

**COLLECTION OF RESEARCH PAPERS**

of the 7th International Research and Practical Conference

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

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

VII 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 7th International Research and Practical Conference

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



## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

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

(м. Шостка, 22-24 листопада 2023 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2023

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;

Середа В.І. – завідувач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н.;

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

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

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

Пригара І.О. – ст. викладач кафедри економіки та управління, к.е.н.

Збірник наукових праць VII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 22 - 24 листопада 2023 року. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 215 с.

ISSN 2786-4898.

Збірник містить наукові праці учасників VII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», що складаються з узагальнених матеріалів науково-дослідних робіт науковців різних галузей виробництва 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, 2023  
© Сумський державний університет, 2023

**ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**THE ORGANIZERS OF THE CONFERENCE**



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**



**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**SUMY STATE UNIVERSITY**



**ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**

**СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**SHOSTKA INSTITUTE OF SUMY STATE UNIVERSITY**



**ЦЕНТРАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ**

**ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

**CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF WEAPONS**

**AND MILITARY EQUIPMENT OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE**



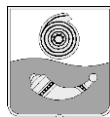
**ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ФАРМАК»**

**JOINT STOCK COMPANY "FARMAK"**



**УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ ШОСТКИНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ**

**DEPARTMENT OF EDUCATION OF SHOSTKA CITY COUNCIL**



**ВИКОНАВЧИЙ КОМІТЕТ ШОСТКИНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ**

**EXECUTIVE COMMITTEE OF SHOSTKA CITY COUNCIL**



### НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Чорноус Анатолій Миколайович	проректор з наукової роботи Сумського державного університету, д.ф.-м.н., професор
Чепков Ігор Борисович	начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки Збройних сил України, д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України
Прокопенко Віталій Анатолійович	директор Інституту біологічної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка, д.т.н., професор, член бюро відділення хімії НАН України
Шукуров Азер Меджид огли	заступник Голови Департаменту, Міністерство природних ресурсів Республіки Азербайджан, Баку, Азербайджан, PhD
Донцова Тетяна Анатоліївна	завідувач кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, д.т.н.
Пляцук Леонід Дмитрович	завідувач кафедри екології та природозахисних технологій факультету технічних систем і енергоефективних технологій Сумського державного університету, д.т.н., професор
Ярош Томаш	професор хімічного факультету Сілезького технологічного університету, Глівіце, Польща, PhD
Столярчик Агнешка	професор хімічного факультету Сілезького технологічного університету, Глівіце, Польща, PhD
Васьківський Михайло Іванович	заступник начальника Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних сил України, полковник, д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України
Кравець Віктор Георгійович	професор кафедри геоінженерії інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, член-кореспондент Академії гірничих наук України, д.т.н., професор
Зуєвська Наталя Валеріївна	професор кафедри геоінженерії інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, д.т.н.
Дикий Володимир	хімік-дослідник Дослідницького центру термодинаміки, Національний інститут стандартів і технологій, Боулдер, Колорадо, США, PhD
Базилева Алла	хімік-дослідник Дослідницького центру термодинаміки, Національний інститут стандартів і технологій, Боулдер, Колорадо, США, PhD
Свідерський Валентин Анатолійович	науковий керівник кафедри хімічної технології композиційних матеріалів хіміко-технологічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., професор

Салачіньський Томаш	головний редактор Центральноєвропейського журналу енергетичних матеріалів Інституту промислової органічної хімії, Варшава, Польща, PhD
Маранда Анджей	заступник директора з наукової роботи Інституту промислової органічної хімії, Варшава, Польща, PhD
Коростельов Олег Петрович	генеральний конструктор-генеральний директор Державного підприємства «Державне Київське конструкторське бюро «Луч», член-кореспондент НАН України
Жебровська Філя Іванівна	голова Наглядової ради публічного акціонерного товариства «ФАРМАК», к.е.н.
Воеводка Анджей	директор компанії Експло-Експертиза, Глівіце, Польща, державний експерт Республіки Польща, д.т.н., професор
Войтенко Юрій Іванович	головний науковий співробітник відділу інноваційних технологій Українського державного геологорозвідувального інституту, д.т.н., професор
Рейнхолд Інгар	науковий співробітник Інституту безпеки харчових продуктів, здоров'я тварин та навколишнього середовища «BIOR», Рига, Латвія; Dr.chem

#### **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Тугай Наталія Олександрівна	директор Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.ф.н.
Шевцова Тетяна Миколаївна	заступник директора з науково-педагогічної роботи Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Лапицький Сергій Володимирович	провідний фахівець Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки Збройних сил України, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор
Кушнірук Василь Миколайович	керівник департаменту з виробництва АФІ ПАТ «ФАРМАК», к.фарм.н.
Лукашов Володимир Костянтинівич	професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету д.т.н., ст.н.сп., професор
Тур Олександр Миколайович	завідувач кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.е.н.
Худолей Георгій Михайлович	завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Середа Віта Іванівна	завідувач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Бондар Наталія Юріївна	доцент кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.філол.н.
Плацинда Павло Анатолійович	заступник начальника відділу охорони праці та навколишнього середовища департаменту з виробництва АФІ ПАТ «ФАРМАК»

### ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Закусило Роман Васильович заступник директора з наукової роботи, доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.

Члени оргкомітету:

Павленко Оксана В'ячеславівна заступник голови оргкомітету конференції:  
ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.

Скуба Юлія Геннадіївна технічний секретар конференції:  
фахівець кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету

Закусило Дарина Романівна технічний секретар перекладач, аспірантка кафедри екології та природоохоронних технологій, факультет ТЕСЕТ

Пригара Ірина Олександрівна старший викладач кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.е.н.

Новікова Інна Володимирівна старший викладач кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.е.н.

Тимофіїв Сергій Владиславович старший викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.

Романько Сергій Миколайович викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.

Костюченко Євген Володимирович викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.

Мухін Михайло Михайлович провідний фахівець кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету

Купріянова Євгенія Віталіївна лаборант кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету.

### SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE CONFERENCE

Anatolii Chornous	Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific Work of Sumy State University
Ihor Chepkov	Doctor of Technical Science, Professor, Honored Worker of Science, Head of the Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine
Vitalii Prokopenko	Doctor of Technical Science, Director of F.D.Ovcharenko Institute of Biocolloidal Chemistry, member of the Bureau of the Chemistry Department of the National Academy of Sciences of Ukraine
Azer Shukurov	PhD, Deputy Head of the Department, Ministry of Natural Resources of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
Tetyana Dontsova	Doctor of Technical Science, Head of the Department of Technology of Inorganic Substances, Water Treatment and General Chemical Technology of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Leonid Pliatsuk	Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies, Sumy State University,
Tomasz Jarosz	PhD, As. Professor, Faculty of Chemistry, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Agnieszka Stolarczyk	PhD, As. Professor, Faculty of Chemistry, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Mykhailo Vaskivskiy	Doctor of Technical Science, Professor, Deputy Head of the Central Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Colonel, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine
Viktor Kravets	Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Geoengineering Department of the Institute of Energy Saving and Energy Menegement of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Natalia Zuevskaya	Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Geoengineering Department of the Institute of Energy Saving and Energy Menegement of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Vladimir Diky	PhD, Research Chemist, Thermodynamics Research Center, National Institute of Standards and Technology, Boulder, Colorado, USA
Ala Bazyleva	PhD, Research Chemist, Thermodynamics Research Center, National Institute of Standards and Technology, Boulder, Colorado, USA
Valentyn Sviderskyi	Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Composites of the Faculty of Chemical Engineering of National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Tomasz Sałaciński	PhD, Managing Editor of Central European Journal of Energetic Materials, Institute of Industrial Organic Chemistry, Warsaw, Poland

Andrzej Maranda	PhD, Deputy Director for Research and Development of Institute of Industrial Organic Chemistry, Warsaw, Poland
Oleh Korostelov	Chief Designer-General Director of State Enterprise “State Kyiv Design Bureau “Luch”, Corresponding member of the National Academy of Sciences of Ukraine
Filya Zhebrows'ka	PhD, Chairman of the Supervisory Board of Joint Stock Company “Farmak”
Andzhei Wojewódka	Director of Explo-Expertyza Company Doctor of Technical Science, Professor, State Expert, Gliwice, Poland
Yuri Voitenko	Doctor of Technical Science, Professor, chief researcher of the Department of innovative technologies of the Ukrainian State Geological Exploration Institute
Ingars Reinholds	Dr.chem., researcher at the Institute of Food Safety, Animal Health and the Environment “BIOR”, Riga, Latvia

#### **PROGRAM COMMITTEE OF THE CONFERENCE**

Nataliia Tuhai	Ph.D, Director of Shostka Institute of Sumy State University
Tetiana Shevtsova	PhD, Deputy Director for Scientific and Pedagogical Work of Shostka Institute of Sumy State University
Serhii Lapytskyi	Doctor of Technical Science, Professor, Honored Worker of Science and Technology, a Leading Expert of the Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine
Vasyl Kushniruk	PhD, head of API Production Department of Joint Stock Company “Farmak”
Volodymyr Lukashov	Doctor of Technical Science, Professor, Senior Research, Professor of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Alexander Tour	PhD, Head of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University
Heorhii Khudolei	PhD, Head of System Engineering and Information Technology Department of Shostka Institute of Sumy State University
Vita Sereda	PhD, Head of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Nataliia Bondar	PhD, Assistant Professor Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University
Pavlo Placinda	Deputy Head of the Labor and Environmental Protection Department of the Production Department of Joint Stock Company “Farmak”



### ORGANIZING COMMITTEE OF THE CONFERENCE

Chairman:

Roman Zakusylo      PhD, Deputy Director for Research, Associate Professor of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department, Shostka Institute, Sumy State University

Members of Organizing Committee:

Oksana Pavlenko      Deputy Chairman of the Conference Organizing Committee  
PhD, Senior Lecturer of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University

Yuliya Skuba          Technical Secretary of the conference  
Specialist of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University

Darina Zakusylo      technical secretary translator, graduate student of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Faculty of TESET

Irina Prigara          PhD, Senior Lecturer of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University

Inna Novikova        PhD, Senior Lecturer of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University

Serhii Tymofiiv      PhD, Senior Lecturer of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University

Serhiy Romanko      PhD, Lecturer of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University

Evgen Kostyuchenko      PhD, Lecturer of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University

Mykhailo Mukhin     Leading Specialist of the Department of Systems Engineering and Information Technologies, Shostka Institute, Sumy State University

Evgenia Kupriyanova      laboratory assistant of the Department of Systems Engineering and Information Technologies, Shostka Institute, Sumy State University

**СЕКЦІЯ 1**  
**Спеціальна хімічна технологія,  
виробництво боєприпасів  
та вибухові роботи в промисловості**

**SECTION 1**  
**Special chemical technology,  
production of ammunition  
and boulder blasting in industry**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ БЛОКУ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПЕРЕНОСНОГО ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ «STINGER»

М.С. Мошковський, А.О. Гаврилюк, О.В. Князький,<sup>1</sup> М.В. Бик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України

<sup>2</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
mail@kpi.ua

Для прикриття важливих об'єктів інфраструктури держави та військ від нападів з повітря застосовується широкий парк зенітного ракетного озброєння, в тому числі й переносні зенітні ракетні комплекси (ПЗРК). Таке озброєння є ефективним засобом у збройному протистоянні РФ та України та останнім часом отримано від Литовської Республіки, Латвійської Республіки, Сполучених Штатів Америки. Всього, станом на червень 2022, Україна отримала від цих країн передали понад 1400 ПЗРК «Stinger» (рис. 1).



Рисунок 1 Переносний зенітно-ракетний комплекс FIM-92 Stinger

Переносний зенітно-ракетний комплекс FIM-92 «Stinger» (англ. - в перекладі «жало») класу «земля-повітря» з інфрачервоною головкою самонаведення розроблений американською компанією General Dynamics на початку 80-х років минулого століття. Комплекс призначений для ураження вертольотів і літаків таких, що низько летять, на зустрічних і навздогінних курсах в умовах впливу природних і штучних теплових перешкод.

Комплекси «Stinger» всіх модифікацій складаються із таких основних частин: зенітна керована ракета в транспортно-пусковому контейнері;

оптичний приціл для візуального виявлення і супроводу цілі, а також приблизного визначення відстані до неї;

пусковий механізм;

блок електроживлення і охолодження з хімічним джерелом струму та ємністю з рідким аргоном;

апаратура розпізнавання «свій-чужий».

Важливою складовою ПЗРК Stinger є хімічне джерело електричного струму (ХДС). Такі джерела струму є невід'ємними складовими високотехнологічних цивільної та військової техніки, озброєння [1, 2-4]. Для ракетного озброєння особливе значення мають автономні резервні теплові джерела струму, що активуються спеціальними пірозасобами. Такі теплові джерела струму характеризуються високою питомою ємністю і довготривалим терміном зберігання без саморозряду (до 25 років). Особливості конструкції теплових джерел струму визначаються умовами їх експлуатації та бойового застосування, жорсткими масо-габаритними та температурними обмеженнями, потребою стійкості до механічних перенавантажень.

До початку військової агресії проти України з боку РФ інформація щодо улаштування та технічних характеристик зенітних озброєнь була закрыта та малодоступна. В теперішній час повномасштабного вторгнення на теренах нашої держави знаходять безліч одиниць залишків озброєння та військової техніки. Вони знаходяться в різному технічному стані. Хімічні джерела струму та їх фрагменти наразі стало можливим експериментально дослідити, вивчити і системно класифікувати.

Метою роботи є дослідження технічних характеристик хімічного джерела струму ЕАР-12081 блоку електроживлення і охолодження ПЗРК Stinger [1].

Конструкційне блок електроживлення і охолодження під'єднується до корпусу пускового механізму при підготовці до стрільби. Через штепсельний роз'єм він підключається до бортової мережі ракети, а ємність з рідким аргоном через штуцер з'єднується з магістраллю системи охолодження.

При натисканні на пусковий гачок пускового механізму і переводу його в перше робоче положення відбувається активація блока електроживлення і охолодження в результаті чого електроенергія від батареї (напруга 20-28 В протягом не менше 45 с) і рідкий аргон поступають на борт ракети, забезпечуючи охолодження детекторів головки самонаведення, розкрутку гіроскопа і виконання інших операцій пов'язаних з підготовкою ракети до пуску. При подальшому натисненні на пусковий гачок і заняттю ним другого робочого положення активується бортова електрична батарея, що живить електронну апаратуру ракети на протязі 19 с, і спрацьовує запалювач стартового двигуна ракети. При цьому вихід батареї на нормальний режим забезпечує спрацювання піропатрона з стисненим газом, який відкидає відривний штекер, відключає живлення від блока електроживлення і охолодження і включає піропатрон запуску стартового двигуна. [ 5-7 ].

Зовнішній вигляд теплового ХДС ЕАР-12081 від блоку електроживлення і охолодження ПЗРК Stinger наведено на рис.2.

Виріб являє собою металевий блискучий циліндр діаметром 55 мм і висотою 40 мм, вага виробу 296 г.



Рисунок 2 Загальний вигляд елемента живлення EAP-12081

Виводи ХДС з'єднані з контактною колодкою за допомогою розводка у вигляді монтажної друкованої смужки, що покрита захисним лаком з рядом електричних доріжок (рис. 3),



Рисунок 3 Монтажна смужка елемента живлення EAP-12081



На корпусі елемента наявні 4 контакти із позначками «+», «-», «М» і «С» (Рис.4)



Рисунок 4 Контакти елемента живлення ЕАР-12081

При дослідженні внутрішньої конструкції ХДС встановлено, що значну частину його внутрішнього об'єму займає теплоізоляція білого кольору пористої структури (скловата). Товщина шару ізоляції - близько 20 мм. Діаметр електрохімічних дисків - близько 22 мм, кількість елементів 12-14 шт.



Рисунок 5 Внутрішня теплоізоляція елемента живлення ЕАР-12081.

Ідентифікацію номенклатури ХДС проведено на підставі верифікації маркування і децимальних номерів на його корпусі, що нанесені методом електрогравірування (рис.2). Наведено номер патенту і назва фірми – виробника. Це корпорація «EAGLE- RICHER INDUSTRIES, м. Джоуплін, штат Міссурі, США. Вона є світовим лідером в дослідженнях, розробці, тестуванні, виробництві джерел електричного струму для цивільної авіації, науки і комерції та для військових потреб [5-7] (рис. 6). Широка номенклатура термальних ХДС їх розробки і виробництва застосовуються в системах Patriot, Excalibur, Javelin, Stinger тощо.

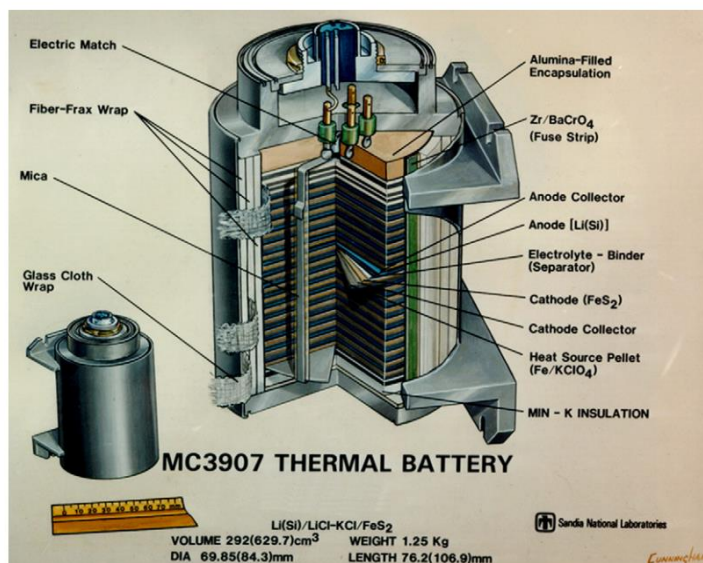


Рисунок 6 Типова класична схема устрою термальної батареї американського виробництва з електрохімічною системою  $Li\ Si / LiCl, KCl, / FeS_2$  [5-7].

Елементний склад внутрішніх частин виробу визначали лабораторним методом рентген-флуоресцентного аналізу на приладі Expert 3L. Індикація результатів аналізу наведена на рис. 7, 8.

