлуоресцентний аналіз.

## ЗМІСТ

1	Аналіз джерел науково-технічної інформації.....	8
1.1	Рентгенофлуоресцентний аналіз .....	8
1.2	Технологія виробництва пороху та його склад .....	20
1.3	Стрілецька зброя та конструкція набою .....	29
1.4	Криміналістичне дослідження продуктів пострілу .....	37
1.5	Рентгенофлуоресцентний аналіз в криміналістиці.....	50
2	Об'єкти та методи дослідження .....	55
2.1	Об'єкти дослідження.....	55
2.2	Рентгенофлуоресцентний аналіз та обробка результатів.....	61
3	Експериментальна частина .....	65
3.1	Дослідження якісного складу порохових зарядів.....	65
3.2	Дослідження якісного складу продуктів пострілу.....	72
3.3	Залежність між природою продуктів пострілу та складом набоїв .....	78
	ВИСНОВКИ .....	84
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	85

# 1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

## 1.1 Рентгенофлуоресцентний аналіз

Рентгенівські промені мають, з фізичної точки зору, ту саму природу, що і видиме світло. Видимий світло можна описати як електромагнітне випромінювання, різні кольори якого (наприклад, кольори веселки) інтерпретуються як різні довжини хвиль. Діапазон довжин хвиль електромагнітного випромінювання тягнеться від кілометрового діапазону радіохвиль до пікометрового діапазону ( $10^{-12}$  м) жорсткого гамма-випромінювання (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Діапазон енергій та довжин хвиль електромагнітного випромінювання

Діапазон енергій (кеВ)	Діапазон довжин хвиль	Назва
менше $10^{-7}$	від см до км	Радіохвилі (короткі, середні, довгі хвилі)
менше $10^{-3}$	від мкм до см	Мікрохвилі
менше $10^{-3}$	від мкм до мм	Інфрачервоне випромінювання
від 0,0017 до 0,0033	від 380 до 750 нм	Видиме світло
від 0,0033 до 0,1	від 10 до 380 нм	Ультрафіолетове випромінювання
від 0,11 до 100	від 0,01 до 12 нм	Рентгенівське випромінювання
від 10 до 5000	від 0,0002 до 0,12 нм	Гамма-випромінювання

Для довжини хвилі  $\lambda$  застосовується одиниця виміру нанометр ( $10^{-9}$  м), а енергії  $E$  - одиниця виміру кілоелектрон-вольт (кеВ).

У літературі для довжини хвилі часто використовується одиниця виміру ангстрем ( $\text{\AA}$ ):  $1 \text{\AA} = 0,1 \text{ нм} = 10^{-10} \text{ м}$ .

Між одиницями виміру  $E$  (кеВ) та  $\lambda$  (нм) є таке співвідношення (формула перерахунку (1)):

$$E(\text{keV}) = \frac{1,24}{\lambda(\text{nm})} \text{ або } \lambda(\text{nm}) = \frac{1,24}{E(\text{keV})}, \quad (1)$$

Рентгенофлуоресцентний аналіз охоплює такі діапазони енергій або довжин хвиль:  $E$  від 0,11 до 60 кеВ,  $\lambda$  від 11,3 до 0,02 нм.

Поряд з хвильовими властивостями світло має також і корпускулярні властивості. У зв'язку з цим зазвичай вживають термін фотон чи квант світла. Використовують позначення кванти або рентгенівські кванти. Як одиниця виміру інтенсивності використовують число рентгенівських квантів, виміряних за секунду, імп/с (= кількість імпульсів за секунду) або кімп/с (= кількість кілоімпульсів за секунду) [1].

Електромагнітне випромінювання може виникнути завжди, коли електрично заряджені частинки, особливо електрони, внаслідок якоїсь зміни втрачають енергію свого стану руху. Це може статися, наприклад, при гальмуванні, зміні напрямку руху або переході на нижчий енергетичний рівень електронної оболонки атома. У генерації рентгенівського випромінювання в діапазоні рентгенівської аналітики важливу роль відіграють процеси гальмування електронів та їх переходи з деякого енергетичного рівня в електронній оболонці атома на нижчий рівень. Для розуміння процесів, що відбуваються в електронній оболонці атома необхідно зупинитися на моделі атома Бора.

Модель атома Бора описує будову атома як атомного ядра, оточеного електронними оболонками (Рисунок 1.1):

Позитивно заряджене ядро оточене електронами, що обертаються у певних областях простору (оболонках). Електрони різних оболонок чи рівнів різко різняться за силою зв'язку з атомним ядром, тобто вони різняться за своїми

енергіям. При цьому говорять про енергетичні рівні або енергетичні оболонки. Це означає, що для того, щоб видалити електрон самої внутрішньої оболонки атома, необхідна певна мінімальна енергія. Щоб видалити електрон з другої внутрішньої оболонки атома, необхідна певна мінімальна енергія, менша ніж та, яка необхідна для видалення самих внутрішніх електронів. Зв'язок електронів в атомі тим слабший, що далі вони віддалені від атомного ядра. Мінімальна енергія, необхідна видалення електрона з атома, і, отже, енергія, з якою електрон пов'язані з атомом, називається також енергією зв'язку електрона у атомі. Енергія зв'язку електрона в атомі встановлюється в основному в результаті визначення поглиненої енергії, при якій відбувається процес поглинання атомом випромінювання. Тому в літературі дуже часто зустрічається поняття «край поглинання»: енергетичний рівень, енергія зв'язку, край поглинання - тотожні поняття.

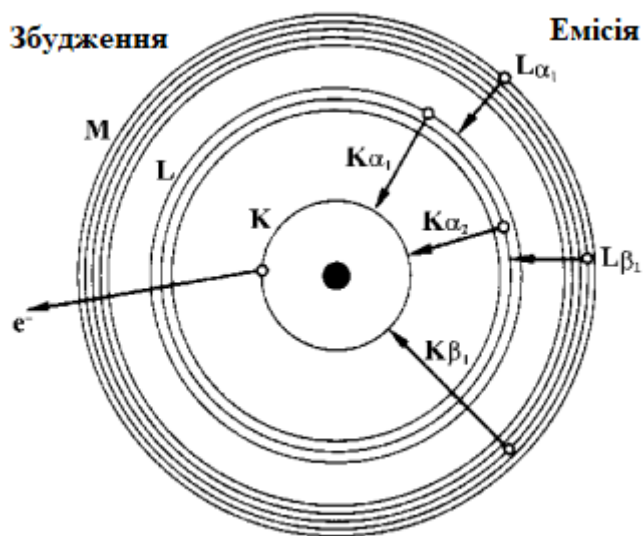


Рисунок 1.1 - Модель атома Бору, модель електронних оболонок

Окремі оболонки позначаються літерами К, L, M, N, причому сама внутрішня оболонка називається К-оболонкою, наступна за нею - L-оболонкою тощо. К-оболонка зайнята 2 електронами, L-оболонка має три підрівні і може в сукупності містити до 8 електронів. M-оболонка має п'ять підрівнів і може містити до 18 електронів.

Кожен елемент однозначно визначається його атомним номером  $Z$  у Періодичній системі елементів або за кількістю його електронів у нейтральному стані. Завдяки різному числу електронів (носіїв негативного заряду) або  $Z$  позитивних зарядів в атомному ядрі (атомний номер) енергії зв'язку або енергетичні рівні в кожному елементі різні і характерні для кожного елемента.

Нехай тепер один із електронів внутрішньої оболонки видалений з атома в результаті опромінення. Вакансія, що утворилася таким чином, заповнюється електроном з більш високої оболонки. При цьому вивільняється енергія, яка відповідає різниці енергетичних рівнів, що беруть участь у цьому процесі.

Вивільнена енергія або емітується у вигляді рентгенівських квантів, або передається іншому електрону оболонки (ефект Оже). Імовірність утворення рентгенівського кванта у цьому процесі називається виходом флуоресценції  $\omega$ . Вона залежить від атомного номера елемента та оболонки, у якій утворилася вакансія. Для легких елементів  $\omega$  дуже мала (приблизно  $10^{-4}$  для бору) і швидко досягає значення 1 для оболонки К більш важких елементів (наприклад, урану). Однак вирішальним фактом є те, що енергія або довжина хвилі рентгенівського кванта є характеристичною елементом, з якого він був емітований. Це випромінювання називається характеристичним рентгенівським випромінюванням. Такою є основа визначення хімічних елементів з допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу.

Енергія рентгенівського кванта визначається різницею енергій відповідних енергетичних рівнів. К-випромінюванням називається те випромінювання, що утворюється при заповненні К-оболонки; L-випромінюванням називається таке випромінювання, що утворюється під час заповнення L-оболонки тощо (Рисунок 1.2).

До повного позначення рентгенівської лінії, що емітується, відноситься ще інформація про те, з якої оболонки походить той електрон, який заповнює вакансію, що утворилася. При цьому використовують грецькі літери  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  тощо з нумерацією 1, 2, 3 тощо для встановлення відмінностей між різними оболонками та підрівнями.

Завдання рентгенівської флуоресценції полягає у якісному та кількісному визначенні хімічних елементів на основі вимірювання їх характеристичних спектрів. До того ж, необхідно викликати емісію рентгенівських променів тих хімічних елементів, які представлені в пробі. Оскільки характеристичні рентгенівські промені утворюються лише за переходу електронів оболонки на нижні, незаповнені енергетичні рівні атома, повинен бути застосований метод, у якому стає можливим видалення електронів із самих внутрішніх оболонок атома. До того ж внутрішнім електронам необхідно передати енергію більшу, ніж їхня енергія зв'язку в атомі.

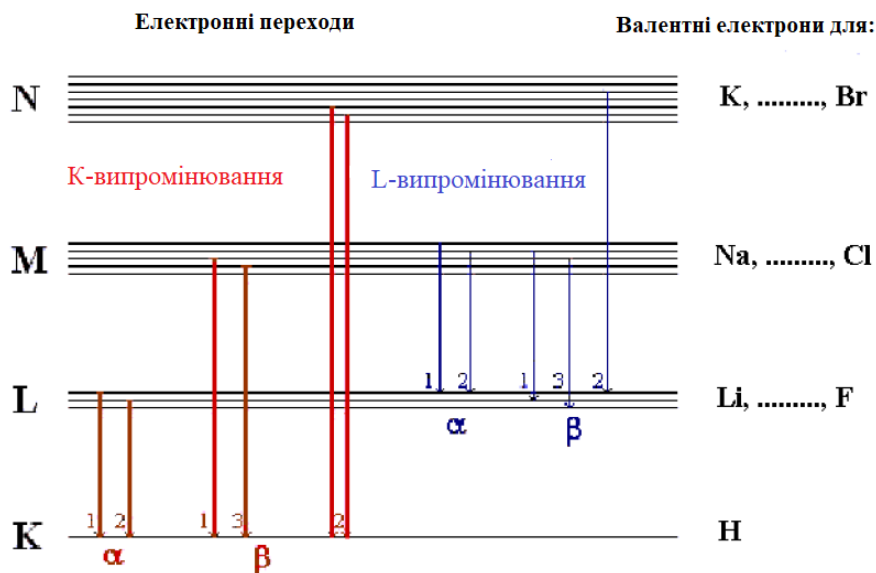


Рисунок 1.2 - Позначення рентгенівських ліній

Для цього існують різні можливості:

- Опромінення елементарними частинками достатньої енергії (електрони, протони,  $\alpha$ -частки тощо), які при зіткненнях передають електронам оболонки енергію, необхідну для їх видалення з атома;
- Опромінення рентгенівськими або гамма-променями радіонуклідів;
- Опромінення рентгенівськими променями з рентгенівської трубки.

Застосування рентгенівської трубки виявляється тут технічно найпростішим і найбезпечнішим з погляду захисту від радіації рішенням (рентгенівська трубка може бути вимкнена, а радіонуклід ні).

У рентгенівській трубці електрони прискорюються в електричному полі і прямують до матеріалу мішені, де вони гальмуються. Технічно це реалізується таким чином, що між нагрітим катодом (наприклад, спіральна нитка накалювання) та анодом з відповідного матеріалу прикладається сильне електричне поле. Електрони випускаються з нагрітого матеріалу катода і прискорюються завдяки прикладеній високій напрузі в напрямку анода. Далі вони проникають у матеріал анода та втрачають там свою енергію внаслідок гальмування. Лише мала частина енергетичних втрат електронів (приблизно 1-2 % на матеріал анода) випускається як рентгенівські кванти. Більшість енергії йде на нагрівання матеріалу анода. Звідси випливає, що анод має охолоджуватися. Технічно це реалізується за допомогою підключення циркуляційного контуру водяного охолодження.

Частина енергетичних втрат електрона, яка емітується у вигляді рентгенівських квантів, може перебувати між нулем та максимальною енергією, що була придбана електроном завдяки прискоренню в електричному полі. Якщо між анодом і катодом прикладено напругу 30 кВ (кіловольт), то електрони набувають енергії 30 кеВ (кілоелектрон-вольт) при проходженні цієї напруги. (Визначення: 1 еВ це енергія, яку набуває електрон при проходженні напруги 1).

При гальмуванні в матеріалі анода може бути досягнуто максимальна рентгенівська енергія 30 кеВ, тобто розподіл багатьох рентгенівських квантів за енергіями лежить у діапазоні від нуля до максимальної енергії. Представляючи інтенсивність цього виду рентгенівських променів залежно від енергії отримують спектр гальмівного випромінювання трубки.

На додаток до спектру гальмівного випромінювання рентгенівська трубка емітує, звісно, і характеристичне випромінювання, що має особливе значення для флуоресцентного аналізу (Рисунок 1.3).

Усі рентгенівські трубки працюють за однаковим принципом: прискорення електронів в електричному полі та їх гальмування у відповідному матеріалі анода. При цьому необхідно вакуумувати шлях проходження пучка, щоб уникнути зіткнення з газовими молекулами. Всередині корпусу створюється вакуум. Вихід

рентгенівського випромінювання з корпусу здійснюється через тонке берилієве вікно, яке проникне для цього випромінювання.

Основні відмінності між типами трубок полягають у полярності анода і катода, а також розташування вихідних вікон. Два найважливіші типи - це трубка з торцевим вікном (її також називають трубкою з кінцевим вікном) і трубка з бічним вікном.

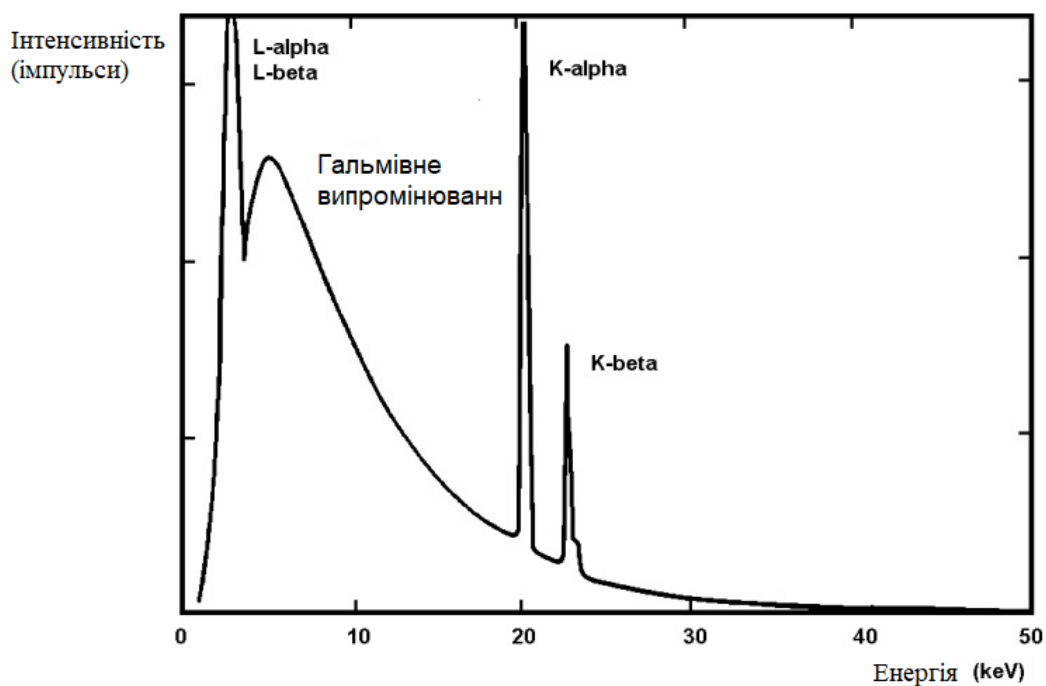


Рисунок 1.3 - Спектр гальмівного випромінювання з характеристичним випромінювання матеріалу анода

У трубці з бічним вікном до катода прикладено негативну напругу. Електрони випускаються нагрітим катодом і прискорюються у бік анода. Анод знаходиться під нульовим потенціалом. Таким чином, різниця потенціалів між анодом та матеріалом корпусу з бічним вихідним вікном відсутня (Рисунок 1.4).

З фізичних основ випливає, що частина електронів завжди розсіюватиметься на поверхні анода. Кількість цих розсіяних електронів залежить від матеріалу анода і може становити до 40 %. У трубці з бічним вікном обернено розсіяні електрони сприяють нагріванню навколишніх матеріалів, особливо бічного

вікна. Тому вихідне вікно має бути стійким до високих термічних навантажень і не може бути дуже тонким. Мінімальна товщина вікон, що використовуються в трубках з бічним вікном, становить 300 мкм. Це призводить до надто високого поглинання низькоенергетичного характеристичного L-випромінювання матеріалу анода у вихідному вікні і, у зв'язку з цим, до обмеження в збудженні легких елементів в пробі.

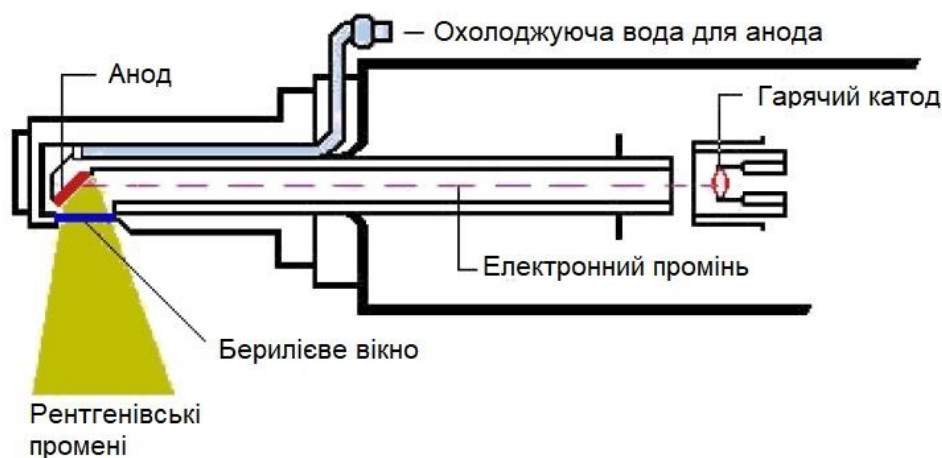


Рисунок 1.4 - Схема трубки з боковим вікном

Трубка з торцевим вікном відрізняється тим, що до анода прикладена позитивна висока напруга, а вихідне берилієве вікно розташоване на торцевій стороні корпусу трубки (Рисунок 1.5).

Кільцевий катод знаходиться навколо анода і знаходиться під нульовим потенціалом. Електрони випускаються нагрітим катодом і прискорюються у напрямі електричних силових ліній над анодом. Завдяки тому факту, що між позитивно зарядженим анодом і навколишнім матеріалом, включаючи берилієве вікно, є різниця потенціалів, розсіяні електрони будуть за фізичними умовами прямувати назад до анода. При цьому вихідне вікно не нагріватиметься. Берилієве вікно залишається "холодним" і тому може бути значно більш тонким порівняно з трубкою з боковим вікном.

Зазвичай використовуються вікна з товщиною 125 та 75 мкм. Ця умова виконується для того, щоб легкі елементи збуджувалися характеристичним випромінюванням матеріалу анода (наприклад, родію) [2].

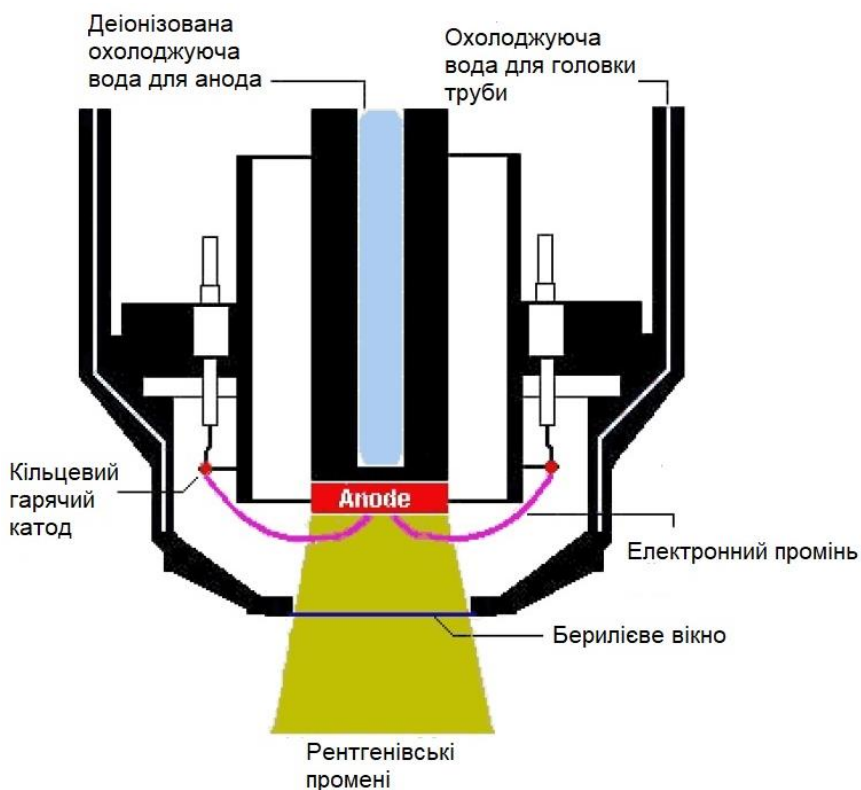


Рисунок 1.5 - Схема трубки з торцевим вікном

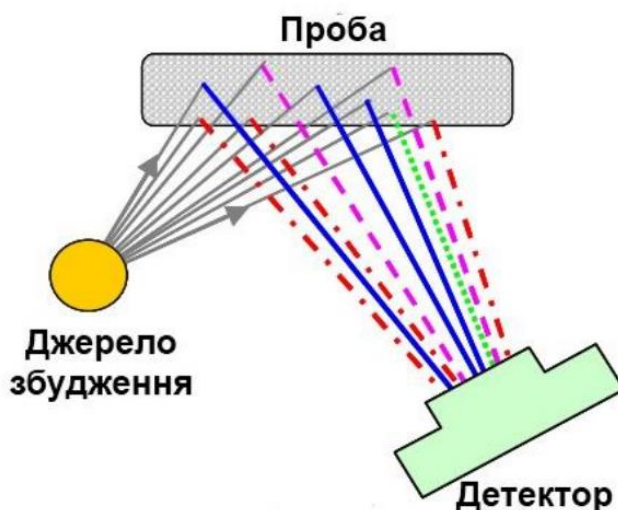


Рисунок 1.6 - Принципова рентгенооптична схема енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного спектрометра

Через прикладену високу напругу для охолодження анода повинна застосовуватися неелектропровідна, деіонізована вода. Прилади з трубками з торцевим вікном з цієї причини мають замкнутий внутрішній контур водяного охолодження з деіонізованою водою, яка також охолоджує головну частину трубки. З початку 80-х років усіма відомими виробниками хвиледисперсійних рентгенофлуоресцентних спектрометрів використовуються трубки з торцевим вікном.

В методичному плані проведення аналізу на енергодисперсійних спектрометрах практично не відрізняється від аналізу на спектрометрах з дисперсією за довжиною хвиль. На рисунку 1.6 наведено принципову рентгенооптичну схему енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного спектрометра.

Випромінювання джерела збудження під певним кутом спрямовується на пробу. Флуоресцентне випромінювання проби потім потрапляє безпосередньо на напівпровідниковий детектор, сигнали якого обробляються аналізатором імпульсів. В результаті отримують спектр в координатах «Інтенсивність (імпульси або імпульси/секунду) – Енергія квантів (кеВ)». Приклад такого спектру наведено на рисунку 1.7 [3].

