

**COLLECTION OF RESEARCH PAPERS**

of the 6th International Research and Practical Conference

**CHEMICAL TECHNOLOGY:  
SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

VI Міжнародної науково-практичної конференції

**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:  
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ



Фармак



ISSN 2786-4898

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки збройних сил України  
Публічне акціонерне товариство «Фармак»  
Управління освіти Шосткинської міської ради  
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

## COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 6th International Research and Practical Conference

### CHEMICAL TECHNOLOGY: SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION



## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VI Міжнародної науково-практичної конференції  
**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:  
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**

(м. Шостка, 23-25 листопада 2022 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2022

УДК 66.01

Редакційна колегія:

Головний редактор Закусило Р.В., доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н., доцент.

Заступник головного редактора Павленко О.В., ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н.

Відповідальний секретар Скуба Ю.Г. фахівець кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету

Члени редакційної колегії:

Лукашов В.К. – професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, д.т.н., професор;

Тур О.М. – завідувач кафедри економіки та управління, к.е.н.;

Худолей Г.М. – завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій, к.т.н.;

Бондар Н.Ю. – доцент кафедри економіки та управління, к.філ.н.;

Тимофіїв С.В. – ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.х.н.

Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 23 - 25 листопада 2022 року. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 267 с.

ISSN 2786-4898.

Збірник містить наукові праці учасників VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», що складаються з узагальнених матеріалів науково-дослідних робіт науковців різних галузей виробництв та наукових закладів України.

У збірнику висвітлюються актуальні питання спеціальної хімічної технології і виробництва боєприпасів, утилізації відходів виробництв різних галузей, енергозбереження, моделювання технологічних процесів, соціально-економічні аспекти виробництва та природокористування в умовах війни.

Збірник корисний робітникам хімічної промисловості, науковим співробітникам, аспірантам і студентам спеціальностей хіміко-технологічного та соціально-економічного профілів, фахівцям інформаційних технологій виробництва.

Наукові праці учасників конференції подаються в авторській редакції.

© Шосткинський інститут  
Сумського державного університету, 2022  
© Сумський державний університет, 2022

## АНАЛІЗ ТРЕНДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ЗЕЛЕНОЇ ПІРОТЕХНІКИ ANALYSIS OF RESEARCH TRENDS IN GREEN PYROTECHNICS

Д. Р. Закусило

Сумський державний університет, Суми, Україна

Державний науково-дослідний інститут хімічних продуктів, Шостка, Україна

d.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

**Анотація.** Розглянуто сучасний стан дослідження зеленої піротехніки у світі та Україні. З метою сприяння розвитку вітчизняної піротехніки проведено аналіз іноземних літературних джерел з баз даних *Scopus* та *Web of Science*, які були знайдені за ключовими словами «*green pyrotechnics*» та «*environmental pyrotechnics*». Результати цього аналізу представлені у проміжних (кластерних) візуалізаціях та у фінальній (загальній) візуалізації трендів досліджень. Виявлені тренди формують перспективні світові напрямки розвитку зеленої піротехніки.

**Ключові слова:** зелена піротехніка, тренди досліджень, VOSviewer.

**Abstract.** The current state of research on green pyrotechnics in the world and Ukraine is considered. To promote the development of Ukrainian pyrotechnics, an analysis of foreign literary sources from the *Scopus* and *Web of Science* databases was conducted, which were found using the keywords «*green pyrotechnics*» and «*environmental pyrotechnics*». The results of this analysis are presented in intermediate (cluster) visualizations and the final (general) visualization of research trends. The identified trends form promising global directions for the development of green pyrotechnics.

**Keywords:** green pyrotechnics, research trends, VOSviewer.

**Вступ.** Протягом останніх десятиліть великої актуальності набувають дослідження екологічних аспектів в різних галузях науки. Такі дослідження є комплексними і включають в себе велику кількість розгалужених базових знань. Цей факт спонукає до створення окремих підгалузей цих наук, які називаються «зеленими», або «екологічними». Серед існуючих напрямків досліджень особливе місце займає зелена піротехніка.