Коментарій 8.1

Таблица: массовые доли хим. элементов

Элемент	Доля. %	Погр. %
<input type="checkbox"/> 24Cr.	18.235	0.112
<input type="checkbox"/> 25Mn.	1.536	0.084
<input type="checkbox"/> 26Fe.	70.240	0.153
<input type="checkbox"/> 28Ni.	9.324	0.107
<input type="checkbox"/> 29Cu.	0.311	0.028
<input type="checkbox"/> 42Mo.	0.354	0.010

Коментарій 8.2

Таблица: массовые доли хим. элементов

Элемент	Доля. %	Погр. %
<input type="checkbox"/> 13Al.	34.521	0.258
<input type="checkbox"/> 14Si.	55.893	0.260
<input type="checkbox"/> 16S.	1.632	0.142
<input type="checkbox"/> 20Ca.	0.464	0.066
<input type="checkbox"/> 24Cr.	6.085	0.058
<input type="checkbox"/> 26Fe.	1.202	0.018
<input type="checkbox"/> 28Ni.	0.042	0.003
<input type="checkbox"/> 30Zn.	0.008	0.001
<input type="checkbox"/> 31Ga.	0.008	0.001
<input type="checkbox"/> 33As.	0.005	0.001
<input type="checkbox"/> 35Br.	0.047	0.001
<input type="checkbox"/> 40Zr.	0.087	0.002
<input type="checkbox"/> 42Mo.	0.007	0.001

Рисунок 7 Елементний склад корпусу джерела струму та теплоізоляції

Результати елементного аналізу свідчать що корпус ХДС виготовлено з нержавіючої сталі марки X18H10T, а теплоізоляція внутрішнього об'єму виробу виконана з алюмосилікатної скловати.

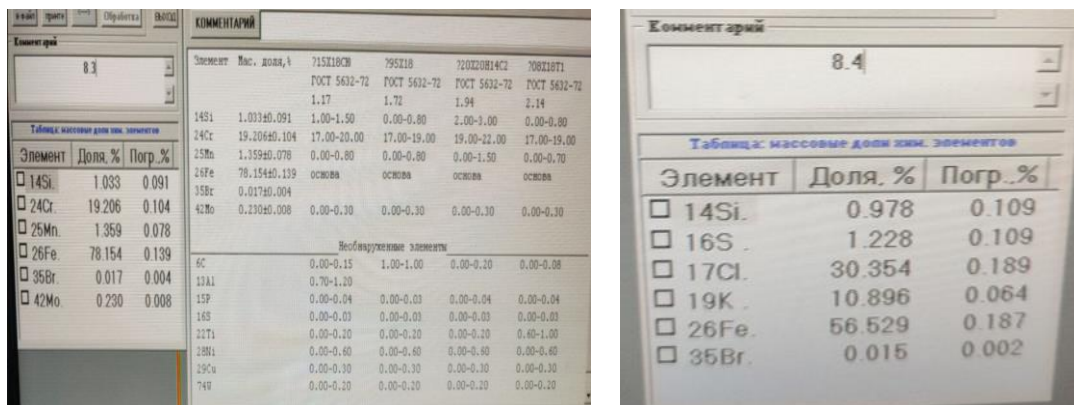


Рисунок 8 Елементний склад внутрішнього роздільного диску елемента та запалювальної суміші

Запалювальна суміш ХДС – хлорат калію і порошок заліза, а склад розділювального диску відповідає сталі **95X18**.

Елементний склад електродної маси - система **силіцид літію - сульфід заліза**, електроліт - механічна суміш **хлоридів літію і калію** евтектичного складу (рис. 9).

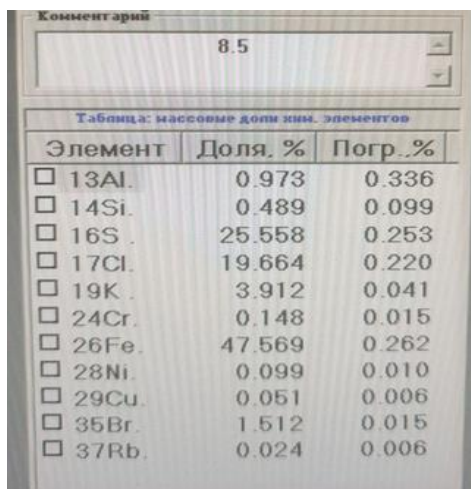
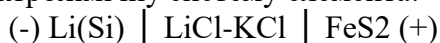


Рисунок 9 Елементний склад електродної маси елемента.

Дослідження будови, елементного складу внутрішніх частин теплового ХДС ЕАР-12081 переносного зенітно-ракетного комплексу FIM-92 Stinger свідчить про таке:

1) Теплове хімічне джерело струму є одноразової дії та має таку електрохімічну систему елемента:



2) Катод – сульфід заліза просочений електролітом FeS<sub>2</sub> ;

3) Анод – силіцид літію;

4) Спосіб нанесення активної маси електродів - пресована таблеткова конструкція;

5) Запалювальна суміш – хлорат калію і порошок заліза.

6) Склад електроліту досліджуваних ХДС - евтектична суміш KCl - LiCl (39/61 % wag);

7) Тип батареї - теплова батарея;

- 8) Сумарна напруга досліджуваного ХДС - близько **20-28 В**;
- 9) Ємність елемента ЕАР-12081 складає орієнтовно **8 А\*год**, за номінальної напруги батареї **28 В**;
- 10) Потужність елементів і батарей даного типу близько **640 Вт/кг (190 Вт)**;
- 11) Час роботи визначається загальним часом остигання електроліту і складає в більшості випадків для визначеної системи - **до 5 хв.**
- 12) Термін зберігання без технічного обслуговування –**десятки років.**

Найбільш імовірним виробником і постачальником виробу ЕАР-12081 є компанія **Eagle Picher Technologies (США)**

Технологія виробництва хімічних джерел струму складна, потребує специфічних операцій, коштовного обладнання та дефіцитних матеріалів і стратегічної сировини, зокрема літію. Уніфікація електрохімічних елементів, використання гігроскопічних та агресивних речовин також призводить до подорожчання виробів.

Інформація щодо будови, конструктивних особливостей, використаних комплектуючих ХДС може бути використана для:

- ідентифікації виробів при проведенні кримінально-процесуальних дій;
- накладання санкційних обмежень на постачання технологій, матеріалів та комплектуючих до країни агресора;
- розроблення тактичних та технічних способів протидії застосуванню озброєння противником;
- розвитку підприємств оборонно-промислового комплексу України.

Створення бази даних щодо технічних характеристик зразків озброєння виробництва РФ та зарубіжних країн можливе лише системно та шляхом використання сучасної лабораторної бази.

#### **Список літературних джерел**

- 1 Ванин М. Боевое применение переносных ЗРК «Стингер» // Зарубежное военное обозрение – М. «Красная звезда», 1985.- №11.- С.23-28.
- 2 Шембель О.М., Білогуров В.А. Основні характеристики сучасних хімічних джерел струму різних електрохімічних систем //Сучасна спеціальна техніка. Наук. прикл. журнал. 2009. №2 (17). С. 66.
- 3 Бик М.В., Фроленкова С.В., Букет О.І., Васильєв Г.С. Технічна електрохімія. Частина 2. Хімічні джерела струму; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.-321с.
- 4 Коровин Н.В. Скундин А.М. Химические источники тока. Справочник, М.:МЭИ, 2003, 198 с.
- 5 . Ronald A. Guidotti a, Patrick Masset b Thermally activated (“thermal”) battery technology Part I: An overview // Journal of Power Sources 161 (2006), P. 1443–1449.
- 6 Compendium of Military Aviation Batteries // Regional Centre for Military Airworthiness, Hyderabad, Centre For Military Airworthiness and Certification, Defence Research and Development Organization, Ministry of Defence, C/o HAL, Hyderabad.
- 7 Patrick J. Masseta, Ronald A. Guidotti Thermal activated (“thermal”) battery technology. Part IIIb. Sulfur and oxide-based cathode materials Review // Journal of Power Sources 178 (2008) 456–466.



## TECHNIKI BADANIA CIĄGU KOMPOZYCJI NANOTERMITOWYCH I BAZUJĄCYCH NA NICH KOMPOZYCJI NANOTERMITOWYCH

M. Maciuch<sup>1</sup>, J. Iksal<sup>1</sup>, A. Gilicki<sup>1</sup>, M. Polis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów, Politechnika Śląska, Gliwice, Poland

<sup>2</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Przemysłu Organicznego, Grupa Badawcza

Technik Wybuchowych, Warsaw, Poland

mateusz.polis@ipo.lukasiewicz.gov.pl

### Wstęp

Nanotermity są stosunkowo niedawno odkrytą grupą materiałów wysokoenergetycznych. Są one również nazywane metastabilnymi kompozytami międzycząsteczkowymi - MIC (z ang. metastable intermolecular composite) [1].

Termit definiujemy jako kompozycję pirotechniczną [2], składającą się typowo z wolnego metalu, będącego paliwem (reduktorem) np. Al, Mg, Ti, B [3], oraz utleniacza, którym typowo jest tlenek taki jak CuO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ale również utleniaczem może być sól, taka jak KClO<sub>4</sub> czy KMnO<sub>4</sub> [4]. Nanotermity charakteryzują się tym, że co najmniej jeden ze składników kompozycji musi cechować się rozdrobnieniem nanometrycznym, tj. co najmniej jeden wymiar charakterystyczny cząsteczek musi być mniejszy niż 100 nm [3]. Przykładowe kompozycje nanotermitowe wymieniono w Tabeli 1.

Tabela 1 Przykładowe składy kompozycji nanotermitowych i typu NSTEMX.

Reduktor	Utleniacz	Dodatek	Źródło
Al	WO <sub>3</sub>	RDX	[5]
Al	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RDX	[6]
Al	CuO	NC	[7]
Al	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NC	[7]
Al	CuO	CL-20	[8]
Si	NaClO <sub>4</sub>	-	[9]
Al	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	-	[9]

Zmiana rozmiaru ziaren zarówno paliwa, jak i utleniacza wpływa znacząco na przebieg reakcji redoks w porównaniu do termitów przygotowanych z wykorzystaniem mikrometrycznych surowców [10]. Ze względu na nanometryczne rozmiary, cząstki takie charakteryzują się dużą powierzchnią właściwą czego efektem jest ich niezwykle wysoka reaktywność. Zmniejszenie rozmiarów cząstek skutkuje również wyższym stopniem homogenizacji kompozycji. Podsumowując, zastosowanie nanometrycznych surowców umożliwia polepszenie kontaktu paliwo/utleniacz oraz skrócenie dystansu między reagentami co prowadzi do zmniejszenia odległości dyfuzji dla transportu masy i ciepła. Efektem tego jest podwyższona reaktywność tego typu kompozycji i wykazywanie przez nie nieoczywistych parametrów wysokoenergetycznych.

Nanotermity wyróżniają się następującymi właściwościami: dużą wrażliwością na zewnętrzne bodźce inicjujące, wysoką liniową prędkością spalania, bardzo wysoką adiabatyczną temperaturą reakcji, obniżoną temperaturą zapłonu w odniesieniu do analogicznych w składzie kompozycji, przygotowanych jednak z mikrometrycznych surowców. Możliwe jest tworzenie kompozycji hybrydowych z innymi materiałami wysokoenergetycznymi, co skutkuje otrzymaniem kompozycji o właściwościach pośrednich pomiędzy wyjściowymi składnikami. Przykładowe zastosowania



nanotermitów to między innymi mikrosilniki, zapalniki, detektory, układy służące do spawania i zgrzewania [9].

NSTEX (z ang. nanostructured thermites and explosives) są to mieszaniny nanometrycznych termitów i materiałów wysokoenergetycznych [11]. Przykładowe hybrydowe kompozycje nanotermitowe wymieniono w Tabeli 1. Wykorzystanie w kompozycji dodatkowego materiału wysokoenergetycznego pozwala uzyskać odmienne właściwości w stosunku do kompozycji nanotermitowych. Przykładowo, dodatek RDX do kompozycji nanotermitowej Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> podnosi maksymalne ciśnienie w stosunku do nanotermitu Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> z około 0,25 MPa do 1,05 MPa w teście z wykorzystaniem bomby manometrycznej. Z kolei dodatek RDX do kompozycji Al/WO<sub>3</sub> podnosi prędkość propagacji procesu wysokoenergetycznego do około 3000 m/s w stosunku do 170 m/s dla czystego nanotermitu [5]. Dodatek CL-20 do kompozycji nanotermitowej Al/CuO powoduje bardziej gwałtowne spalanie, objawiające się znacznie jaśniejszym i większym płomieniem [12]. Kompozycja Al/CuO/TNT cechuje się podwyższonym ciepłem wybuchu, tj. 1213 J/g w stosunku do 520 J/g dla czystego TNT [13]. Połączenie nanotermitów z materiałami wybuchowymi skutkuje również zmianą ich wrażliwości na bodźce inicjujące. Na przykład kompozycja Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RDX [6] wykazuje większą wrażliwość na tarcie, ale jednocześnie mniejszą wrażliwość na uderzenie w stosunku do czystego RDX. Dodanie 10% NC do kompozycji Al/KClO<sub>4</sub>/GO powoduje zwiększenie energii potrzebnej do zapłonu impulsem laserowym o długości fali równej 532 nm z 1 mJ do 8,96 mJ [14]. Należy jednak pamiętać o złożonym mechanizmie zapłonu z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego i szeregu efektów jakie należy brać pod uwagę.

NSTEX znajdują zastosowanie w mikroukładach elektromechanicznych typu MEMS (z ang. Micro Electronic Mechanical Systems) [15] oraz w bazujących między innymi na nich mikrosilnikach raketowych [16]. Hybrydowe kompozycje nanotermitowe mogą również zastąpić inicjujące materiały wybuchowe takie jak TNRO w konstrukcji inicjatorów [17]. Znane są również inne konstrukcje układów inicjujących bazujących na tych kompozycjach [18].

Celem niniejszej pracy jest krótki przegląd literaturowy dotyczący metod badania ciągu kompozycji nanotermitowych oraz bazujących na nich kompozycji hybrydowych. Badanie ciągu dla powyższych materiałów jest istotne, ze względu na ich stosowanie w mikrosilnikach raketowych. Konstrukcje tego typu, są stosowane w układach napędowych i układach sterowania pocisków raketowych czy satelit. Dla tego typu konstrukcji, kluczowe jest zapewnienie powtarzalnych parametrów silnika oraz niezwykle krótkich czasów zapłonu, gdzie wymagania te mogą spełnić konstrukcje wykorzystujące nanotermity i NSTEX-y w roli materiału wysokoenergetycznego.

### **Siła ciągu**

Siła ciągu jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących materiały pędne. Jest to siła wynikająca bezpośrednio z III zasady mechaniki Newtona [19]. Ciąg kompozycji nanotermitowej typowo reagującej głównie w fazie ciekłej i stałej [20], można gwałtownie poprawić poprzez jej modernizację do kompozycji hybrydowej, dodając np. wtórny materiał wybuchowy taki jak azotan(V) celulozy [21], CL-20, RDX czy HMX [12, 22].

Tabela 2 Siły ciągu kompozycji nanotermitowych Al/KClO<sub>4</sub> o różnej zawartości tlenku grafenu (GO) zbadane metodą mikrosilnika raketowego z dyszą zbieżno-rozbieżną dla gęstości równej 20% TMD [23].

Kompozycja	Siła ciągu [N]	Czas spalania [ms]	Popęd siły [mN*s]	Impuls właściwy [s]
Al/ClO <sub>4</sub>	49,27 ± 3,17	0,11 ± 0,01	5,42 ± 0,18	92,18 ± 2,34
Al/ClO <sub>4</sub> /2,5%GO	42,56 ± 2,73	0,16 ± 0,03	6,81 ± 0,21	115,82 ± 1,86
Al/ClO <sub>4</sub> /5%GO	39,86 ± 1,68	0,22 ± 0,02	8,77 ± 0,15	149,15 ± 2,91
Al/ClO <sub>4</sub> /8,5%GO	15,07 ± 0,84	0,42 ± 0,6	6,33 ± 0,23	107,65 ± 1,94
Al/ClO <sub>4</sub> /10%GO	9,29 ± 0,68	0,65 ± 0,05	6,04 ± 0,13	102,72 ± 1,67

Do charakterystycznych parametrów, możliwych do określenia w trakcie typowego badania należą m.in.:

popęd siły - jest to wielkość opisująca działanie siły dla danego przedziału czasu. Oblicza się go korzystając z zależności:

$$I_t = \int_{t_1}^{t_2} F dx$$

F- siła [N]

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> - granice przedziału czasu [s].

Impuls właściwy - parametr ten definiujemy jako stosunek zmiany pędu (popędu siły) odniesiony do masy paliwa zużytej na ten cel [24]. Impuls właściwy możemy określić wzorem:

$$I_s = \frac{\int_{t_1}^{t_2} F dt}{\int_{t_1}^{t_2} \dot{m} dt}$$

F- siła ciągu [N]

$\dot{m}$  - całkowity przepływ masowy paliwa [kg/s]

g<sub>0</sub> przyspieszenie grawitacyjne ziemi [m/s<sup>2</sup>]

Możliwe jest również uwzględnienie stałej przyspieszenia ziemskiego, co pozwala na określenie wartości impulsu właściwego na poziomie ziemi i wyrażenie tego parametru w sekundach.

Dla pewnych warunków [24], powyższy wzór można uprościć do postaci:

$$I_s = \frac{F \Delta t}{\Delta m}$$

F - siła ciągu [N]

Δt - czas pracy silnika [s]

Δm - masa zużytego paliwa [kg]

Efektywna prędkość wylotowa - definiowana jest poniższym wzorem:

$$c = I_s g_o$$

c - efektywna prędkość wylotowa [m/s]

I<sub>s</sub> - impuls właściwy [s]

g<sub>0</sub> - przyspieszenie grawitacyjne [m/s<sup>2</sup>]

Jednostką impulsu właściwego w powyższym równaniu jest [s]. Powyższy wzór zakłada dwuwymiarowy model przepływu i dalej - jednolitą prędkość przepływu gazów w całym przekroju dyszy.

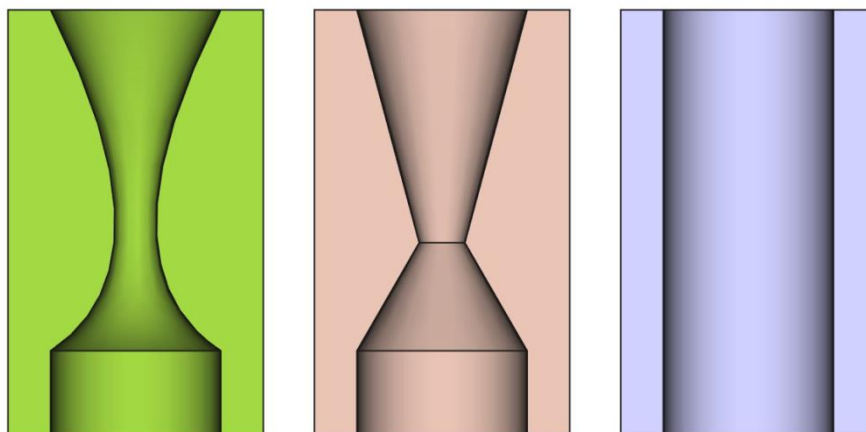
#### Metody badania siły ciągu

Metody w jaki można dokonać pomiaru siły ciągu generowanej w wyniku spalania materiału nanotermitowego podzielić można na dwie podstawowe kategorie, tj. na metody bezpośrednie i pośrednie. Ideą pomiarów bezpośrednich jest pomiar siły generowanej w trakcie spalania materiału w modelowym układzie i rejestrowanie jej w czasie rzeczywistym. Ich zaletą niewątpliwie jest fakt, że stanowiska pomiarowe nie muszą mieć skomplikowanej budowy, jednak rozdzielczość pomiarów jakie można na nich osiągnąć znajdują się w przedziale mN do N [25]. Przykładem tego typu konstrukcji jest większość hamowni rakietowych.