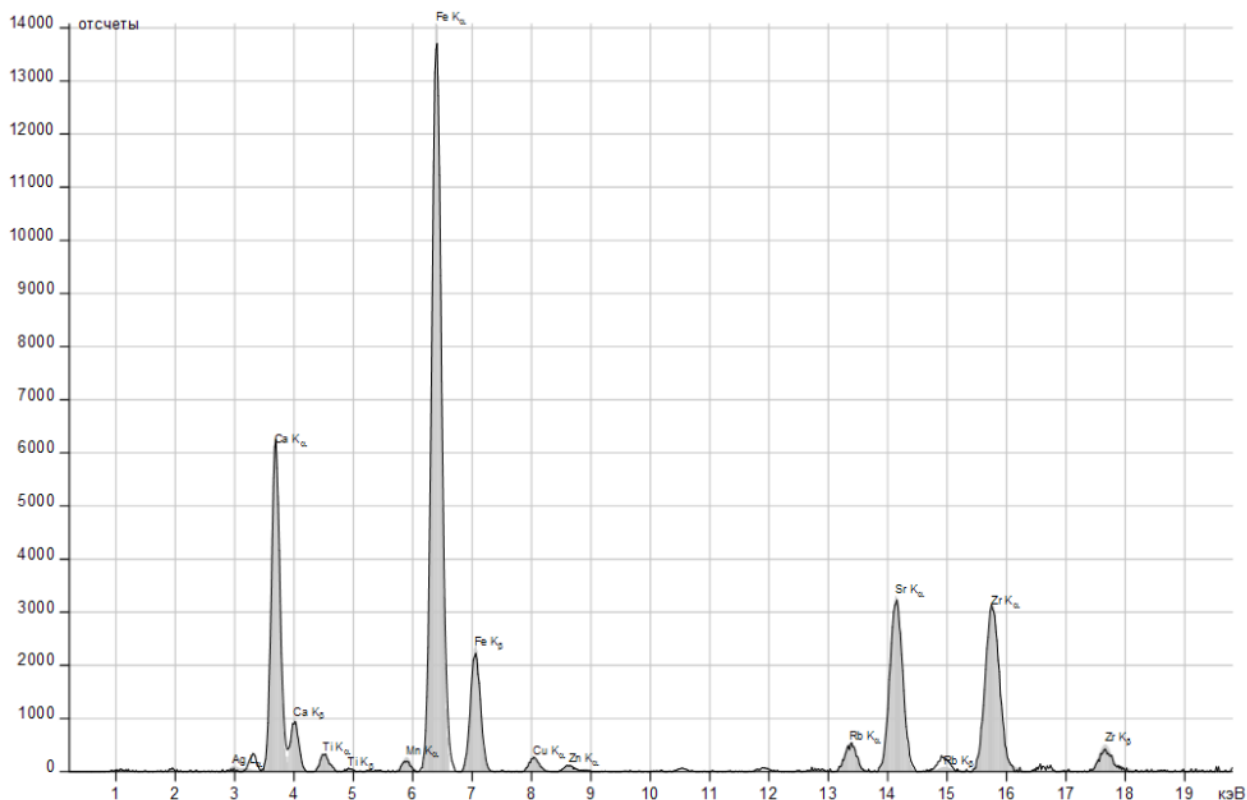


Рисунок 1.7 - Приклад спектру, отриманого на енергодисперсійному спектрометрі

Таким чином, метод РФА заснований на вимірі енергій (довжина хвиль у спектрометрах з хвильовою дисперсією) та інтенсивностей спектральних ліній, емітованих при вторинній рентгенівській емісії. Первинний потік квантів від рентгенівської трубки опромінює зразок, змушуючи кожен елемент цього зразка випускати вторинні рентгенівські кванти, які мають властивий лише цьому елементу набір енергій (основа для якісного визначення складу) та інтенсивність потоку вторинного виходу, що залежить від змісту цього елемента у пробі (основа для кількісного аналізу). Спектри рентгенівської флуоресценції пов'язані з електронними переходами до основних (внутрішніх) рівнях атома, що робить їх нечутливими до хімічних зв'язків.

Рентгенофлуоресцентний метод широко використовується в промисловості, наукових лабораторіях. Завдяки простоті, можливості експрес-аналізу, точності, відсутності складної пробопідготовки, сфери його застосування продовжують розширюватися. Рентгенівська спектроскопія – загальна назва декількох методів рентгенівського спектрального аналізу. На основі деяких з них проводять

елементний аналіз речовини за її рентгенівськими спектрами. Якісний аналіз виконують за спектральним положенням характеристичних ліній у спектрі випромінювання досліджуваного зразка, його основа – закон Мозлі, що встановлює зв'язок між частотою характеристичного рентгенівського випромінювання елемента і його атомним номером; кількісний аналіз здійснюють за інтенсивностями цих ліній. Методом рентгенівського спектрального аналізу можуть бути визначені всі елементи з атомним номером  $Z > 11$  (у деяких випадках і більш легкі). Поріг чутливості методу в більшості випадків  $10^{-2}$ - $10^{-4}\%$ , тривалість – декілька хвилин (разом з підготовкою проби); метод не руйнує пробу. Кількісний рентгенофлуоресцентний аналіз характеризується високою відтворюваністю результатів за умови показності проби і дуже гарною чутливістю. Чудова стабільність сучасних інструментів виключає необхідність повторення вимірювань або частих рекалібровок. Цим гарантується висока точність при невеликих витратах на проведення аналізу. В основі кількісного аналізу лежить залежність інтенсивності характеристичного випромінювання від довжини хвилі. Характер цієї залежності встановлюється експериментально на підставі калібрування, тобто вимірювання інтенсивності характеристичної флуоресценції в декількох стандартних (еталонних) зразках - зразках з точно відомою концентрацією визначаємого елемента. Перерахунок виміряних інтенсивностей елементів невідомого зразка в одиниці концентрації заснований на проведеній калібрування, яка описується математическі за допомогою калібрувальної функції.

Результатом кількісного рентгенофлуоресцентного аналізу є значення концентрації елемента в зразку, яке може бути виражене в %, ppm (г/т), г/кг, мг/л або інших одиницях похідних від концентрації. Для силікатних гірських порід зазвичай використовується представлення концентрації у вигляді % оксидів елементів.

Основою якісного аналізу є присутність або відсутність ліній характеристичного випромінювання елемента у спектрі проби. Елемент вважається присутнім у зразку в тому випадку, коли в спектрі виявлені як мінімум дві лінії його характеристичного випромінювання. Виявлення ліній елементів проводиться

шляхом знаходження довжин хвиль піків спектру і пошуку знайдених значень в базі даних рентгенівських ліній. Ця операція здійснюється комп'ютером. Результат якісного аналізу виглядає як список елементів явно присутніх у пробі і елементів, присутніх у пробі в дуже незначних (слідів) кількостях.

Напівкількісний аналіз проводиться у разі невідомої речовини, коли за дуже короткий час потрібно з'ясувати приблизні концентрації всіх елементів, присутніх у пробі. Такий вид аналізу корисний для планування подальших досліджень речовини, а також у тих випадках, коли елементи, присутні в зразку не можуть бути проаналізовані в кількісному режимі з причини дуже великий або дуже малій концентрації, яка не була передбачена при розробці методики кількісного аналізу. Відсутність стандартних зразків для кількісного аналізу рідкісних елементів теж стає причиною проведення напівкількісного аналізу.

Результат напівкількісного аналізу - орієнтовні значення концентрацій всіх елементів. Ідентифікація речовини -зіставлення невідомої речовини з еталоном. Даний вид аналізу проводиться при необхідності ототожнення складу та деяких фізичних властивостей двох зразків, один з яких є еталонним. Такий вид аналізу важливим при пошуку будь-яких відмінностей у складі двох зразків. У рентгенофлуоресцентного спектрометрії є можливості провести детальне порівняння зразків не тільки за характеристичними спектрами елементів, але і по інтенсивності фоновому (гальмівного) випромінювання та за формою смуг Комптонівського розсіювання. Це набуває особливого сенсу в разі, коли хімічний склад двох проб однаковий за результатами кількісного аналізу, але проби відрізняються іншими властивостями, такими, як зернистість, розмір кристалітів, шорсткість поверхні, пористість, вологість, присутність кристалізаційної води, якість поліровки, товщина напилення і тощо . Ідентифікація виконується на підставі детального зіставлення спектрів. При цьому немає необхідності знати хімічний склад проби [1, 2].

## 1.2 Технологія виробництва порошу та його склад

Порох як металевий заряд разом із гільзою, капсулем і кулею, зарядом картечі або дроби є одним з основних компонентів патронів для ручної вогнепальної зброї. При пострілі відбувається його спалах, під тиском газів, що утворилися снаряд відривається від гільзи, рухається каналом ствола до виходу, вилітає та летить у заданому напрямку. Частина газів, прориваючись між оболонкою снаряда та стінками каналу ствола, виходить з каналу ствола, випереджаючи снаряд. При цьому на певній відстані від дульного зрізу ствола утворюється передкульний стовп газопорохового струменя, який за наявності перешкоди надає на останню термічну дію за рахунок полум'я та руйнівну дію за рахунок ударної хвилі. Більша частина газопорохового струменя виходить із каналу ствола через його дульний зріз за снарядом.

Газопороховий струмінь має відносно стійку вісь із незгорілих, напівзгорілих і повністю згорілих (шлакоподібних) зерен пороху, різних частинок металу в газоподібному середовищі. Ця структура струменя проявляється у топографії відкладення продуктів.

Порох — тверда система, яка містить органічні і неорганічні сполуки, здатні стійко (без переходу у детонацію) горіти у широкому інтервалі зовнішнього тиску (0,1—1000 МПа), виділяючи велику кількість газів з температурою 1200—3700 °С.

На відміну від бризантних вибухових речовин порох дефлігує, а не детонує, тобто його горіння поширюється зі швидкістю, меншою від швидкості звуку. При цьому виділяється достатньо газів, щоб створений тиск виштовхнув кулю чи снаряд із ствола вогнепальної зброї, але недостатньо, щоб розірвати його.

Розрізняють два види пороху: сумішевий (у тому числі найпоширеніший — димний, або чорний порох) і нітроцелюлозні (бездимні). Порох, який застосовують в ракетних двигунах, називається твердим ракетним паливом. Основу нітроцелюлозних порохів становить нітроцелюлоза й пластифікатор. Крім основних компонентів цей порох містить різні добавки.

Порох є вибуховою речовиною металеві дії. При відповідній умові ініціювання порох здатен до детонації аналогічно бризантним вибуховим речовинам, завдяки чому димний порох довгий час застосовували як бризантну

вибухову речовину. При тривалому зберіганні більше встановленого для цього порошу строку або при зберіганні в неналежних умовах відбуваються хімічне розкладання компонентів порошу й зміна його експлуатаційних характеристик (режиму горіння, механічних характеристик ракетних шашок й ін.). Експлуатація й навіть зберігання таких порохів у край небезпечні й можуть призвести до вибуху.

- Основні характеристики порошу такі:
- теплота вибухового перетворення  $Q$  – кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кілограму порошу;
- об'єм газоподібних продуктів  $V$ , що виділяються при згорянні 1 кілограма порошу (визначається після приведення газів до нормальних умов);
- температура газів  $T$ , обумовлена згоранням порошу в умовах постійного об'єму і відсутності теплових втрат;
- густина порошу  $\rho$ ;
- сила порошу  $f$  – робота, яку міг би виконати 1 кілограм порохів газів, розширюючись при нагріванні на  $T$  градусів при нормальному атмосферному тиску.

Таблиця 1.2 – Характеристики основних типів порохів

Порох	$Q$ , ккал/кг	$V$ , дм <sup>3</sup> /кг	$T$ , К
ТРТ	1200	860	1500-3500
Піроксиліновий	700	900	~2000
Кордитний	850	990	~2000
Димний	700	300	~2200
Балістичний:	900	1000	1700-4000
Артилерійський	880	750	~2500

Сучасні димні, або чорні пороху виробляються за суворими нормативами і точними технологіями. Всі марки чорного порошу діляться на зернисті і порохову пудру (т. зв. порохова м'якоть, ПМ). Основними компонентами димного порошу є калію нітрат, сірка й деревне вугілля; нітрат калію є окиснювачем (сприяє

швидкому горінню), деревне вугілля паливим (відновником), а сірка додатковим компонентом (також як і вугілля будучи паливом у реакції, вона через невисоку температуру запалення поліпшує спалахуваність). У багатьох країнах пропорції, установлені нормативами, трохи відрізняються (але не сильно) і прийнятий такий склад: 75 %  $\text{KNO}_3$  (калієва селітра) 15 % С (деревне вугілля) і 10 % S (сірка).

Вугілля з усіх трьох складових частин вимагає найбільшого вивчення та дотримання спеціальних умов випалу. Якщо селітру і сірку порохові заводи можуть отримувати зі сторони, піддаючи їх хімічному аналізу, то вугілля вони змушені випалювати самі, оскільки аналізом можна встановити придатність вугілля і недоліки його позначають 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 опаленні 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, різне 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.

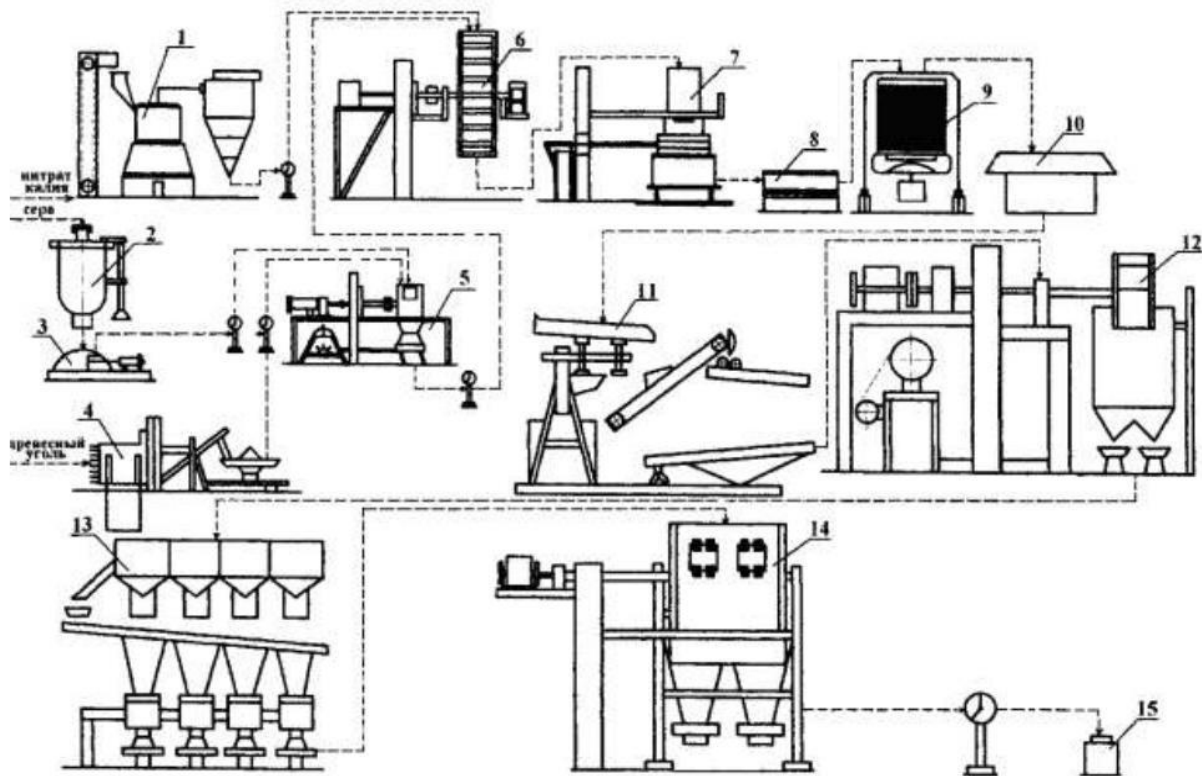
Для виробництва димних порохів використовують різні марки дерев'яного вугілля в залежності від природи (порода деревини, кора) та степеню обпалювання.

Процес виробництва димних порохів складається з наступних фаз:

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

Калієва селітра зі складу надходить на подрібнення в млин системи «Леша» (рисунок 1.8). 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 (рисунок 1.8, поз.5), де відбуваються змішування і подрібнення компонентів. При отриманні сірко-вугільної суміші в безперервному процесі сірка спочатку очищається шляхом плавлення в котлах апарату лускування (рисунок 1.8, поз. 2) і формування у вигляді лусочок на холодному барабані (рисунок 1.8, поз. 3), потім вертикальним елеватором і горизонтальним шнеком подається на автоматичні ваги. Вугілля подрібнюється на одновалковій дробарці (рисунок 1.8, поз. 4) і направляється вертикальним

елеватором на ваги. Зважені порції сірки та вугілля двома горизонтальними шнеками направляються в кульовий млин (рисунок 1.8, поз. 6), де відбувається подрібнення сірки та вугілля, отримання подвійної суміші, яка в міру вивантаження з млина вертикальним елеватором і горизонтальним шнеком спрямовується на грохот для просіювання. Просіяну подвійну суміш збирають в приймальному бункері, звідки вивантажують для розвішування. Калієва селітра і сірко-вугільна суміш, завішені в мішки, подаються для змішування потрібного складу в шкіряні або дерев'яні бочки (рисунок 1.8, поз. 7). Приготований потрібний склад з дерев'яних або шкіряних бочок подається в апарат просіювання (рисунок 1.8, поз. 8). Далі просіяний склад транспортується на фазу зарядки конвертів. Якщо потрібний склад йде в якості готового продукту, то порохова м'якість (ПМ) транспортується в проміжний льох або на закупорювання. Після складання комплекту конвертів з потрібним складом (у кількості 26 штук) він транспортується на вагонетці на фазу пресування складу в порохову плитку на гідравлічному пресі з обігрівом (рисунок 1.8, 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 [4].



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

Рисунок 1.8 – Технологічна схема виробництва димних порохів

За складом і типом пластифікатора (розчинника) нітроцелюлозні порохи діляться на: піроксилінові, баліститні і кордитні.

До складу піроксилінових порохів зазвичай входить від 91 до 96% піроксиліну, від 1,2 до 5% летучих речовин (спирт, ефір і вода), від 1,0 до 1.5% стабілізатора (дифеніламін) для збільшення стійкості при зберіганні, від 2 до 6% флегматизатора для уповільнення горіння зовнішніх шарів порохових зерен і від 0,2 до 0,3% графіту в якості добавок. Такі порохи виготовляються у вигляді

пластинок, стрічок, кілець, трубок і зерен з одним або декількома каналами; застосовуються в стрілецькій зброї і в артилерії.

Основними недоліками піроксилінових порохів є: невисока енергія газоподібних продуктів згорання (відносно, наприклад, баліститного пороху), технологічна складність отримання зарядів великого діаметра для ракетних двигунів. Основний час технологічного циклу витрачається на видалення з порохового напівфабрикату летючих розчинників. В залежності від призначення крім звичайних піроксилінових є спеціальні порохи: з малою залежністю швидкості горіння від температури заряду; зі зниженим ерозійним впливом на канал стволу); із зниженою швидкістю горіння поверхневих шарів; пористі тощо. Процес виробництва піроксилінових порохів передбачає розчинення (пластифікацію) піроксиліну, пресування отриманої порохової маси і різання для додання пороховим елементам певної форми і розмірів, видалення розчинника і складається з ряду послідовних операцій.

Основу баліститного пороху складають нітроцелюлоза і пластифікатор, який не видаляється, тому їх іноді називають двохосновними. В залежності від застосовуваного пластифікатора вони називаються нітрогліцериновими, дігліколевіми тощо. Звичайний склад баліститного пороху: від 40 до 60% колоксиліну (нітроцелюлоза з вмістом азоту менше за 12,2%) і від 30 до 55% нітрогліцерину (нітрогліцериновий порох) або діетіленглікольдінітрату (дігліколевий порох) або їх суміші. Крім того, до складу цих порохів входять ароматичні нітросполуки (наприклад динітротолуол) для регулювання температури горіння, стабілізатори (дифеніламін), а також вазелінове масло, камфора та інші добавки.

Також в баліститні порохи можуть вводити мелкодисперсний метал (сплав алюмінію з магнієм) для підвищення температури і енергії продуктів згорання, такі порохи називають металізованими. Порох виготовляються у вигляді трубок, шашок, пластин, кілець і стрічок. По застосуванню баліститні порохи ділять на ракетні (для зарядів до ракетних двигунів і газогенераторів), артилерійські (для металевих зарядів до артилерійських снарядів) і мінометні (для металевих зарядів

до мінометів). У порівнянні з піроксилінові баліститні порохи відрізняються меншою гігроскопічністю, більшою швидкістю виготовлення, можливістю отримання великих зарядів (до 0,8 метра в діаметрі), високою механічною міцністю і гнучкістю за рахунок використання пластифікатора.

Недоліком баліститного пороху в порівнянні з піроксиліновими є велика небезпека у виробництві, обумовлена наявністю в їх складі потужного вибухової речовини - нітрогліцерину, дуже чутливого до зовнішніх впливів, а також неможливість отримати заряди діаметром більше 0,8 м на відміну від сумішевих порохів на основі синтетичних полімерів. Технологічний процес виробництва баліститного пороху передбачає змішування компонентів у теплій воді з метою їх рівномірного розподілу, віджимання води і багаторазове вальцювання на гарячих вальцях. При цьому видаляється вода і відбувається пластифікація нітрату целюлози, який набуває вигляду полотна. Далі порох відпресовують через матриці або прокочують в тонкі листи і ріжуть.

Кордитні порохи містять високоазотний піроксилін, для виробництва додається спирто-ефірна суміш або ацетон та нітрогліцерин, у якості пластифікатора. Це наближає технологію виробництва даних порохів до виробництва піроксилінових порохів. Перевага кордитів - велика потужність, однак вони викликають підвищений розпал стволів через більш високу температуру продуктів згорання.

Сумішеві порохи на основі синтетичних полімерів (тверді ракетні палива) містять приблизно від 50 до 60% окиснювача, як правило перхлорату амонію, від 10 до 20% пластифікованого полімерного сполучного, 10-20% дрібнодисперсного порошку алюмінію і різні добавки. Цей напрямок вперше з'явився в Німеччині в 30-40 роки ХХ століття, після закінчення війни активною розробкою таких палив зайнялися в США, а на початку 50 років і в СРСР. Головними перевагами перед баліститними порохами, що залучило до них велику увагу були: більш висока питома тяга ракетних двигунів на такому паливі, можливість створювати заряди будь-якої форми і розмірів, високі деформаційні та механічні властивості композицій, можливість регулювати швидкість горіння в широких межах. Ці переваги

дозволили створювати стратегічні ракети з дальністю дії понад 10000 км, на балістних порохів вдалося створити ракету з граничною дальністю дії 2000 км. Але у сумішевих твердих палив є значні недоліки в порівнянні з нітроцелюлозними порохами: дуже висока вартість їх виготовлення, тривалість циклу виробництва зарядів (до декількох місяців), складність утилізації, виділення при горінні перхлорату амонію в атмосферу соляної кислоти.

Горіння пороху відбувається паралельними шарами, не переходить у вибух, обумовлюється передачею тепла від шару до шару і досягається виготовленням досить монолітних порохів елементів, позбавлених тріщин. Швидкість горіння порохів залежить від тиску по статичному закону, збільшуючись з ростом тиску, тому не варто орієнтуватися на швидкість згоряння пороху при атмосферному тиску, оцінюючи його характеристики. Регулювання швидкості горіння порохів дуже складне завдання і вирішується використанням в складі порохів різних каталізаторів горіння. Горіння паралельними шарами дозволяє регулювати швидкість газоутворення. Газоутворення пороху залежить від величини поверхні заряду і швидкості його горіння.

Величина поверхні порохів елементів визначається їх формою, геометричними розмірами і може в процесі горіння збільшуватися або зменшуватися. Таке горіння називається відповідно прогресивним або дегресивним. Для отримання постійної швидкості газоутворення або її зміни за певним законом окремі ділянки зарядів (наприклад ракетних) покривають шаром негорючих матеріалів (бронюванням). Швидкість горіння порохів залежить від їх складу, початкової температури і тиску [5].

### 1.3 Стрілецька зброя та конструкція набою

У класифікації, яку пропонують фахівці виділяють види стрілецької зброї, які можна поділити за різними основними ознаками.

За призначенням:

- бойова (військова) – суто для військового (бойового) використання;

- поліцейська – для сил правопорядку;
- мисливська – для мисливської промисловості;
- цивільна – для самооборони;
- спортивна – для спортивних змагань;
- навчальна – для вивчення будови, способів застосування, але з якої не можна стріляти насправді;
- навчально-тренувальна – для придбання початкових навичок стрільби.

За бойовими можливостями:

- пістолет – короткоствольна стрілецька зброя для стрільби на короткі відстані, якою керує одна рука;
- револьвер – короткоствольна стрілецька зброя з поворотним блоком стволів або зарядних комор, для стрільби на короткі відстані, якою керує одна рука;
- пістолет-кулемет – автоматична зброя, що використовує для стрільби пістолетні патрони;
- “автомат” (автоматична гвинтівка, автоматичний карабін, автомат системи Калашникова) – ствольна автоматична стрілецька зброя для стрільби кулями, якою керують обидві руки з упором прикладу в плече;
- рушниця – довгоствольна стрілецька зброя, гладкоствольна, нарізна або комбінована, в конструкції якої передбачена стрільба з використанням двох рук та упором у плече;
- гвинтівка – одноствольна нарізна рушниця з гвинтовими нарізами для стрільби кулями (довжина ствола приблизно дорівнює 70 калібрам (50–60 см));
- карабін – полегшена гвинтівка з вкороченим стволом (довжина ствола приблизно дорівнює 40–50 калібрам (30–40 см));
- кулемет (ручний, станковий, великокаліберний) – довгоствольна автоматична стрілецька зброя для безпосередньої стрільби кулями з опори.

За джерелом енергії, яку використовують для викидання кулі (здійснення пострілу) зі ствола зброї:

- вогнепальна – енергія порохових газів, які утворюються під час згорання заряду;

- пневматична – енергія газів, які стиснуті;
- механічна – потенційна сила пружних елементів (лук, арбалет, катапульта тощо.);

- електрична – за принципом електромагнітної індукції.

За калібром:

- малокаліберна – калібр зброї до 6,5 мм (арт. до 76 мм); нормального калібру – від 6,5 мм до 9 мм (арт. 76–130 мм);

- крупнокаліберна – понад 9 мм (арт. понад 130 мм).

За конструкцією стволів (за нарізами в каналі ствола):

- гладкоствольна – ствольна зброя з гладким каналом ствола;
- нарізна – ствольна зброя з нарізами в каналі ствола;
- комбінована – багатоствольна зброя з комбінацією стволів з гладким і нарізними каналами. У перспективних зразках сучасної зброї застосовують принцип полігональних стволів, переріз каналу в яких виглядає як правильний багатокутник.

За ступенем автоматизації:

- неавтоматична – перезарядження здійснюється вручну;
- автоматична – зброя з повною автоматизацією перезарядження і здійснення пострілу;

- самозарядна – автоматична зброя для поодинокі стрільби. Перезарядження, як правило, відбувається за рахунок енергії порохових газів заряду, стрілець здійснює тільки спуск.

За кількістю осіб, які обслуговують зброю:

- групова – стрілецька зброя, яка обслуговується стрілецьким розрахунком або екіпажем (ручні, станкові, крупнокаліберні кулемети);

- індивідуальна – стрілецька зброя, яку обслуговує один стрілець (пістолети, револьвери, гладкоствольні рушниці, карабіни, автомати, пістолеткулемети).