Зелена піротехніка (також відома як «екологічна піротехніка») – новий і перспективний напрямок досліджень у галузі загальної піротехніки. Основною метою цієї сфери є створення таких піротехнічних складів, які відповідали би необхідним штатним умовам при різкому зниженні негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини під час виробництва та безпосереднього використання (горіння) [1].

Потреба у екологічній піротехніці існує вже багато десятиліть. Історично склалося так, що для розробників піротехнічних складів та виробів першочерговим було досягнення певних піротехнічних характеристик, а на небезпечність та токсичність компонентів звертали увагу достатньо рідко. Тому і нині існує велика номенклатура складів, які містять важкі метали (наприклад, свинець), солі хромової та хлорної кислот, тощо [1, с.2]. Такі склади є небезпечними у виробництві через їхню нестабільність та великий ризик виникнення професійних захворювань у працівників підприємств. Вони також наносять шкоду навколишньому середовищу при безпосередньому використанні. Отже, інтерес до пошуку більш безпечних компонентів для піротехнічних складів завжди існував, що і сприяло виникненню цього напрямку досліджень.

Хоча перші дослідження, які можна сьогодні віднести до екологічної піротехніки, з'явилися кілька століть тому, зацікавленість вчених у цій темі

активізувалася лише у цьому столітті [2, с.6]. Спочатку ці дослідження проводилися у рамках загальної піротехніки або зеленої хімії, де метою було створення нових енергетичних матеріалів і оцінка їхнього впливу на навколишнє середовище. З часом, завдяки систематизації існуючих досліджень цього напрямку, була виокремлена галузь зеленої піротехніки [2].

В Україні напрямок зеленої піротехніки є новим і недостатньо дослідженим. Існують дослідження [3, 4], які можна віднести до цієї галузі науки, але вони розглядаються у рамках загальної піротехніки, або в інших галузях. Однією з причин цього є відсутність розмежування щодо того, які конкретно дослідження можна віднести до галузі зеленої піротехніки. У свою чергу, визначення основних напрямків досліджень цієї галузі на прикладі іноземних джерел дозволить ввести ясність у класифікації подальших досліджень та сприятиме розвитку вітчизняної зеленої піротехніки.

**Мета роботи.** Проведення аналізу іноземних літературних джерел задля визначення актуальних напрямків досліджень у сфері зеленої піротехніки із подальшою їхньою систематизацією та створенням візуальних кластерних мап трендів досліджень.

**Викладення основного матеріалу.** Суть аналізу трендів дослідження в зеленій піротехніці полягає в класифікації та систематизації бібліографій, створених із існуючих іноземних джерел, за допомогою програми для візуалізації даних.

Для дослідження були створені бібліографії з іноземних джерел на основі даних з бібліографічних баз *Scopus* та *Web of Science*. Для пошуку іноземних джерел були використані найбільш поширені для цієї галузі ключові слова: «*green pyrotechnics*» та «*environmental pyrotechnics*». Варто відмітити, що траплялися джерела, які знаходилися за декількома комбінаціями ключових слів, але це не мало суттєвого впливу на кінцевий результат, оскільки метою було виявлення трендів досліджень, а не розмежування термінології.

Для відображення отриманих даних була застосована програма *VOSviewer*. Ця програма призначена для створення мап на основі мережевих даних, а також для візуалізації та дослідження цих мап [5]. Візуалізація має вигляд кластерів, об'єднаних між собою мережею, засновуючись на схожості даних з джерел. Ця програма доступна для ОС *Windows*, *MacOS* та інших ОС.