Pomiary pośrednie z kolei skupiają się na pomiarze innych parametrów, np. wychylenia wahadła w wyniku działania gazów opuszczających dyszę i określeniu z ich wykorzystaniem wartość generowanej siły ciągu. Układy pomiarowe tego typu są zazwyczaj bardziej złożone niż te wykorzystywane w metodach bezpośrednich, jednak umożliwiają rejestrację ciągu o sile rzędu pojedynczych  $\mu\text{N}$  [25].

Wśród metod należących do pomiarów bezpośrednich kluczową rolę pełni metoda wykorzystująca badawcze silniki rakietowe (często mikrosilniki). Polega ona na pomiarze siły generowanej w trakcie spalania w badanym silniku ściśle określonej ilości materiału. Silniki stosowane w tej metodzie wykonane mogą być z różnych materiałów, takich jak np. stal nierdzewna czy tworzywa sztuczne [14].

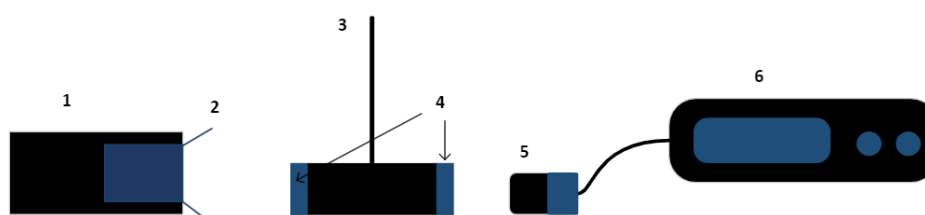
Modelowy silnik badawczy składa się z dwóch głównych elementów, tj. korpusu (typowo cylindrycznego) w którym znajduje się badany materiał wysokoenergetyczny oraz zamykającej go dyszy. Jej konstrukcja i geometria bezpośrednio wpływają na sposób, w jaki gazy opuszczają układ, co przekłada się na zwiększenie lub zmniejszenie generowanej siły ciągu [26]. Typowo, stosuje się dysze cylindryczne oraz dysze de Laval (Rysunek 1), pozwalające na gwałtowne zwiększenie efektywności silnika i paliwa. Konstrukcja dyszy de Laval cechuje się zbieżno-rozbieżnym przekrojem. Konstrukcja ta pozwala na wykorzystanie podstawowych praw hydrodynamiki i zwiększenie prędkości przepływu, a przez to zwiększenie siły ciągu.



Rysunek 1 Ideowe przekroje dyszy silników badawczych, kolejno dwie dysze de Laval o różnej konstrukcji oraz dysza cylindryczna.

Przykładowy układ pomiarowy składa się z czujnika siły (np. piezoelektrycznego) połączonego z silnikiem badawczym [27], który umożliwia pomiar siły generowanej przez pracujący silnik. Dane typowo rejestrowane są przez sprzężony z czujnikiem oscyloskop lub system DAQ. Często praktyką jest również równoczesny pomiar pracy silnika z wykorzystaniem kamery szybkoobrotowej lub fotodetektorów, co pozwala na rejestrację dodatkowych parametrów związanych z zachodzącym procesem spalania [16, 28].

Wśród pomiarów pośrednich na uwagę zasługuje bardzo prosty w budowie i użyciu układ, w którym mierzy się zmianę kąta odchylenia wahadła skrętnego wywołaną działaniem na nie gazów spalinowych. Układ taki składa się z mikrosilnika raketowego, wahadła skrętnego, czujnika Halla oraz aparatury rejestrującej. Schemat aparatury znajduje się na Rysunku 2.



Rysunek 2 Schemat układu pomiarowego, w którym mierzy się zmianę odchylenia kąta wahadła. Zbudowany jest z: 1 - komory spalania, 2 - dyszy, 3 - komory spalania, 4 - magnesów, 5 - czujnika Halla, 6 - oscyloskopu.

W omawianym układzie wylot dyszy skierowany jest na ramię wahadła skrętnego. Pęd gazów powoduje zmianę pozycji wahadła, co rejestrowane jest przez czujnik Halla. Na podstawie zmiany pozycji wahadła w funkcji czasu określany jest przebieg siły ciągu badanego układu [16, 29].

Do metod badania ciągu kompozycji nanotermitowych możemy zaliczyć również technikę w której silnik połączony jest bezpośrednio z ramieniem wahadła, a ruch wahadła może zachodzić zarówno wertykalnie jak i horyzontalnie.

Pierwszy wariant, konstrukcyjnie zbliżony do wahadła balistycznego polega na tym, że silnik jest połączony z zawieszonym wertykalnie ramieniem wahadła. Układ składa się z ramy, na której podwieszony jest wahadło z silnikiem i oprzyrządowania, na przykład optycznego czujnika położenia [30] lub miernika momentu obrotowego [31]. Praca badanego silnika powoduje odchylenie ramienia wahadła co pozwala na rejestrację siły ciągu badanego materiału, np. kompozycji nanotermitowej [32].

Drugi z opisanych wariantów pomiaru z wykorzystaniem wahadła wykorzystuje wahadło którego ruch jest możliwy tylko w płaszczyźnie horyzontalnej. Przykładowy układ tworzy wahadło umiejscowione na łożyskowanym wale, wyposażonym w czujnik momentu obrotowego. Silnik badawczy, umieszczony na końcu ramienia w trakcie pracy wprawia wahadło w ruch obrotowy. Możliwy jest zarówno pomiar z wykorzystaniem czujników momentu obrotowego, położenia jak i z wykorzystaniem metod optycznych [33].

Interesującą technikę pomiarową przedstawiono w pracy [34]. Autorzy przygotowali mikrorakiety techniką druku 3D-FDM, wykorzystując w roli materiału pędnego nanotermit  $AL/Cu(IO_3)_2$ . Pomiar polegał na zapalaniu złoża nanotermitu i rejestracji ruchu rakiety w płaszczyźnie horyzontalnej. Na podstawie analizy zdjęć

zarejestrowanych z wykorzystaniem kamery szybkoklatkowej autorzy określili parametry badanych kompozycji.

### **Wnioski i podsumowanie**

Podsumowując, nanothermity oraz bazujące na nich kompozycje hybrydowe wykazują grupę interesujących właściwości, takich jak wysoka reaktywność, złożony mechanizm reakcji czy szeroki zakres wrażliwości na bodźce inicjujące.

Cechy tych kompozycji, szczególnie szeroki zakres regulacji ich właściwości wysokoenergetycznych poprzez regulację składu pozwalają na dostosowanie kompozycji do danego zastosowania, np. jako materiału pędnego mikrosilnika. Charakterystyki pracy tego typu układów, mogą być zbadane szeregiem zróżnicowanych technik. Każda z opisanych technik wykazuje pewne zalety, jednakże kompleksowa charakteryzacja zjawisk wymaga bardzo często zastosowania kilku technik pomiarowych. Z tego względu, oprócz najprostszyc pomiarów bezpośrednich występują techniki złożone oraz będące wypadkową kilku technik prostych.

### **WYKAZ SKRÓTÓW**

CL-20 - 2,4,6,8,10,12-heksanitro-2,4,6,8,10,12-heksaazaizowurcytan

GO - tlenek grafenu

HMX - 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraazacyklooktan; oktogen

MEMS - mikroukład elektromechaniczny (ang. micro eletromechanical system)

NC - azotan(V) celulozy

NSTEX - mieszanina nanometrycznych termitów i materiałów wybuchowych

RDX - 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazacykloheksan; heksogen

TMD - teoretyczna gęstość maksymalna; [g/cm<sup>3</sup>]

TNRO - 2,4,6-trinitrobenzeno-1,3-diolan ołowiu(II)

TNT - 2,4,6-trinitrotoluen; trotyl

### **Bibliografia**

1 Sherif Elbasuney, M Gaber Zaky, Mostafa Radwan, and Sherif F Mostafa. Stabilized super-thermite colloids: a new generation of advanced highly energetic materials. *Applied Surface Science*, 419:328–336, 2017.

2 Ernst-Christian Koch and Sebastian Knapp. *Thermite—versatile materials*, 2019.

3 Shruti Kabra, Swaroop Gharde, Prakash M Gore, Sunil Jain, Vrushali H Khire, and Balasubramanian Kandasubramanian. Recent trends in nanothermites: Fabrication, characteristics and applications. *Nano Express*, 1(3):032001, 2020.

4 Marc Comet, Cédric Martin, Fabien Schnell, and Denis Spitzer. Nanothermites: A short review. factsheet for experimenters, present and future challenges. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 44(1):18–36, 2019.

5 Marc Comet, Cédric Martin, Martin Klaumünzer, Fabien Schnell, and Denis Spitzer. Energetic nanocomposites for detonation initiation in high explosives without primary explosives. *Applied Physics Letters*, 107(24), 2015.

6 Qingping Luo, Xinpeng Long, Fude Nie, Guixiang Liu, and Mingshui Zhu. The safety properties of a potential kind of novel green primary explosive: Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RDX nanocomposite. *Materials*, 11(10):1930, 2018.

7 Clay S Staley, Kristofer E Raymond, Rajagopalan Thiruvengadathan, Steven J Apperson, Keshab Gangopadhyay, Sean M Swaszek, Robert J Taylor, and Shubhra Gangopadhyay. Fast-impulse nanothermite solid-propellant miniaturized thrusters. *Journal of Propulsion and Power*, 31(1):483–483, 2015.



- 8 Ying Zhu, Xiang Zhou, Jianbing Xu, Xiaoxia Ma, Yinghua Ye, Guangcheng Yang, and Kaili Zhang. In situ preparation of explosive embedded CuO/Al/Cl<sub>2</sub>O nanoenergetic composite with enhanced reactivity. *Chemical Engineering Journal*, 354:885–895, 2018.
- 9 Mateusz Polis, Agnieszka Stolarczyk, Karolina Glosz, and Tomasz Jarosz. Quo vadis, nanothermite? a review of recent progress. *Materials*, 15(9):3215, 2022.
- 10 Haiyang Wang, Guoqiang Jian, Garth C Egan, and Michael R Zachariah. Assembly and reactive properties of Al/CuO based nanothermite microparticles. *Combustion and Flame*, 161(8):2203–2208, 2014.
- 11 Mateusz Polis. Mixtures of nanometric thermites and secondary explosives versus primary explosives. *Materiały Wysokoenergetyczne*, 14, 2022.
- 12 Lihong Chen, Chengbo Ru, Hongguo Zhang, Yanchun Zhang, Zhiwei Chi, Haoyuan Wang, and Gang Li. Assembling hybrid energetic materials with controllable interfacial microstructures by electrospray. *ACS Omega*, 6(26):16816–16825, 2021.
- 13 M Gaber Zaky, Ahmed M Abdalla, Rakesh P Sahu, Ishwar K Puri, Mostafa Radwan, and Sherif Elbasuney. Nanothermite colloids: A new prospective for enhanced performance. *Defence Technology*, 15(3):319–325, 2019.
- 14 Ahmed Fahd, Alex Baranovsky, Charles Dubois, Jamal Chaouki, and John Z Wen. Superior performance of quaternary nc/go/al/kclo<sub>4</sub> nanothermite for high speed impulse small-scale propulsion applications. *Combustion and Flame*, 232:111527, 2021.
- 15 Carole Rossi, Kaili Zhang, Daniel Esteve, Pierre Alphonse, Philippe Tailhades, and Constantin Vahlas. Nanoenergetic materials for mems: a review. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 16(4):919–931, 2007.
- 16 Jianbing Xu, Jiangtao Zhang, Fuwei Li, Shiyi Liu, Yinghua Ye, and Ruiqi Shen. A review on solid propellant micro-thruster array based on mems technology. *FirePhysChem*, 2023.
- 17 DB Ni, PY Dang, GQ Yu, and EY Chu. An initiator integrated the Al/MoO<sub>3</sub> multilayer nanothermite and bridge-wire electrode plug. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1507, page 042011. IOP Publishing, 2020.
- 18 Johannes M Grobler, Walter W Focke, Shepherd M Tichapondwa, and Yolandi C Montgomery. Pyrotechnic alternatives to primary explosive-based initiators. *Nano and Micro-Scale Energetic Materials: Propellants and Explosives*, 2:499–540, 2023.
- 19 Forman Arthur Williams, Marcel Barrère, NC Huang, et al. Fundamental aspects of solid propellant rockets, volume 116. Technivision services Slough, England, 1969.
- 20 KT Sullivan, NW Piekielek, C Wu, S Chowdhury, ST Kelly, TC Hufnagel, K Fezzaa, and MR Zachariah. Reactive sintering: An important component in the combustion of nanocomposite thermites. *Combustion and Flame*, 159(1):2–15, 2012.
- 21 Clay S Staley, Kristofer E Raymond, Rajagopalan Thiruvengadathan, Jackson J Herbst, Sean M Swaszek, Robert J Taylor, Keshab Gangopadhyay, and Shubhra Gangopadhyay. Effect of nitrocellulose gasifying binder on thrust performance and high-g launch tolerance of miniaturized nanothermite thrusters. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 39(3):374–382, 2014.
- 22 Chengbo Ru, Fei Wang, Jianbing Xu, Ji Dai, Yun Shen, Yinghua Ye, Peng Zhu, and Ruiqi Shen. Superior performance of a mems-based solid propellant microthruster (spm) array with nanothermites. *Microsystem Technologies*, 23:3161–3174, 2017.

23 Ahmed Fahd, Alex Baranovsky, Charles Dubois, Jamal Chaouki, Sherif Elbasuney, and Shady Shokry. Thrust characteristics of nano-carbon/al/oxygenated salt nanothermites for micro-energetic applications. *Defence Technology*, 2023.

24 George P Sutton and Oscar Biblarz. *Rocket propulsion elements*. John Wiley & Sons, 2016.

25 MH Liu, JW Sun, YL Chen, et al. The thrust measurement for micro thrusters. *Mechanics in Engineering*, 25(3):9–14, 2003.

26 Steven J Apperson. *Characterization and MEMS applications of nanothermite materials*. University of Missouri-Columbia, 2010.

27 Raghav Ramachandran, Vasant S Vuppuluri, Trevor J Fleck, Jeffrey F Rhoads, Ibrahim E Gunduz, and Steven F Son. Influence of stoichiometry on the thrust and heat deposition of on-chip nanothermites. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 43(3):258–266, 2018.

28 Trevor J Fleck, Raghav Ramachandran, Allison K Murray, Whitney A Novotny, George T-C Chiu, I Emre Gunduz, Steven F Son, and Jeffrey F Rhoads. Controlled substrate destruction using nanothermite. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 42(6):579–584, 2017.

29 Long-Fei Ma, Jian-Wu He, Sen-Wen Xue, Li Duan, and Qi Kang. A microthrust measurement system with two-wire torsion balance; []. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, 39(4):948 – 954, 2018.

30 C Montag, G Herdrich, and T Schönherr. From development to measurements: a high sensitive vertical thrust balance for pulsed plasma thrusters. In *5th Sp. Propuls. Conf*, pages 1–11, 2016.

31 Manuel Gamero-Castaño, Vlad Hruby, and Manuel Martínez-Sánchez. A torsional balance that resolves sub-micro-newton forces. In *27th international electric propulsion conference*, Pasadena, CA, pages 15–19, 2001.

32 Anuscheh Nawaz, Monika Auweter-Kurtz, Georg Herdrich, and H Kurtz. Investigation and optimization of an instationary mpd thruster at irs. In *International Electric Propulsion Conference*, Princeton, USA, 2005.

33 T Frieler and R Groll. A torsional sub-milli-newton thrust balance based on a spring leaf strain gauge sensor. *Review of Scientific Instruments*, 89(7), 2018.

34 Mkhitar Hobosyan, Karen S Martirosyan, and Sergey Edward Lyshevski. Design and evaluations of 3d-printed microthrusters with nanothermite propellants. In *2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, pages 478–482. IEEE, 2018.

**THE RELATIONSHIP OF THE BURNING RATE OF GUN POWDER  
GRANULATED WITH THE VARNISH METHOD WITH THE CONTENT OF  
A PHLEGMATIZER IN IT**

**V.I. Sereda, V.K. Lukashov, T.M. Shevtsova**

Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, Ukraine

v.sereda@ishostka.sumdu.edu.ua

It is known that the effectiveness of barrel weapons largely depends on the progressiveness of the combustion of powder charges [1]. It is usually achieved due to the shape (structure) of powder elements (tube, seven-channel grain, etc.). However, for fine-grained (thin-layer) powders used in small arms and small-caliber artillery, powder elements for technological reasons cannot have a progressive design. Such gun powders also include gun powder granulated with the lacquer method, which is characterized by a completely degressive spherical shape (spherical gun powder) [2]. To ensure progressive combustion, thin-layer powders are subjected to phlegmatization, i.e. saturation of the surface layers of powder elements with substances that reduce the burning rate. This allows you to change the burning rate according to the thickness of the burning layer, and accordingly set the required nature of the gas flow during the shot.

Despite the great value of phlegmatized gunpowder for small arms and small-caliber artillery, relatively few works have been devoted to the study of their combustion process.

In work [1], general ideas about the combustion of phlegmatized gunpowder, based on the analysis of the curves of changes in the intensity of gas formation, are presented. Information on the influence of phlegmatization on the combustion of spherical gunpowder for specific conditions (7.62 mm rifle cartridge, gunpowder of the SEF-42 brand, phlegmatizer - centralite №1) is given in work [3]. The experimental studies presented by the authors showed that the intensity of the pressure increase of powder gases during a shot is determined with the saturation of the phlegmatized zone of the powder elements. In work [4] it is emphasized that the peculiarities of the combustion of phlegmatized gunpowder do not allow the direct use of classical methods of internal ballistics to predict the optimal characteristics of gunpowder. Therefore, to calculate the charge from phlegmatized gunpowder, the authors suggest considering it as a combined charge from two types of gunpowder with different burning rates. At the same time, they accept the assumption of a constant concentration of the phlegmatizer in the phlegmatized zone, which contradicts the physical and chemical laws of the distribution of low molecular weight substances in polymer materials [5]. In contrast to the considered approach, a model was proposed in [6], which takes into account the distribution of the phlegmatizer according to the thickness of the layer of burning spherical powder elements. This model made it possible to relate the main characteristics of gunpowder combustion (intensity of gas formation, pressure pulse and pressure of gunpowder gases) with the change in the burning rate according to the radius of the gunpowder elements, assuming its inverse proportionality with the distribution of the phlegmatizer concentration. This assumption is used in all known works that consider the phlegmatization of gunpowder, but, as a rule, it requires experimental verification.