Порівняльні характеристики видів стрілецької зброї за бойовими можливостями представлено у таблиці 1.3 [6].

Таблиця 1.3 – Бойові можливості стрілецької зброї

Види зброї	Відстань ефективного вогню, м	Бойова швидко-стрільність, постр. /хв	Маса зброї, кг	Довжина зброї, мм	Час підготовки до стрільби, с
Пістолети, револьвери	50	до 30	до 1	160-240	7-10
Пістолети-кулемети	150	30/100 40/100	2,8/4,3	700-800	8-10
Автомати	500	Безперервно 120 неавтомат. до 30	3,5/4,5	800-900	8-11
Гвинтівки	600	автомат. до 50	4,5/5,0	1200- 1300	10-12
Ручні кулемети	800	50/150	6/14	1100- 1200	11-15
Станкові Кулемети	1000	250-300	7/16 10/40	1200- 1500	16-25
Великокаліберні кулемети	1500	80 100	50/160	2000- 2300	90-150

Боєприпасами до стрілецької зброї є унітарні набої, тобто набої, в яких куля, пороховий заряд і капсуль з'єднані в одне ціле за допомогою гільзи (рисунк 1.9 , 1. 10).

За основним призначенням усі набої до стрілецької зброї діляться на 2 групи:

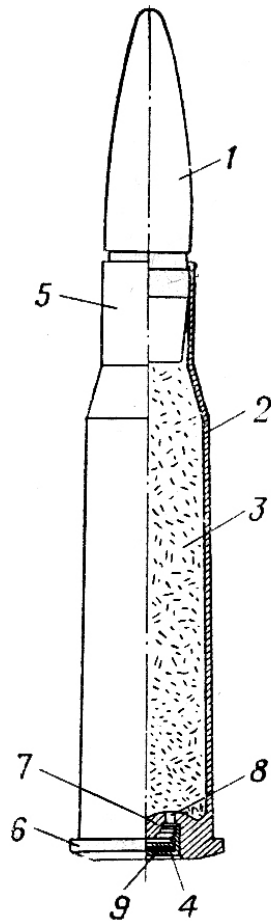
- бойові;
- допоміжні.

Бойові набої слугують для ураження живої сили і вогневих засобів:

- револьверні і пістолетні набої;
- проміжні (автоматні) набої;
- гвинтівочні (гвинтівочно-кулеметні);
- великокаліберні набої;
- малокаліберні набої.

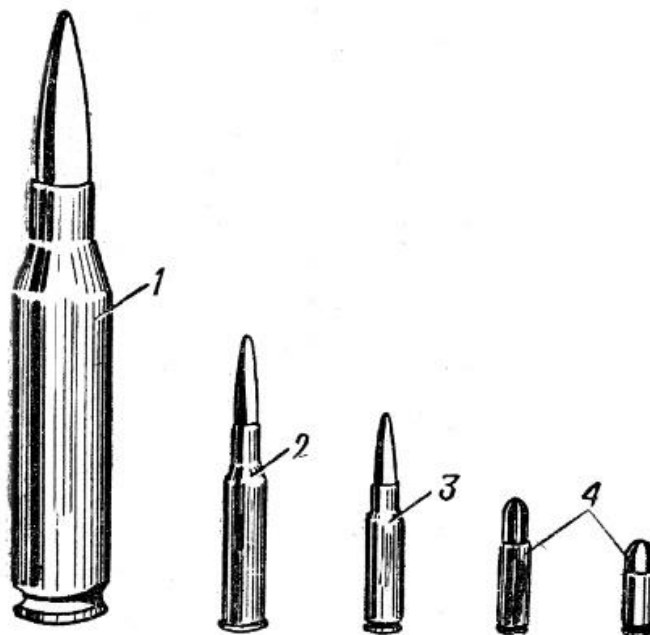
Бойові набої в свою чергу поділяються за дією куль:

- з звичайними кулями для ураження живої сили супротивника;
- зі спеціальними кулями для виконання спеціальних завдань (трасуючі, броньбійні тощо).



1 – куля; 2 – гільза; 3 – пороховий заряд; 4 – капсуль; 5 – дульце; 6 – закраїна;  
7 –наковальня; 8 – затравочний отвір; 9 – ударний склад

Рисунок 1.9 – Бойовий набій



1 – калібру 14,5 мм; 2 – 7,62 гвинтівочний; 3 – 7,62-мм зр. 1943 р.; 4 – пістолетні

Рисунок 1.10 – Набої

Допоміжні набої слугують для навчання військ, для перевірки роботи механізмів озброєння і для спортивної стрільби (холості, учбові, спортивні з посиленням зарядом – для випробування зброї – вузлів запирання; високого тиску – перевірка міцності стволів; зразкові (еталонні) для перевірки балістичної апаратури і балістичних випробувань порохів і патронів).

До пістолетних набоїв, окрім калібру 9 мм, відносяться пістолетні і револьверні набої калібру 7,62 мм. Автоматні набої використовуються і для ручних кулеметів, а гвинтівочні - і для станкових кулеметів.

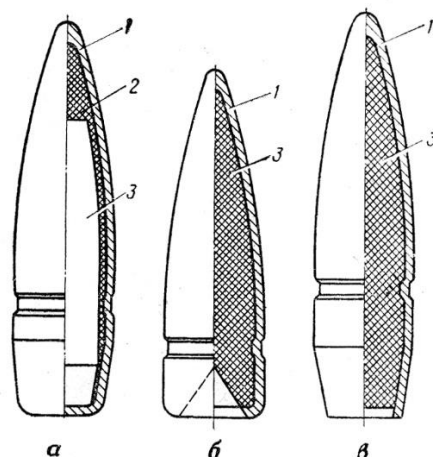
Кулі бойових патронів розподіляють на звичайні і спеціальні (рисунок 1.11). Звичайна куля складається:

- сталеве осердя;
- сталева, вкрита томпаком, оболонка.

Між оболонкою і осердям є свинцева сорочка.

Товщина оболонки сучасних куль складає від 0,06 до 0,08 калібру кулі. Матеріалом для оболонки кулі застосовують маловуглецеву сталь плаковану (від

французського Phaguer - вкривати) томпаком (біметал). Томпак – мідь 90% і цинк-10%. Такий склад дає гарне врізання кулі в нарізи і малу спрацьованість стволу.



а – з сталевим осердям; б – легка; в – важка;

1 – оболонка; 2 – свинцова рубашка; 3 – осердя.

Рисунок 1.11 – Кулі

Осердя – маловуглецева сталь, а у пістолетний набоях зі свинцю з домішкою від 1 до 2 % сурьми для підвищення міцності сталі.

У зовнішньому вигляді кулі розрізняють головну, ведучу і хвостову частини.

Головна частина кулі робиться з урахуванням швидкості її польоту. Чим більше швидкість польоту кулі, тим довшою має бути її головна частина. При цьому сила опору повітря менше. У сучасних кулях довжина головної частини береться від 2,5 до 3,5 калібру.

Ведуча частина – циліндрична, призначена придати напрямок і обертальний рух, а також заповнити нарізи каналу ствола і тим самим усунути можливість прориву порохових газів.

Довжина ведучої частини складає від 1 до 1,5 калібру. Діаметр кулі зазвичай від 1,02 до 1,04 калібру.

Хвостова частина, - довжина від 0,5 до 1 калібру і кут конусу від 6° до 9°, завдяки їй зменшується область розрядженого простору і завихрення позаду кулі, що летить.

Гільзи діляться на два види: циліндричні і пляшкові.

Пороховий заряд складається із бездимного піроксілінового пороху, а в набоях калібру 5,45 мм – нітроглицеринового.

Капсуль складається з ковпачка, ударного складу і фольгового кружечка: ковпачок капсуля – латунь; ударний склад – гримуча ртуть, 16%, хлорат калію – 55,5% і антимоніт – 28,5%.

Спеціальні кулі. Спеціальні кулі наділені спеціальною дією і призначені для стрільби по бойовій техніці і коригування вогню. Вони поділяються на: трасуючі, запальні, бронебійні, пристрільні (розривні). Спеціальні кулі можуть бути подвійної і потрійної дії (бронебійно-запалювальні, бронебійно-трасуючі і бронебійно-запалювально-трасуючі).

Трасуючі кулі призначені для цілевказівки і коригування вогню на відстанях 800 - 1000 метрів, а також для ураження живої сили противника.

У оболонці трасуючої кулі у головній частині вміщене свинцеве осердя, а у донній – склянка зі спресованим трасуючим складом. Горюча речовина - алюміній, магній та їх сплави і окислювач – перекис барію, кальцію та інші речовини, що містять кисень.

Бронебійно-запалювальні кулі призначені для запалювання горючих речовин і для ураження живої сили противника, що знаходиться за легкими броньованими укриттями на відстані 300 м (автоматичні кулі), до 500 м (гвинтівочні кулі) і до 1000 м (великокаліберні кулі – 14,5 мм).

Бронебійно-запалювальна куля складається з оболонки, сталевго осердя, свинцевої сорочки і запалювального складу.

Бронебійна дія куль забезпечується наявністю бронебійного осердя високої міцності і твердості. В кулях Б-32 застосовано сталеве калене осердя, а у кулях БС-41 – металокерамічне.

Бронебійно-запалювально-трасуючі кулі забезпечують трасуючу дію.

Запалювальна куля – калібру 14,5 мм призначена для ураження відкритих наземних цілей, запалювання дерев'яних споруд, пального у незахищених панцирем баках та інших запалювальних предметів на відстанях до 1500 м.

Куля ЗП має ударний механізм, зібраний у стакані.

Ударний механізм складається: капсульна втулка з капсулем-спалахувачем, ударник з жалом і набігаючий ковпачок, що виконує роль запобіжника від передчасного спрацьовування.

Ударний механізм зводиться при пострілі, набігаючий ковпачок за інерцією осідає на ударник, жало якого пробиває дно ковпачка. При зустрічі з ціллю ударник просувається вперед, наколює капсуль і відбувається спалахування запалювальної суміші, оболонка кулі розкривається і горючий запалювальний склад потрапляє на ціль.

Запалювальна куля миттєвої дії МДЗ складається з сталеві латуньованої оболонки, свинцевої сорочки, стакана та вибухової речовини, що знаходиться у ньому, прокладки та вибухового пристрою [7].

#### 1.4 Криміналістичне дослідження продуктів пострілу

Криміналістика – наука про закономірності злочинної діяльності та її відображення в джерелах інформації, які слугують основою для розробки засобів, прийомів і методів збирання, дослідження, оцінки і використання доказів з метою розкриття, розслідування, судового розгляду та запобіганню злочинів. Основоположником криміналістики як науки є австрійський юрист і кримінолог Ганс Гросс.

Судова балістика – це галузь криміналістичної техніки, що вивчає ручну вогнепальну зброю, бойові припаси, їх складові частини та елементи, сліди їх дії, а також закономірності відображення та отримання інформації про такі об'єкти, та розробляє на цій основі прийоми, методи і засоби збирання та дослідження вогнепальної зброї, бойових припасів і слідів їх застосування з метою розслідування та попередження кримінальних правопорушень.

До наукових основ судової балістики відносяться положення загальної балістики, відомості зі спеціальних військових наук (матеріальна частина зброї, конструювання зброї тощо), а також, створена в межах судової балістики, система знань про процес пострілу з ручної вогнепальної зброї, закономірності утворення слідів на кулях, гільзах і перешкодах, їх виявлення та дослідження.

Об'єктами судової балістики і джерелами криміналістичної інформації є:

- ручна вогнепальна зброя, її частини, деталі та приналежності до неї;
- пристрої, конструктивно схожі з вогнепальною зброєю (ракетниці, стартові, будівельно-монтажні пістолети, зброя для підводного полювання, газові та пневматичні пістолети і револьвери тощо);
- патрони та їх елементи в тому числі зі слідами вогнепальної зброї: гільзи, капсулі, металевий елемент, клейтухи контейнери, кулі, шрот, картеч тощо;
- матеріали, інструменти та інші засоби (креслення, записи) для виготовлення зброї або патронів і їх спорядження;
- предмети зі слідами дії вогнепальної зброї – вогнепальні ушкодження та відкладення продуктів пострілу на перепонах від зброї, з якої здійснено постріл.

До основних завдань, що вирішуються судовою балістикою, відносяться:

- встановлення властивостей вогнепальної зброї і бойових припасів (наприклад, чи є вилучений у затриманого предмет вогнепальною зброєю; чи придатна вона до стрільби тощо);
- встановлення обставин застосування вогнепальної зброї: відстані з якої проведений постріл, напряму пострілу, положення стріляючого і потерпілого, кількості пострілів, їх послідовність тощо;
- визначення групової приналежності зброї та боєприпасів (наприклад, з якого виду та зразка зброї стріляна дана гільза);
- ідентифікація зброї та бойових припасів за слідами пострілу (наприклад, чи стріляна гільза, вилучена з місця події із рушниці, яку виявили у підозрюваного тощо);
- встановлення факту проведення пострілу та характеру нанесених снарядом пошкоджень на предметах зовнішнього середовища (наприклад, чи є пошкодження

на предметі вогнепальним; який калібр зброї, що спричинила дане пошкодження) [8].

Останнім часом збільшилася кількість кримінальних правопорушень, учинених із застосуванням вогнепальної зброї, а для їх виявлення та розслідування необхідним є моделювання події, яка відбулася на місці злочину. У результаті проведення пострілу утворюються продукти, що відкладаються на зброї, перешкодах, об'єктах речової обстановки на місці злочину, а також на руках та предметах одягу людини, яка стріляла, вхідних та вихідних ранах потерпілого. Виявлення унікальних речовин, притаманних тільки продуктам пострілу – компонентів-маркерів – таких, як свинець, цинк, мідь, сурма, дифеніламін надає можливість встановити факт здійснення пострілу, визначити дистанцію пострілу, надати інформацію про тип використаної зброї, боєприпасу, пороху тощо. Невпинне вдосконалення різних видів ручної вогнепальної зброї та боєприпасів вітчизняного й закордонного виробництва, зокрема боєприпасів, споряджених різними кулями (серед яких і спеціального призначення), капсулями і порохами для підвищення вражаючих здатностей куль за рахунок надання їм нових конструктивних і балістичних властивостей, для збільшення кінетичної енергії згоряння порохових газів набоїв призводять до ускладнення інформаційної структури продуктів пострілу. Дослідження останньої зумовлює потребу синтезу наукових знань, залучення комплексу методів мікроелементного аналізу, зокрема й аналітичного контролю для порівняння великої кількості різнорідних показників, інверсійної вольтамперометрії, а точніше їх комбінацію, що являє собою поєднання хроматографічних і спектральних методів, оптимізацію відбору зразків для дослідження, а також відповідного інформаційно-аналітичного забезпечення, яке на сьогодні ще потребує вдосконалення.

Продукти пострілу – це багатоконпонентна та багатофазова система, що включає до свого складу органічні й неорганічні продукти згоряння порохового, капсульного зарядів, часток змазки та інших забруднень, а також частки металів, які випарувалися або механічно відділилися та утворилися внаслідок дотику

снаряду та стволу зброї тощо. За характером походження продуктів пострілу виділимо чотири основних види:

1. речовини, які містяться в ініціюючому складі капсуля-запалювача;
2. речовини, отримані в результаті горіння порохового заряду та його частки, що не згоріли;
3. речовини, утворені як результат дії високої температури на металеві частки зброї та боєприпасу (куля, ковпачок, кружок капсуля);
4. частки металів, утворені в результаті механічного тертя снаряду та внутрішніх стінок каналу стволу зброї.

Дані за елементним складом газоподібних продуктів пострілу, які випаровуються з поверхонь деталей зброї та патрону, а також складів, які утворюються при згорянні порохового та капсульного складів відомі та описані в різних джерелах. Це, зокрема, метали: Fe, Cu, Zn, Sn, Pb, Ba, Hg, Ni, W, Al, K, а також неметали: C, S. Найбільш специфічними речовинами – компонентами-маркерами, які вказують на походження від вогнепальної зброї є свинець, цинк, мідь, сурма та дифеніламін.

За походженням, динамікою виділення та відкладення сліди металів можна поділити на дві основні групи:

1. сліди металів, що несе на своїй поверхні куля, тобто частки, які налипли до стінок каналу стволу зброї при попередніх пострілах, частки оболонки та сердечника кулі;

2. сліди металів, які несе потік газу; своєю чергою, вони підрозділяються на підгрупи:

- сліди металів від згорання ініціюючої речовини та пороху;
- сліди металів від температурного впливу на снаряд;
- сліди металів від тертя кулі об стінки каналу стволу зброї.

Окрім того, використання трасуючих куль приводить до появи в складі продуктів пострілу додаткових елементів, таких як Ba, Sr, Mg, Na. У випадку застосування як запалювального складу запальної маси сірникових головок у продуктах пострілу містяться Mn, Cr, Zn тощо. На характер відкладення продуктів

пострілу впливає багато різних факторів, зокрема тип використаної зброї та боєприпасів, положення стрільця, умови, за яких був проведений постріл, різні забруднення тощо.

Проаналізувавши всю отриману в результаті дослідження інформацію, експерт формує свій умовивід і складає висновок. До того ж, скажімо, при дослідженні продуктів пострілу є потрібними знання й про механізм утворення таких слідів, й про виробничо-технологічний процес виготовлення набоїв тощо. Не менш важливе значення має наявність колекцій і довідкового фонду продуктів пострілу, притаманних певним класифікаційним групам вогнепальної зброї. Виявлення слідів продуктів пострілу, їх розподілу та топографії є досить складним і багатогранним завданням. Його вирішення дозволяє встановити факт застосування або перенесення, зберігання вогнепальної зброї, дистанцію пострілу, а також надати інформацію про тип використаної зброї, боєприпасу, пороху, проводити діагностику ушкодження, ідентифікувати боєприпасу, пороху, проводити діагностику ушкодження, ідентифікувати мікрочастинки з ранових каналів, визначати вид снаряду і мікроелементний склад продуктів пострілу.

Якщо той, хто стріляв, знаходився, скажімо, у невеликому приміщенні, то з'ясування всіх обставин того, що відбулося (сам факт проведення пострілу в цьому приміщенні, місцезнаходження, положення того, хто стріляв тощо), встановлюються способом виявлення або не виявлення слідів пострілу на предметах обстановки.

Вирішення цих завдань щодо продуктів пострілу в межах відповідних судових експертиз базується на дослідженні їх морфологічних особливостей внутрішньої та зовнішньої будови, складу та властивостей. Однорідні за природою властивості мікрооб'єктів утворюють певні інформаційні поля (морфологічне та субстанційне), які сукупно формують інформаційний простір. До того ж, для вирішення експертних завдань мають значення не стільки окремо взяті ознаки та властивості, до прикладу, мікрооб'єктів, скільки виявлені взаємозв'язки між ними. Для ефективного вирішення зазначених завдань, а також з метою вибору

оптимального з точки зору ефективності методу дослідження доцільно більш докладно розглянути механізм утворення таких слідів.

У процесі пострілу відбувається інтенсивна металізація всіх твердих часток – продуктів пострілу, оточуючих предметів та перешкоди – мікрочастки металів тонким шаром вкривають їх, проникають на деяку глибину в певному обсязі, а отже, можуть деякий час зберігатись. Учені висунули гіпотезу про механізм утворення слідів продуктів пострілу, яка базується на можливій конденсації легколетких компонентів кулі, продуктів згоряння порохового заряду та капсульного складу. У момент пострілу впродовж долі мілісекунди температура згоряння капсульного та порохового складу перевищує температуру випарування свинцю (1620 °C), сурми (1380 °C) та барію (1140 °C), температуру плавлення міді (1083 °C) та заліза (1539 °C).

Пари металів, що прорвалися, конденсуються на поверхні перешкоди або тілі того, хто стріляв, у вигляді крапель. Створюється динамічна рівновага за температурою та тиском. З початком охолодження багато часток продуктів пострілу застигають, утворюючи при цьому правильні або неправильні сфероїди. Завдяки різкості охолодження, а також тому, що температури затвердіння сурми (630 °C) та барію (728 °C) дуже близькі, утворюються ядра, які містять ці два елементи. Температура затвердіння свинцю є найнижчою – 327 °C, тому він утворює зовнішній шар навколо ядер з барію та сурми. Таким чином, продукти пострілу є конденсатами й за поверхневою морфологією, й за внутрішнім змістом, якщо враховувати розподіл металів. Зазначимо, що онтологічною передумовою розвитку криміналістичних експертиз, центральним об'єктом експертної систематики є матеріальні «сліди-відображення», криміналістичне значення\* яких є основою сучасної парадигми експертного пізнання обставин події злочину, відображеного в матеріальному середовищі, що складається з:

1. Криміналістичного вчення про зв'язки взаємодії, що обґрунтовує загальний принцип «підсумовування» інформації, яка виникає при взаємодії матеріальних тіл і повному (взаємному) відображенні їх властивостей.

2. Комплексного підходу, завдяки якому:

а) полегшується всебічне використання можливостей судової експертизи в процесуальному доказуванні в умовах спеціалізації експертного знання;

б) з'являється можливість вирішення ключової практичної проблеми експертизи: дефіциту інформації про шуканий об'єкт, що міститься в окремому сліді, або інформаційному полі.

3. Експертної технології як сукупності правил, прийомів і рекомендацій із забезпечення ефективного проведення судових експертиз у судових установах, котру складають технологічні схеми, що передбачають в організаційно-управлінському й методичному плані використання всіх форм комплексності за рахунок залучення паралельних, зворотних або зустрічних зв'язків для отримання додаткової доказової інформації.

Завдання пошуку, фіксації та вилучення слідів пострілу з вогнепальної зброї на місці події безпосередньо пов'язано з вивчення фону середовища, яка складає відповідну матеріальну обстановку. Це є необхідним для виявлення у вилучених зразках речовин, які не несуть інформації про постріл. Для врахування впливу фонових речовин доцільно провести збирання зразків як з місця пострілу, так і поруч з ним.

Завдання пошуку, фіксації та вилучення слідів пострілу з вогнепальної зброї на місці події безпосередньо пов'язано з вивчення фону середовища, яка складає відповідну матеріальну обстановку. Це є необхідним для виявлення у вилучених зразках речовин, які не несуть інформації про постріл. Для врахування впливу фонових речовин доцільно провести збирання зразків як з місця пострілу, так і поруч з ним.

Зазначимо, що сканувальна електронна мікроскопія дозволяє вивчати механізм утворення продуктів пострілу та диференціацію від інших часток довколишнього середовища (фонових елементів) без руйнування об'єкта. Разом з відомостями про топографію поверхні та структуру об'єкта дослідження, можливим є отримання даних про природу й кількість складових частин проби. У сучасних приборах реалізується принцип поєднання електронного мікроскопу з пристроєм, який аналізує. За допомогою електронної мікроскопії в поєднанні з

рентгенівською спектрометрією можливо проводити як локальний аналіз, так і одно- або двовимірний аналіз розподілень (знімків).

Під час пострілу виділяється велика кількість енергії, яка здатна оплавити металеві частки та надати їм сферичну форму. Частки розлітаються в різні боки від місця пострілу й осідають на поверхнях приміщення та обстановки. При цьому сурма є основним компонентом ініціюючого складу капсуля запальника та під час пострілу разом з газопороховим струменем осідає на одязі, предметах обстановки.

Свинець здебільшого входить до складу кулі та переважно відкладається на перешкоді, залежно від дистанції пострілу від 300,70 до 4295,33 мг/кг. На зразках з різних місць міста можна знайти сферичні частки, однак їх розміри помітно відрізняються одна від іншої навіть у межах одного зразка. Окрім того, такі частки, зазвичай, обліплені більш дрібними частками різної форми, що ускладнює пошук сферичних часток.

На підставі вищевикладеного, можна стверджувати, що: -

– продукти пострілу не є широко розповсюдженими в довколишній для людини обстановці. Це дозволяє надійно їх ідентифікувати за хімічним елементним складом (субстанційним ідентифікаційним полем) та формою часток (морфологічним ідентифікаційним полем). До того ж, різні ознаки та їх поєднання визначають кількісний вираз їхньої інформаційної значущості;

– при аналізі характеру розподілу елементів дослідник має можливість за інтенсивністю розцінити характер нашарувань та фонові значення концентрації елементів, що створює передумови для відмови у проведенні дослідження контрольного зразка (матеріал мішені поза ділянкою пошкодження);

– при огляді місця події доцільно збирати зразки для дослідження фону з різних об'єктів довколишнього середовища, оскільки їх фон може дуже відрізнитись; - існує потреба створення експериментальної бази компонентів маркерів продуктів пострілу для об'єктивізації експертних висновків та вдосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення судових експертиз [9].

Об'єктами криміналістичної експертизи вибухових речовин, продуктів пострілу та вибуху в залежності від обставин справи можуть бути:

- вибухові речовини;
- вибухові пристрої, їх фрагменти, елементи речової обстановки місця події з залишками ВВ, що не прореагували, продуктами вибуху;
- ручна вогнепальна зброя, боєприпаси до вогнепальної зброї та окремі їх компоненти;
- елементи речової обстановки місця події зі слідами пострілу;
- інші об'єкти, які, ймовірно, містять продукти пострілу.

Завдання криміналістичної експертизи вибухових речовин, продуктів пострілу та вибуху визначаються у кожному даному випадку ситуаційно, тобто. залежно від причин справи.

Типовими, визначеними з позицій запитів оперативних працівників у рамках оперативно-розшукової діяльності або слідчих у рамках розслідування, є такі завдання:

- виявлення - встановлення наявності-відсутності шуканих об'єктів (вибухових речовин, продуктів пострілу та вибуху);
- діагностика - визначення природи, найменування, призначення, галузі застосування, походження, умов існування, причин зміни властивостей або інших класифікаційних властивостей об'єктів (вибухових речовин), а також обставин слідоутворення та інших;
- ідентифікація — встановлення тотожності елемента речової обстановки: конкретної маси вибухової речовини, загальної родової (групової) приналежності шуканого об'єктів, що перевіряється.

У криміналістичних дослідженнях вибухових речовин, продуктів пострілу та вибуху використовується певний комплекс методів.