На основі баз джерел створювалася мапа ключових слів («*map based on bibliographic data*»). Обраний тип аналізу - спільне виникнення ключових слів («*co-occurrence*»), тобто кількість та величина кластерів на візуалізації залежить від кількості статей, в яких є хоча б одне спільне ключове слово. За рекомендаціями [5], кількість спільного виникнення ключових слів обиралася 5, і зменшувалася у випадках, коли спільних ключових слів було недостатньо для створення повноцінної візуалізації. Також, для створення релевантної мапи, з аналізу були виключені загальні ключові слова джерел (наприклад, «*article*», «*research*», тощо) та об'єднувальні терміни (наприклад, «*pyrotechnics*»).

Для першого аналізу була створена бібліографія з бази даних *Scopus* за ключовими словами «*green pyrotechnics*». У результаті пошуку було знайдено 97 джерел. Мапа ключових слів з цих джерел наведена на рис. 1.

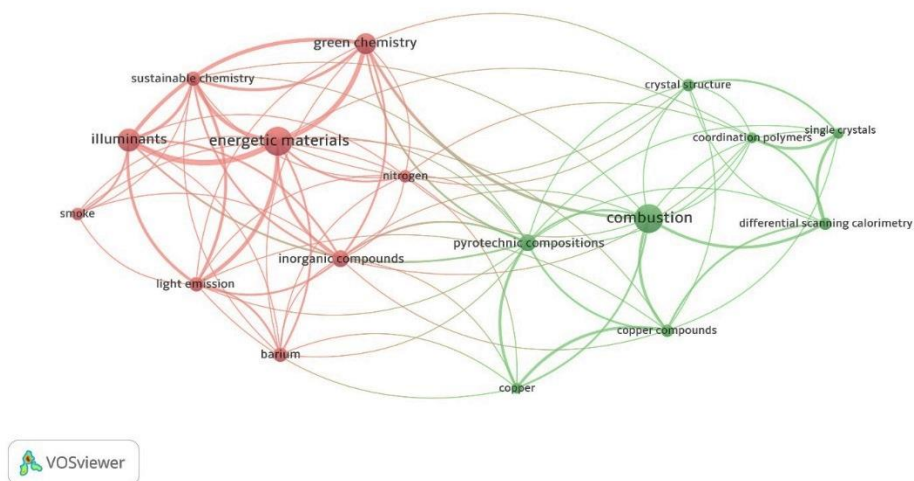


Рис. 1 Мапа ключових слів джерел, знайдених у БД *Scopus* за ключовими словами «*green pyrotechnics*» (97 джерел)

Утворена мапа містить 17 ключових слів, а кількість спільного виникнення ключових слів рівна 5. На цій візуалізації ключові слова поділилися на дві групи кластерів, які з'єднані між собою мережею.

Аналізуючи групи кластерів, можна виділити такі тренди досліджень:

1. червоний кластер - вплив світлових складів на навколишнє середовище (оскільки фігурують ключові слова «*light emission*», «*illuminants*» та «*smoke*»);
2. зелений кластер - характеристики екологічних складів та особливості їхніх компонентів (оскільки фігурують ключові слова «*crystal structure*», «*coordination polymers*» та «*combustion*»).

Для другого аналізу була створена бібліографія з бази даних *Scopus* за ключовими словами «*environmental pyrotechnics*». У результаті пошуку було знайдено 173 джерела. Мапа ключових слів з цих джерел наведена на рис. 2.

