



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ
УКРАЇНСЬКОЮ, АНГЛІЙСЬКОЮ,
ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

*XIX Міжнародної науково-практичної
конференції молодих вчених, курсантів та
студентів*

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Львів – 2024

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- Голова:** **Василь ПОПОВИЧ** – т.в.о. проректора з науково-дослідної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор;
- Заступники голови:** **Сергій ЄМЕЛЬЯНЕНКО** – начальник відділу організації науково-дослідної діяльності, к.т.н., ст. досл., ЛДУ БЖД;
- Члени наукового комітету:** **Oksana TELAK** – Doctor of Sciences, MSFS, Warsaw, Poland ;
Jerzy TELAK – Doctor of Sciences, Professor, ASE, Warszawa, Poland;
Boguslaw KOGUT - Doktor inżynier, Akademia WSB w Dąbrowie Górniczej
Вікторія СЕРГІЄНКО – проректор з наукової роботи Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, д.м.н., професор
Максим СМІЛЕВСЬКИЙ – начальник управління безпеки департаменту міської мобільності та вуличної інфраструктури Львівської міської ради, к.ю.н.
Олеся ВАЩУК – професор кафедри криміналістики Національного університету «Одеська юридична академія», Голова Ради молодих учених при Міністерстві освіти і науки України, д.ю.н. професор
Роман ЛАВРЕЦЬКИЙ –, учений секретар Університету, к.і.н., доцент;
Анастасія СИМАНОВА – професор кафедри бізнес-аналітики та цифрової економіки Національного авіаційного університету, перший заступник Голови Ради молодих учених при Міністерстві освіти і науки України, д.е.н. професор
- Члени оргкомітету:** **Василь КАРАБИН** – начальник Навчально-наукового інституту психології та соціального захисту, д.т.н., доцент;
Андрій ЛИН – начальник Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, к.т.н., доцент;
Ярослав КИРИЛІВ – старший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності, к.т.н., с.н.с.;
Ольга МЕНЬШИКОВА – заступник начальника Навчально-наукового інституту цивільного захисту, к.ф.-м.н., доцент;
Іван ПАСНАК – заступник начальника Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, к.т.н., доцент;
Ірина БАБІЙ – заступник начальника Навчально-наукового інституту психології та соціального захисту, к.пед.н., доцент;
Тетяна ВОЙТОВИЧ – начальник відділу науково-редакційної діяльності, доктор філософії (PhD);

Юрій КОПИСТИНСЬКИЙ – начальник докторантури, ад'юнктури, к.т.н.;
Андрій ТАРНАВСЬКИЙ – доцент кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності ЛДУБЖД, к.т.н., доцент;
Олександра ПЕКАРСЬКА – викладач кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності ЛДУБЖД;
Андрій КУШНІР – доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУБЖД, к.т.н., доцент;
Інна ОНОШКО – старший викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУБЖД;
Дмитро КОБИЛКІН – доцент кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту ЛДУБЖД, к.т.н., доцент;
Ольга КОРЧАК – викладач кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту ЛДУБЖД;
Роман КОНАНЕЦЬ – заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт ЛДУБЖД;
Володимир-Петро ПАРХОМЕНКО – доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт ЛДУБЖД, к.т.н.;
Назарій БУРАК – заступник начальника кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій ЛДУБЖД, к.т.н., доцент;
Олександр ХЛЕВНОЙ – доцент кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій ЛДУБЖД, к.т.н.;
Світлана ВДОВИЧ – доцент кафедри практичної психології та педагогіки ЛДУБЖД, к.т.н., с.н.с.;
Юлія КУЛИК – викладач кафедри практичної психології та педагогіки ЛДУБЖД;
Володимир МАРИЧ – старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД, к.т.н., доцент;
Наталія ІВАСІВКА – викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД;
Катерина СТЕПОВА – доцент кафедри екологічної безпеки ЛДУБЖД, к.т.н., доцент
Ірина КОЧМАР – викладач кафедри екологічної безпеки ЛДУБЖД;
Руслана СОДОМА – старший викладач кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту ЛДУБЖД, к.е.н., доцент
Олег КОВАЛЬЧУК – викладач кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту ЛДУБЖД, доктор філософії;
Галина ТЕЛЕГІНА – доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД, к.м.н., доцент;
Орислава ГОРНОСТАЙ – доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці ЛДУБЖД, к.т.н., доцент
Даниїл БЕГЕН – науковий співробітник відділу науково-редакційної діяльності ЛДУБЖД
Ростислав ГРИНИК – молодший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД

**ОРГАНІЗАТОР
ТА ВИДАВЕЦЬ**

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності

**Технічний редактор,
комп'ютерна верстка**

Беседа А.В., Беген Д.А.