При дослідженні вибухових речовин (ВР) у нативному вигляді застосовується метод оптичної мікроскопії (з метою визначення кольору, агрегатного стану, форми та розміру кристалів тощо), досліджується характер горіння (колір полум'я, наявність або відсутність кіптяви, швидкість горіння), здатність до спалаху при інтенсивному нагріванні, проводяться якісні хімічні

реакції, застосовуються методи тонкошарової хроматографії та інфрачервоної спектrometerії.

При дослідженні слідів ВР у залишках після вибуху також застосовуються мікроскопічні методи, краплинні хімічні реакції, методи тонкошарової хроматографії. Крім того, використовуються також газова хроматографія та високоефективна рідинна хроматографія, інфрачервона спектrometerія, рентгеноструктурний аналіз. Для визначення компонентів піротехнічних складів зазвичай застосовуються елементний спектральний та мікроспектральний методи.

Продукти пострілу також досліджуються з використанням найрізноманітніших методів. Розглянемо використання різних методів дослідження на прикладі розв'язання задачі про дистанцію пострілу.

На першому етапі експертного дослідження застосовується метод оптичної мікроскопії (при збільшенні до  $100^x$ ). Цей метод застосовується з метою встановлення:

- морфології вогнепальних ушкоджень (форми, розміру, стану країв ушкодження);
- ознак термічного впливу (характеру та ступеня виразності опалення тканини, спікання, оплавлення її волокон та ниток; розміру займаної зони, розташування щодо країв ушкодження);
- наявності відкладення зерен пороху, щільності їх розсіювання, розміру займаної ними зони, розташування щодо центру ушкодження;
- наявності кіптяви пострілу, її топографії та розміру займаної зони.

Крім того, на першому етапі експертного дослідження проводять вилучення сторонніх частинок, виявлених в області вогнепального ушкодження, для подальшого їх хімічного дослідження (встановлення природи).

При встановленні відстані пострілу хімічне дослідження є одним з необхідних етапів. Воно включає дослідження пороху, мастила і металів, що входять до складу продуктів пострілу.

Хімічне дослідження пороху проводиться з метою підтвердження факту виявлення. При виявленні частинок бездимного пороху, що не повністю згоріли, з

однієї з них проводиться термохімічна реакція в капілярі з реактивом Грисса-Ілосвая. У разі необхідності повнішого дослідження бездимного пороху і за достатньої його кількості проводять аналіз на присутність як стабілізаторів — дифеніламіну та централіту, так і флегматизатора — камфори. Дослідження проводять методом тонкошарової хроматографії.

Нерідко буває необхідно провести дослідження на продукти згоряння пороху за відсутності обгорілих або не повністю згорілих частинок пороху. В даному випадку з об'єкта, що досліджується, відокремлюються дві проби: ділянка тканини в області пошкодження і контрольна ділянка, віддалена від пошкодження. Проби подрібнюють, обробляють гарячою дистильованою водою та визначають реакцію середовища. Нейтральна або слабнокисла реакція середовища свідчить про можливу наявність продуктів згоряння бездимного пороху, лужна - димного пороху або його суміші з бездимним. Встановлення надалі присутності нітритів, дифеніламіну (стабілізатора пороху) і характерних металів, що входять у продукти пострілу, дозволяє зробити висновок про наявність продуктів пострілу, зокрема продуктів згоряння бездимного пороху.

При встановленні лужної реакції середовища проводиться дослідження продукти згоряння димного пороху. Висновок про наявність продуктів згоряння димного пороху може бути дано лише у разі виявлення в області вогнепального пошкодження наявності сульфатів, карбонатів, іонів калію та частинок вугілля за негативного результату аналізу контрольної проби.

Ділянку об'єкта з вогнепальним пошкодженням досліджують також з метою виявлення слідів збройового змащення, виявлення якого відіграє певну роль у вирішенні питань про послідовність та відстань пострілу. Ця ознака виявляється при першому пострілі зі змазаного ствола, коли мастило в основному викидається у вигляді бризок. За наявності на одязі кількох вогнепальних ушкоджень використання методу ІЧ-спектроскопії дозволяє розрізнити перший, другий, а іноді і третій постріли, якщо стрілянина робилася зі змащеної зброї.

Виявлення слідів збройового мастила можна проводити методом візуального огляду в УФ-променях; у разі наявності мастила (мінеральної олії) спостерігається

блакитна люмінесценція. Для встановлення якісного складу мастила проводять дослідження методом тонкошарової хроматографії. Для отримання кількісної оцінки та можливості документування доцільно використання методу відбивної спектрофотометрії (прилад хроматограмспектрофотометр КМ-3 фірми «Opton»).

Серед ряду компонентів, що входять до складу продуктів пострілу, наявність металів – найбільш стійка та об'єктивна ознака для вирішення питання про відстань пострілу. На уражених пострілом об'єктах можуть бути виявлені такі метали: барій, олово, ртуть, сурма (від капсульного складу), свинець (від снаряда та деяких складів капсулів), мідь (від снаряда та гільзи), залізо (від снаряда, гільзи, ствола) та тощо.

Для виявлення деяких металів використовується дифузно-копіювальний метод (ДКМ), який завдяки простоті, чутливості, універсальності та експресності набув широкого поширення в експертній практиці. З його допомогою можна встановити не тільки природу металу (міді, нікелю, свинцю, заліза та сурми), а й топографічну картину його відкладення. Цей метод є неруйнівним щодо об'єкта-носія. Це дозволяє застосовувати й інші методи дослідження (атомно-абсорбційний, атомно-емісійний тощо). Сутність методу полягає в тому, що при щільному контакті листа відфіксованого фотопаперу (фільтрувального паперу), обробленого відповідними розчинниками, з поверхнею об'єкта, що досліджується, відбувається дифузія іонів металу з досліджуваної поверхні об'єкта-носія в желатиновий шар фотопаперу, на якому вони абсорбуються в кількості достатній для аналізу

Недоліком методу є відсутність кількісних критеріїв виявленої металізації, що часто призводить до суб'єктивної оцінки результатів дослідження, а за недостатнього експертного досвіду – неправильної оцінки отриманих результатів.

Питання про відстань пострілу може бути вирішено за кількісним вмістом продуктів пострілу в кільці матерії навколо вхідного вогнепального ушкодження за допомогою атомного абсорбційного аналізу(ААА). Аналізується вміст сурми - найбільш характерного елемента продуктів пострілу, що входить до складу ініціюючого заряду набоїв до нарізної зброї. Абсолютний вміст сурми навколо

вогнепального ушкодження на певній площі зменшується із збільшенням дистанції. Безпосередньому дослідженню підлягає кільце матерії з вогнепальним пошкодженням із зовнішнім діаметром 8-10 см (поясок обтирання видаляється) і таке ж кільце у місці, віддаленому від пошкодження. Вони подрібнюються і обробляються 7%-ною азотною кислотою. Кількісний вміст сурми визначається на атомно-абсорбційному спектрофотометрі.

Знайдена величина абсолютного вмісту сурми в кільці матерії навколо пошкодження дозволяє попередньо оцінити, з якої відстані був зроблений постріл, і спланувати інтервал дистанцій для експериментальної стрільби так, щоб він включав передбачувану відстань. Експериментальна стрілянина проводиться в мішені, виготовлені з матеріалу досліджуваного одягу, з того ж (аналогічного) екземпляра зброї та патронами з маркуванням, аналогічним тим, що були застосовані на місці події. З кожної дистанції проводиться по 3-4 відстріли.

Розраховується середнє значення абсолютного змісту сурми навколо експериментально отриманих пошкоджень кожної дистанції, будується графік залежності його від дистанції, нього наноситься значення абсолютного змісту сурми реального пошкодження і перебуває шукана відстань як інтервалу відстаней з урахуванням величини похибок.

Відстань пострілу можна встановити і з допомогою емісійного спектрального аналізу (ЕСА). Визначення засноване на дослідженні кількісного вмісту металів, притаманних продуктів пострілу, на певній площі перешкоди навколо вогнепального пошкодження. У літературі наводяться граничні відстані пострілу, що визначаються методом ЕСА: для короткоствольної нарізної зброї - 0,7-1,2; для довгоствольного – 2,0-2,5 м; для пістолета ПМ - до 5 м, для револьверів "Наган" і ТТ - 2,5-5 м. Це обумовлено різним способом відбору проб з мішеней.

Спектрофотометричному дослідженню зазвичай передують інші методи дослідження вогнепальних пошкоджень (мікроскопічне дослідження, фотографування в ІЧ-променях, хімічний аналіз), які дозволяють отримати попередні орієнтовні дані про відстань пострілу.

Визначення відстані пострілу за допомогою ЕСА є порівняльним дослідженням, тому передбачається обов'язкове отримання експериментальних зразків (моделей об'єкта, що досліджується) при стрільбі з декількох дистанцій (не менше чотирьох) в діапазоні, встановленому попереднім досліджуваням. Експериментальні відстріли необхідно робити з тієї ж зброї, яка використовувалася на місці події, аналогічними патронами в мішені, виготовлені з матеріалу об'єкта, що досліджується, або аналогічного. Відстань пострілу, так само як і при використанні методу ААА, визначають за допомогою градуовальних графіків, побудованих за точками, що відповідають  $\Delta S$  (Різниці щільності почорніння спектральної лінії визначається елемента і спектральної лінії елемента основи еталона), для кожної експериментальної дистанції пострілу.

Завдання визначення дистанції пострілу вирішується на кілька етапів. Без отримання попередніх результатів (про подання на дослідження саме першого шару ураженої перешкоди, про вогнепальність пошкодження, вхід-вихід) неможливе проведення експериментів щодо визначення відстані пострілу. Оцінюючи сукупності ознак реального ушкодження експерт вже першому етапі повинен максимально враховувати обставини, що були дома події та відомі йому з постанови призначення експертизи. Експерт окрім кута нахилу зброї до перешкоди повинен враховувати, де сталася подія: на відкритому повітрі або у приміщенні; якщо на відкритому повітрі, то які метеоумови були в цей час.

Крім вищевказаних, виявлення частинок важких металів на ураженому об'єкті може проводитися рентгенографічне дослідження [9].

### 1.5 Рентгенофлуоресцентний аналіз в криміналістиці

За останні п'ять років рентгенофлуоресцентний аналіз був застосований для дослідження частинок фарби, в тому числі автомобільної фарби, скляних, фрагментів, будівельних матеріалів, пластмаси, продуктів корозії, ліків та наркотиків, домішок токсичних металів у фармацевтичних матеріалах, матеріалу

стоматологічних реставраційних смол, монет і банківських карток, платівок мистецтва.

Рентгенофлуоресцентний аналіз використовується для вивчення матеріалу скелетних останків людини та вогнепальних вихлопів від гладкоствольної або нарізної зброї, рідких зразків конфіскованих матеріалів, що використовуються для виготовлення феєрверків.

Часто при судово-медичних дослідженнях необхідно ідентифікувати невідомі речовини. Автоматизовані бази даних можуть полегшити вирішення цього завдання: досліджуваний матеріал може бути порівняний з багатьма відомими стандартами протягом короткої період часу. Подібні бази вже використовуються для багатьох матеріалів. Показано, що зубні смоли можуть бути визначено відповідно до бренду або торгової групи [10].

Більшість криміналістичних лабораторій не в змозі адекватно характеризувати зразки ґрунтів, відібраних слідчими на місці злочину. Основна причина цього полягає в тому, що морфологічні, мінералогічні та інші знання в області спектроскопічних методів аналізу, необхідні для вивчення та інтерпретації досліджуваних ґрунтів, вимагають високого рівня підготовки та досвіду. Фахівців такого класу в даний час у більшості наукових судових установ дуже мало. Щоб подолати цю ситуацію, в Японії почали створювати судову базу даних для ґрунтів. Зі своїх спостережень, автори знайшли, що вміст елементів з високими  $Z$  і мінерали з цими елементами є геологічними, а також географічними ознаками ґрунтів [11].

Вплив відстані від вогнепальної зброї до цілі по розподіл  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Sb$ ,  $Ba$  і  $Pb$  на поверхні тканини одягу потерпілого. У ряді досліджень показано, що аналіз вихлопів пострілів з вогнепальної зброї на вогнепальних пошкодженнях має першорядне значення в судово-медичній експертизі. Ці залишки, як правило, складаються з частинок, виділених з ґрунтовки, палива і самої кулі. Це пояснює велику мінливість залишків, що виділяються після пострілу. метали, які розглядаються як специфічні для цього випадку,  $Pb$ ,  $Sb$  і  $Ba$ , входять до складу неспаленого і частково спаленого палива та частинок від ґрунтовки боєприпасів,

диму, жиру, мастильних матеріалів і металів з картриджа, а також самого зброї; знаходження всіх трьох металів в зразку є переконливим доказом вогнепального ураження [12].

Одним з важливих аспектів кримінального розслідування деяких інцидентів є оцінка відстані від ствола до мішені. Це допомагає встановити відносні положення стрілка і жертви. Енергодисперсійний рентгенівський флуоресцентний аналіз може являти собою альтернативу для традиційного хемографічного методу, який заснований на серії хімічних реакцій, в результаті яких отримують кольоровий спектр.

Енергодисперсійний рентгенівський флуоресцентний аналіз (ЕДРФА) – немає необхідності в трудомісткою хімічної підготовки, швидший і неруйнівний аналіз. Дослідники, використовуючи в якості мішені тканини з чистого білого бавовни і два типи пістолетів, стріляли з різних відстаней. З кожної мети вирізані і проаналізовані безпосередньо ЕДРФА чотири квадрати (4x3 см). Як і очікувалось, зміст Cu, Zn, Sb, Ba, Pb зменшувався з відстанню для всіх елементів. Така поведінка була вивчена в залежності від довжини ствола і варіанти нарізів в стволах. Концентрації елементів визначали з використанням методу фундаментальних параметрів. Розроблена методика може бути використана для аналізу будь-якого типу боєприпасів, включаючи нові їх види (рисунк 1.12, 1.13) [13].

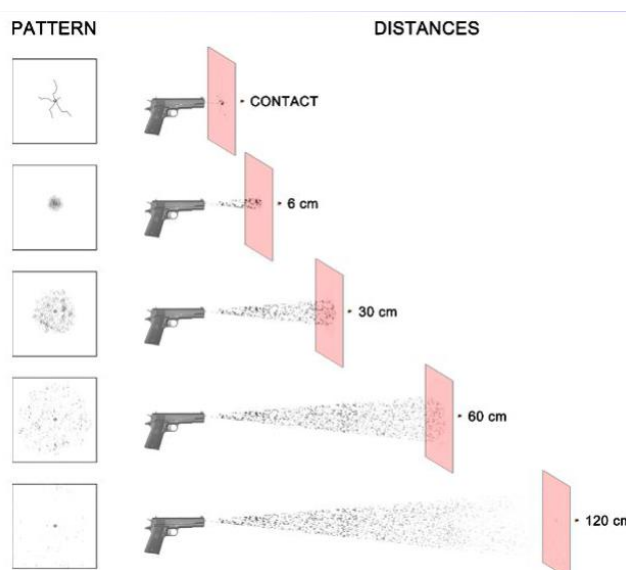


Рисунок 1.12 – Розподіл продуктів пострілу з відстанню

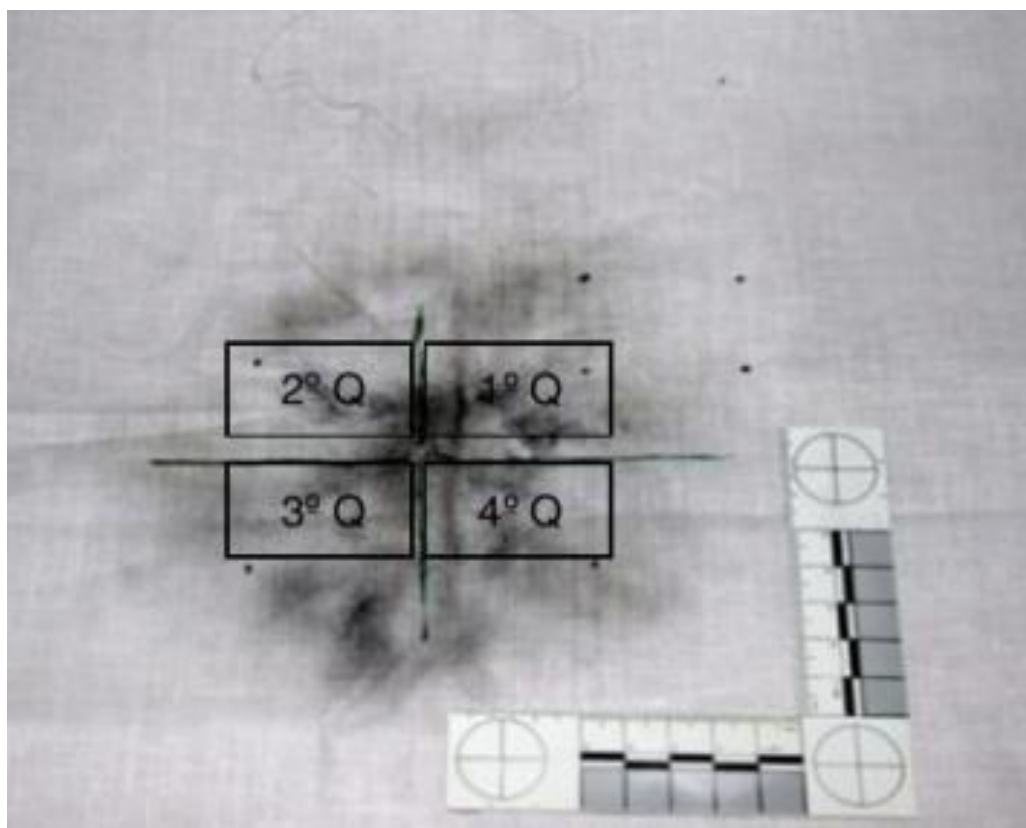


Рисунок 1.13 – Відносне розміщення областей для дослідження рентгенофлуоресцентним аналізом

Експериментальне дослідження залишків після пострілу на руці того, хто стріляв і передача (перенесення) залишків при рукостисканні. Дослідники провели експерименти, які сприяли розумінню динаміки вторинного переносу залишків пострілів з вогнепальної зброї. Відзначено, що повний спектр частинок різних розмірів може бути переданий від стрілка до іншої людини через рукостискання. Отримані результати вказують на ряд можливих наслідків для судового протоколу в розслідуванні, що включає аналіз слідів пороху. При зборі зразків бажано відбирати зразки як можна швидше і якомога з більшої кількості поверхонь і предметів, які, можливо, брали участь в контакті зі стрільцем або вогнепальною зброєю, зберігаючи, таким чином, важливу інформацію і виключаючи поширення вогнепальних залишків через подальші передачі. Це дозволить порівняти зразки і потенційно реконструювати переноси, при цьому обмежуючи втрату важливих доказів.

Аналіз осколків скла з використанням РФА. Існують спеціальні протоколи для криміналістичного аналізу скла за допомогою РФА. Зразки скла представляються в лабораторії судової експертизи в різних слідчих обставинах, при яких первинний об'єкт зі скла буває розбитим. Це дорожньо-транспортні пригоди та зіткнення або варіанти нападу. У таких ситуаціях бите скло, можливо, передається від джерела до іншого об'єкту або людині. Метою судової експертизи скла є порівняння декількох зразків для з'ясування чи можна розділити їх за допомогою фізичних і / або хімічних властивостей (наприклад, колір, товщина, показник заломлення, щільність і елементний склад). Якщо зразки значимо відрізняються за допомогою однієї з цих властивостей, можна зробити висновок, що вони походять з різних скляних об'єктів. Якщо зразки не відрізняються за всіма цими властивостями, існує ймовірність, що вони належать одному первинному об'єкту скла.

## 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження в роботі є пороховий заряд, що міститься в набої, та продукти пострілу, нашарування яких на марлевому тампоні отримували шляхом протирання каналу ствола після пострілу.

Дослідження пороху різних марок проводили для встановлення його елементного складу, а саме добавок металів або їх сполук, які покращують характеристики горіння та можуть залишатися у продуктах пострілу. Рентгенофлуоресцентний аналіз на основі приладу, який був використаний для досліджень, не дозволяє визначити елементи легші за натрій, тому зафіксованими будуть тільки добавки до пороху, або склад димного пороху [6, 14, 15].

Приготування зразків для дослідження на початкових етапах відбувалося трьома методами для визначення стабільних інтенсивностей рентгенівського випромінювання. Перший метод полягав у насипанні пороху на шматок тонкої (4 мкм) поліетиленової плівки, яку розміщали над віконцем аналізатора. Другий метод ґрунтувався на розчиненні пороху в незначній кількості ацетону, з наступним випаровуванням розчинника з утворенням монолітного твердого зразка, який піддавався аналізу. Третій метод полягав у розтиранні пороху у водному розчині 4% полівінілового спирту з наступним випаровуванням води та склеюванням подрібнених частинок у монолітний зразок. Третій метод незначно перевищує інші по інформативності, але достатньо трудомісткий, тому перевага була віддана першому методу, як такому, що дозволяє швидке визначення елементів без трудомісткої пробопідготовки.

Дослідження продуктів пострілу проводили для встановлення їх елементного складу та порівняння зі складом порохових зарядів. Продукти пострілу знаходилися на носії – марлевому тампоні, куди попадали після протирання каналу ствола. Зразки розміщувалися над віконцем аналізатора без додаткової підготовки та орієнтували найбільш забрудненою сторонню до рентгенівської трубки.

Назви зразків ґрунтуються на назві зброї, назві та калібрі набою або найменування виробника. Назви надавалися сектором дослідження зброї під час проходження практики і в подальшому не змінювалися.

Під час дослідження використовували зразки пороху та продуктів пострілу для отримання даних про їх якісний склад, визначення переліку елементів, які найчастіше зустрічаються в зразках, їх порівняння зі складом елементів набою. Ці зразки походять від різних набоїв, тому їх не використовували для встановлення залежності між продуктами пострілу та складом елементів набою.


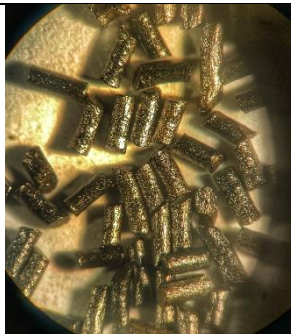

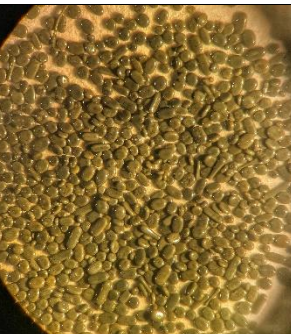
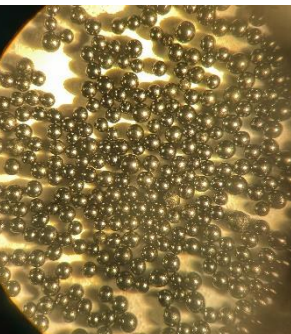
Інші зразки пороху та продуктів пострілу, які пов'язані з одним типом набоїв та зброї, були використані для встановлення залежності між природою продуктів пострілу та складом елементів набою.

В таблиці 2.1 наведені зразки порохового заряду (пороху), які використовувалися для дослідження якісного складу.

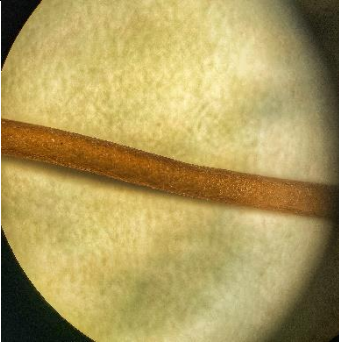
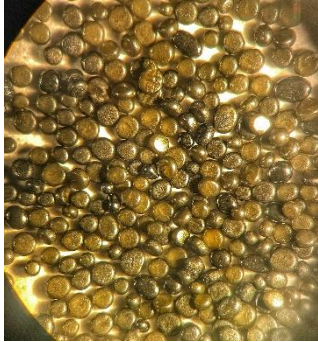
Таблиця 2.1 – Зразки пороху для дослідження якісного складу

№ з/п	Назва зразка	Фото, 50 <sup>x</sup>	Додаткова інформація
1	2	3	4
1	Сигнальний		Виробник: завод «Азот», Кранозаводськ, СРСР, димний порох
2	ТАХО-12-20		Виробник: НВФ «Тахо», Україна, мисливський порох

Продовження таблиці 2.1

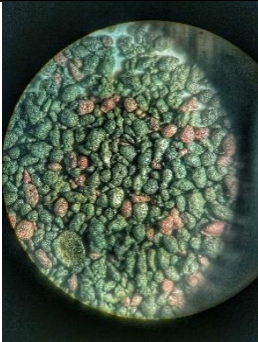
1	2	3	4
3	7.62x25-1945		Виробник: Тульський патронний завод, 1945 рік випуску, СРСР
4	7.62x54 ЛПС		Виробник: Новосибірський завод низьковольтної апаратури, 1986 рік випуску, СРСР
5	7,62x39мм_1970		Виробник: Ульяновський машинобудівний завод, 1986 рік випуску, СРСР
6	5.6 мм Восток		Торгова марка «Восток», спортивно-мисливський, СРСР
7	8x57 Sellier&Bellot		Виробник: Sellier&Bellot, Чехія

## Продовження таблиці 2.1

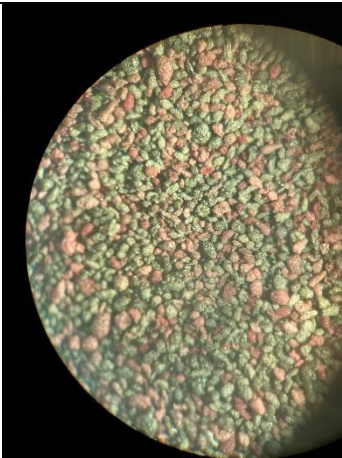

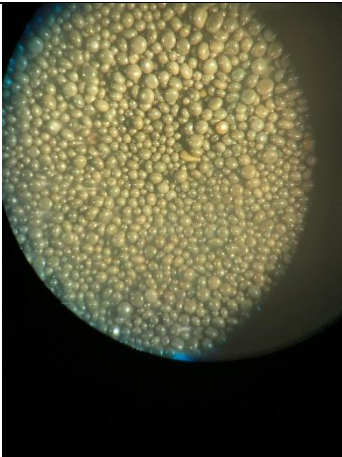
1	2	3	4
8	303 British		Країна виробник: Британія
9	308 Win		Країна виробник: Литва

В таблиці 2.2 наведені зразки порохового заряду (пороху), які використовувалися для встановлення залежності між природою продуктів пострілу та складом елементів набою.