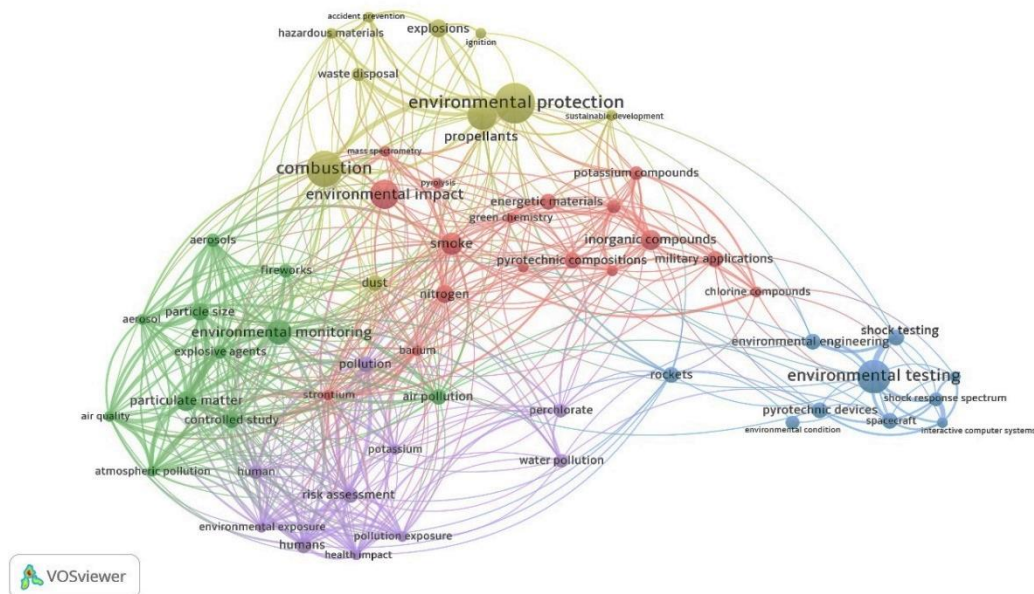


Рис. 2 Мапа ключових слів джерел, знайдених у БД *Scopus* за ключовими словами «*environmental pyrotechnics*» (173 джерела)

Утворена мапа містить 58 ключових слів, а кількість спільного виникнення ключових слів рівна 5. На цій візуалізації ключові слова поділилися на п'ять груп кластерів, які з'єднані між собою мережею.

Аналізуючи групи кластерів, можна виділити такі тренди досліджень:

1. червоний кластер – компоненти екологічних складів та їхній вплив на навколишнє середовище (оскільки у кластері фігурують назви хімічних сполук та ключове слово «*environmental impact*»);

2. зелений кластер – вплив феєрверкових складів на якість повітря та методи моніторингу (оскільки у кластері фігурують терміни, що співвідносяться до якості повітря);

3. фіолетовий кластер – вплив піротехнічних складів на здоров'я людини та визначення ризиків (оскільки у кластері фігурують ключові слова «*human*», «*health impact*» та «*risk assessment*»);

4. жовтий кластер – вплив піротехнічних складів на навколишнє середовище (оскільки у кластері фігурують ключові слова «*environmental protection*» та «*waste disposal*»);

5. синій кластер – методи дослідження властивостей піротехнічних складів (оскільки у кластері фігурують ключові слова, які містять слово «*testing*»).

Для третього аналізу була створена бібліографія з бази даних *Web of Science* за ключовими словами «*green pyrotechnics*». У результаті пошуку було знайдено 89 джерел. Мапа ключових слів з цих джерел наведена на рис. 3.