Due to the fact that the burning rate of phlegmatized gunpowder varies with the radius of the powder granules in accordance with the distribution of the phlegmatizer in them, to calculate the characteristics of the gunpowder combustion, it is necessary to

have at your disposal the relationship between the burning rate and the concentration of the phlegmatizer. In this work, such a relationship was established on the basis of manometric tests of gunpowder samples.

To establish the relationship between the speed of burning of gunpowder and the content of the phlegmatizer in it, samples of gunpowder containing a given amount of camphor or dibutyl phthalate were made inside the granules. For this, during granulation, nitrate cellulose varnish was prepared, into which one of the specified substances was introduced, the varnish was thoroughly mixed and granulated by the varnish method. This preparation of samples allows us to assume that the introduced substance is evenly distributed over the volume of the granules. The obtained samples were tested in a manometric installation. As an example, the results of tests of gunpowder with different contents of dibutyl phthalate inside the granules are presented in Figure 1 in the form of curves  $\Gamma=f(\psi)$  and  $I=f(\psi)$ , where  $\Gamma$  is the intensity of gas formation,  $I$  is the pressure pulse of powder gases,  $\psi$  is the relative volume container of the burnt part of the powder granule.

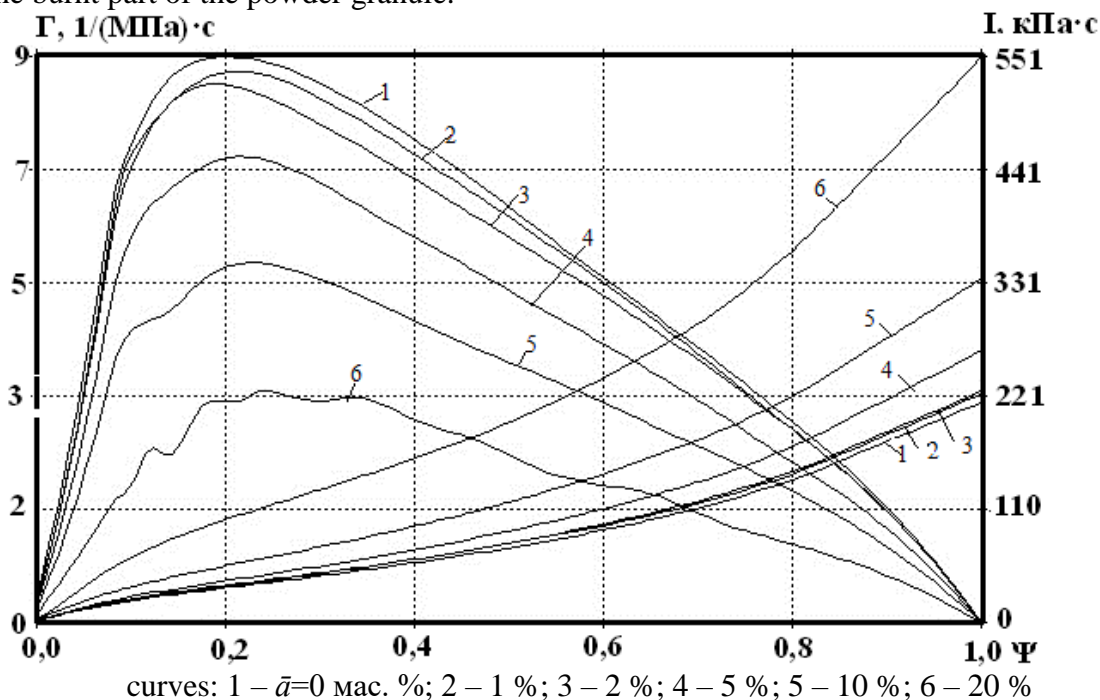


Figure 1 Experimental dependences  $\Gamma=f(\psi)$  and  $I=f(\psi)$  obtained for powder granules containing dibutyl phthalate inside

The analysis of the presented results shows that the introduction of a phlegmatizer into the gun powder, even under the condition of its uniform distribution in the granules, leads to a decrease in the maximum value of the intensity of gas formation with some stretching and a shift to the right of the curves  $\Gamma=f(\psi)$ , as well as to an increase in the momentum of the powder gases, i.e. leads to the effect of phlegmatization.

On the basis of manometric tests, the burning rates of powder granules containing different amounts of phlegmatizer were determined, and a graph of the dependence of the ratio of the burning rate coefficients  $u_1/u_{1n}$  on the volume-mass concentration of the phlegmatizer in the granules was constructed (Figure 2), where  $u_1$ ,  $u_{1n}$  are

coefficients burning rate of gunpowder, respectively, containing a phlegmatizer, and without a phlegmatizer.

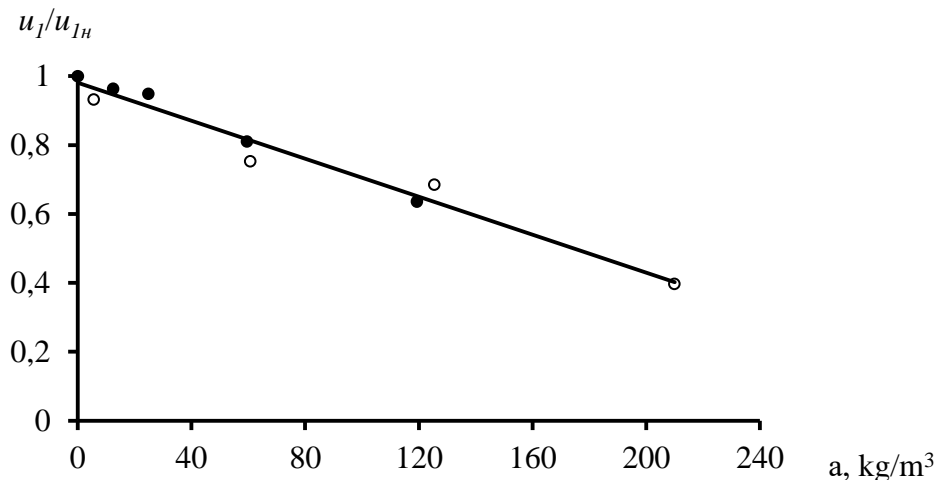


Figure 2 Generalized dependence of the burning rate of powder granules on the concentration of phlegmatizers introduced into the granules

These data show that with an increase in the content of the phlegmatizer in the granules, the burning rate of gunpowder decreases, and the resulting dependence is linear. Such processing of experimental data made it possible to generalize them for such phlegmatizers as camphor and dibutyl phthalate, which have different chemical nature. This follows from the figure, in which the experimental points for both phlegmatizers fit quite well on one straight line, which is described by the equation

$$u_1 = u_{1n}(1 - 0,00306a), \quad (1)$$

where  $a$  is the volume and mass concentration of the phlegmatizer in the powder.

This equation makes it possible to calculate its burning rate with a known concentration of the phlegmatizer in the gunpowder.

If we assume that the linear nature of the dependence of the burning rate of gunpowder on the concentration of the phlegmatizer in it is preserved during extrapolation over the entire range of the change in the burning rate coefficient, then there is obviously a value of the concentration of the phlegmatizer in the granules at which  $u_1=0$ , i.e., the gunpowder does not burn.

This critical concentration value, as follows from equation (1), is equal to  $a_k=326,9$  kg/m<sup>3</sup> (averaged for both phlegmatizers). A test in a manometric bomb of a sample of gunpowder granulated with the lacquer method with a phlegmatizer content above this value of  $a=459.6$  kg/m<sup>3</sup> (mass fraction 40%) showed that such a sample does not ignite under the condition of the standard weight of the igniter (DRP) embedded in the bomb. This experimentally confirms the existence of a critical concentration value of the phlegmatizer.

### Conclusions

On the basis of experimental studies, it was established that the relationship between the rate of gunpowder burning and the concentration of the phlegmatizer in it is linear, and the value of the critical concentration of the phlegmatizer in the powder, at which the gunpowder does not burn on its own, was also determined. An empirical

equation was obtained that allows you to calculate the burning rate coefficient based on the given concentration of the phlegmatizer in the powder.

### References

- 1 Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет / Серебряков М.Е. – М.: Оборонгиз, 1962. – 703 с.
- 2 Александровская Г.С. Химия и технология сферических порохов / Г.С. Александровская, А.М. Фахрутдинов. – М.: ЦНИИНТИ, 1981. – 152 с.
- 3 Исследование влияния флегматизации сферического пороха на процесс горения в стрелковых системах / А.А. Староверов, Н.Н. Беляев, Т.А. Енейкина, С.Ю. Дулбасов // Вопросы оборонной техники. – 1991. – сер. 18, вып. 11 (355). – С. 20-25.
- 4 Пивкин Н.М. Метод расчета баллистических характеристик заряда из порохов Сф-033фл к стрелковому оружию / Н.М. Пивкин, А.А. Кохно, А.Г. Солодовников, В.Б. Захаров // Вопросы специального машиностроения. – 1980. – серия II, вып. 20(144). – С. 42-47.
- 5 Малкин А.Я. Диффузия и вязкость полимеров. Методы исследования / А.Я. Малкин, А.Е. Чалых. – М.: Химия, 1979. – 301 с.
- 6 Лукашев В.К. Анализ пиростатических характеристик сферического пороха / В.К. Лукашев // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2006. – № 1 (18). – С. 17-23.
- 7 Лукашов В.К. Ефіри целюлози. Гранулювання лаковим способом / В.К. Лукашов, Є.М. Никонов, Т.П. Мороз, Т.М. Старикова, В.В. Ключкин / Хімічна промисловість України. – 2009. – №2 (91). – С.20–24.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ЛАЙНЕРА НА МЕХАНІЧНУ ДІЮ КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДУ

Ю.І. Войтенко<sup>1</sup>, С.В.Гошовський<sup>2</sup>, Р.В. Закусило<sup>3</sup>, В.П. Бугаєць<sup>4</sup>,  
Ю.М. Сидоренко<sup>5</sup>, А.М. Артем'єв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут гідромеханіки НАН України;

<sup>2</sup>Науковий гідрофізичний центр НАН України;

<sup>3</sup>Шосткінський інститут Сумського державного університету;

<sup>4</sup>Науково-інженерний центр «Матеріалообробка вибухом» ІЕЗ ім. Є.О Патона  
НАН України;

<sup>5</sup>Національний технічний університет України ім. Ігоря Сікорського «Київський  
політехнічний інститут»,  
voytenkou@gmail.com

Для проникнення у міцні перепони використовуються різні методи. Традиційним є застосування кумулятивних зарядів з конічними лайнерами. Для експериментального дослідження впливу нетрадиційних форм лайнерів була використана модель заряду калібром 30 мм ЗКМ-54-У, яка використовувалась в корпусних кумулятивних перфораторах (рис. 1). Діаметр описаного кола – 54 мм. В експериментальних зарядах досліджувались дві форми лайнерів: конічна та еліптична (рис. 2). Конічні лайнери виготовлялися методом одностороннього холодного пресування із порошку марки ПМС-Н. Еліптичні – із монолітної міді на токарному станку з числовим програмним управлінням. В якості вибухової речовини використовувалась суміш ТГ-30/70 (30 % тротилу і 70 % гексогену). Швидкість детонації -  $\approx 7800$  м/с. Заряд виготовлявся шляхом наливання гарячої суміші (суспензії) ТГ 30/70, доведеної до температури плавлення тротилу ( $>80^\circ\text{C}$ ) в отвір в корпусі із сторони вершини лайнера. Детонація збуджувалась електродетонатором через подовжений заряд (ПЗ) флегматизованого гексогену в алюмінієвій оболонці діаметром 10 мм (рис. 3). Положення ПЗ на дослідному заряді фіксувалося за допомогою корпусу заряду більшого калібру ЗП2-67. Загальний вид експериментальної установки на мішені показано на рис. 3. Необхідна відстань від заряду до мішені забезпечувалась висотою пластмасового циліндра, на який встановлювався заряд і контактні датчики (під зарядом і під циліндром). Мішень із маловуглецевої сталі Ст. 3 виготовлялась у вигляді набору пластин товщиною 10 мм (рис. 3).

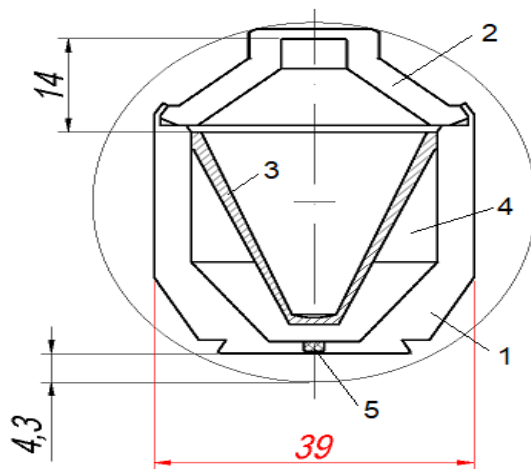


Рисунок 1 Конструкція заряду ЗКМ-54-У; 1 – корпус; 2 - кришка; 3 – лайнер; 4 – шашка ВР; 5 – проміжний детонатор

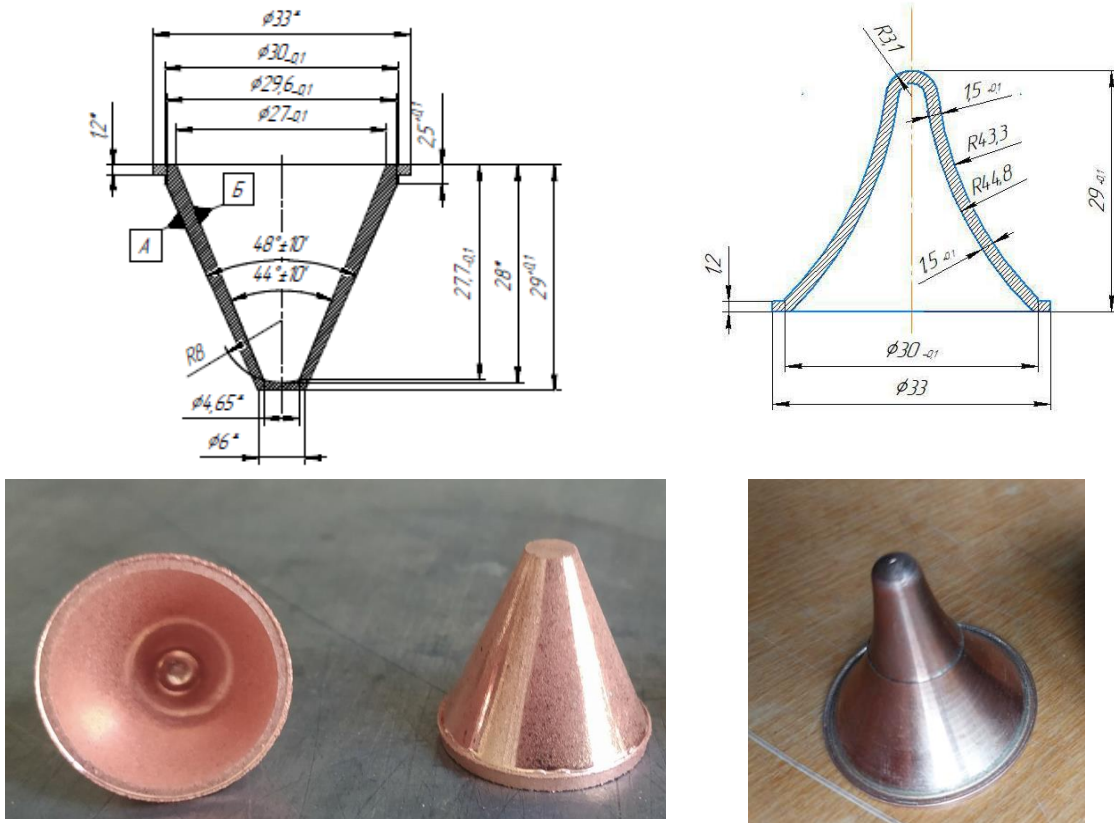


Рисунок 2 Конструкції конічного і еліптичного лайнерів



Рисунок 3 Загальний вигляд експериментальної установки до детонації заряду (зліва) та мішень після пострілу (справа); 1- мішень; 2 – кумулятивний заряд; 3 – подовжений заряд в алюмінієвій оболонці; 4 – електродетонатор; 5 - картонний циліндр

Швидкість струменя в експериментах вимірювали методом контактних датчиків [1]. Порівняння результатів розрахунку для еліптичного лайнера (рис. 4) з результатами експериментальних вимірювань (табл.), показали їх відносну близькість. Відмінності швидкостей вздовж КС для еліптичного і конічних лайнерів прогресивної товщини з кутами при вершині  $42^\circ/43^\circ$  і  $55^\circ/60^\circ$  (рис. 4) [2] свідчать на користь еліптичного лайнера.

Таблиця 1 Результати випробувань зарядів ЗКМ-54-У з конічними та еліптичними лайнерами

№ п/п	Матеріал лайнера	$L, мм$	$d_1, мм$	$V_z, м/с$	$F, мм$	Форма лайнера
1	Пресовка із мідного порошку	60-65	10,7	6170*	21	Конус $2\alpha=44^\circ/48^\circ$
2	-"-	60-68	10,6		21	-"-
3	-"-	50-60	11,0		20	-"-
4	-"-	60-65	10,8		20	-"-
5	-"-	75-80	10,5		40	-"-
6	-"-	75-80	10,0		40	-"-
7	Монолітна мідь	80**	9,0	6029	40	Еліптична
8	-"-	60-61**	8,0	6250	40	-"-
9	-"-	65-70**	8,5	6349	40	-"-
10	-"-	100+	6,5x8		40	-"-
11	-"-	100+	7,5		40	-"-
12	-"-	65-70**	8,0		40	-"-

\* Значення швидкості КС отримано раніше для флегматизованого гексогену

\*\*Кінчик отвору заповнений матеріалом КС

Позначення Z і R на рис. 4 означають схему детонації заряду: із точки на осі симетрії (Z) і по кільцевому контуру (лінзова схема збудження детонації - R). Для еліптичного лайнера розрахунок також проводився для лінзової схеми збудження детонації. Значний розкид значень по глибині пробиття КС від еліптичних лайнерів ми пов'язуємо з не щільним контактом ініціюючого заряду і шашки ВР кумулятивного заряду в окремих експериментах (рис. 3). З іншої сторони розкид по глибині розкриття для еліптичного лайнера спостерігали також автори роботи [3] з іншою схемою ініціювання детонації, що може бути зв'язано із технологічними похибками при виготовленні еліптичних лайнерів в наших експериментах. Перспективність такої форми лайнера пояснюється більшою швидкістю руху головної частини КС, ніж КС при схлопуванні конічних лайнерів з кутами при вершині  $43^\circ-44^\circ$  (рис. 4, табл.).