Таблиця 2.2 – Зразки пороху для встановлення залежності між природою продуктів пострілу та складом елементів набою

№ з/п	Назва зразка	Фото, 50 <sup>x</sup>	Додаткова інформація
1	2	3	4
1	ПЗ Шумовий		Патрон OZK

Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4
2	ПЗ 9 мм Шумовий		-
3	ПЗ 5.6 CM		Дрібний калібр, виробництво СРСР
4	ПЗ 5,6 Lарua		Дрібний калібр, виробництво Наммо Lарua, Фінляндія

В таблиці 2.3 наведені зразки продуктів пострілу, які використовувалися для дослідження якісного складу.

Таблиця 2.3 – Зразки продуктів пострілу для дослідження якісного складу

№ з/п	Назва зразка	Патрон, зброя	Матеріал верхньої частини кулі
1	2	3	4
1	ПМ-РФ	Патрон Терен 3	Гума
2	МКМ-072Сб	Карабін	Латунь
3	ОП-СКС	Патрон БПЗ	Латунь
4	Blaser R-93	Карабін	Латунь
5	ПСМ-Р	Патрон АКБС	Гума
6	Форт-12Р	Патрон ПС-9	Гума
7	ТОЗ-78-01	Гвинтівка	Свинець
8	Marlin mod 60 SV	Карабін	Свинець
9	Safari mod 8206	Патрон ПС-9	Гума
10	Форт-207	Карабін	Латунь
11	СВТ-40	Карабін	Латунь

В таблиці 2.4 наведені зразки порохового заряду (пороху), які використовувалися для встановлення залежності між природою продуктів пострілу та складом елементів набою.

Таблиця 2.4 – Зразки продуктів пострілу для встановлення залежності між природою продуктів пострілу та складом елементів набою

№ з/п	Назва зразка	Патрон, зброя	Матеріал верхньої частини кулі
1	2	3	4
1	Me38Compact	Патрон ОЗК, газовий револьвер, холостий патрон	Гума
2	ПП 9 мм Шумовий	Пістолет газовий	Гума
3	ПП 5.6 СМ	Гвинтівка	Свинець
4	ПП 5,6 Lapua	Гвинтівка	Свинець

## 2.2 Рентгенофлуоресцентний аналіз та обробка результатів

Всі дослідження були виконані на спектрометрі енергій рентгенівського випромінювання Elvax Pro, зовнішній вигляд якого представлено на рисунку 3.1.



Рисунок 2.1 – Спектрометр енергій рентгенівського випромінювання Elvax Pro

Для отримання важких (важкі елементи) та легких спектрів (легкі елементи) застосовували настройки для звичайних та легких задач, параметри яких наведені в таблиці 2.5. Для легких задач продували гелієм робочу камеру.

Таблиця 2.5 – Параметри випромінювача

Напруга і фільтри			Струми і стабілізація завантаження		
Параметри	Задача		Параметри	Задача	
	Звичайна	Легка		Звичайна	Легка
Напруга, кВ	45	10	Струм трубки, мкА	270	25
Фільтр, мкм	Ni, 300+ Al, 300	Без фільтра	Стабілізація, імп/с	99000	235000

Обробка результатів дослідження відбувалася з використанням вбудованого програмного забезпечення, яке поставляється разом зі спектрометром і дозволяє виконувати наступні операції:

- управління роботою спектрометра (набір спектрів рентгенівської флуоресценції, калібрування шкали спектрометра по енергії);
- відображення на екрані дисплея спектрів досліджуваних зразків у процесі набору спектра;
- створення та редагування градувань для кількісного аналізу;
- проведення кількісного аналізу у двох режимах: автоматичний пошук елементів та розрахунок концентрацій за заданим списком елементів;
- збереження як самих спектрів, так і результатів вимірів, як файлів на диск, формування файлів звітів за результатами вимірювань;
- виведення результатів вимірювань та спектрів на друк.

В умовах, коли елементи, які визначаються, знаходяться в легкій матриці (рідина, полімери, органічні сполуки, органічна основа порошків), отримати якісні результати кількісного аналізу важко. В цьому випадку доцільно зупинитися на дослідженні якісного складу об'єктів дослідження. Тому при обробці результатів використовували не концентрацію елементів, а інтенсивність сигналу К-серій або L-серій у разі відсутності К-серій визначених елементів. Інтенсивність сигналу не прямо пропорційна концентрації, особливо для легких елементів, тому використовували відносні інтенсивності, де значення одиниці привласнювалося елементу з найбільшою інтенсивністю. Для визначення впливу фону його наведено на діаграмах залежності відносної інтенсивності К- або L-серії елементів поряд зі значеннями для об'єктів дослідження у відносних значеннях по відношенню до елементу з найбільшою інтенсивністю. Спектр фону знімали при відсутності зразка, але при наявності носіїв та полімерних плівок на яких аналізували зразки.

Для прикладу на рисунку 2.2 представлений рентгенофлуоресцентний спектр легких елементів зразка «Сигнальний», на рисунку 2.3 – рентгенофлуоресцентний спектр важких елементів зразка «Сигнальний», а в таблиці 2.5 – результат елементного аналізу після обробки.

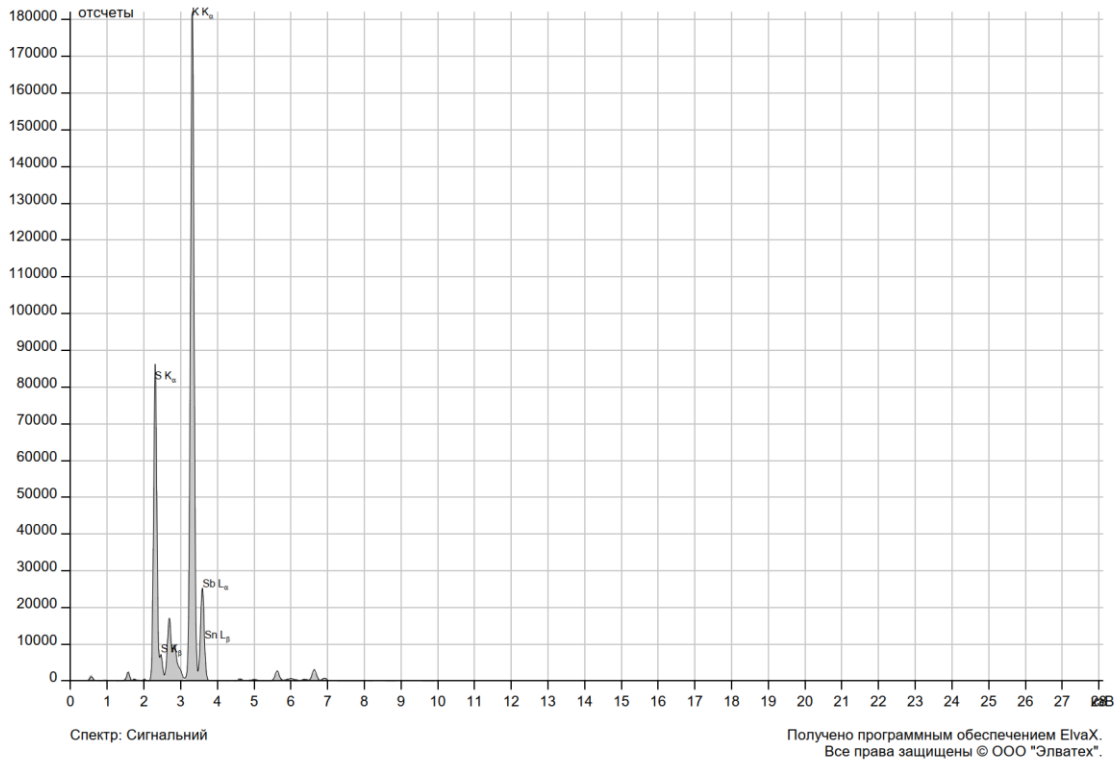


Рисунок 2.2 – Рентгенофлуоресцентный спектр легких элементов  
зразка «Сигнальный»

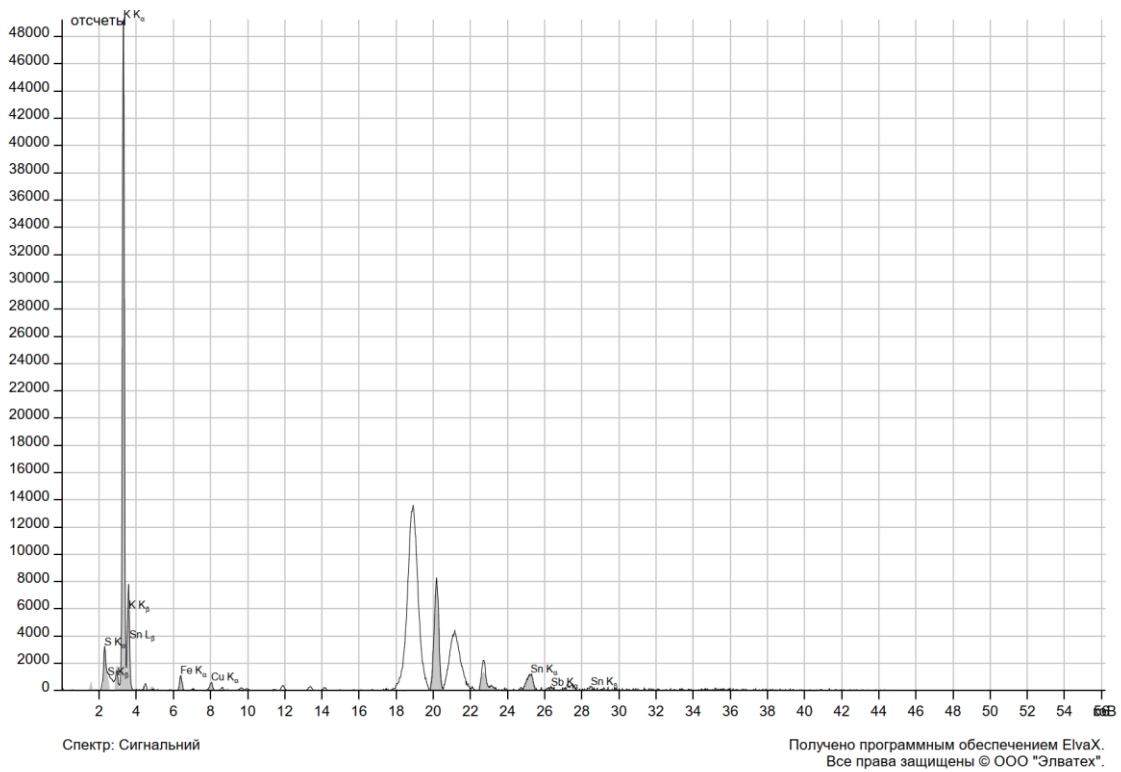


Рисунок 2.2 – Рентгенофлуоресцентный спектр тяжелых элементов  
зразка «Сигнальный»

Таблиця 2.5 – Елементний склад зразка «Сигнальний»

Атомний номер	Елемент	Серія	Інтенсивність	Концентрація
19	K	K	1004814	99,004 ± 0,079%
16	S	K	416571	0,996 ± 0,004%
20	Ca	K	0	< 0,230%
56	Ba	L	0	< 0,101%
24	Cr	K	0	< 0,001%
26	Fe	K	3439	< 0,001%
29	Cu	K	2555	< 0,001%
30	Zn	K	0	< 0,001%
50	Sn	K	12278	< 0,001%
51	Sb	K	2289	< 0,001%
82	Pb	L	0	< 0,001%
83	Bi	L	0	< 0,001%

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Дослідження якісного складу порохових зарядів

Дослідження якісного складу порохів, доступного рентгенофлуоресцентному аналізу, дозволяє визначити елементи, які можуть зустрічатися в продуктах його горіння, а отже в продуктах пострілу. Відомо, що димний порох при згоранні утворює 56% твердих речовин та 44% газоподібних. До складу твердих продуктів входять вуглець, сульфіді та сульфати калію. До складу самого пороху входять нітрат калію, сірка та деревне вугілля, природно, що ці елементи будуть присутні при аналізі. Димному пороху відповідає тільки один зразок «Сигнальний» (рисунок 3.1). Наявність сірки та калію з високою інтенсивністю ліній та низькою інтенсивністю фону дозволяє стверджувати, що саме ці елементи і входять до складу пороху.

Інша картина спостерігається в порохів, які виготовлені на основі нітратів целюлози, оскільки елементний склад органічних сполук не ідентифікується рентгенофлуоресцентним аналізом. Можна сподіватися тільки на наявність елементів, які попадають в порох на етапі його виготовлення, або додаються спеціально, як каталізатори та стабілізатори. Сульфатна кислота може входити до нітруючої суміші, що забезпечить деяку кількість сірки в результатах аналізу. Стосовно каталізаторів, то найбільш часто згадуються оксиди міді та свинцю, як каталізатори горіння. У складі порохів аналізом визначається і калій, де він знаходиться у вигляді сульфату, тартрату, гексанітрокобальтату. Інтенсивність ліній елементів, які входять до порохів на основі нітратів целюлози істотно менша, ніж спостерігалось для димного пороху, і в більшому ступені відчувається вплив фону: складу носіїв, елементів приладу (рисунок 3.2-3.9). Це пояснюється незначною концентрацією елементів, які знаходяться в легкій матриці, яка не визначається рентгенофлуоресцентним аналізом.

Відмічається наявність сірки та калію у зразка «ТАХО-12-20» з високою відносною інтенсивністю та наявність міді, цинку та олова з незначною відносною ефективністю (рисунок 3.2).

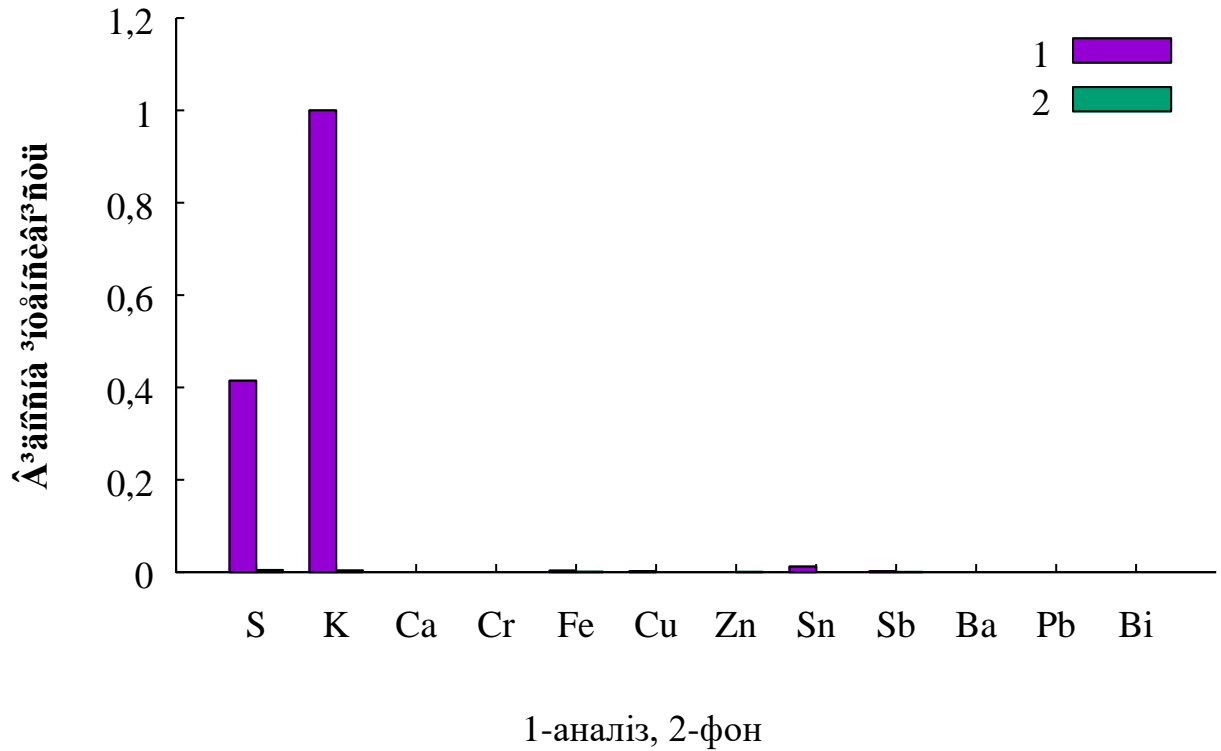


Рисунок 3.1 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «Сигнальний»

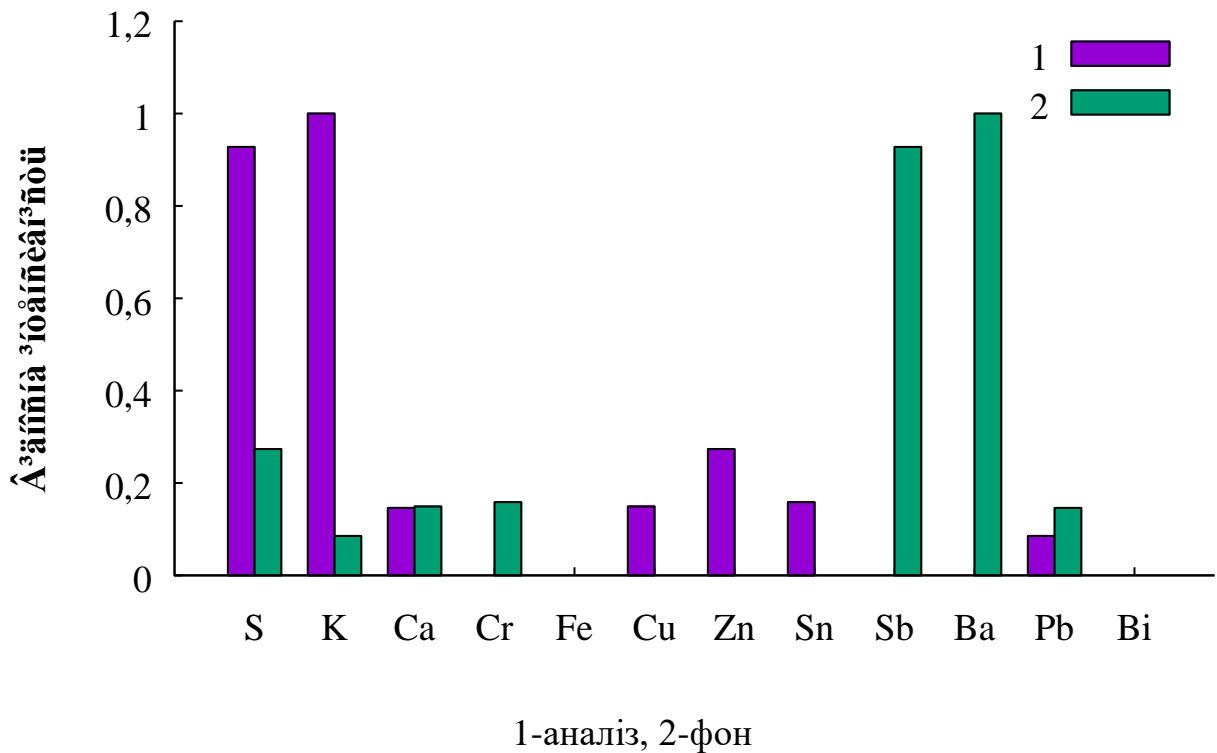


Рисунок 3.2 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ТАХО-12-20»

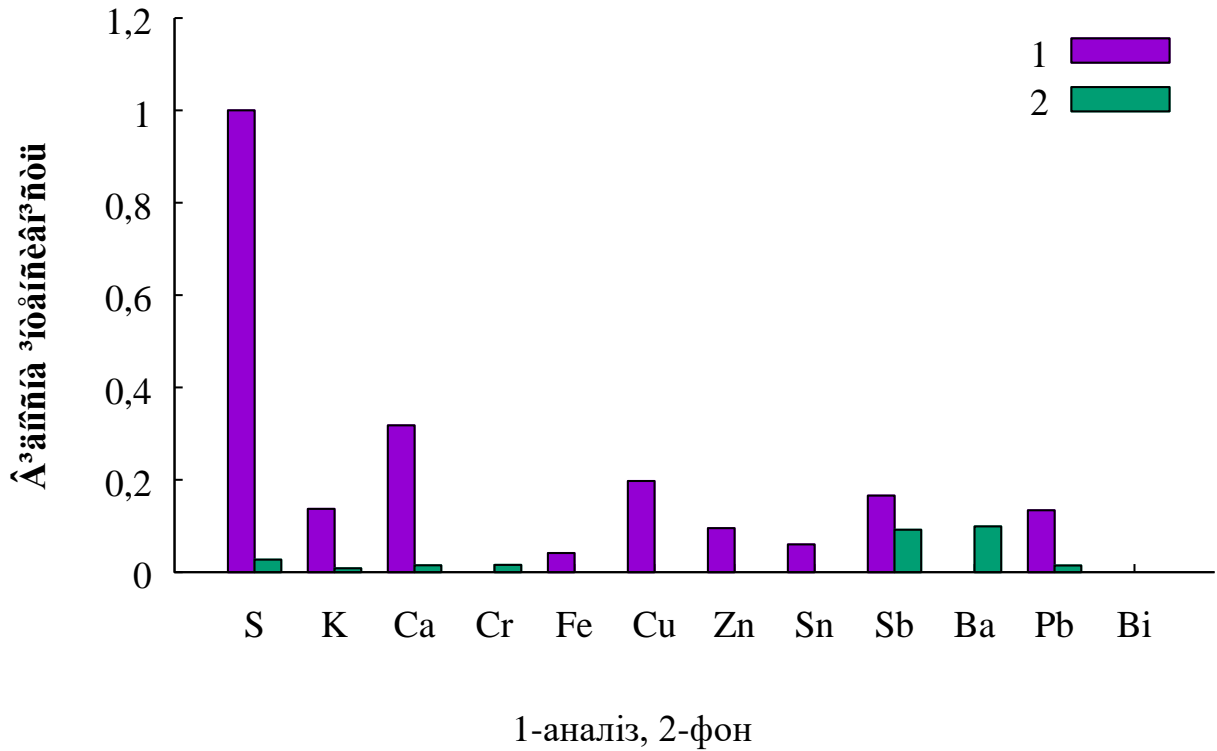


Рисунок 3.3 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «7.62x25-1945»

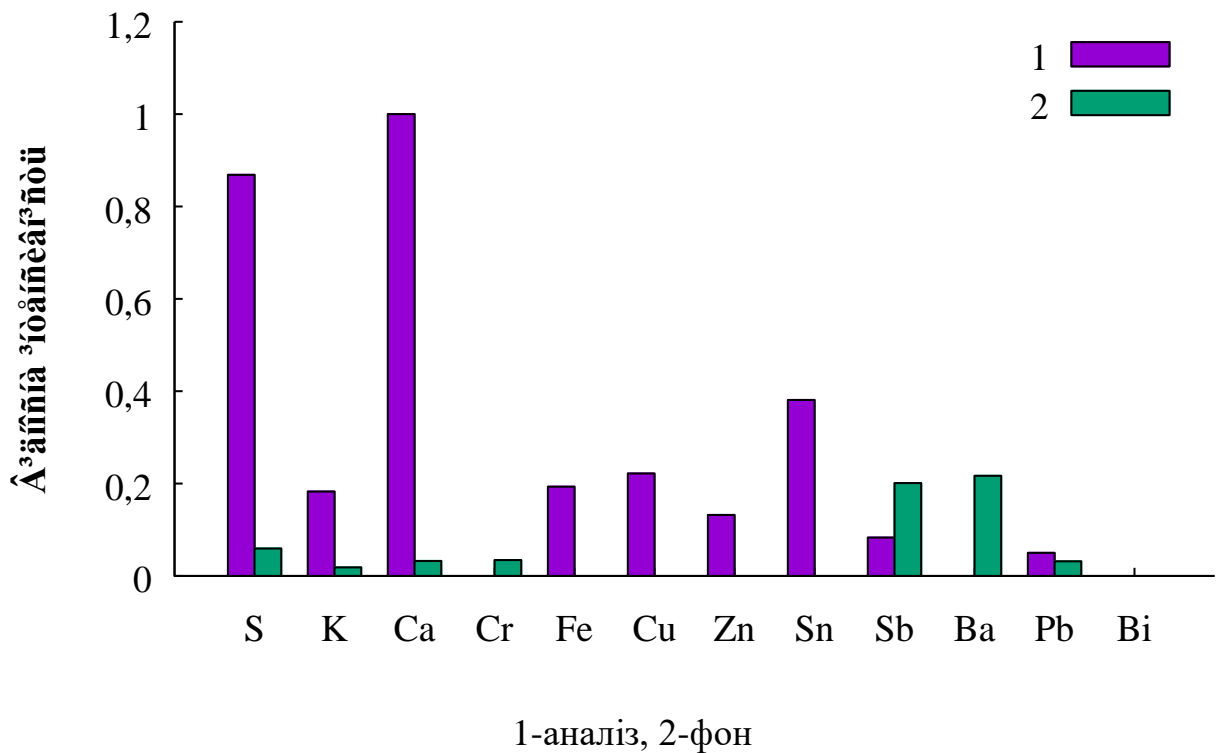


Рисунок 3.4 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «7.62x54 ЛПС»