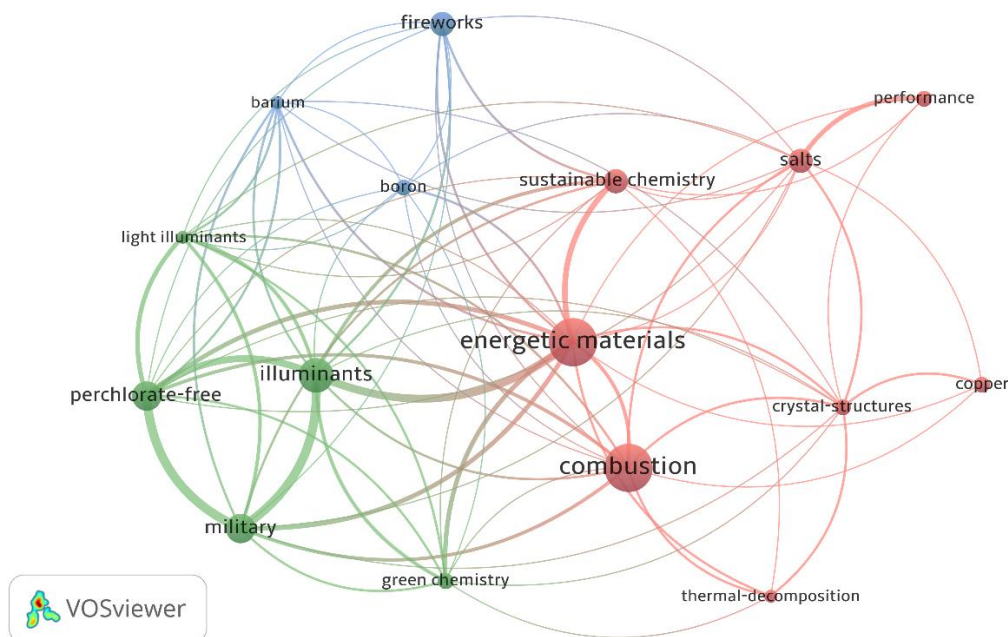


Рис. 3 Мапа ключових слів джерел, знайдених у БД *Web of Science* за ключовими словами «*green pyrotechnics*» (89 джерел)

Утворена мапа містить 16 ключових слів, а кількість спільного виникнення ключових слів рівна 5. На цій візуалізації ключові слова поділилися на три групи кластерів, які з'єднані між собою мережею.

Аналізуючи групи кластерів, можна виділити такі тренди досліджень:

1. червоний кластер – компоненти піротехнічних складів та їхній вплив на характеристики складів (оскільки фігурують ключові слова «*performance*», «*crystal-structures*» та «*combustion*»);

2. зелений кластер – екологічні світлові склади військового призначення (оскільки фігурують ключові слова «*illuminants*», «*military*» та «*green chemistry*»);

3. синій кластер – компоненти для екологічних феєрверкових складів (оскільки фігурують назви хімічних сполук та ключове слово «*firework*»).

Для четвертого аналізу була створена бібліографія з бази даних *Web of Science* за ключовими словами «*environmental pyrotechnics*». У результаті пошуку було знайдено 72 джерела. Мапа ключових слів з цих джерел наведена на рис. 4.

Утворена мапа містить 12 ключових слів. Варто відмітити, що ця мапа, на відміну від інших, була побудована з кількістю спільного виникнення ключових слів рівною 3. Це було зроблено тому, що незважаючи на велику кількість джерел у бібліографії, кількість співпадіння ключових слів дуже низька. Причиною цього може бути висока різноманітність напрямків дослідження. Тим не менш, така кількість співпадіння ключових слів все ще дозволяє проводити достовірний аналіз.