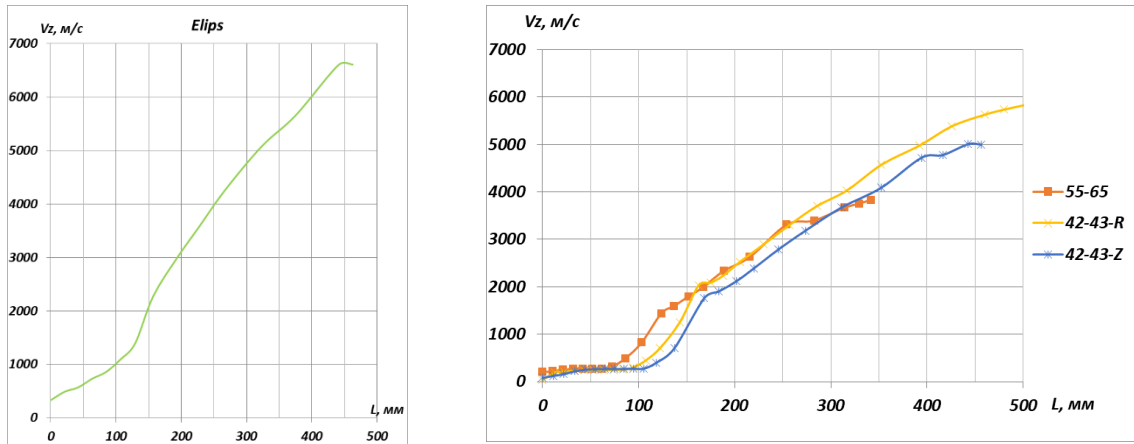


Рисунок 4 Розподіл швидкості матеріалу КС по маркерам для кумулятивних облицювань 55-60 Z, 42-43 Z, 42-43 R, для моментів часу відповідно 98 мкс, 91 мкс, 91 мкс (справа) і еліптичного лайнера товщиною 2 мм для моменту часу 81 мкс (зліва)

Висновок. Еліптична форма лайнера кумулятивного заряду є перспективною для підвищення пробивної здатності кумулятивних струменів і після оптимізації геометричних параметрів може бути використана у виробках різного призначення.

#### Список літературних джерел

- 1 Войтенко Ю.И., Гошовский С.В., Драчук А.Г., Бугаец В.П. Механическое действие кумулятивных зарядов с пористыми облицовками // Физика горения и взрыва. – 2013. - № 1. - С. 125 – 131
- 2 Voitenko Y.I., Sydorenko Y. M., Goshovskii S.V., Zakusylo, R.V., Zaytchenko S. V., **Войко В. В.** On the influence of the liner shape and charge detonation scheme on the kinetic characteristics of shaped charge jets and explosively formed penetrator // Cent. Eur. J. Energ. Mater. – 2023. - 20(3). – P. 00-00.
- 3 Drachuk A.G., Goshovskii S.V., Voitenko Y.I. The Calculation Parameters of Shaped Charges with Porous Liners. (in Ukrainian) Ukrainian State Geological Exploration Institute, Kiev, 2007, p. 42
- 4 Habera Ł., Hebda K., Koślik P., Sałaciński T. The Shooting Tests of Target Perforating Ability Performed on Cast Concrete Cylinders // Cent. Eur. J. Energ. Mater. – 2020. - 17(4). – P. 584- 599.

## PROPERTIES OF SOLID ROCKET PROPELLANTS DIFFERING IN UTILIZED BINDER

Kinga Łysień<sup>1</sup>, Sylwia Waśkiewicz<sup>1</sup>, Agnieszka Stolarczyk<sup>1</sup>, Anna Mielańczyk<sup>1</sup>,  
Roman Zakusyło<sup>2</sup>, Tomasz Jarosz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Chemistry and Technology of Polymers,  
Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

<sup>2</sup>Shostka Institute, Sumy State University, Shostka, Ukraine  
kinga.lysien@polsl.pl

### Introduction

The main components of solid propellants is the oxidising agent and binder, the latter of which also fulfils the role of fuel. These components are typically supplemented by auxiliary components, such as metallic fuels, combustion modifiers, plasticisers, and other additives [1].

Many solid rocket fuels described in literature utilise hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB) as a binder [1], due to the fact that HTPB exhibits favourable properties, such as good adhesive properties, high heat of combustion and high stability [2,3]. On the other hand, the use of HTPB requires it to be cross-linked. This process is usually carried out using highly toxic isocyanates and further decreases the already strongly negative oxygen balance of HTPB [4]. This contributes to the fact that HTPB-based solid propellants must contain a large amount of oxidising agent, which translates to the need to achieve high loading of the HTPB matrix with solid particles [2,3]. Unfortunately, the use of large amounts of the oxidising agent limits the use of auxiliary components quite significantly. This further translates into lower performance of this group of solid propellants.

Consequently, an emergent trend in the development of solid rocket propellants is to utilise polymers containing explosophore groups as binders. Such explosophore groups include nitrate (ONO<sub>2</sub>), nitro (NO<sub>2</sub>) and azido (N<sub>3</sub>) groups [5].

The aim of the work was to study the effect of the choice of binder used (hydroxyl-terminated polybutadiene as a non-energetic binder and glycidyl azide polymer as an energetic binder) on the properties of rocket propellants. In addition, the prepared rocket propellants samples differed in the utilised oxidising agent - it was, respectively, ammonium perchlorate belonging to the "traditional" oxidants and phase-stabilised ammonium nitrate - its "green" alternative.

### Materials and methods

The materials used in this project are shown in Table 1.

Table 1 Materials used in this project.

Ingredients	% wt.			
	SRP-1	SRP-2	SRP-3	SRP-4
GAP	25	-	25	-
HTPB	-	25	-	25
AP <sup>a</sup>	52	52	-	-
PSAN <sup>b</sup>	-	-	52	52
Mg	18	18	18	18
NQ <sup>c</sup>	2	2	2	2
MDI <sup>d</sup>	3	3	3	3



where:

- a – ammonium perchlorate
- b – phase-stabilised ammonium nitrate [6]
- c – nitroguanidine
- d – methylene diphenyl diisocyanate

Glycidyl azide polymer (GAP) and nitroguanidine (NQ) have been synthesised according to the literature. GAP was synthesized according to the literature [7]. The first step was the polymerisation of epichlorohydrin using ethylene glycol, boron trifluoride-diethyl ether adduct (BF<sub>3</sub>-Et<sub>2</sub>O) as the catalyst and dichloromethane as the solvent. The next step was the substitution of chloride groups with azide groups in a reaction with sodium azide.

Nitroguanidine was prepared according to [8]. Nitroguanidine was obtained by reacting concentrated sulfuric acid with guanidine nitrate.

As part of the research task, the effect of the substances used on the ignition temperature of the tested rocket propellants was measured. The sensitivity to mechanical stimuli of the prepared formulations, as well as linear combustion velocity was determined. Using differential scanning calorimetry (DSC), the heat of combustion of rocket propellants was investigated and the thermal decomposition characteristics of the binders used were determined. The activation energy values were also determined from the DSC measurements, which were calculated using the Kissinger method.

### Results and Discussion

#### a) Friction and impact sensitivity

Regardless of the oxidising agent used, propellant formulations with GAP as a binder showed greater friction sensitivity than those containing HTPB (Table 2). It can be related to more rigid polymer chain.

Table 2 Friction and impact insensitivity of the produced solid rocket propellant samples.

Sample	Friction sensitivity [N]	Impact sensitivity [J]
SRP-1 [GAP+AP]	84	5
SRP-2 [HTPB+AP]	120	2
SRP-3 [GAP+PSAN]	112	7.5
SRP-1 [HTPB+PSAN]	160	50
SRP-1 [GAP+AP]	84	5

Higher sensitivity to impact of HTPB-based samples can be related to higher hardness of GAP-based samples – released mechanical energy is consumed for fracturing the cured polymer matrix.

#### b) Determination of ignition/explosion temperature

Results from determination of ignition/explosive temperature are listed in Table 3.

Table 3 Results of determination the ignition/explosive temperature.

Sample	SRP-1 [GAP/AP]	SRP-2 [HTPB/AP]	SRP-3 [GAP/PSAN]	SRP-4 [HTPB/PSAN]
Ignition/explosive temperature [°C]	320	336	229	259

Despite the oxidizer used, GAP-based samples have lower ignition temperature. It can be related to higher sensitivity to flame of this samples.

c) Determination of linear velocity of combustion

Table 4 Determination of linear velocity of burning

Sample	SRP-1 [GAP/AP]	SRP-2 [HTPB/AP]	SRP-3 [GAP/PSAN]	SRP-4 [HTPB/PSAN]
Linear combustion velocity [mm/s]	6.3	4.0	3.5	2.2

Interestingly, higher linear velocity of combustion value is observed for formulations containing GAP – regardless the oxidizer used (Table 4). Higher linear velocity of samples containing GAP as a binder can be linked to presence of additional high-energy azide groups in the polymer.

d) Study of the kinetics of energetic transformations

DSC studies were performed using different heating rates: K/min, 5 K/min, 7 K/min, 10 K/min, 12 K/min, and 15 K/min to determine the activation energy. In the case of SRP-4 (HTPB/PSAN), the results obtained could not be considered reliable. Despite taking additional measurements, the thermograms did not show repeatability. Consequently, the activation energy was not determined for this formulation.

The results of the  $E_a$  investigation are presented in Table 5.

Table 5 Results of determination of activation energy.

Sample	$E_A$ [kJ/mol]
SRP-1 [GAP/AP]	148.5
SRP-2 [HTPB/AP]	189.7
SRP-3 [GAP/PSAN]	129.2

The sample, containing GAP and PSAN has the lowest activation energy, while the sample containing HTPB and AP had the highest activation energy. From the point of view of rocket propellants, it is more favourable to obtain lower activation energies, as this indicates that high-energy decomposition reactions occur more easily.

### Summary

The aim of this project was to identify the effect of the binder used on the properties of solid rocket fuels. As expected, the tests performed showed a strong influence of the utilised binder, on the parameters that characterize SRP formulations. It is worth noting that the use of an energetic binder (GAP) together with a "green" oxidant leads to the lowest activation energy. When considering the requirements for solid rocket fuels, it turns out that it is more advantageous to use an energetic binder. The presence of additional azide groups (explosive groups) in the polymer backbone contributes to improved properties.

### Referenses

- 1 Chaturvedi, S.; Dave, P.N. Solid propellants: AP/HTPB composite propellants. *Arab. J. Chem.* **2019**, 12, 2061–2068.
- 2 Sutton, G.P.; Biblarz, O. *Rocket Propulsion Elements*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016.
- 3 Guery, J.F.; Chang, I.S.; Shimada, T.; Glick, M.; Boury, D.; Robert, E.; Napior, J.; Wardle, R.; Pérut, C.; Calabro, M.; et al. Solid propulsion for space applications: An updated roadmap. *Acta Astronaut.* 2010, 66, 201–219.
- 4 Guery, J.F.; Chang, I.S.; Shimada, T.; Glick, M.; Boury, D.; Robert, E.; Napior, J.; Wardle, R.; Pérut, C.; Calabro, M.; et al. Solid propulsion for space applications: An updated roadmap. *Acta Astronaut.* **2010**, 66, 201–219.
- 5 Stacer, R.G.; Husband, D.M. Molecular structure of the ideal solid propellant binder. *Propellants Explos. Pyrotech.* 1991, 16, 167–176.
- 6 Hamilton, B.K. Phase-Stabilized Ammonium Nitrate. US Patent 6,872,265, 29 March 2005.
- 7 Vandenberg, E.J. Polyethers Containing Azidomethyl Side Chains. US Patent 3,645,917, 29 February 1972.
- 8 Cetner, W. *Preparatyka Materiałów Wybuchowych i Produktów Pośrednich*; Military University of Technology: Warszawa, Poland, 1986.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЯДУ НА ОСНОВІ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ ТА НІТРОМЕТАНУ

Роман Закусило<sup>1</sup>, Дарина Закусило<sup>1</sup>, Азер Шукуров<sup>2</sup>, Томаш Салачинський<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, Україна

<sup>2</sup>Міністерство природних ресурсів Республіки Азербайджан, Баку, Азербайджан

<sup>3</sup>Інституту промислової органічної хімії, Варшава, Польща

**Введення.** Розробка та використання нових, низькошвидкісних вибухових складів, та заміна ними існуючих тротиломіських вибухових композицій являється актуальною науково-практичною задачею. Такі склади, наприклад, можуть використовуватися як проміжний детонатор-бойовик (ПД) для ініціювання свердловинних або шпурових зарядів при відбійці гірничих порід. [1-3]

Найрозповсюдженіші проміжні детонатори на основі тротилу, наприклад Т-400Г. Їх працездатність дуже залежить від щільності, що досягається умовами пресування (тиску). Крім того така шашка ПД має масу 400 г, її виготовлення небезпечно і проводиться в бронекабінах, а зберігання та доставка до кар'єрів, як готового до використання вибухового матеріалу, також небезпечно і потребує охорони.

**Задача досліджень.** В основу роботи поставлена задача розробити проміжний детонатор з компонентів, які не являються вибуховими. При цьому виготовлення вибухової речовини (ВР) і проміжного детонатору проводиться безпосередньо на місцях проведення вибухових робіт і не потребує специфічного зберігання та перевезень під охороною, як небезпечних вибухових речовин. Другою задачею є зменшення маси ПД при забезпеченні задовільної роботи колонкового заряду вибухової речовини при відбійці гірських порід за допомогою свердловин.

В якості вибухової речовини в ПД було запропоновано склад на основі аміачної селітри та нітрометану. При цьому ці компоненти - аміачна селітра і нітрометан, самі по собі не є вибуховими матеріалами. Вибухова речовина одержується тільки після змішування цих двох компонентів в деякій оптимальній пропорції. Аміачна селітра використовується в сільському господарстві як мінеральне добриво, а нітрометан використовується в ряді країн як добавка до дизельного палива для підвищення потужності двигуна, або добавкою до палива для авіамодельних двигунів, тощо.

Для виготовлення вибухового складу гранульовану аміачну селітру подрібнювали в шарових млинах, просушували і просіювали через сито з діаметром вічка 0,4 мм. Для виготовлення ВР брали фракцію аміачної селітри, що проходить через сито з діаметром вічка 0,4 мм.

Нітрометан  $\text{CH}_3\text{NO}_2$  представляє собою рідину з щільністю 1,138 г/см<sup>3</sup> й підготовки для виготовлення вибухівки не потребує.

Виготовлення ВР проводиться безпосередньо на прикар'єрному пункті, або на підриваємому блоці. Для цього аміачну селітру і нітрометан завозяться на такий пункт як невибухові матеріали.

Термодинамічними розрахунками [4] встановлено, що при додаванні нітрометану до аміачної селітри в кількості до 25% калорійність складу досягала 880 ккал/кг, об'єм газів, що виділяються при вибуху складає 949 л/кг, кисневий баланс +8,14 %, швидкість детонації 4,4 км/с.

**Результати досліджень.** Контрольні випробування вибухового складу проводили на випробувальній станції, куди доставляли компоненти. Чутливість до детонаційного імпульсу проводили на зарядах з поліетиленових рукавів

діаметром 30 мм. Для чого в поліетиленовий рукав, зав'язаний кордною ниткою засипали аміачну селітру, а потім вливали нітрометан із стакана або за допомогою шприца. Заряд вибухового складу мав довжину до 5 діаметрів заряду. Ініціювання приводили детонуючим шнуром ДША-12 і електродетонатором ЕД-8. В підготовлений таким чином заряд вставляли або детонуючий шнур, або ЕД-8. ДША-12 вставляли на глибину 2 діаметрів заряду, ЕД-8 повністю занурювали в склад.

Випробування показали, що склад на основі аміачної селітри і нітрометану у співвідношенні 80:20 і 70:30 чутливий до штатних засобів ініціювання промислових ВР: детонуючого шнура ДША-12 та електродетонатора ЕД-8.

Визначення критичного діаметра детонації.

Критичний діаметр детонації визначали в зарядах конічної форми [3], у яких діаметр основи був завідомо більше величини пошукового критичного діаметру вибухового складу.

Заряд конічної форми виготовляли з паперу для патронування. Діаметр основи конуса становив 55 мм, довжина – 65 см, кут конусності 50. Уздовж конуса були нанесені ділення, що позначають локальний діаметр конуса. Заповнення конуса вибуховим складом проводили невеликими порціями, ущільнюючи його струшуванням, щоб усунути порожнечі. Маса ВР у конічному заряді від 420 до 460 г залежно від кількості нітрометану в складі.

Ініціювання конусного заряду здійснювали електродетонатором миттєвої дії ЕД-8.

Діаметр, при якому відбулося загасання детонації заряду, установлювали по залишку конуса після вибуху.

Проводили по три паралельних випробування.

Визначення повноти детонації.

Визначення повноти детонації ВР проводили за ДСТ 14839.19 метод А на зарядах діаметром 30 мм із паперу для патронування, довжиною 300 мм, масою від 210 г до 240 г. Ініціювання зарядів здійснювали електродетонатором ЕД-8. Заряди укладали на підривній площадці по черзі і підривали. Про повноту детонації судили по наявності воронки та відсутності залишків ВР після вибуху. Проводили по три паралельних випробування.

Визначення швидкості детонації.

Швидкість детонації ВР складу на основі аміачної селітри й нітрометану визначали методом Дотриша, основанийому на порівнянні відомої швидкості детонації детонуючого шнуру (ДШ) з невідомою швидкістю детонації випробуваного ВР.

Діаметр випробуваного заряду (Дз) становив не менш  $2D_{кр}$ , де  $D_{кр}$  – критичний діаметр детонації. Довжина заряду - не менш п'яти діаметрів заряду.

Для проведення випробувань використовували заряди із ВР діаметром 30 мм, довжиною 300 мм і масою 240 г з паперу для патронування та детонуючий шнур марки ДШЕ-12 з відомою швидкістю детонації 6,2 км/с.

На боковій поверхні оболонки заряду намічали місця для встановлення в заряд кінців ДШ. Першу мітку (А) нанесли на відстані не менш  $3 D_{кр}$  від верхнього торця заряду. Другу (В) – не менше  $0,5 D_{кр}$  від нижнього торця заряду. Відстань між мітками прийняли за базу виміру L.

Від бухти ДШ брали відрізок довжиною не менше 4 м. Для запобігання висипання серцевини, зрізи на бухті й відрізу ДШ заклеювали липкою стрічкою.



На середину відрізка наносили мітку. Частина відрізка з міткою за допомогою липкої стрічки закріплювали над пластиною-фіксатором. В якості пластини-фіксатора використовували багатшарову фанеру розміром 650 × 200 × 25мм. Висота закріплення ДШ над пластиною-фіксатором від 20 мм до 30 мм.

Зібраний заряд укладали на місці підриву. В оболонці заряду, у раніше розмічених місцях, перпендикулярно боковій поверхні робили отвори й поглиблювали їх не більше ніж на 0,5 Дз. На максимально можливому видаленні від заряду розміщали пластину-фіксатор із закріпленим ДШ (схема наведена на рис.1). В якості ініціатора використовували електродетонатор миттєвої дії ЕД-8. Виконували підрив заряду. Після підриву на пластині-фіксаторі виміряли відстань  $h$  від мітки середини відрізка ДШ до сліду від зустрічі детонаційних хвиль. Проводили по три паралельних випробування.