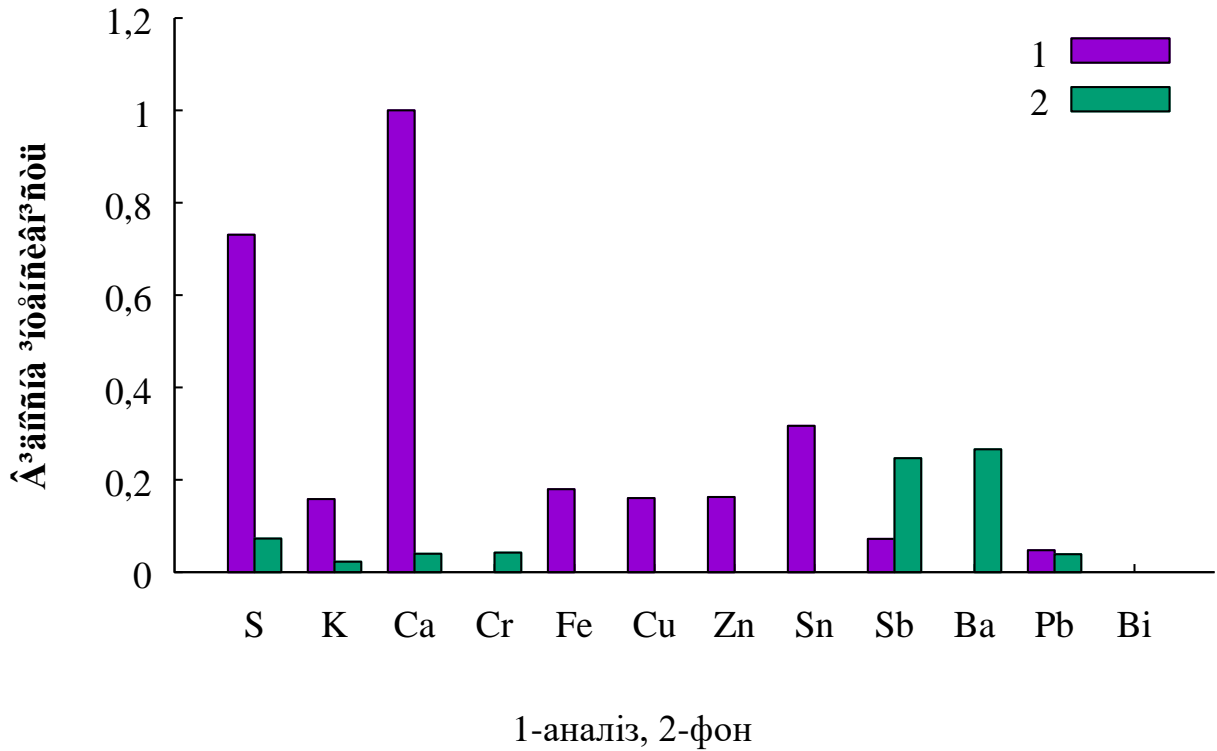


Рисунок 3.5 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «7,62x39мм\_1970»

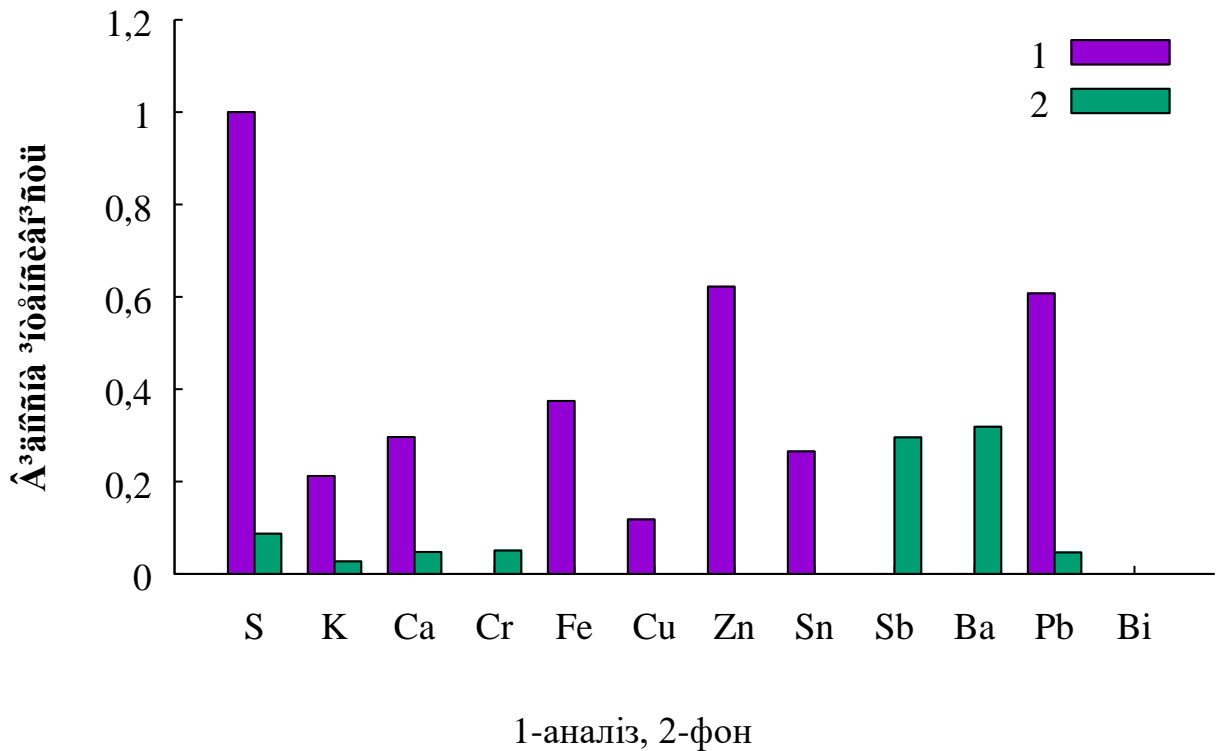


Рисунок 3.6 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «5.6 мм Восток»

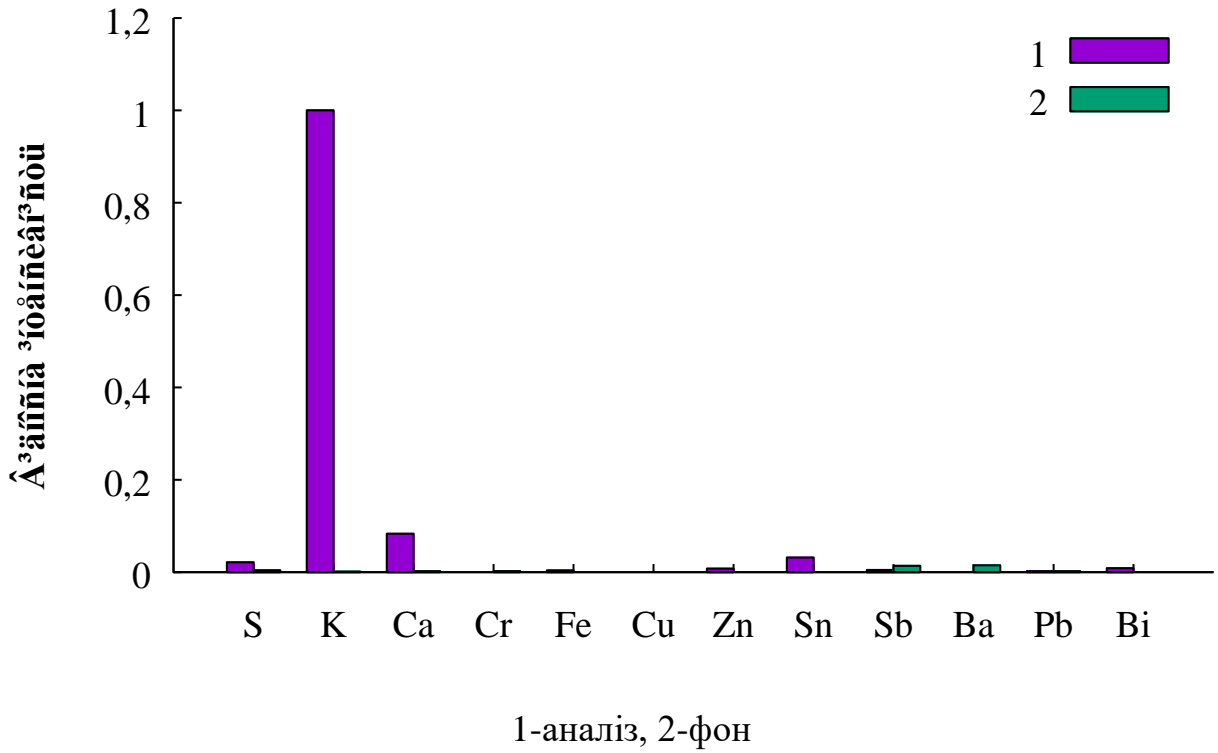


Рисунок 3.7 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «8x57 Sellier&Bellot»

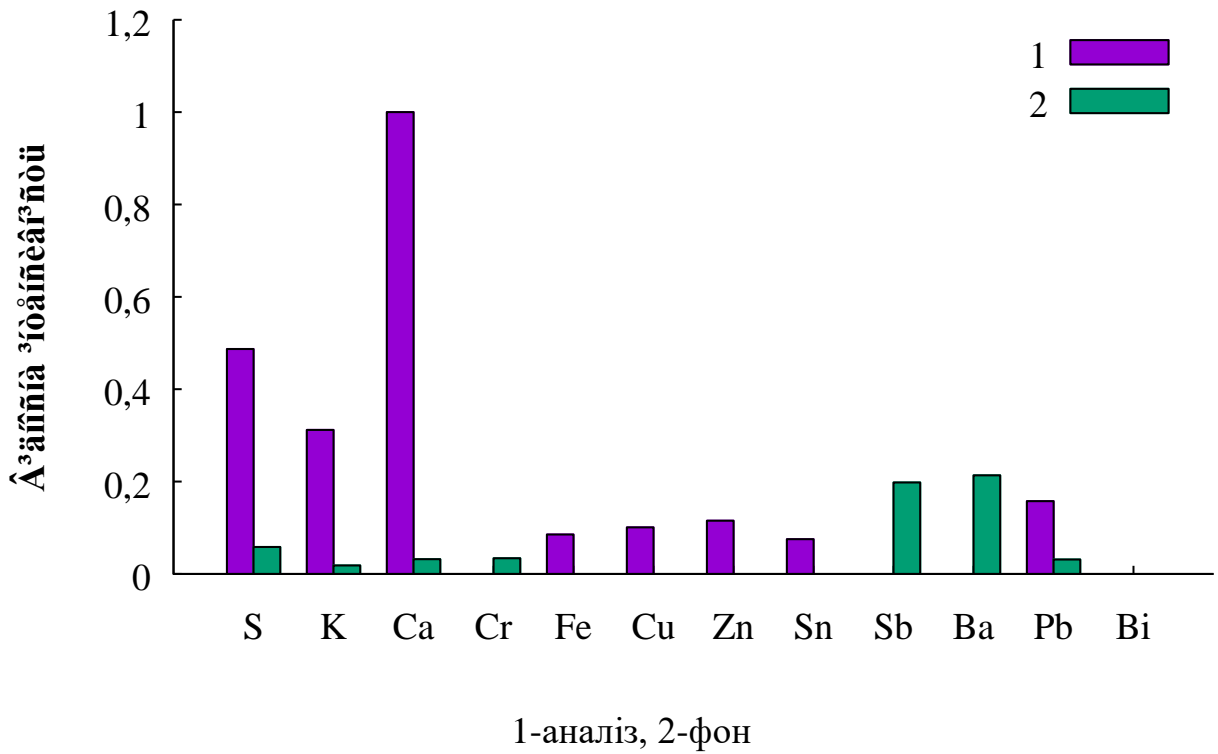


Рисунок 3.8 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «303 British»



Слід відмітити, що на деяких зразках помітну відносну ефективність має елемент свинець (рисунок 3.3, 3.6, 3.8), який може входити у якості каталізатора до складу порошу. Особливо це помітно на зразку «5.6 мм Восток» (рисунок 3.6).

За результатами дослідження якісного складу порохів можна зробити попередні висновки щодо можливості порівняння складу порохів різних виробників та терміну зберігання. Кожний зразок має унікальний склад, який можна використати для його ідентифікації, але високі інтенсивності фонових елементів, через велику кількість легких елементів в матриці, можуть цьому завадити.

### 3.2 Дослідження якісного складу продуктів пострілу

Продукти згорання порошу поряд з продуктами згорання вмісту капсуля утворюють продукти пострілу, які залишаються в каналі ствола та вилітають з нього разом з газами. Саме тому, важливим є інформація про склад вмісту капсуля.

До останнього часу широко використовували капсулі з капсульним складом, який може викликати корозію: гримуча ртуть –  $\text{Hg}(\text{OCN})_2$ , бертолетова сіль –  $\text{KClO}_3$  та антимоніт –  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

В даний час увагу фахівців все більше привертають капсулі з капсульним складом, який не викликає корозію: тринітрорезорцинат свинцю (ТНРС) –  $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3(\text{OPb})_2$ , тетразен –  $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , азотнокислий барій –  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , двоокис свинцю –  $\text{PbO}$ , гранульована суміш антимоніту та алюмінієвої пудри –  $\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{Al}$ . Після 2000 року у промислове виробництво було запущено капсулі з органічним капсульним складом, розкладання якого супроводжується утворенням води, окису вуглецю та вуглекислого калію.

Поміщений у ковпачок склад капсуля прикривається зверху металевою фольгою або пергаментом, а у виняткових випадках – лише шаром лаку. У військових набоях для надання їм жорсткості використовують кружки з чистого олова з добавкою сурми, а в мисливських – свинцеву фольгу, плаковану шаром олова.

При згорянні кружків або фольги утворюються металеве олово та його оксиди. Оскільки газоподібні продукти згорання капсульних складів і металева

ртуть швидко випаровуються з поверхні, сліди пострілу формуються із твердих продуктів – хлористого калію, оксидів свинцю, стибію, барію, алюмінію та олова.

Зразки продуктів пострілу на спектрах мають більші інтенсивності К- та L-серій вибраних елементів, що пояснюється їх концентрованим станом після протирання каналу ствола марлевым тампоном. З одного боку вони знаходяться на носії, який може вносити фонові елементи (особливо Са), з іншого – вони ущільнені на певних ділянках тампону.

Діаграми відносних інтенсивностей показують іншу картину в порівнянні з діаграмами порохів (рисунок 3.10-3.20). Майже всі зразки показують зростання відносних інтенсивностей важких елементів (рисунок 3.10-3.20), особливо свинцю, підвищилися відносні інтенсивності стибію, барію, та олова. Цей факт свідчить, що вклад капсульного складу у накопичення продуктів пострілу перевищує вклад складу пороху. У зразків на рисунках 3.11, 3.12, 3.13, 3.19, 3.20 відбувається збільшення відносної інтенсивності міді, її наявність обумовлена матеріалом кулі – у всіх зразків вона має латунну поверхневу оболонку, те саме стосується і цинку.

Вплив матеріалу кулі на накопичення продуктів пострілу та їх склад підтверджується зростанням інтенсивності ліній свинцю на спектрах рентгенофлуоресцентного аналізу. На діаграмах відносних інтенсивностей це супроводжується зменшенням відносної інтенсивності всіх елементів (рисунок 3.16, 3.17). Для всіх полімерних куль та заглушок холостих патронів не спостерігається значних кількостей міді та цинку, вони мають відносні інтенсивності не більше за фонові. У зразків (рисунок 3.11, 3.12, 3.13) залишається помітною велика відносна інтенсивність К-серії калію.

За результатами дослідження якісного складу продуктів пострілу можна зробити попередні висновки щодо можливості порівняння складу продуктів, які отримані в каналі ствола від різних набоїв.

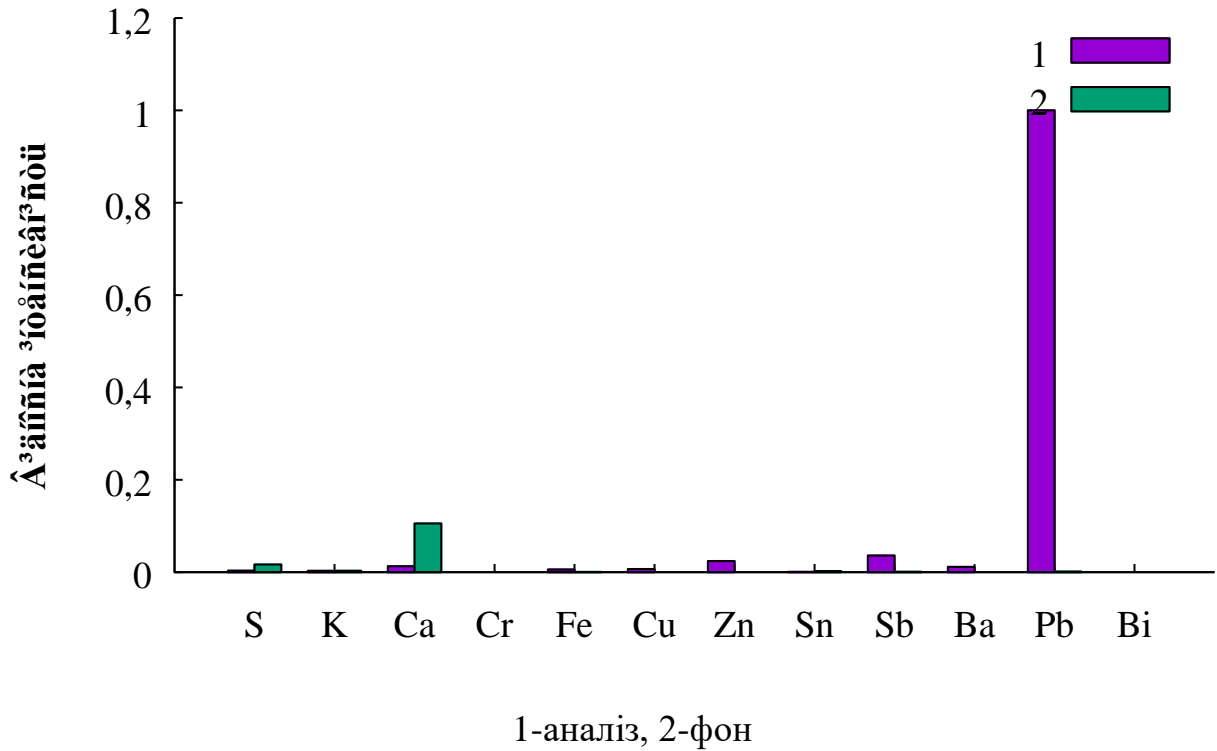


Рисунок 3.10 – Диаграмма относительной интенсивности К- та L-серий элементов для зразка «ПМ-РФ»

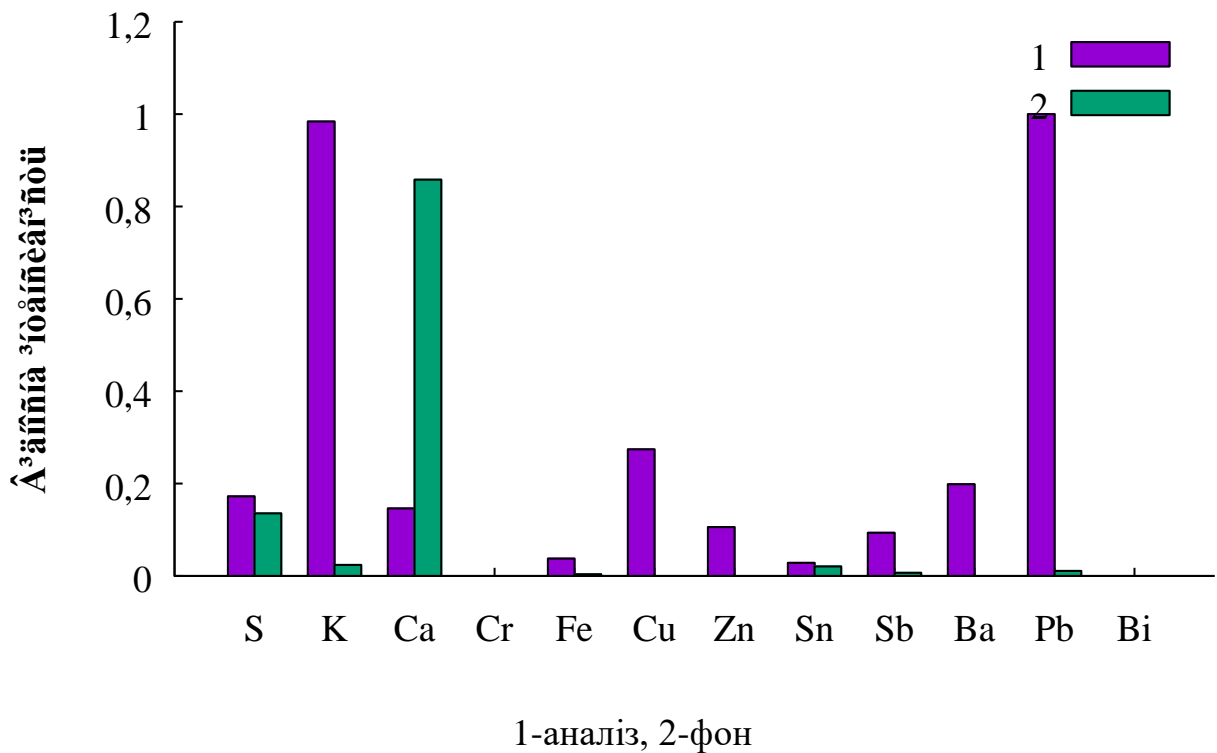


Рисунок 3.11 – Диаграмма относительной интенсивности К- та L-серий элементов для зразка «МКМ-072Сб»

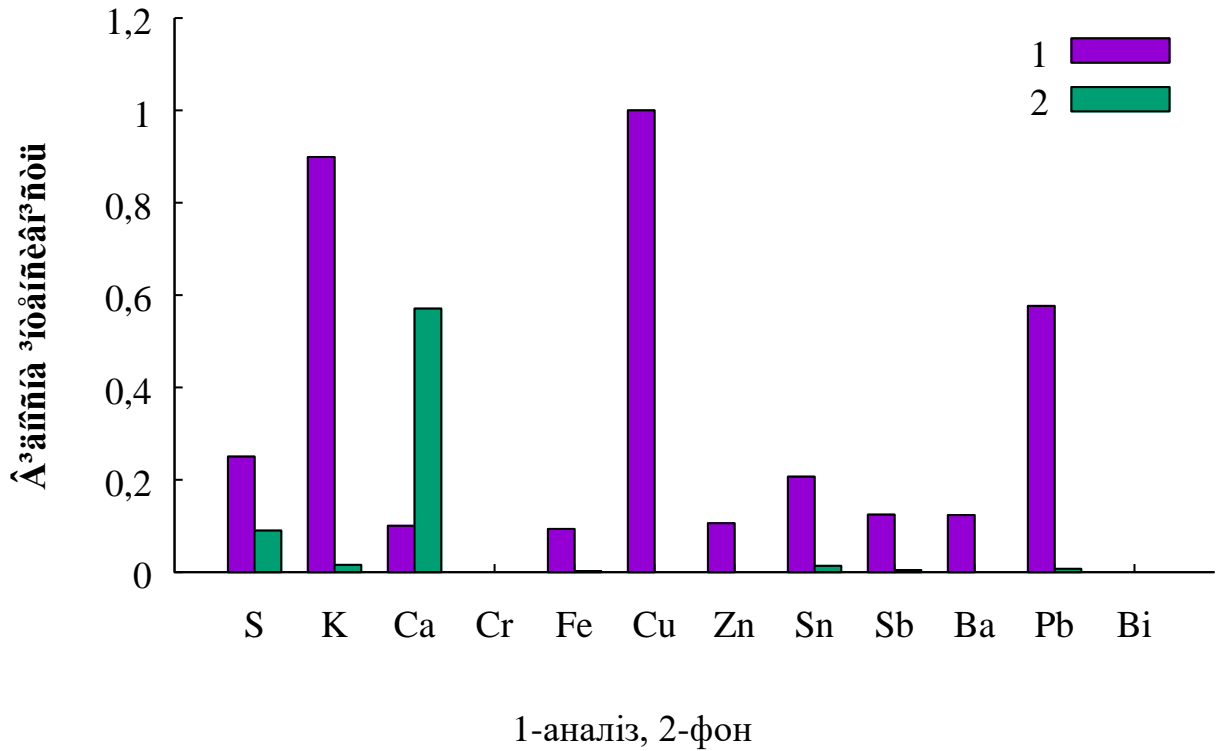


Рисунок 3.12 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ОП-СКС»

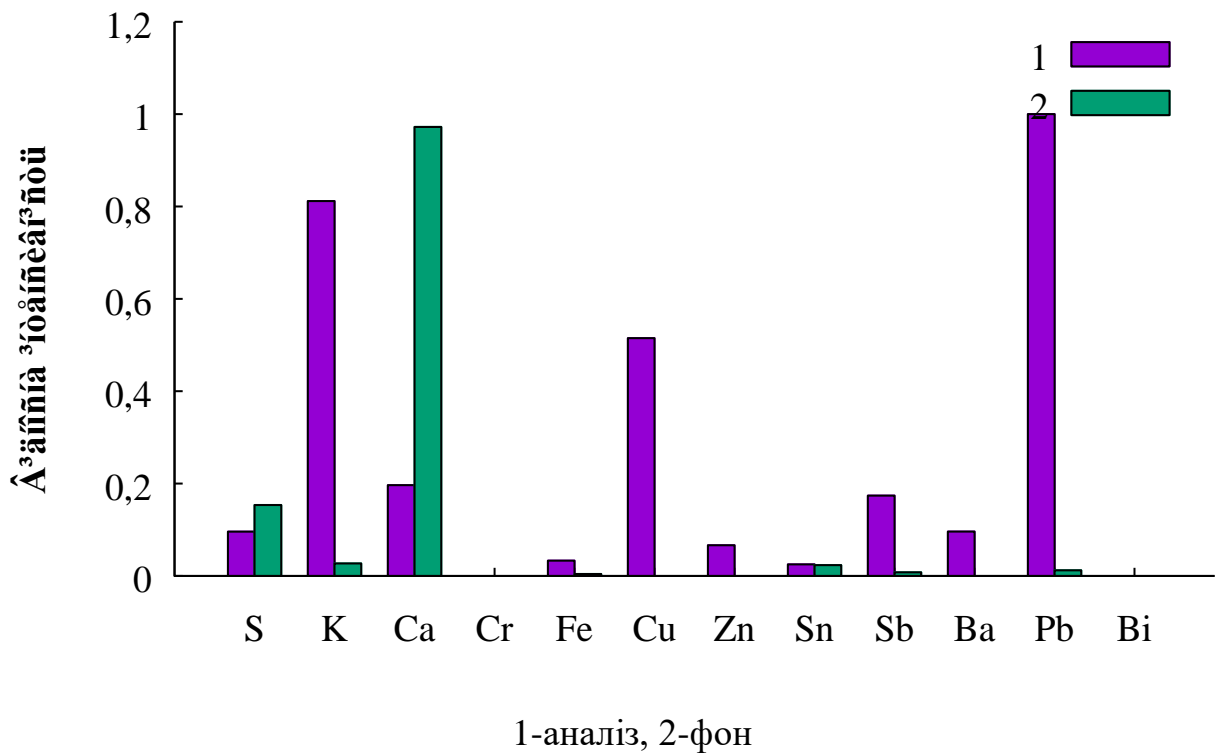


Рисунок 3.13 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «Blaser R-93»