Друк

Петролюк Н.І.

Відповідальний за друк

Войтович Т.М.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35,
м. Львів, 79007

Контактні телефони:

(032) 233-24-79,
тел/факс 233-00-88

Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів: ЛДУ БЖД, 2024. – 913 с.

Збірник сформовано за науковими матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів «**Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності**».

Збірник містить матеріали таких тематичних секцій:

- Цивільна безпека.
- Пожежна та техногенна безпека.
- Менеджмент у безпеці життєдіяльності.
- Організація проведення аварійно-рятувальних робіт та гасіння пожеж.
- Інформаційні технології у безпеці життєдіяльності.
- Соціальні, психолого-педагогічні аспекти та гуманітарні засади безпеки життєдіяльності.
- Промислова безпека та охорона праці.
- Природничо-наукові та екологічні аспекти безпеки життєдіяльності.
- Організаційно-правові аспекти забезпечення безпеки життєдіяльності.
- Медицина в умовах воєнного стану.

© ЛДУ БЖД, 2024

Здано в набір 06.03.2023. Підписано до друку
28.04.2023. Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 57,06.

Гарнітура Times New Roman.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

ldubzh.lviv@dsns.gov.ua

За точність наведених фактів, економіко-статистичних та інших даних, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів. При передруковуванні матеріалів посилання на збірник обов'язкове.

УДК 614.841

КВАНТОВО-ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ АНТИПІРЕНОВОЇ ТА ІНГІБУВАЛЬНОЇ ДІЇ КУПРУМ(II) ХЛОРИДУ НА ГОРІННЯ НІТРОГЕНВМІСНИХ ВУГЛЕВОДНІВ*Марія Карвацька***Борис Михалічко, доктор хімічних наук, професор
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

У дослідженні проаналізовано взаємодію між поліетиленполіаміном (затверджувачем епоксидних смол) та купрум(II) хлоридом (антипіреновою добавкою до епоксидно-амінних композитів). Також було досліджено взаємодію концентрованого водного розчину CuCl_2 з хімічно активними частинками полум'я. Квантово-хімічне моделювання було використано для аналізу змін енергетичного стану реакційної суміші під час цих взаємодій.

Ключові слова: антипірени, полімерні композиції з пониженою горючістю, водні вогнегасні речовини, неорганічні солі *d*-металів, інгібітори горіння.

QUANTUM CHEMICAL ANALYSIS OF COPPER(II) CHLORIDE'S FLAME RETARDANT AND INHIBITORY EFFECTS ON NITROGEN-CONTAINING HYDROCARBON COMBUSTION*Maria Karvats'ka***Borys Mykhalichko, Doctor of Chemical Sciences, Professor
L'viv State University of Life Safety**

The study analysed the interaction between polyethylene polyamine, a hardener of epoxy resins, and copper(II) chloride, a flame retardant additive to epoxy-amine composites. It also examined the interaction of a concentrated aqueous solution of CuCl_2 with chemically active flame particles. Quantum chemical modelling was used to analyse the changes in the energy state of the reaction mixture during these interactions.

Keywords: flame retardants, polymeric composites with reduced combustibility, aqueous fire-extinguishing substances, inorganic salts of *d*-metals, combustion inhibitors.