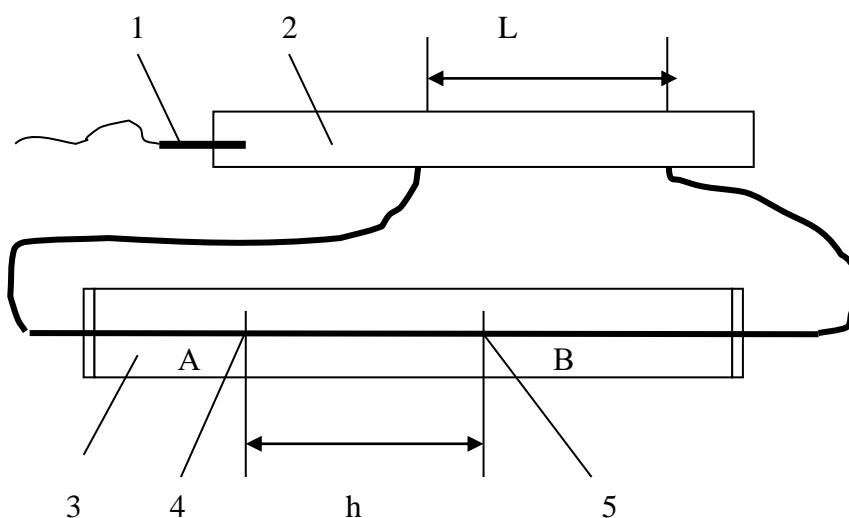


Рисунок 1 Схема визначення швидкості детонації по Дотришу: 1 – електродетонатор, 2 - ВР, 3 - пластина-фіксатор, 4 - мітка середини відрізка ДШ, 5 - слід від зустрічі детонаційних хвиль, L - база виміру, А та В - перша й друга мітка на заряді ВР

**Результати випробувань.** Конусні заряди детонували не повністю, виявлені залишки конусів, що дозволило визначити величину критичного діаметра детонації. Критичний діаметр детонації ВР склав:

склад 1 з 20% нітродетану - 5-6 мм;

склад 2 з 30% нітродетану - 6-7 мм.

Про повноту детонації судили по відсутності залишків ВР після вибуху. Всі патрони вищезазначених складів детонували повністю.

За результатами випробувань величину швидкості детонації  $U_d$  у км/с розраховували по формулі:

$$U_d = \frac{U_{ш} \cdot L}{2 \cdot h} ,$$

де  $U_{ш}$  - швидкість детонації детонуючого шнуру, км/с;

L - база виміру, м;

$h$  - відстань від середини відрізка ДШ до сліду від зустрічі детонаційних хвиль, м.

Швидкість детонації ВР складала:

склад 1 з 20% нітрометану - 4,5 - 4,8 км/с;

склад 2 з 30% нітрометану - 5,1 - 5,3 км/с.

**Висновки.** Досліджено вибуховий склад, який містить аміачну селітру, як окиснювач, та нітрометан, як паливо, при такому співвідношенні компонентів, мас.: аміачна селітра 70-80 %, нітрометан 20-30 %. Використання складу ВР на основі аміачної селітри та нітрометану в якості проміжних детонаторів на його основі є ефективним, дозволить зменшити небезпеку при транспортуванні компонентів та виготовленні ПД, тому що компоненти стають ВР безпосередньо на заборі під час зарядки та комутації вибуху. Крім того, зменшиться маса штатного ПД з 400 г до 50-150 г, тобто у 3-8 рази.

#### Список літературних джерел

1 Yuri Voitenko; Roman Zakusylo; Stefan Zaychenko. Influence of the Striker Material on the Results of High-Speed Impact at a Barrier. Cent. Eur. J. Energ. Mater. 2021, 18(3): 405-423.

2 Voitenko, Y.I.; Zakusylo, R.V.; Wojewodka, A.T.; Gontar, P.A.; Gerlich, M.M.; Drachuk, O.G. New Functional Materials in Mechanical Engineering and Geology. Cent. Eur. J. Energ. Mater. 2019, 16(1): 135-149.

3 Roman Zakusylo. Investigation of the initiating ability of conically shaped charges. Materiały Wysokoenergetyczne / High Energy Materials, 2018, 10: 69 – 76.

4 Авакян Г.А. Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ.- М., 1964.- 106 с.

## PERCHLORATES AND INORGANIC PEROXIDES AS GREEN ADDITIVES FOR ANFO

M. Fabin<sup>1</sup>, W. Kołodziej<sup>1</sup>, K. Głosz<sup>1</sup>, R. Zakusyło<sup>2</sup>, T. Jarosz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology,

Department of Physical Chemistry and Technology of Polymers, Gliwice, Poland

<sup>2</sup> Shostka Institute of Sumy State University

Magdalena.fabin@polsl.pl

### Introduction

Ammonium nitrate – fuel oil (ANFO) explosives have found extensive industrial application [1,2]. The low detonation parameters in typical explosive charge diameters (e.g. diameters below 46 mm) is a significant disadvantage of this type of explosives, as is the case with the limited sensitivity of ANFO to shock [3]. These two issues have generated considerable research interest in improving the energetic performance of ANFO.

One of the main approaches to improving the performance of ANFO is to modify the oxidising agent itself by adding chemicals or mixtures of chemicals, which readily undergo decomposition and yield significant amounts of gaseous decomposition products [4,5]. This favourably affects the AN decomposition upon interaction with a shock wave, thereby increasing the detonation velocity of ANFO or generating additional hot spots in the material.

In the case of AN, modification of this oxidant with chlorides was found to lower AN's decomposition temperature and increase its self-heating rate, but no overall improvement in detonation parameters was observed [6, 7]. Other additive that have attracted the attention was monoammonium phosphate. The research have shown that when monoammonium phosphate is added to AN, the detonation velocity for 10% of the additive is about 2 km/s. However, as the additive content in the material increases, the detonation velocity begins to decrease sharply once the additive content in the material exceeds 15% [8]. The combination of AN and explosives was also investigated. When combusting mixtures of AN with 15% methylnitrotetrazol (MNT) and 13.3% glycidyl azide polymer (GAP), the low-pressure combustion limits of the fuel oil-free mixtures occurred at pressures of 6–10 MPa. However, the combustion rates of these mixtures were quite low [9].

For the choice of additives to ANFO several criteria were formulated to guide the selection of potentially most beneficial compounds. Among the compounds that have attracted interest as potential additives are those that readily decompose with significant yields of gaseous products under shock wave, compounds that release significant amounts of gaseous products during decomposition, and those that can catalyse the decomposition reaction of ammonium nitrate.

### Results and Discussion

Based on activation energy values of decomposition reactions of oxidising agents, as well as their reactivity with AN, magnesium and barium perchlorates, sodium carbonate peroxyhydrate (SPC) and sodium perborate (SPB) were found to be suitable additives for ANFO. Evidence has been provided below that these compounds do not drastically reduce the safety parameters of ANFO while significantly increasing its susceptibility to decomposition (Tab.1) [10].

Table 1 Friction and impact sensitivity testing [10]

Sample Fuel	ANFO	7%Ba(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	7% Mg(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	7%SPB	5% SPC
Friction sensitivity testing according to the standard EN 13631:3 [N]					
Liquid paraffin	>360	216	216	252	252
Naphta	>360	360	120	216	112
Impact sensitivity testing according to the standard EN 13631:4 [J]					
Liquid paraffin	40	3	3	7.5	35
Naphta	>50	10	10	20	7.5

One of the most important parameters to consider when determining the composition of an energetic material is the oxygen balance (OB). For ANFO, the OB should be close to 0% [11], in order to obtain the maximum charge energy with the lowest possible concentration of the post-blast fumes [12].

To determine the brisance of the materials obtained, the Hess test was conducted, with three repetitions for each type of additive (Tab.2). The obtained results show an improvement in brisance caused by all of the additives in comparison with traditional ANFO.

Table 2 Experimental results of detonation parameters for modified ANFOs

Type of sample	Charge composition [% mas.]			VOD for $\phi$ 46 [m/s]	Brisance [mm]	Critical diameter [mm]
	AN / gAN	FO	Additive			
none	94.00 / 0.00	6	0	1559	2.69	37.1 – 39.8
none	47.00/ 47.00	6	0	2124	6.80	27.7 – 28.8
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	47.00 / 43.73	6	3,27	2098	7.09	22.2 – 31.1
BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	47.00 / 43.73	6	3,27	2185	7.75	21.7 – 30.0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	47.00 / 44.66	6	2,38	2183	7.96	24.1 - 25.1

The detonation velocity of ANFOs supplemented with the selected additives was conducted using a continuous probe in conical charges. The use of this charge geometry allowed investigating the critical diameter of the modified ANFO, based on the point in which detonation faded in the charges. In the case of all additives, an increase in the detonation velocity and a decrease in the critical diameter was observed (Tab.2).

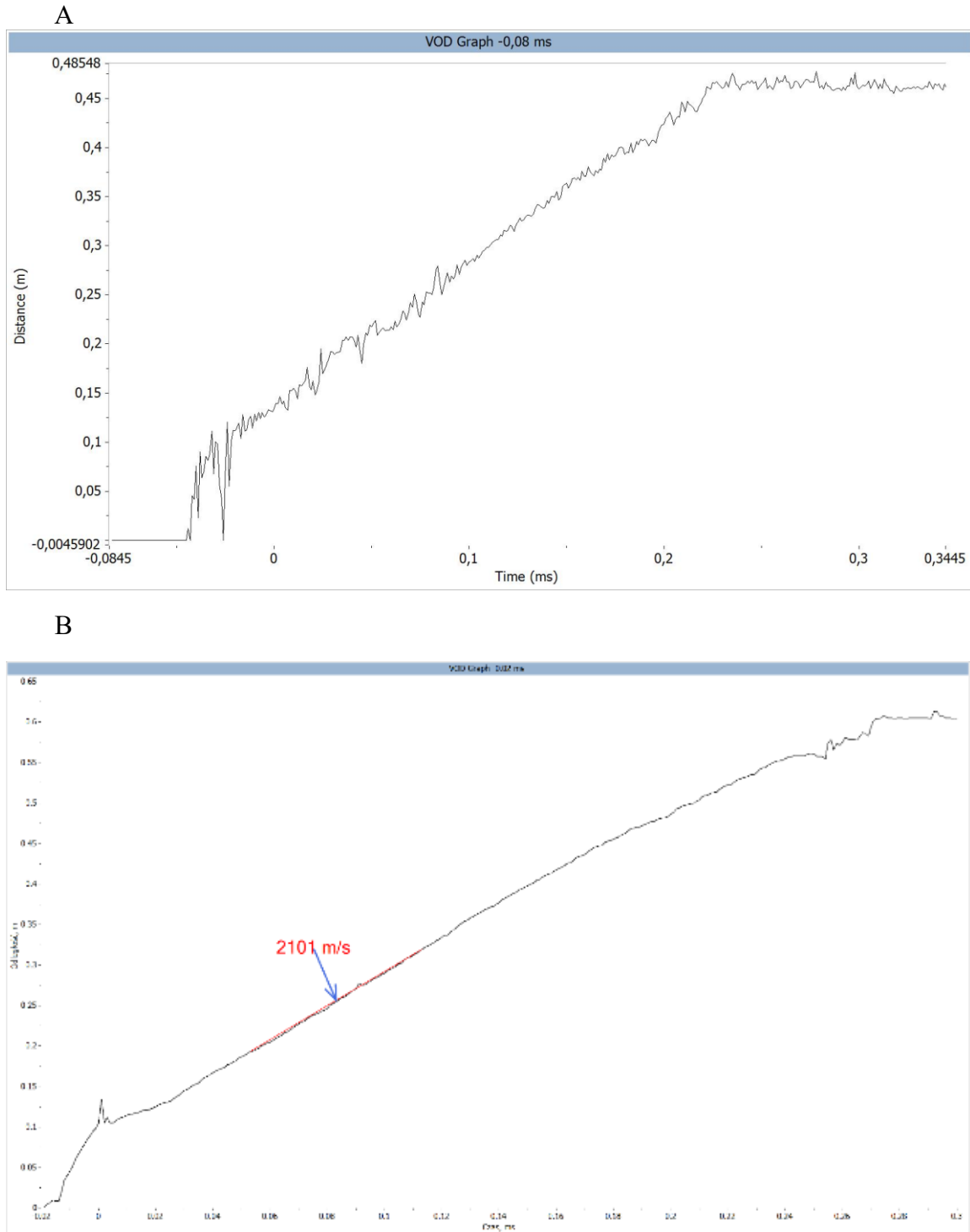


Figure 1 Graph showing measured detonation velocity versus critical diameter (A) for unmodified ANFO, (B) for ANFO with added barium perchlorate

The research has shown that the additives used meet the stated objectives, i.e. increasing the brisance and detonation velocity and decreasing the critical diameter of ANFO, while maintaining only slightly affecting the mechanical sensitivity parameters of the explosives.



## References

- 1 Foderà, G. M., et al. "Factors influencing overbreak volumes in drill-and-blast tunnel excavation. A statistical analysis applied to the case study of the Brenner Base Tunnel–BBT." *Tunnelling and Underground Space Technology* 105 (2020): 103475.
- 2 Feustel, M., Krull, M., Tolliday, I.J., Collins, C.R., Franjic, M. and Roy, T., Clariant International Ltd, 2019. *Water Resistance Additive for Particulate Ammonium Nitrate-Fuel Oil (Anfo) Explosives*. U.S. Patent Application 16/093,609.
- 3 Bohanek, V., Štimac Tumara, B., Serene, C.H.Y. and Sućeska, M., 2023. Shock Initiation and Propagation of Detonation in ANFO. *Energies*, 16(4), p.1744.
- 4 Zygmunt, B. and Buczkowski, D., 2007. Influence of ammonium nitrate prills' properties on detonation velocity of ANFO. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials*, 32(5), pp.411-414.
- 5 Viktorov, S.D., Frantov, A.E., Lapikov, I.N., Andreev, V.V. and Starshinov, A.V., 2016. Effect of the microstructure of ammonium nitrate granules on the detonability of composite propellants based on it. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 52, pp.727-731.
- 6 Li, X.R. and Koseki, H., 2005. Study on the contamination of chlorides in ammonium nitrate. *Process Safety and Environmental Protection*, 83(1), pp.31-37.
- 7 Han, Z., Sachdeva, S., Papadaki, M.I. and Mannan, M.S., 2015. Ammonium nitrate thermal decomposition with additives. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 35, pp.307-315.
- 8 Tan, L.; Xia, L.-H.; Wu, Q.-J.; Xu, S.; Liu, D.-B. Detonation characteristics of ammonium nitrate and activated fertilizer mixtures. *Combust. Explos. Shock. Waves* 2016, 52, 335–341
- 9 Sinditskii, V.P., Egorshchikov, V.Y., Levshenkov, A.I. and Serushkin, V.V., 2005. Ammonium nitrate: combustion mechanism and the role of additives. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials*, 30(4), pp.269-280.
- 10 Fabin, M., Skóra, P., Polis, M., Zakusylo, R., Stolarczyk, A. and Jarosz, T., 2023. Towards “Green” ANFO: Study of Perchlorates and Inorganic Peroxides as Potential Additives. *Molecules*, 28(15), p.5636.
- 11 Chaiken, R.F., Cook, E.B. and Ruhe, T.C., 1974. *Toxic fumes from explosives: ammonium nitrate-fuel oil mixtures* (Vol. 7867). US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- 12 Biessikirski, A., Pytlik, M., Kuterasiński, Ł., Dworzak, M., Twardosz, M. and Napruszewska, B.D., 2020. Influence of the ammonium nitrate (V) porous prill assortments and absorption index on ammonium nitrate fuel oil blasting properties. *Energies*, 13(15), p.3763.

## РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ БЕЗСТІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТУ КРОХМАЛЮ

С.Д. Тищенко, В.К. Лукашов

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
sergey-tishenko@ukr.net

Виробництво вибухових речовин (ВР) має вплив на погіршення екологічної ситуації, а особливо в різноманітних промислових районах. Вони виготовляються у відносно великих масштабах, а їх виробництво характеризуються значною складністю переробки та утилізації відходів, особливо сумішей кислот (відпрацьованого нітрувального середовища) які утворюються в результаті реакції їх одержання – нітрування [1]. Особливо актуальною ця проблема є для виробництв таких широко застосовуваних вторинних ВР як тротил, гексоген та октоген, які через особливості технології їх одержання та недостатньо ефективне очищення стічних вод, які утворюються в результаті їх виробництва, є значними забруднювачами водних та ґрунтових ресурсів [2].

Вказані проблеми є актуальними і для «традиційної» технології одержання нітрату крохмалю – потужної бризантної вибухової речовини, що є гарним заміником тротилу та має широку сировинну базу в нашій країні. Згідно такої технології [3,4] нітрат крохмалю одержують шляхом нітрування крохмалю у нітрувальній суміші, яка складається із сульфатної та нітратної кислот із певним вмістом води. Далі нітрат крохмалю, що утворюється, відділяють від нітрувальної суміші шляхом осадження у великий об'єм води або мінеральної кислоти (сульфатної або фосфатної) та стабілізують зазвичай аналогічно до нітратів целюлози: кип'ятінням у слабокислому середовищі (кисла варка), кип'ятінням у слаболужному середовищі (лужна варка) з наступною нейтральною промивкою водою. Проте така технологія має значні недоліки, що полягають у необхідності тривалої та енергоємної стабілізації нітрату крохмалю, яка разом з операцією концентрування відпрацьованої кислотної суміші вказаного складу є джерелами шкідливих стоків та викидів. Ці проблеми можуть бути в значній мірі вирішені за використання в якості нітрувального середовища однієї нітратної кислоти.

**Метою** цієї роботи є розробка принципів технології виробництва нітрату крохмалю, в якій відсутні кислі стоки, що скидаються в навколишнє середовище.

В основу такої технології закладено:

- проведення процесу нітрування крохмалю концентрованою нітратною кислотою (її водними розчинами);
- осадження нітрату крохмалю з одержаного розчину у водному розчині нітратної кислоти меншої концентрації;
- стабілізація осадженого нітрату крохмалю шляхом промивання його водою, яка потім використовується для приготування розчину, що осаджує, шляхом додавання у неї концентрованої нітратної кислоти.

Згідно принципової схеми такого виробництва нітрату крохмалю (рис. 1) у процесі нітрування крохмаль змішують з нітратною кислотою, концентрація якої не менша 90%, протягом заданого проміжку часу, в результаті чого утворюється розчин нітрату крохмалю в нітратній кислоті. Нітрат крохмалю з одержаного розчину осаджують у водному розчині нітратної кислоти, концентрація якої (40-55%) забезпечує припинення процесу нітрування та виділення нітрату крохмалю з розчину. Після відділення нітрату крохмалю від відпрацьованого розчину, що

осаджує, останній повинен мати концентрацію  $\approx 50\%$ , що дозволяє проводити ефективну регенерацію нітратної кислоти.