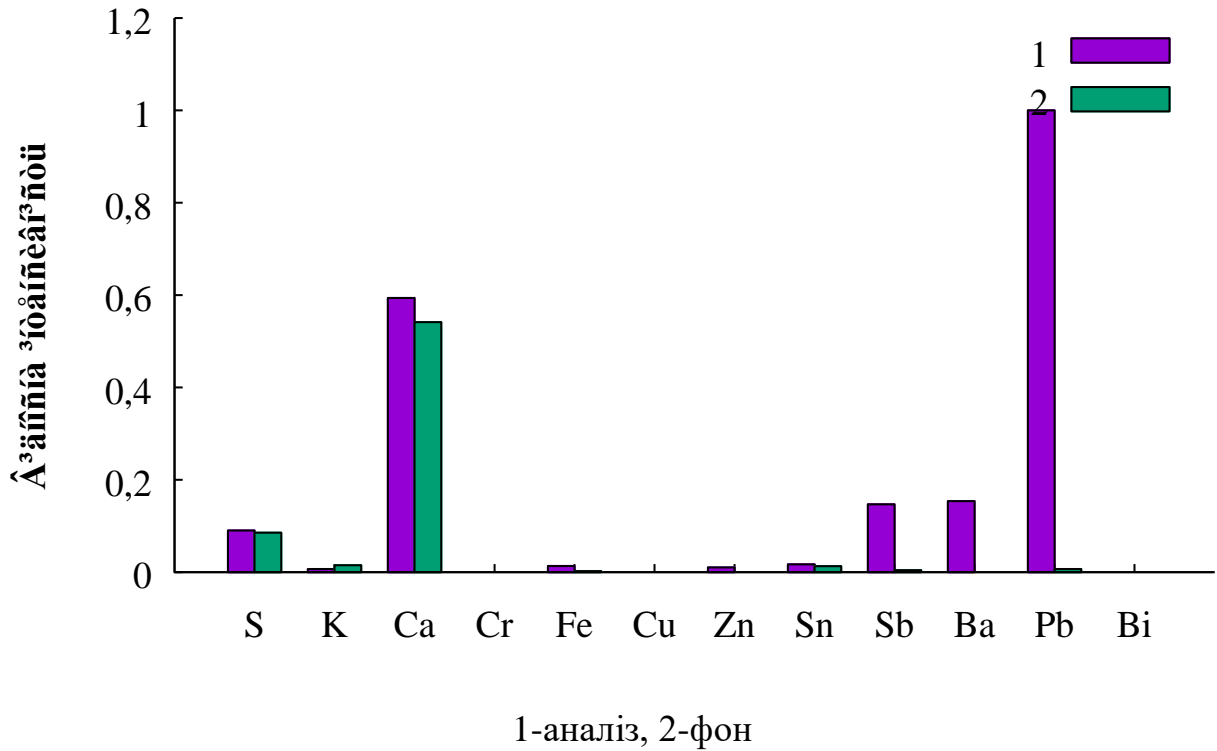


Рисунок 3.14 – Диаграмма относительной интенсивности К- та L-серий элементов для зразка «ПСМ-Р»

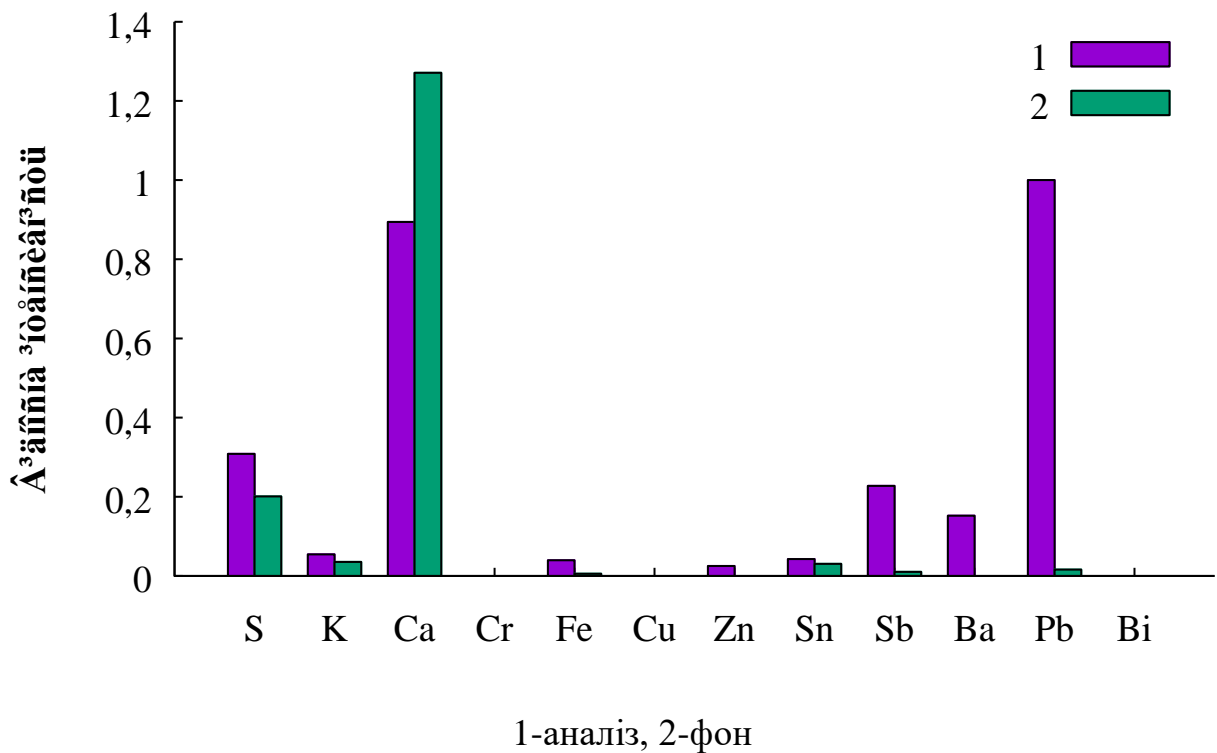


Рисунок 3.15 – Диаграмма относительной интенсивности К- та L-серий элементов для зразка «Форт-12Р»

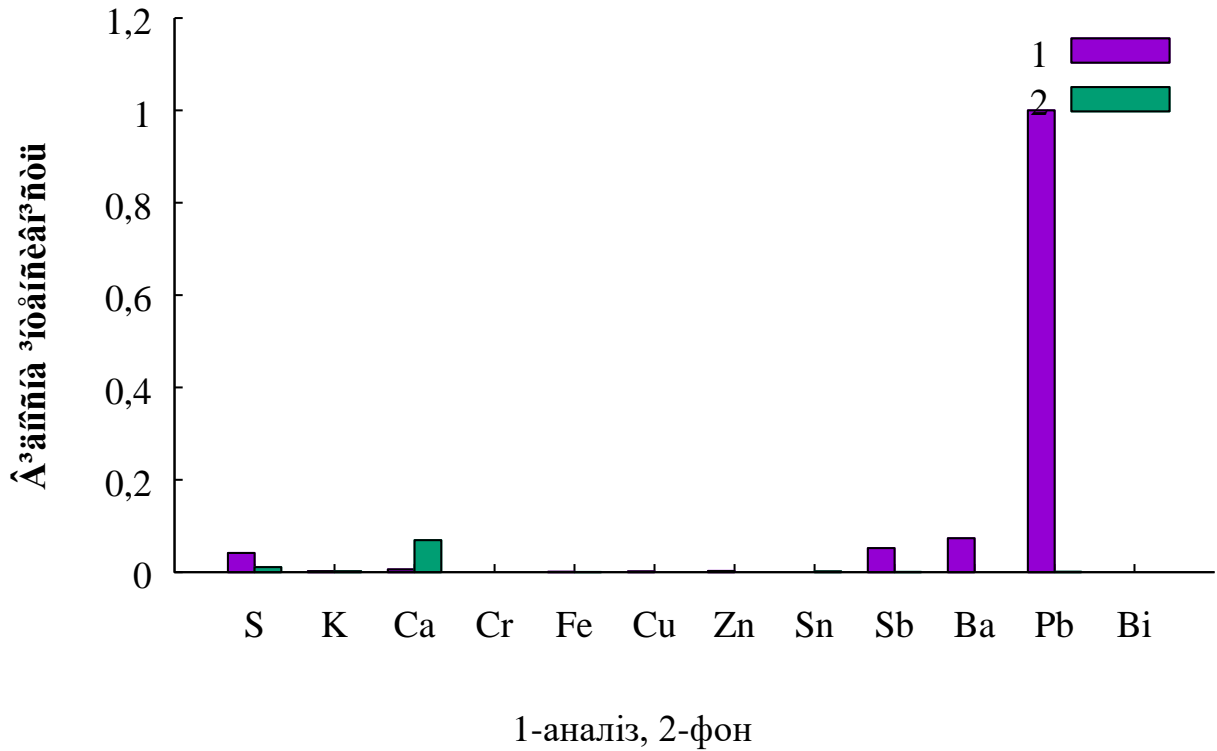


Рисунок 3.16– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ТО3-78-01»

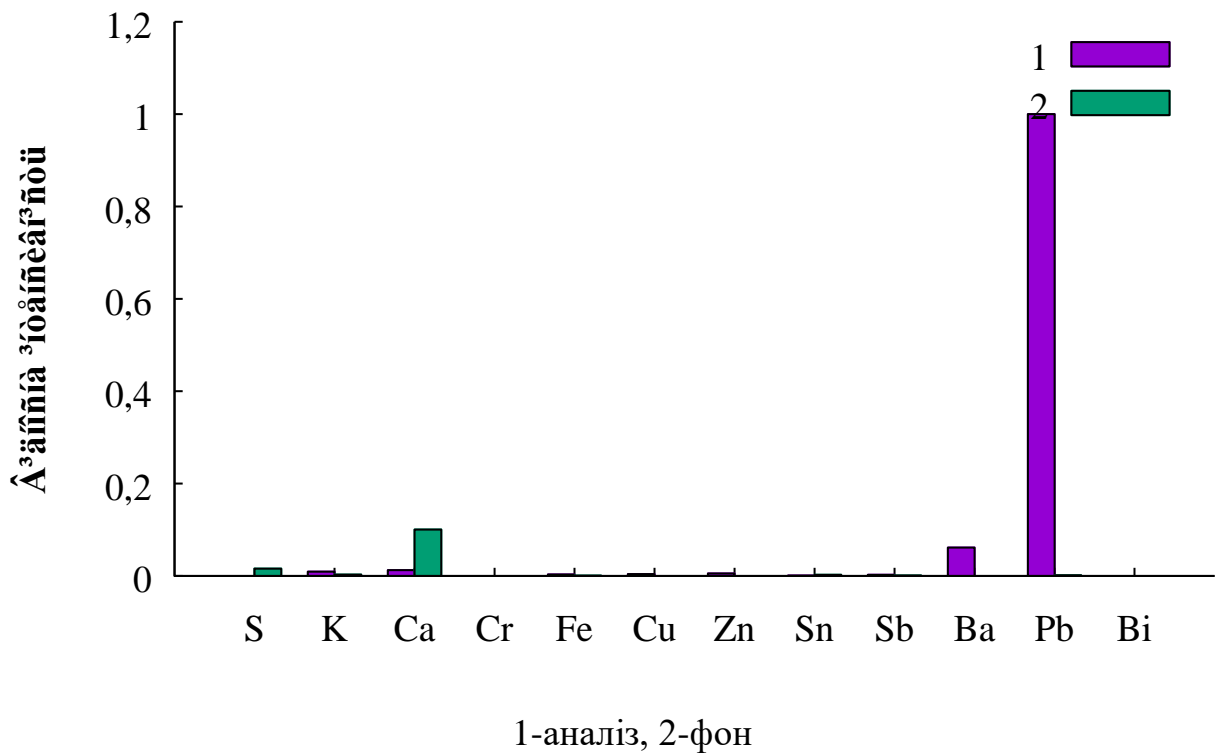


Рисунок 3.17– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «Marlin mod 60 SV»

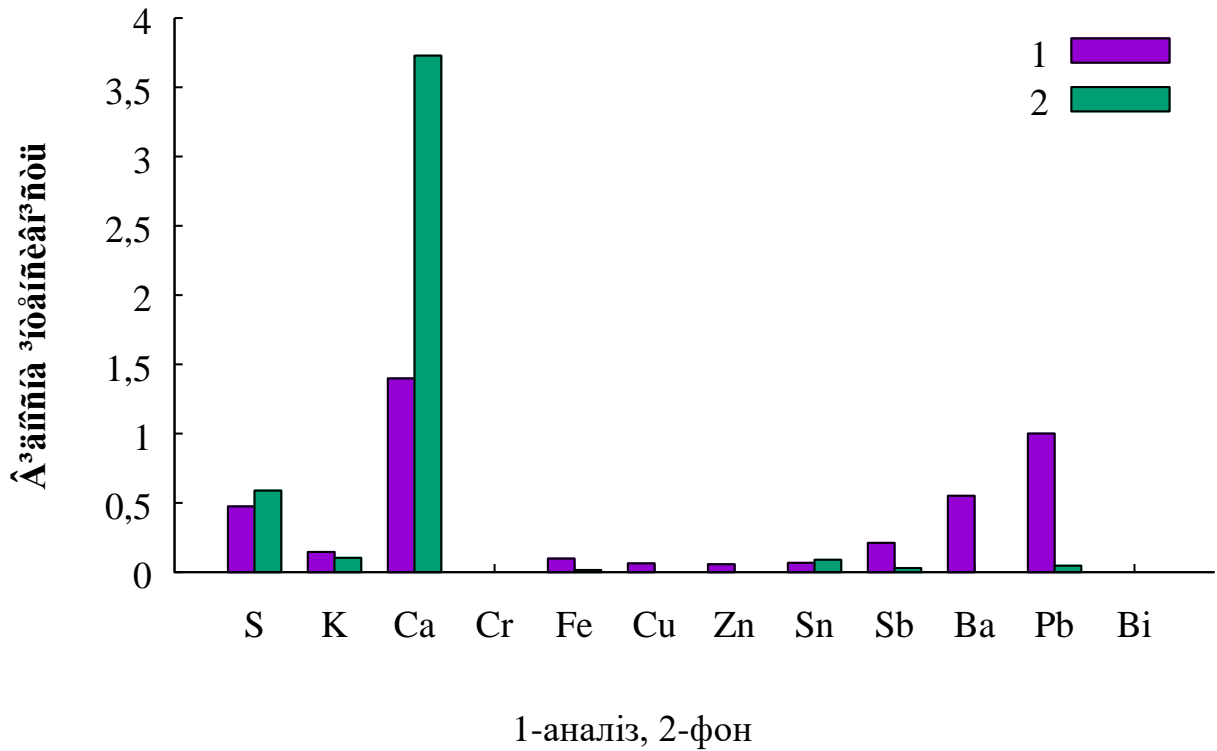


Рисунок 3.18– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «Safari mod 8206»

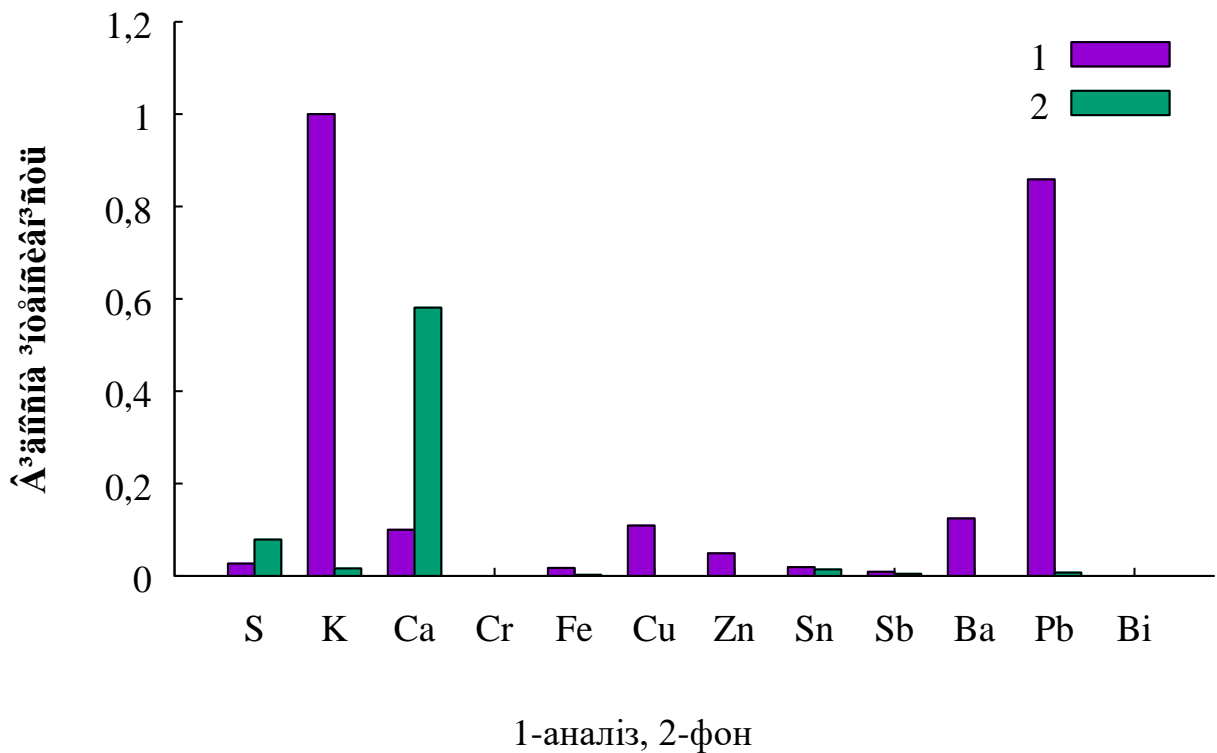


Рисунок 3.19– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «Форт-207»

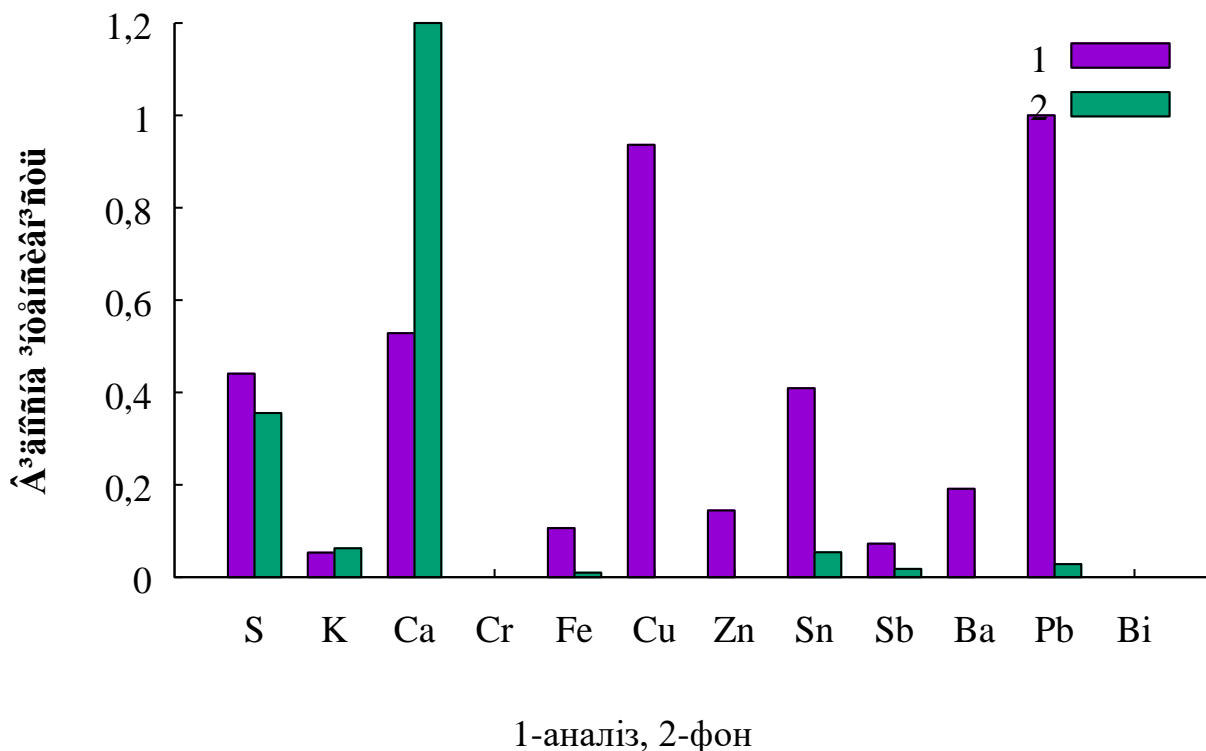


Рисунок 3.20– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «СВТ-40»

Кожний зразок має унікальний склад, який складається, в першу чергу, з продуктів згорання капсуля та матеріалу кулі, що можна використати для ідентифікації набоїв.

### 3.3 Залежність між природою продуктів пострілу та складом набоїв

В попередніх розділах було встановлено, що найбільший вклад в утворення продуктів пострілу вносить склад капсуля набою, частково склад верхньої оболонки кулі і дуже незначно склад пороху. На останньому етапі дослідження проведені експерименти з порівняння складу пороху в набої з продуктами пострілу, які він утворює. Для порівняння використовували чотири пари зразків (перший зразок в парі склад пороху, другий – продукти пострілу): зразки, діаграми відносної інтенсивності яких зображені на рисунках 3.21 та 3.25; зразки, діаграми відносної інтенсивності яких зображені на рисунках 3.22 та 3.26; зразки, діаграми відносної

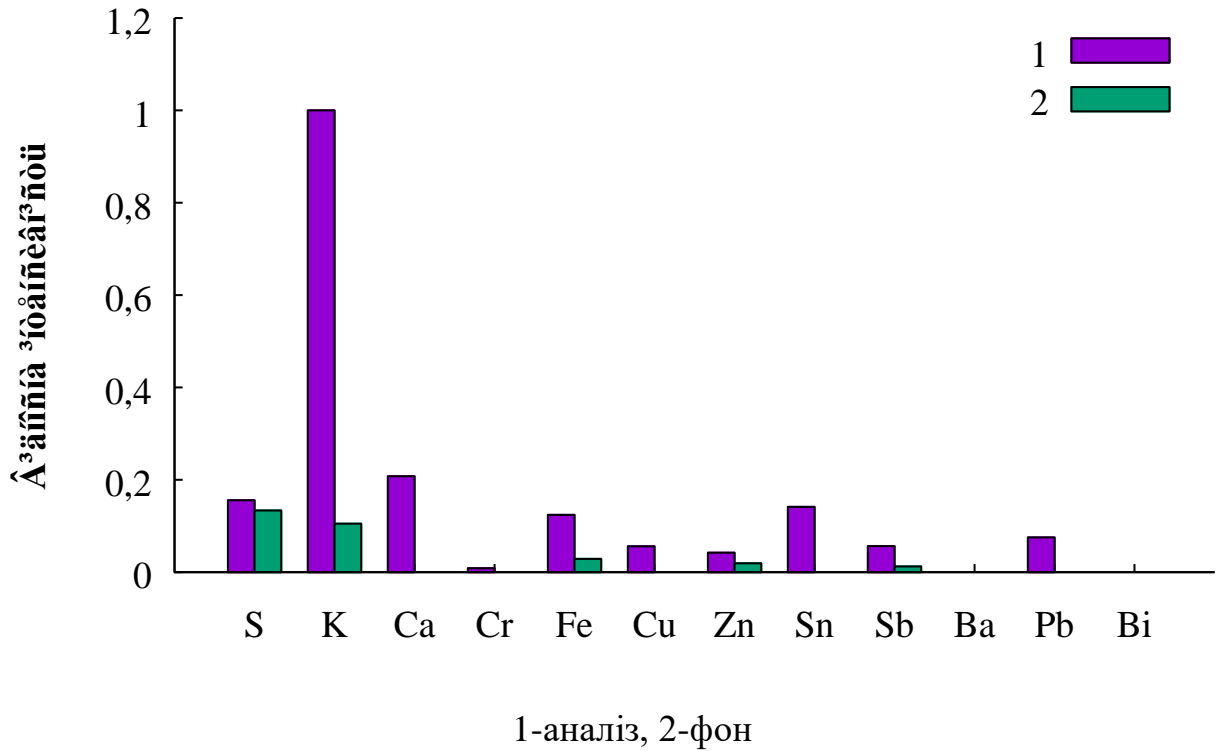


Рисунок 3.21 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПЗ Шумовий»