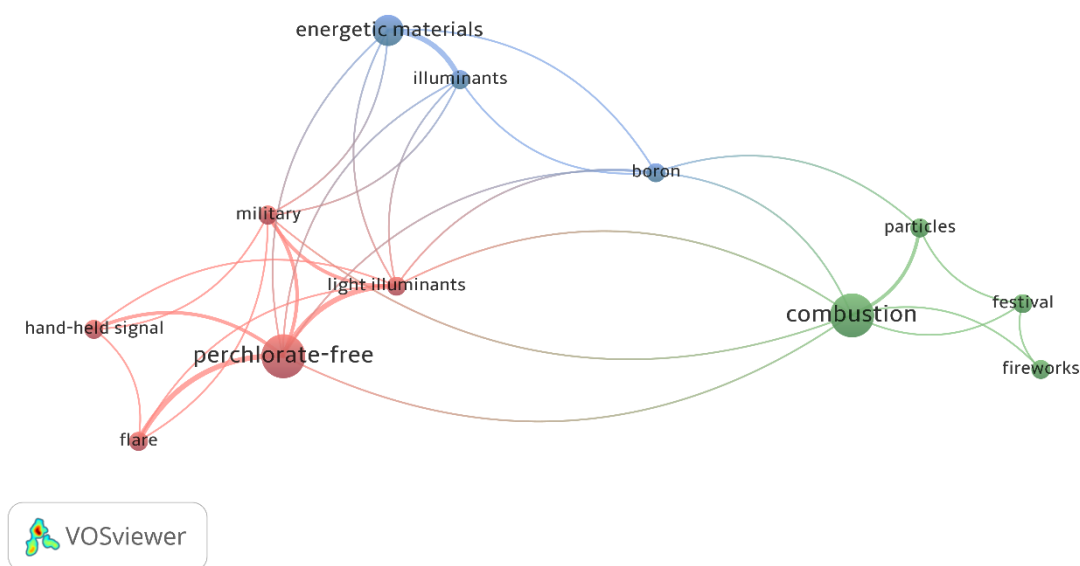


Рис. 4 Мапа ключових слів джерел, знайдених у БД *Web of Science* за ключовими словами «*environmental pyrotechnics*» (72 джерела)

На цій візуалізації ключові слова поділилися на три групи кластерів, які з'єднані між собою мережею. Аналізуючи їх, можна виділити такі тренди досліджень:

1. червоний кластер - екологічні світлові склади різного призначення (оскільки фігурують ключові слова «*light illuminants*», «*perchlorate-free*» та «*military*»);

2. синій кластер – світлові склади та їхні компоненти (оскільки фігурують назви хімічних сполук та ключове слово «*illuminants*»);



3. зелений кластер – феєрверкові склади, їхні властивості та вплив на навколишнє середовище (оскільки фігурують ключові слова «*firework*», «*particles*» та «*combustion*»).

Для фінального аналізу трендів дослідження отримані кластери були систематизовані та класифіковані за кількістю ключових слів в них. У цьому випадку кількість ключових слів відіграє велику роль у розумінні актуальності тренду, оскільки їхня кількість непрямо демонструє кількість статей у цьому напрямку досліджень. Цей аналіз наведено на рис. 5.



Рис. 5 Загальні тренди досліджень у галузі зеленої піротехніки

**Висновки.** У ході дослідження було проведено аналіз іноземних літературних джерел з баз даних *Scopus* та *Web of Science*, які були знайдені за ключовими словами «*green pyrotechnics*» та «*environmental pyrotechnics*». Результати цього аналізу представлені у проміжних (кластерних) візуалізаціях та у фінальній (загальній) візуалізації трендів досліджень. Виявлені тренди формують перспективні світові напрямки розвитку зеленої піротехніки.

Завдяки отриманим результатам, перспективні напрямки досліджень у сфері зеленої піротехніки стали більш чіткими та зрозумілими для українського дослідника.

Використання отриманих результатів сприятиме розвитку вітчизняної піротехнічної галузі.

#### Список літературних джерел

1. Review of Gasless Pyrotechnic Time Delays / W. W. Focke та ін. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2018. Т. 44, № 1. С. 55–93. DOI 10.1002/prep.201700311

2. Steinhauser G., Klapötke T. “Green” Pyrotechnics: A Chemists' Challenge. *Angewandte Chemie International Edition*. 2008. Т. 47, № 18. С. 3330–3347. DOI 10.1002/anie.200704510

3. Визначення критичних режимів розвитку процесів горіння піротехнічних нітратно-металевих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій / О. С. Діброва та ін. Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2020. № 2. С. 123–133. DOI 10.24025/2306-4412.2.2020.197339

4. Kustov M., Kalugin V. Modification of pyrotechnic composition to effectively neutralize acidic and chemically hazardous atmospheric precipitation. 8 Scientific and technical journal «TECHNOGENIC AND ECOLOGICAL SAFETY». 2018. Vol. 3, no. 1. P. 28–32.

5. Van Eck N. J., Waltman L. VOSviewer Manual. *VOSviewer - Visualizing scientific landscapes*.

URL: [https://www.vosviewer.com/documentation/Manual\\_VOSviewer\\_1.6.18.pdf](https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.18.pdf)