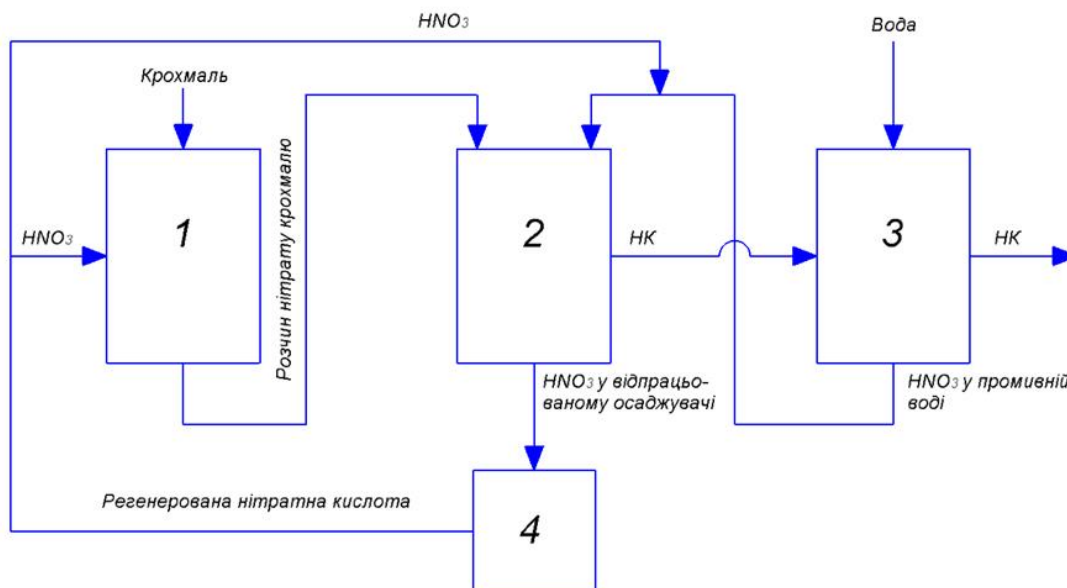


Рисунок 1 – Принципова схема безстічної технології виробництва нітрату крохмалю: 1 – нітрування крохмалю; 2 – осадження нітрату крохмалю; 3 – промивання нітрату крохмалю; 4 – регенерація нітратної кислоти.

Одержаний нітрат крохмалю промивають водою для видалення з нього залишкової кислоти. Цю воду після відділення нітрату крохмалю використовують для приготування розчину, що осаджує, додаючи в неї 98%-ову нітратну кислоту, до концентрації кислоти 40-55% в розчині, що осаджує.

Застосування для регенерації нітратної кислоти у відпрацьованому розчині, що осаджує, технологічного процесу в якому в якості водовіднімального засобу слугує нітрат магнію [5], дозволяє організувати замкнений обіг кислот без кислотних стоків.

Теоретичний аналіз запропонованого технологічного процесу проведемо на підставі рівнянь реакції нітрування (естерифікації) та матеріального балансу нітратної кислоти. Відповідно ступінь заміщення нітрату крохмалю, виходячи з виразу масової частки нітрогену в ньому, дорівнює:

$$n = \frac{162 \cdot N}{1400 - 45 \cdot N} = \frac{162 \cdot N}{1400 - 45 \cdot N},$$

де  $N$  – масова частка нітрогену, %.

Рівняння реакції нітрування крохмалю, записане для однієї елементарної ланки його макромолекули має вигляд [6]:



де  $n$  – число нітратних груп, що замінили гідроксильні групи;  $x$  – ступінь полімеризації крохмалю.

З рівняння реакції випливає, що теоретична витрата моногідрату нітратної кислоти на нітрування 1 г крохмалю дорівнює:

$$m_{HNO_3} = \frac{n \cdot 63}{162} = 0,389 \cdot N, \text{ г/г крохмалю,}$$

де 63 – молярна маса  $\text{HNO}_3$ , г/моль; 162 – молярна маса крохмалю, г/моль.

Відповідно додаткова маса води, що утворюється в наслідок нітрування 1 г крохмалю становить:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n \cdot 18}{162} = 0,11 \cdot N, \text{ г/г крохмалю,}$$

де 18 – молярна маса води, г/моль.

Прийнявши модуль нітрування (масове співвідношення кислоти, що нітрує, та крохмалю) рівним  $P$ , одержимо, що на 1 г крохмалю витрачається  $P$  г кислоти, що нітрує. Тоді кількість моногідрату у початковій кислоті, що нітрує, дорівнює:

$$m_{\text{кі}} = \frac{a \cdot P}{100}, \text{ г/г крохмалю,}$$

де  $a$  – початкова концентрація кислоти, що нітрує, %;  
та води:

$$m_{\text{ві}} = P \cdot \left(1 - \frac{a}{100}\right), \text{ г/г крохмалю.}$$

У розчині нітрату крохмалю одержуваному після нітрування 1 г крохмалю міститься:

– моногідрату  $\text{HNO}_3$ :

$$m_{\text{рк}} = m_{\text{кі}} - m_{\text{HNO}_3}, \text{ г/г крохмалю;}$$

– води:

$$m_{\text{рв}} = m_{\text{ві}} + m_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ г/г крохмалю.}$$

Кількість розчину, що осаджує, до осадження нітрату крохмалю:

$$m_{\text{ос}} = m_{\text{в}} + m_{\text{дод}},$$

де  $m_{\text{в}}$  – кількість води, що подається на промивання нітрату крохмалю, г/г крохмалю;  $m_{\text{дод}}$  – кількість моногідрату  $\text{HNO}_3$ , яка додається у розчин, що осаджує, г/г крохмалю.

Концентрація нітратної кислоти у розчині, що осаджує, до осадження нітрату крохмалю:

$$C_{\text{ос}} = \frac{m_{\text{дод}}}{m_{\text{в}} + m_{\text{дод}}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

Кількість відпрацьованого розчину, що осаджує:

$$m_{\text{від}} = m_{\text{в}} + m_{\text{рв}} + m_{\text{рк}} + m_{\text{дод}}, \text{ г/г крохмалю}$$

Концентрація нітратної кислоти у відпрацьованому розчині, що осаджує:

$$C_{\text{від}} = \frac{m_{\text{рк}} + m_{\text{дод}}}{m_{\text{в}} + m_{\text{рв}} + m_{\text{рк}} + m_{\text{дод}}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

Задаючи значення  $C_{\text{ос}}$  та  $C_{\text{від}}$  за відомого вмісту нітрогену  $N$  в нітраті крохмалю, який визначається процесом нітрування крохмалю, в результаті розв'язання системи рівнянь (1) та (2) можна розрахувати необхідну кількість води, яка подається на промивання нітрату крохмалю  $m_{\text{в}}$  та моногідрату нітратної кислоти  $m_{\text{дод}}$ , що додається в розчин, що осаджує.

### Список літературних джерел

- 1 Kuchurov I. V., Zharkov M. N., Fershtat L. L., Makhova N. N., Zlotin S. G. Prospective Symbiosis of Green Chemistry and Energetic Materials. *ChemSusChem*. 2017. Vol. 10, № 20. P. 3914–3946. DOI: 10.1002/cssc.201701053
- 2 Chatterjee, S., Deb, U., Datta, S., Walther, C., Gupta, D.K., 2017. Common explosives (TNT, RDX, HMX) and their fate in the environment: emphasizing bioremediation. *Chemosphere*. 2017. Vol. 184. P. 438-451. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.06.008
- 3 Liu J. Nitrate Esters Chemistry and Technology. Beijing: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2019. 684 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6647-5>
- 4 Caesar G. V. Starch Nitrate. *Advances in Carbohydrate Chemistry*. 1958. Vol. 13. P. 331–345. [https://doi.org/10.1016/S0096-5332\(08\)60360-4](https://doi.org/10.1016/S0096-5332(08)60360-4)
- 5 Sloan J. G. The extractive distillation process for nitric acid concentration using magnesium nitrate. *Advances in Chemistry*. 1976. Vol. 15. P. 128–142. doi: 10.1021/ba-1976-0155.ch009
- 6 Гиндич В. И., Забелин Л. В., Марченко Г. Н. Производство нитратов целлюлозы. Москва: ЦНИИИТИ, 1984. 332 с.

## СЕКЦІЯ 2

Загальна хімічна технологія, екологія  
проблеми утилізації та розмінування

## SECTION 2

General chemical technology, ecology,  
recycling and demining problems



## HYDROGEN GAS SENSORS AS TOOLS FOR EXPLOSIVE ATMOSPHERE SAFETY

**Karolina Głoz<sup>1</sup>, Marcin Procek<sup>2</sup>, Agnieszka Stolarczyk<sup>1</sup>, Tomasz Jarosz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Department of Physical Chemistry and Technology of Polymers,  
Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

<sup>2</sup>Department of Optoelectronics, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland  
karolina.glosz@polsl.pl

The importance of detecting hydrogen gas stems from its flammability and ability to explode in mixtures with air, at an extremely wide range of concentrations (flammability limit 4÷75% vol. hydrogen in air; explosive level 18.3÷59% vol. hydrogen in air) [1,2]. Hydrogen sensors are recently extensively studied for many significant applications in: safety systems, automotive industry, chemical processing, energetic industry and many others where H<sub>2</sub> is using as an fuel and product of the reaction. Numerous branches of technology include processes, in which hydrogen gas either evolves or is handled directly, such as: fabrication and operation of fuel cells, glass and steel manufacturing, refining of petroleum products, charging of lead batteries and atomic hydrogen / oxyhydrogen welding.

The high flammability and ability to explode of H<sub>2</sub> restrict many applications because both international and national regulations for dealing with possible explosive atmospheres require the monitoring of hydrogen concentrations in air at any relevant sites, in the case of an accidental hydrogen release [3-5]. At the same time, this precludes many types of H<sub>2</sub> sensing solutions, primarily due to the fact that H<sub>2</sub> sensors tend to operate at elevated temperatures, posing a risk as possible ignition sources. Consequently, it is crucial to achieve sensing methods which will operate properly at room temperature in a wide range of concentrations of H<sub>2</sub> [6].

H<sub>2</sub> monitoring is also very important in the case of oils used in energetic transformers, as well in hydrogen fuel-cells exportation level [7]. Thus, it is very important to develop sensors, which may measure H<sub>2</sub> concentrations in liquids and particularly in oils. Such sensors may replace currently used and very time- and cost-intensive methods like gas-chromatography.

The most important H<sub>2</sub> gas sensing methods like: metal-oxide based sensors, metal thin film transistors, pellistors are very effective and fast in determining H<sub>2</sub> gas concentrations in air, however they all require high temperatures of operation (normally 200°C or more) [8]. In recent time many attempts of application of conducting polymers as gas receptor structures have been undertaken. The results available in the literature show that conducting polymers have a huge potential as novel room temperature gas sensing materials [9,10].

Polycarbazole (PCz) and its derivatives are well-known electroactive and photoluminescent polymers, finding application as active layers in organic photovoltaics [11,12], corrosion protection [13], anion [14] and gas sensors [15–17]. PCz shows good thermal and photochemical stability, high triplet energy and relatively high p-type conductivity [18,19]. Both carbazole (Cz) and PCz have been investigated as potential materials for the chemical storage of hydrogen [20–22]. This application stems from the fact that in the presence of a catalyst both the monomer and polymer can undergo reversible hydrogenation. Interestingly, despite such reports and the varied use of PCz-based NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S gas sensors, no attempts to utilise PCz or its derivatives as hydrogen sensing materials have heretofore been reported, with the exception of our last communication [23].

In this article, we have presented a proof of concept for room temperature hydrogen sensing using electropolymerised PCz on Pt electrodes (Fig. 1). The proposed configuration showed significant and fast decrease in the electrical conductivity of PCz films upon exposure to H<sub>2</sub> gas and fast reversibility of this response (Fig. 2).

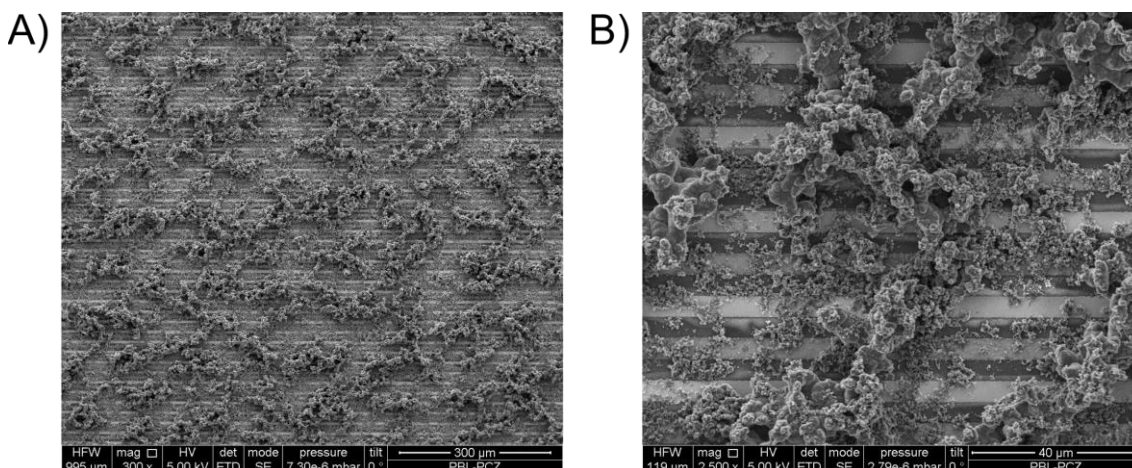


Figure 1 SEM images showing polycarbazole layer on the interdigitated electrode  
A) magnification 300 B) magnification 2500

As our proposition of sensing hydrogen gas using PCz is a scientific novelty, there is lack of any scientific works detailing this sensing mechanism. This is why deep basic research has to be conducted, in order to obtain knowledge about the nature of the physico-chemical interactions between PCz, H<sub>2</sub> and possibly, the transducer metal, acting as a catalyst of those interactions.

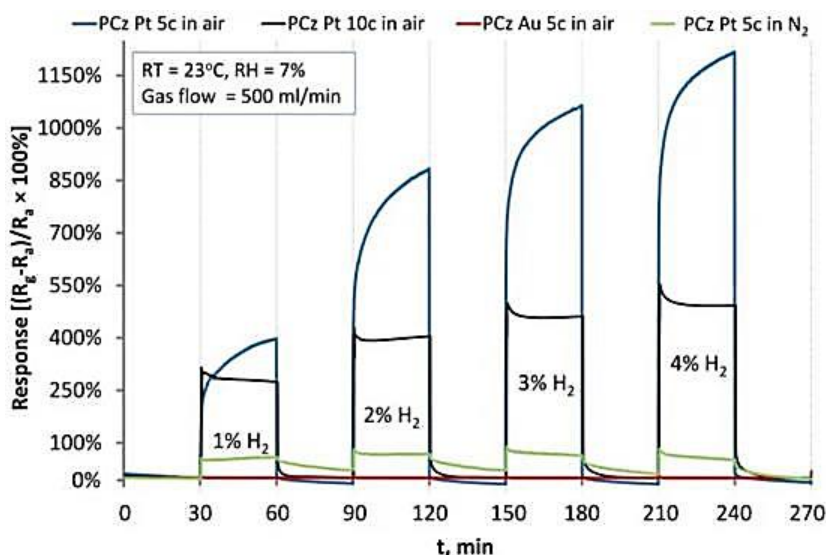


Figure 2 polycarbazole sensors on platinum (PCz Pt) and golden (PCz Au) electrode response to hydrogen gas.

We hypothesise that the sensing mechanism is a reversible hydrogenation of PCz in the presence of a catalytic metal. In contrast to typical conducting polymer active layers,

in which changes of physico-chemical properties take place via redox reactions generating and decomposing positive charge carriers (doping / dedoping), in our case we suspect the occurrence of conjugation breaks in the PCz chains, caused by the hydrogenation of double bonds forming the conjugated bond system (Fig. 3). Recovery of the sensor would rely on dehydrogenation of the film.

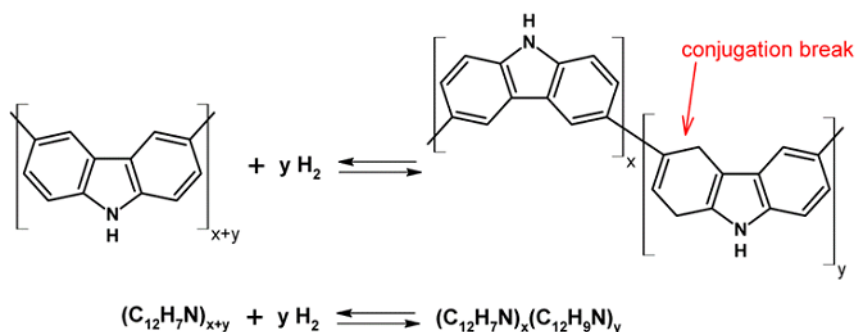


Figure 3 Possible mechanism of PCz-based sensor operation, based on our initial investigations and the reported properties of PCz

### References

- 1 Wang, Jianwei, Budhi Singh, Jin-Hyung Park, Servin Rathi, In-yeal Lee, Sunglyul Maeng, Han-Ik Joh, Cheol-Ho Lee, and Gil-Ho Kim. "Dielectrophoresis of graphene oxide nanostructures for hydrogen gas sensor at room temperature." *Sensors and Actuators B: Chemical* 194 (2014): 296-302
- 2 Wang, Zhaojie, Zhenyu Li, Tingting Jiang, Xiuru Xu, and Ce Wang. "Ultrasensitive hydrogen sensor based on Pd0-loaded SnO2 electrospun nanofibers at room temperature." *ACS applied materials & interfaces* 5, no. 6 (2013): 2013-2021
- 3 Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices 2012, ISO 17268:2012
- 4 Rear Underride Guard Test Procedure 1997, J260\_199709
- 5 Atmosfery wybuchowe -- Część 7: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą budowy wzmocnionej "e" 2016, PN-EN 60079-7:2016-02
- 6 Tang, Xiaohui, Pierre-Antoine Haddad, Nathalie Mager, Xin Geng, Nicolas Reckinger, Sophie Hermans, Marc Debliquy, and Jean-Pierre Raskin. "Chemically deposited palladium nanoparticles on graphene for hydrogen sensor applications." *Scientific reports* 9, no. 1 (2019): 3653
- 7 Pavlovsky, Igor. "Hydrogen sensor for oil transformer health monitoring." In 2008 8th IEEE Conference on Nanotechnology, pp. 211-213. IEEE, 2008
- 8 Liu, Xiao, Sitian Cheng, Hong Liu, Sha Hu, Daqiang Zhang, and Huansheng Ning. "A survey on gas sensing technology." *Sensors* 12, no. 7 (2012): 9635-9665.
- 9 Park, Seon Joo, Chul Soon Park, and Hyeonseok Yoon. "Chemo-electrical gas sensors based on conducting polymer hybrids." *Polymers* 9, no. 5 (2017): 155..
- 10 Bai, Hua, and Gaoquan Shi. "Gas sensors based on conducting polymers." *Sensors* 7, no. 3 (2007): 267-307.
- 11 Alem, Salima, Neil Graddage, Jianping Lu, Terho Kololuoma, Raluca Movileanu, and Ye Tao. "Flexographic printing of polycarbazole-based inverted solar cells." *Organic Electronics* 52 (2018): 146-152.