Останнім часом в світі з'являється багато нових речовин та матеріалів, зокрема, полімерних матеріалів, які широко використовує промисловість для задоволення потреб різних сфер життєдіяльності. Втім значна частина сучасних матеріалів є пожежонебезпечними, оскільки пожежі, зумовлені займанням та горінням виробів з полімерів, ускладнені інтенсивним підвищенням температури, великою густиною задимлення, високою токсичністю продуктів термічного розкладання та горіння. Тому застосування полімерів у важливих сферах життя можливе лише за умови усунення серйозних недоліків, притаманних цим матеріалам, а саме,

зниження їх пожежної небезпеки. Найефективнішим способом зниження горючості полімерів, в тому числі епоксіамінних полімерів, є застосування хімічно активних антипіренів, яке пов'язане з розробкою принципово нових вогнестійких полімерних матеріалів (або модифікацією вже існуючих) шляхом вбудовування антипірену в основний чи бічний ланцюги полімеру. В цьому аспекті особливої уваги заслуговують неорганічні солі перехідних металів [1], які здатні проявляти виняткову схильність вступати у хімічну взаємодію з молекулами нітрогенвмісних органічних сполук, що супроводжується утворенням хелатних комплексів [2].

У свою чергу завдяки своїй здатності утворювати хімічні зв'язки з молекулами або іншими хімічними частинками), що містять електрондонорні атоми (N чи O), неорганічні солі перехідних металів можна з успіхом використовувати також як ефективний вогнегасний засіб. В цьому плані, пошук нових вогнегасних речовин (часто на водній основі) продовжує залишатися актуальним завданням пожежної безпеки [3].

В останні роки роботи в цьому напрямку активно розвиваються і ціла низка проведених експериментальних досліджень засвідчила високу ефективність застосування солей перехідних металів, зокрема, купруму(II) хлориду, як антипіренів та інгібіторів горіння для гарантування пожежної безпеки та експлуатації епоксіамінних композицій.

Для кращого розуміння процесів, що супроводжують зниження горючості амінів під впливом солей купруму(II) та встановлення механізму інгібування горіння нітрогенвмісних вуглеводнів купрум(II)-вмісними водними вогнегасними речовинами нами була здійснена спроба квантово-хімічно змоделювати взаємодію поліетиленполіаміну – затвердника епоксидних смол з купрум(II) хлоридом – антипіреновою добавкою до епоксіамінних композицій та взаємодію концентрованого водного розчину CuCl_2 з хімічно активними частинками полум'я [4]. На основі отриманої інформації проаналізувати зміни енергетичного стану реакційної суміші в момент зазначених взаємодій. Квантово-хімічні обчислення здійснювали за програмою HyperChem professional version 8.0.6, використовуючи неемпіричний метод Гартрі-Фока з базисним набором орбіталей 6-31G*.

Проведені квантово-хімічні та термохімічні обчислення процесу комплексоутворення засвідчили, що формування в системі поліетиленполіамін – CuCl_2 хелатного комплексу супроводжується зміною енергетичного стану для хімічно зв'язаного поліетиленполіаміну стосовно її вільних молекул. Окрім того, процес зв'язування негорючої неорганічної солі з горючою органічною речовиною в міцний комплекс забезпечує пониження горючості нітрогенвмісного вуглеводню, що є важливою ланкою на шляху до реалізації складного механізму антипіренового впливу солей *d*-металів на горіння органічних амінів. Тому сполуки купруму, і зокрема CuCl_2 , з успіхом можна використовувати як антипіренову добавку,

спроможну ефективно знижувати горючість синтетичних полімерів на основі епоксіамінних композицій [5 – 6].

Аналіз інформації, отриманої в процесі вивчення вогнегасних властивостей CuCl_2 -вмісних водних вогнегасних речовин, дав змогу виявити особливості поведінки концентрованих водних розчинів купрум(II) хлориду у полум'ї при горінні вуглеводнів [7]. Це дозволило дати адекватну інтерпретацію механізму придушення горіння нітрогеновмісних вуглеводнів концентрованими водними розчинами солей купруму(II). Цей процес описується асоціативним механізмом, визначальний елементарний акт якого протікає за схемою приєднання активних радикалів (частинок $\cdot\text{OH}$) полум'я до газоподібних молекул Cu_2Cl_4 з утворенням радикально-молекулярного комплексу [$\{\text{Cu}(\cdot\text{OH})\text{Cl}_2\}_2$] і подальшою його дезактивацією частинками $\cdot\text{H}$. Описаний процес є стереоспецифічним, де найбільш ймовірним місцем атаки буде координований на атомі Cu атом O частинок $\cdot\text{OH}$, на p_z -орбіталі якого знаходиться неспарений електрон. Завдяки цій взаємодії ланцюгові реакції у полум'ї перериваються, і горіння припиняється [8].