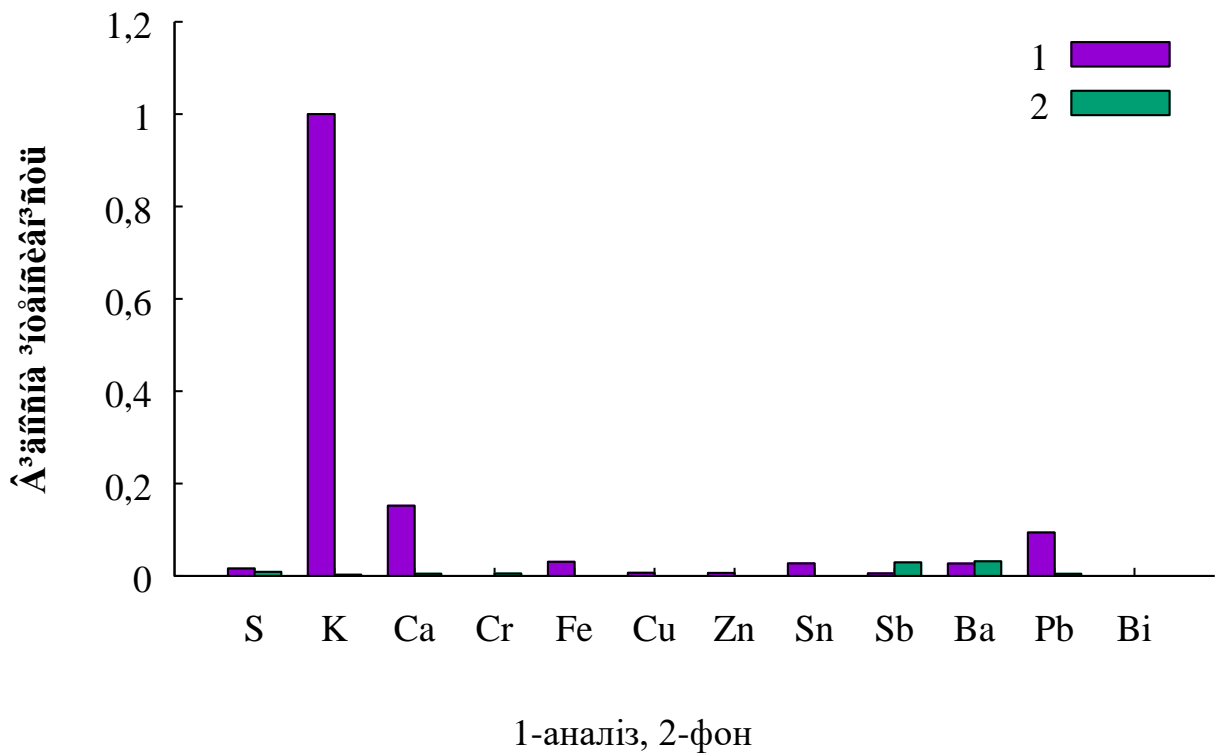


Рисунок 3.22 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПЗ 9 мм Шумовий»

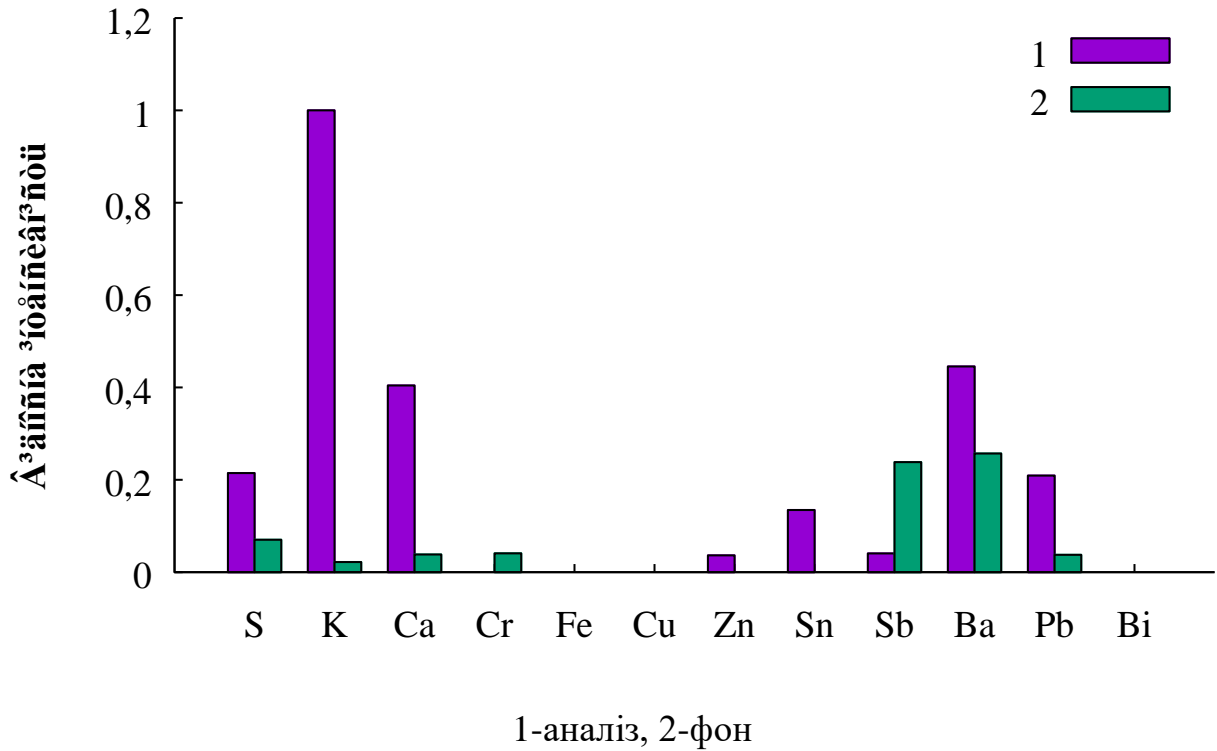


Рисунок 3.23 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПЗ 5.6 СМ»

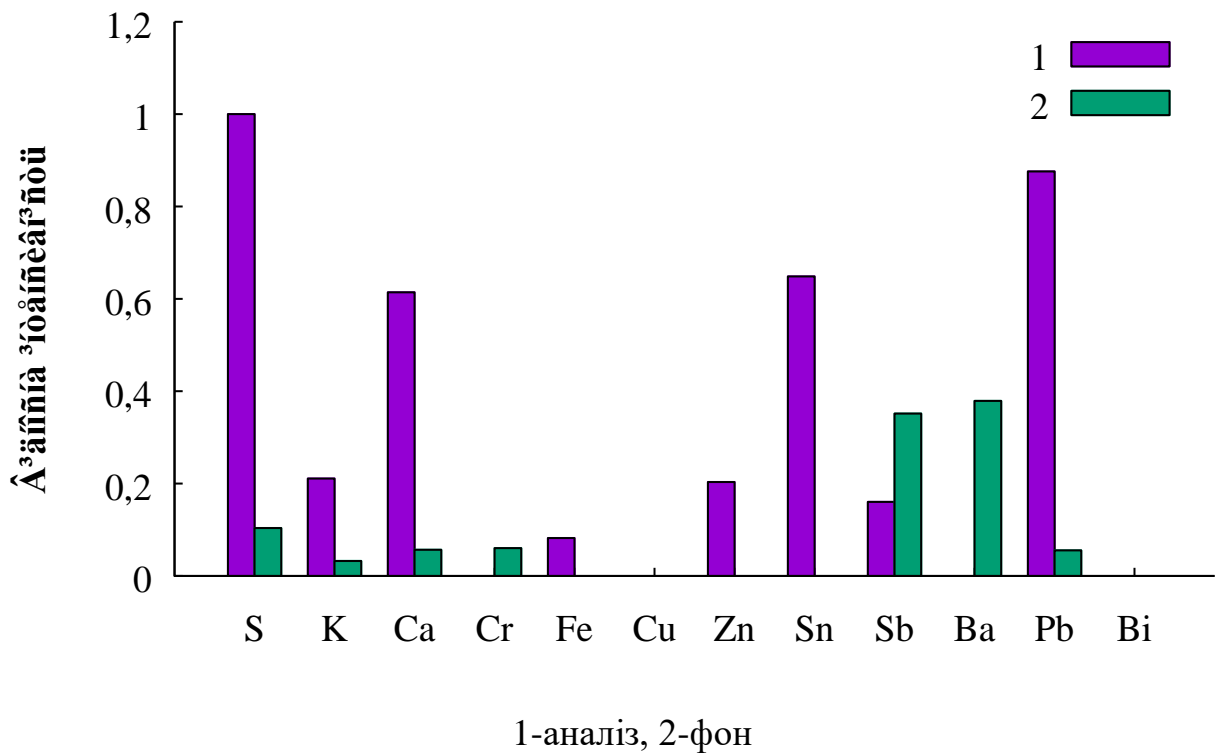


Рисунок 3.24 – Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПЗ 5,6 Ларуа»

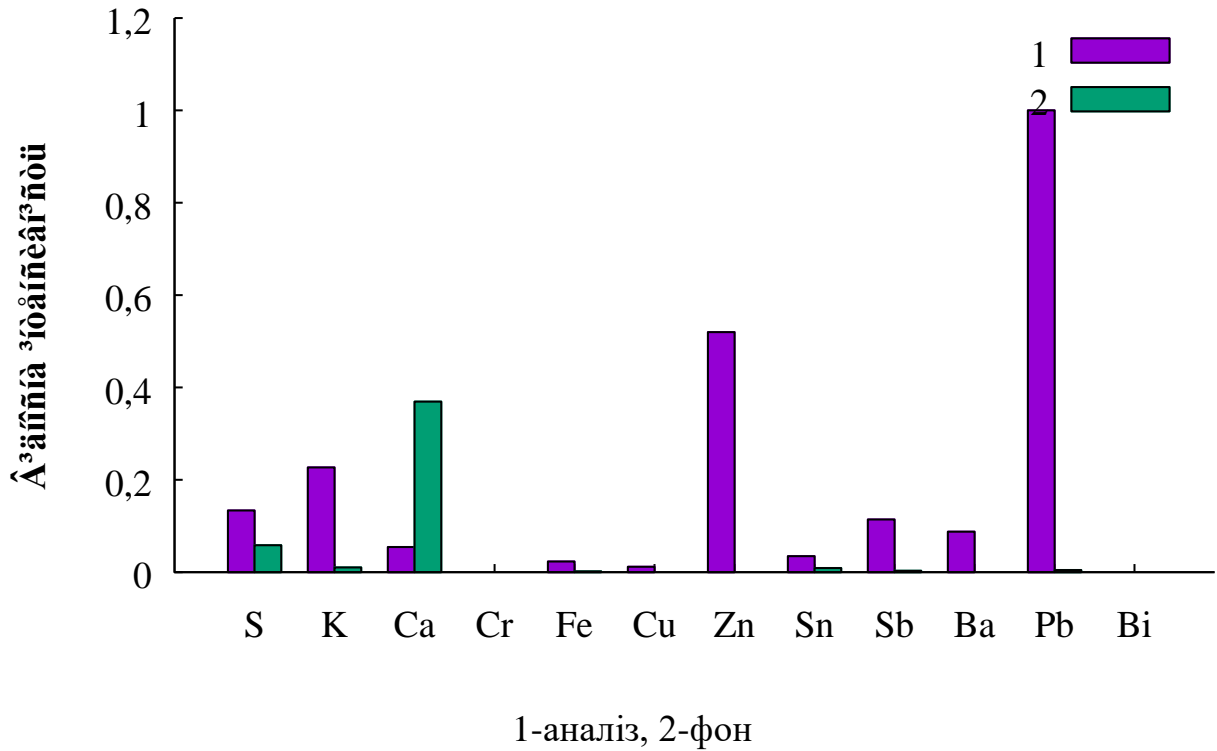


Рисунок 3.25– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «Me38Compact»

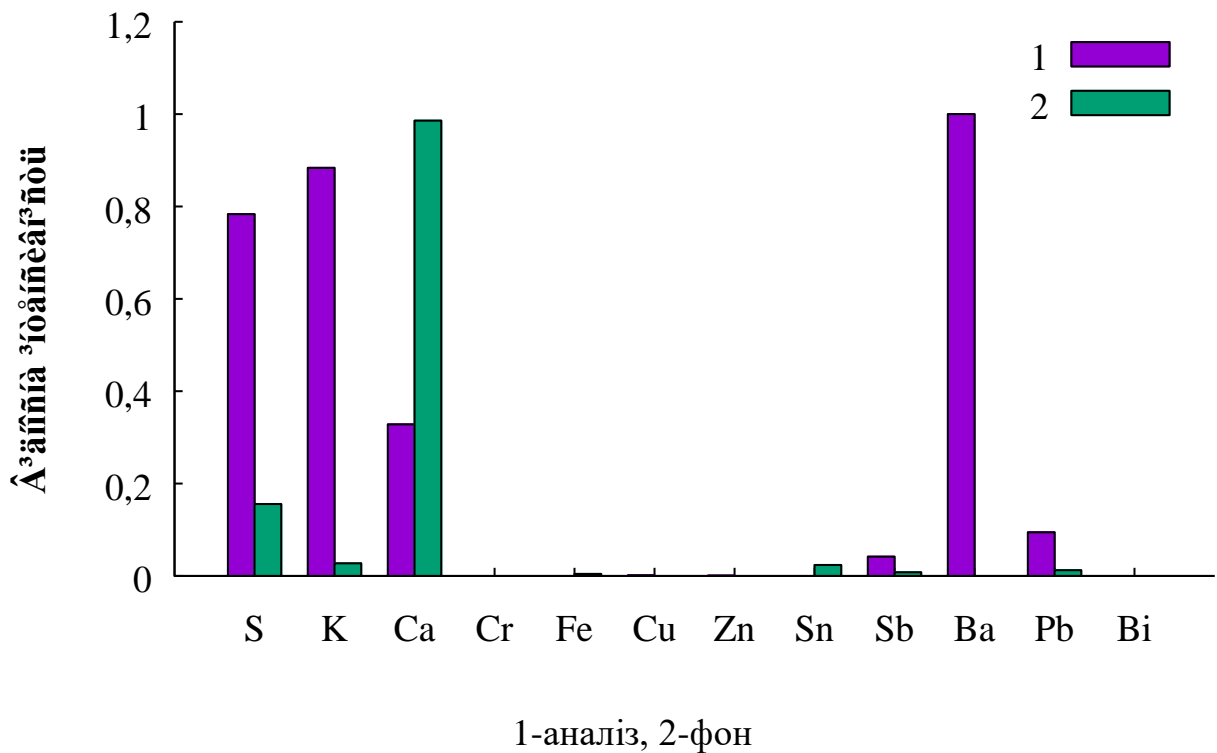


Рисунок 3.26– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПП 9 мм Шумовий»

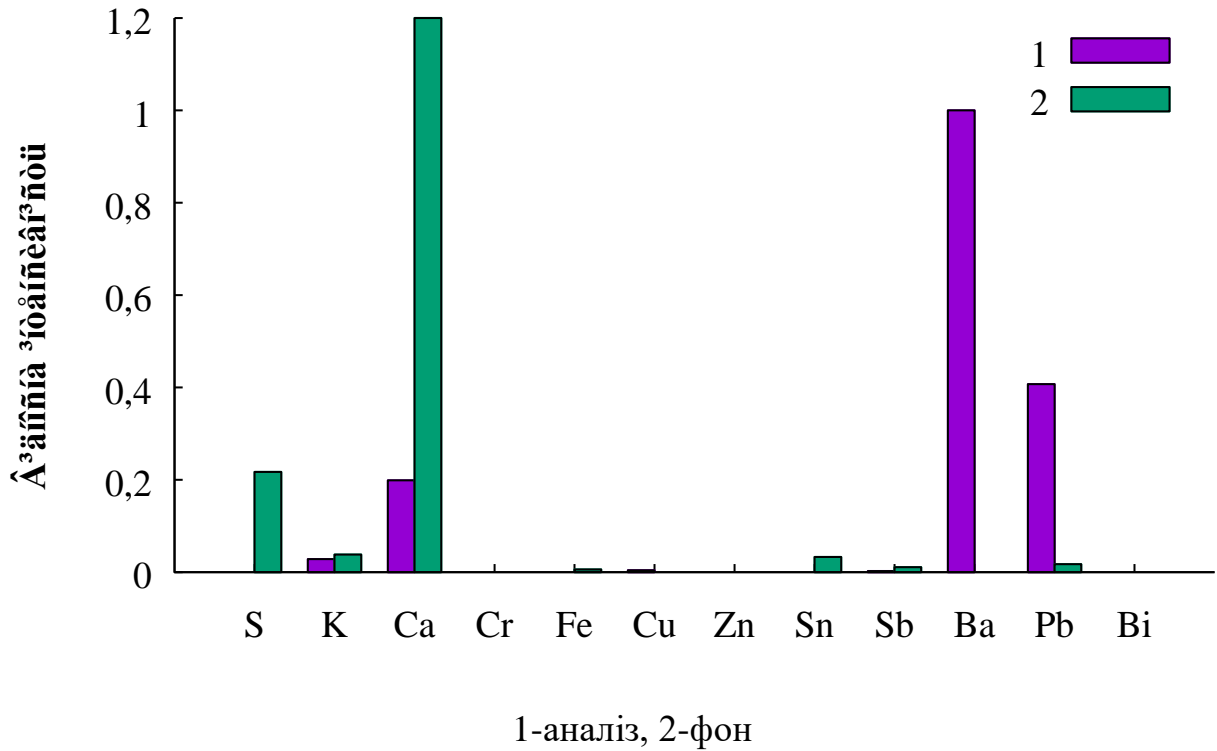


Рисунок 3.27– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПП 5.6 CM»

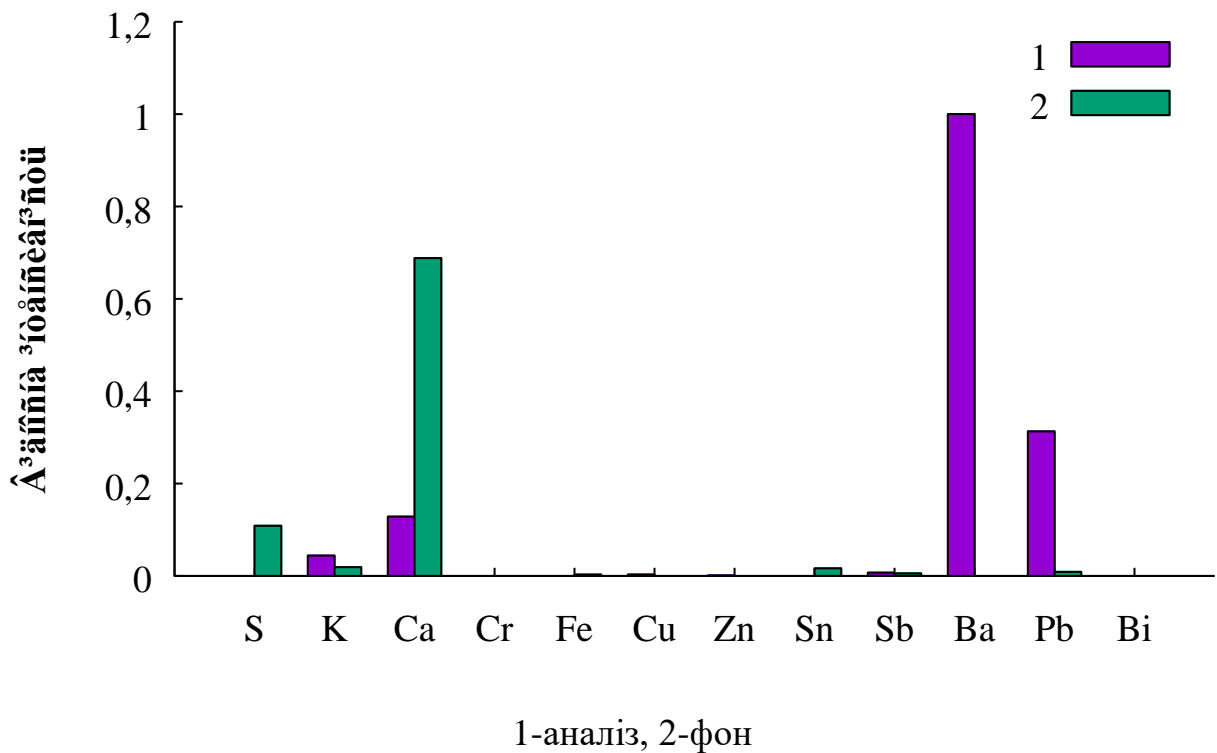


Рисунок 3.28– Діаграма відносної інтенсивності К- та L-серій елементів для зразка «ПП 5,6 Lариа»

інтенсивності яких зображені на рисунках 3.23 та 3.27; зразки, діаграми відносної інтенсивності яких зображені на рисунках 3.24 та 3.28.

Досліди підтвердили, що склад продуктів пострілу, дуже мало залежить від склад пороху і прогнозувати, який порох привів при згоранні до певних продуктів дуже складно.

Наприклад склад пороху першої та другої пари (рисунок 3.21, 3.22) незначно відрізняються, але вони утворюють відмінні продукти пострілу, в першій парі більшу відносну інтенсивність має свинець (рисунок 3.25), а у другій – барій, хоча набої мають одне призначення, але належать різним виробникам. Порівнюючи третю (рисунок 3.23, 3.27) та четверту (рисунок 3.24, 3.28) пару, які мають один тип набоїв і відрізняються тільки матеріалом гільзи та виробниками, можна стверджувати, що продукти пострілу мають однакову природу, яка визначається складом капсуля. Природа гільзи теж не вносить суттєвих змін до отриманих діаграм.

Вивчення можливої залежності між природою продуктів пострілу та складом набоїв приводить до висновку, що пороховий заряд через незначну кількість сполук металів, що застосовуються для каталізу та стабілізації, не вносять значного внеску у склад продуктів пострілу. Незначний внесок, ймовірно, вносить також матеріал гільзи. Найбільша внесок в утворення продуктів пострілу вносить склад капсуля, додатковий вплив може чинити матеріал кулі, яка використана в набої.

## ВИСНОВКИ

В результаті використання рентгенофлуоресцентного аналізу для встановлення залежності між природою продуктів пострілу від складу елементів набою та обробки та аналізу отриманих результатів можна зробити ряд висновків.

1. Склад продуктів пострілу практично не залежить від складу порохового заряду, що пояснюється невеликою концентрацією модифікуючих елементів, які знаходяться в органічній матриці.
2. Склад продуктів пострілу залежить від капсульного заряду та матеріалу поверхні кулі, які були використані для пострілу. У разі холостих набоїв або гумових куль – тільки від капсульного заряду. Саме ці елементи набою утворюють найбільше слідів в каналі ствола.
3. Склад продуктів пострілу практично не залежить від матеріалу гільзи, оскільки вона не взаємодіє з поверхнею ствола.
4. Визначення складу продуктів пострілу можна використовувати для ідентифікації набоїв, з яких відбувся постріл, оскільки є два елементи набою, які впливають на продукти пострілу.
5. Прилад Elvax Pro для рентгенофлуоресцентного аналізу може бути використаний для дослідження продуктів пострілу та елементів набою.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Беліков К.М. Рентгенофлуоресцентний аналіз. Навчальний посібник / К.М. Беліков О.І. Юрченко // Харківський національний університет імені в.н. каразіна. Режим доступу: <http://chemistry.univer.kharkov.ua/files/%20РФА.pdf>
2. Черноруков Н. Г. Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа. Электронное учебно-методическое пособие / Н.Г. Черноруков, О.В. Нипрук // Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 57 с. Режим доступу: <http://www.ncm.unn.ru/files/2021/01/CHernorukov-N.G.-Nipruk-O.V. Teoriya-i-praktika-RFIA.pdf>
3. Професійний РФА-спектрометр [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elvatech.com/uk/products-3/elvax-pro/>
4. Порох / Советская военная энциклопедия / под. ред. Н. В. Огаркова. – М.: Воениздат, 1978. – Т. 6. – 678 с.
5. Фиошина, М.А. Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив: Учеб. пособие / М.А. Фиошина, Д.Л. Русин – Режим доступу: <https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/fioshina/fioshina-osnovy-2001.pdf>
6. Микляева О. В. Криминалистическая экспертиза следов и обстоятельств выстрела / О.В. Микляева; Гос. учреждение Рос. федер. центр судебной экспертизы при Минюсте России. - Н.Новгород. Вектор ТиС, 2009. – 276 с.
7. Коломийцев А. В. Патрони к стрелковому оружию / А. В. Коломийцев, И. С. Собкарь, В. Г. Никитюк, В. В. Сомов. – Харьков: 2003. – 336 с.
8. Салтевський М. В. Криміналістика (у сучасному вигляді) : підруч. / М. В. Салтевський. – К. : Кондор, 2005. – 588 с.
9. Бондар В.С. Інформаційно-аналітичне забезпечення дослідження змісту мікрочасток, притаманних продуктам пострілу / В. С. Бондар. // Вісник ЛДУВС ім. Е.О. Дідоренка. 2017. № 4 (80). ). – Режим доступу: <file:///C:/Users/Strem/Downloads/243-Текст%20статті-485-1-10-20200107.pdf>
10. Bush M.A. et al. Analytical Survey of Restorative Resins by SEM/EDS and XRF: Databases for Forensic Purposes // J. Forensic Sci. 2008. V. 53, No. 2. P. 419-425.

11. I. Nakai et al. Quantitative analysis of heavy elements and semiquanti-tative evaluation of heavy mineral compositions of sediments in Japan for construction of a forensic soil database using synchrotron radiation X-ray analyses // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 38–48.
12. M. Lopez-Lopez et al. Recent non-chemical approaches to estimate the shooting distance // Forensic Sci. Int. 239 (2014) P. 79–85.
13. Fonseca J.F. et al. Muzzle-to-target distance determination by X-ray fluorescence spectrometry. X-Ray Spectrom. 2014. 43(1). P. 49–55.
14. Альмашев Р.О., Косточко А.В. Определение металлосодержащих компонентов в составе порохов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №20. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-metallosoderzhaschih-komponentov-v-sostave-porohov>
15. Зиновьев Д. В., Ньен Чан Аунг, Денисюк А. П., Демидова Л. А. Особенности катализа горения баллиститного пороха в различных условиях // Успехи в химии и химической технологии. 2007. №5 (73). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-kataliza-goreniya-ballistitnogo-poroha-v-razlichnyh-usloviyah>