Список літератури

1. Mykhalichko V., Kochubei V., Lavrenyuk H. Elaboration, thermogravimetric analysis, and fire testing of a new type of wood-sawdust composite materials based on epoxy-amine polymers modified with copper(II) hexafluorosilicate. *Fire and Materials*. 2022. Vol. 46(3). P. 587–594.
2. Лавренюк О.І., Михалічко Б.М., Пархоменко В.-П.О. Квантово-хімічне моделювання поведінки хелатного комплексу $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NHC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)]\text{SiF}_6$ – антипірена затвердника епоксидних смол в умовах горіння. *Питання хімії та хімічної технології*. 2018. № 3. P. 31–36.
3. Lavrenyuk H., Mykhalichko V. DFT study on thermochemistry of the combustion of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) sulfate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2018. No 6. P. 42–48.
4. Lavrenyuk H., Mykhalichko V. Principles of controlled effects on performance properties of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) carbonate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2019. No 5. P. 58–64.
5. Mykhalichko V., Lavrenyuk H., Mykhalichko, O. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*. 2019. Vol. 105. P. 188–195.
6. Карвацька М.Я., Лавренюк О.І., Пархоменко В.-П.О., Михалічко Б.М. Квантово-хімічне моделювання інгібувального впливу водних розчинів неорганічних солей купруму(II) на горіння вуглеводнів. *Вісник ЛДУБЖД*. 2021. № 23. С. 33–38.

7. Карвацька М.Я., Пастухов П.В., Петровський В.Л., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М. Вогнегасні випробування концентрованого водного розчину ферум(III) сульфату. Пожежна безпека. 2022. № 40. С. 55–60.

8. Карвацька М., Лавренюк О., Михалічко Б. Сучасний стан і напрями вдосконалення водних вогнегасних речовин. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2023. № 1(15). С. 92–100.

References

1. Mykhalichko B., Kochubei V., Lavrenyuk H. Elaboration, thermogravimetric analysis, and fire testing of a new type of wood-sawdust composite materials based on epoxy-amine polymers modified with copper(II) hexafluorosilicate. *Fire and Materials*. 2022. V. 46 (3). P. 587–594.

2. Lavrenyuk, H.I., Mykhalichko, B.M., Parhomenko, V.-P.O. Quantum-chemical simulation of the behavior of $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)(\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{NHC}_2\text{H}_4\text{NH}_2)]\text{SiF}_6$ chelate complex, a fire retardant-hardener of epoxy resins, under the conditions of burning. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2018. No 3. P. 31–36.

3. Lavrenyuk H., Mykhalichko B. DFT study on thermochemistry of the combustion of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) sulfate. *Voprosy Khimiii Khimicheskoi Tekhnologii*. 2018. No 6. P. 42–48.

4. Lavrenyuk H., Mykhalichko B. Principles of controlled effects on performance properties of self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) carbonate. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2019. No 5. P. 58–64.

5. Mykhalichko B., Lavrenyuk H., Mykhalichko, O. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*. 2019. V. 105. P. 188–195.

6. Karvatska M.Ya., Lavrenyuk O.I., Parkhomenko V.-P.O., Myhalichko B.M. Quantum-chemical modeling of the inhibitory effect of aqueous solutions of inorganic salts of copper(II) on the combustion of hydrocarbons. *Bulletin of the LSULS*. 2021. No. 23. P. 33–38.

7. Karvatska M.Ya., Pastukhov P.V., Petrovskiy V.L., Lavrenyuk O.I., Myhalichko B.M. Fire extinguishing tests of a concentrated aqueous solution of ferrum(III) sulfate. *Fire Security*. 2022. No. 40. P. 55–60.

8. Karvatska M., Lavrenyuk O., Myhalichko B. Current status and directions for the improvement of aqueous fire-extinguishing agents. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*. 2023. No 1 (15). P. 92–100