12 Chu, Ta-Ya, Salima Alem, Sai-Wing Tsang, Shing-Chi Tse, Salem Wakim, Jianping Lu, Gilles Dennler, David Waller, Russell Gaudiana, and Ye Tao. "Morphology control in polycarbazole based bulk heterojunction solar cells and its impact on device performance." *Applied Physics Letters* 98, no. 25 (2011).

13 Çakmakçı Ünver, İrem, Gözen Bereket, and Berrin Duran. "Corrosion protection of stainless steel by poly (carbazole-co-pyrrole) films deposited on TiO<sub>2</sub> sol-gel film." *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 57, no. 3 (2018): 242-250.

14 Vedarajan, Raman, Yasuhiro Hosono, and Noriyoshi Matsumi. "π-Conjugated polycarbazole–boron complex as a colorimetric fluoride ion sensor." *Solid State Ionics* 262 (2014): 795-800.

15 Joshi, Nirav, Vibha Saxena, Ajay Singh, S. P. Koiry, A. K. Debnath, Mohamed M. Chehimi, D. K. Aswal, and S. K. Gupta. "Flexible H<sub>2</sub>S sensor based on gold modified polycarbazole films." *Sensors and Actuators B: Chemical* 200 (2014): 227-234.

16 Saxena, Vibha, Sipra Choudhury, S. C. Gadkari, S. K. Gupta, and J. V. Yakhmi. "Room temperature operated ammonia gas sensor using polycarbazole Langmuir–Blodgett film." *Sensors and Actuators B: Chemical* 107, no. 1 (2005): 277-282.

17 Saxena, Vibha, Sipra Choudhury, P. Jha, S. P. Koiry, A. K. Debnath, D. K. Aswal, S. K. Gupta, and J. V. Yakhmi. "In situ spectroscopic studies to investigate uncharacteristic NH<sub>3</sub> sensing behavior of polycarbazole Langmuir–Blodgett films." *Sensors and Actuators B: Chemical* 150, no. 1 (2010): 7-11.

18 Karon, Krzysztof, and Mieczyslaw Lapkowski. "Carbazole electrochemistry: a short review." *Journal of Solid State Electrochemistry* 19 (2015): 2601-2610.

19 Anand, Vivek, Elumalai Ramachandran, and Raghavachari Dhamodharan. "Conjugated polymers with carbazole, fluorene, and ethylene dioxythiophene in the main chain and a pendant cyano group: Synthesis, photophysical, and electrochemical studies." *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* 54, no. 17 (2016): 2774-2784.

20 Liao, Yaozu, Zhonghua Cheng, Matthias Trunk, and Arne Thomas. "Targeted control over the porosities and functionalities of conjugated microporous polycarbazole networks for CO<sub>2</sub>-selective capture and H<sub>2</sub> storage." *Polymer Chemistry* 8, no. 46 (2017): 7240-7247.

21 Sotoodeh, Farnaz, and Kevin J. Smith. "Structure sensitivity of dodecahydro-N-ethylcarbazole dehydrogenation over Pd catalysts." *Journal of catalysis* 279, no. 1 (2011): 36-47.

22 Wang, Bin, Tie-yan Chang, Zhao Jiang, Jin-jia Wei, Yong-hai Zhang, Sen Yang, and Tao Fang. "Catalytic dehydrogenation study of dodecahydro-N-ethylcarbazole by noble metal supported on reduced graphene oxide." *International Journal of Hydrogen Energy* 43, no. 15 (2018): 7317-7325.

23 Stolarczyk, Agnieszka, Tomasz Jarosz, and Marcin Procek. "Room Temperature Hydrogen Gas Sensing via Reversible Hydrogenation of Electrochemically Deposited Polycarbazole on Interdigitated Pt Transducers." *Sensors* 19, no. 5 (2019): 1098.



## **FEATURES OF THE STRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES CURED UNDER THE INFLUENCE OF PHYSICAL FIELDS**

**Yu. Bardadym**

University of Helsinki, Finland

Institute of Macromolecular Chemistry of NASU, Ukraine

yuliia.bardadym@gmail.com

Composite materials are one of the important classes of materials that play a significant role in current and future aerospace components. These materials are particularly attractive to aviation and aerospace applications because of their exceptional strength and stiffness-to-density ratios and superior physical properties. The most widely employed matrix system for composites in aerospace structural components is the epoxy system [1].

Epoxies exhibit excellent properties such as excellent adhesion to different materials, high resistance to chemical attacks, and excellent mechanical and electrical properties. In addition to the abovementioned properties of epoxy resins, they are used due to their diverse characteristics, such as high strength, good stiffness, good thermal stability, antibacterial properties, low contractibility, and strong adherence chemical resistance. They are used widely in industrial applications, such as coatings, adhesives, aerospace structures, electronics, potting, composites, laminates, and the encapsulation of semiconductor devices. Because of their excellent and attractive mechanical and chemical properties, epoxies are the dominant matrix material for structural composites of light-weight polymer–matrix [2, 3]. Consequently, one of the main tasks of modern materials science is to create new materials with improved performance characteristics [4].

Until very recently, polymers were generally considered to be unaffected by physical fields. However, it is now known that they are weakly magnetized because they are diamagnetic materials, and therefore do respond to physical fields (e.g. magnetic field) [5]. The main ways in which polymer composites are magnetized are by melting the polymers or placing them in a liquid suspension to break up the cross-links, so that when the magnetic field is applied, the fibers within the polymer composites realign. There are other methods in which various industries have tried to assemble the fibers within materials. These include mechanisms such as shear, electrical and ultrasonic alignment.

Magnetic alignment has gained the most attention and has been proven to be the top choice to achieve alignment for a few reasons. Firstly, magnetic forces are contactless, so will not produce any chemical alteration within the material, but still allow the orientation of anisotropic particles. Secondly, permanent magnets and electromagnets are easy to come by and still produce strong enough fields for reorientation. Thirdly, the magnetic fields can be homogeneous, inhomogeneous, rotating or oscillating, and each allows a variety of responses and therefore a variety of structures produced. Fourthly, the response depends on the magnetism of the material, which depends on the susceptibility (e.g. whether the material is ferromagnetic or diamagnetic etc.). Lastly, magnetic fields are not sensitive to surface changes or pH, unlike electric fields [6, 7].

Therefore, this research work is devoted to the study of the effect of external constant magnetic, electric fields on the structure, thermophysical, dielectric properties of epoxy polymers (EP) and their nanocomposites containing metal oxides [8].

Samples of composites were formed from EP with was 3 vol. % CdO, PbO or Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Samples of composites were subjected to curing with different conditions. The influence of constant magnetic (MF), electric (EF) fields were  $2 \cdot 10^5$  A/m and  $1.5 \cdot 10^4$  V/m, respectively. All curing processes were done at 20 – 25 °C for 24 hours.

Differential scanning calorimetry experiments were carried out with an TA Instruments DSC Q 2000 (USA), at a sample heating rate of 20 °C/min under nitrogen atmosphere. All samples were weighed as 10 - 20 mg.

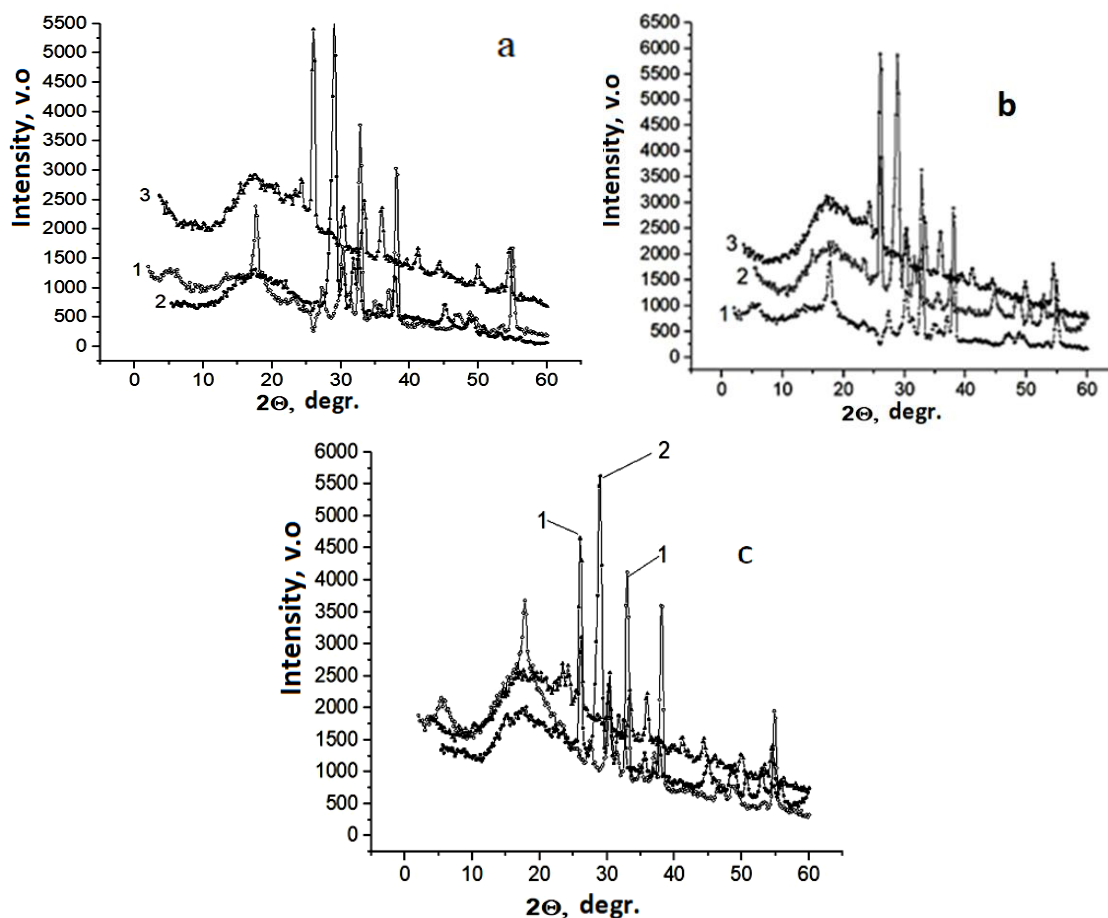
The curves of wide-angle X-ray scattering were obtained in the range of angles  $2\theta = 2 - 60^\circ$  in the mode of stepwise  $0.2^\circ$  scanning of the scintillation detector using DRON 2.0 diffractometer and filtered Ni radiation of the copper anode. The collimation of the output beam was formed by a slit of  $0.25 \times 0.25 \times 0.5$  mm, the receiving slit was equal to 1 mm. The obtained scattering data arrays after background removal were normalized by the camera according to the thickness of the sample and the X-ray attenuation coefficient.

The dielectric characteristics of the nanocomposites were determined by dielectric spectroscopy in an air medium at  $T = 20 \pm 2$  °C. The dielectric permittivity was observed at a frequency of 1 kHz for 4 s. Investigation of the temperature dependence of conductivity was carried out at a linear warming speed of the sample of 3 °C / min. The research was conducted in the temperature range from 20 to 150 °C.

Samples of epoxy polymer had an amorphous structure and samples of epoxy composites had amorphous-crystalline. In the scattering region  $2\theta = 26.11^\circ$  and  $2\theta = 29^\circ$  in the structure of the crystalline phase CdO the disappearance of part of the reflexes was observed, and for others the change in intensity after the influence of constant physical fields. However, reflexes  $2\theta = 30.2^\circ$ ;  $33.0^\circ$ ;  $38.3^\circ$  and  $55.24^\circ$  with the highest intensity remained unchanged, which indicated the stability of the CdO crystal system in the composition of composites. Composites with PbO were characterized by the presence of 17 main reflexes in the range  $2\theta = 28 - 58^\circ$ . New reflexes in areas  $2\theta = 26^\circ$ ,  $50.6^\circ$ ,  $54.6^\circ$  appeared after the influence of constant physical fields. This indicates a redistribution of intensities and a partial angular shift of the maxima of certain reflexes. Comparison of changes in the intensities of reflexes  $2\theta = 26.11^\circ$  and  $2\theta = 29^\circ$  shows that  $I_{26.11}/I_{29}$  for EP - PbO<sub>MF</sub> was 59/100; for EP – PbO<sub>EF</sub> - 8/100 and for sample EP – PbO  $I_{26.11}/I_{29}$  was 6/100. Significant changes in the angular position and intensity of the main maxima of hexagonal syngony were not observed for composites with Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. But the intensity for the reflexes  $d_{014}$ ,  $d_{111}$  and  $d_{110}$  varied depending on the curing conditions of the composites. The average crystallite size for these samples was 6 – 18 nm (Fig. 1).

Studies of the specific heat of epoxy polymers and their composites, depending on the composition and curing conditions, were performed. In this case, the introduction of fillers in the epoxy composite helps to reduce the specific heat ( $C_p$ ) and increase the glass transition temperature ( $T_g$ ) for the studied composites. This is due to the increase in the packing density of the EP macrochains and the free volume (Table 1).





- 1) CdO, 2) PbO, 3) Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  
 a) without the influence of physical fields,  
 b) constant magnetic field,  
 c) constant electrical field.

Figure 1 X-ray diffraction patterns of epoxy composites with metal oxides formed under different curing conditions:

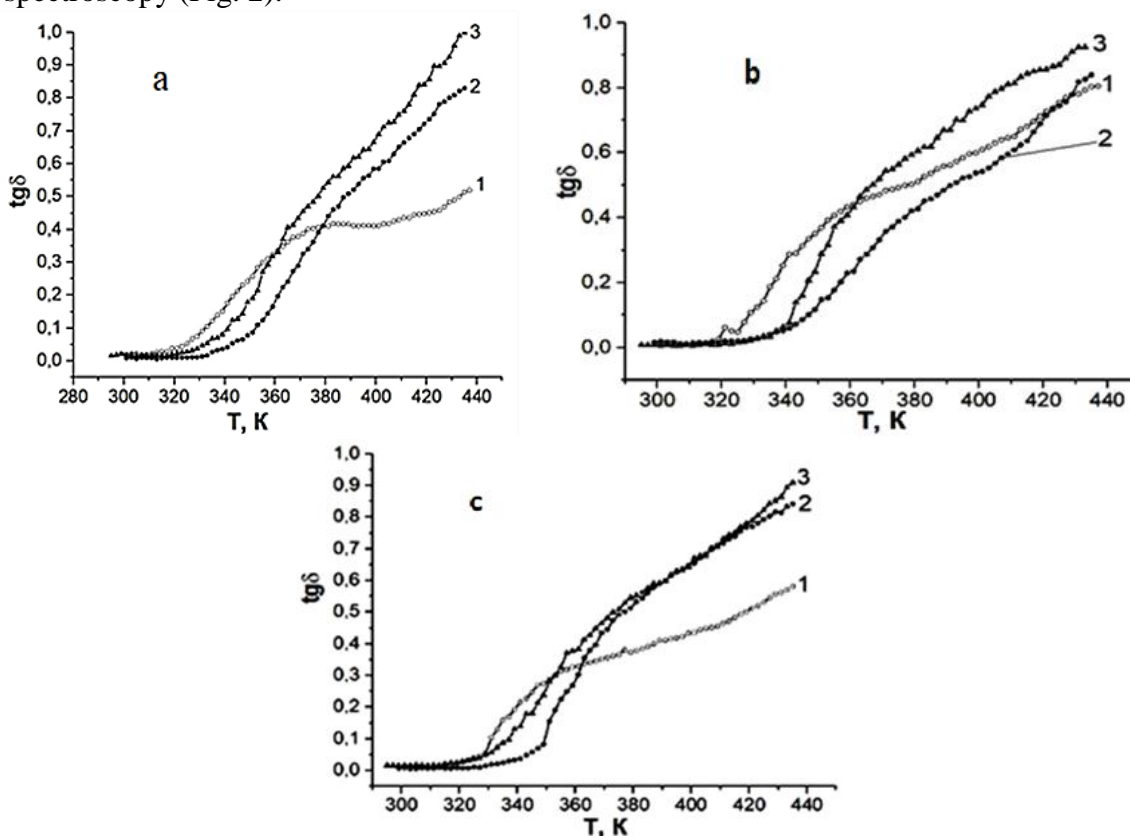
Table 1 Values of glass transition temperatures and specific heat for the studied samples

Samples	without physical fields		MF		EF	
	$T_g$ , K	$C_p$ , J/(kg·K)	$T_g$ , K	$C_p$ , J/(kg·K)	$T_g$ , K	$C_p$ , J/(kg·K)
EP	344	0,38	341	0,299	339	0,280
EP – CdO	329	0,193	332	0,268	334	0,164
EP – PbO	351	0,292	350	0,321	348	0,246
EP – Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	335	0,333	333	0,323	335	0,285

It should be noted that changes in the topological structure were observed for unfilled epoxy polymer. This was due to the influence of external constant physical fields on the polycondensation reaction and the formation of a three-dimensional chemical network. Differences in the influence of physical fields were manifested after

reaching the range of 88 - 94 °C (relaxation of segments of intermolecular fragments of EP). Changes in the temperature range 97 - 167 °C indicate that the use of MP or EP to form the structure of the EP allows you to change the packing density of the chemical network relative to its initial state (without physical fields). The high-temperature transition in the range of 134–136 °C is associated with relaxation in the diphenylolpropane moiety, which persists regardless of external exposure conditions. Comparison of the temperature dependences of the dielectric loss angle tangent for EP and EP - CdO indicates an increase in the temperature to 98 °C. This indicates a limitation of the mobility of intermolecular fragments of the epoxy matrix and particles of the dispersed filler. Estimation of the influence of physical fields on the tangent of the dielectric loss angle of epoxy composite shows that the orientation influence of physical fields increases the free volume of molecular chains of the chemical network, resulting in a decrease in  $T_g$  by 8 °C and 14 °C for MF and EF, respectively. Changes in the region of high-temperature transition 134 - 136 °C were the result of orientation and polarization effects of MF, EF on the structure of the diphenylolpropane fragment in the epoxy matrix. The curves of the temperature dependence of the tangent of the dielectric loss angle for the samples EP and EP -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  formed under different curing conditions are similar.

The dielectric characteristics of the composites were determined by dielectric spectroscopy (Fig. 2).



1) CdO, 2) PbO, 3)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; a) without the influence of physical fields, b) constant magnetic field, c) constant electrical field

Figure 2 Temperature dependence of the dielectric loss angle tangent ( $\text{tg}\delta$ ) of epoxy composites with metal oxides formed under different curing conditions:

Fig. 3 shows curves of the temperature dependence of the tangent of the angle of dielectric losses for the EP - 3% PbO and EP. All this curves are similar.

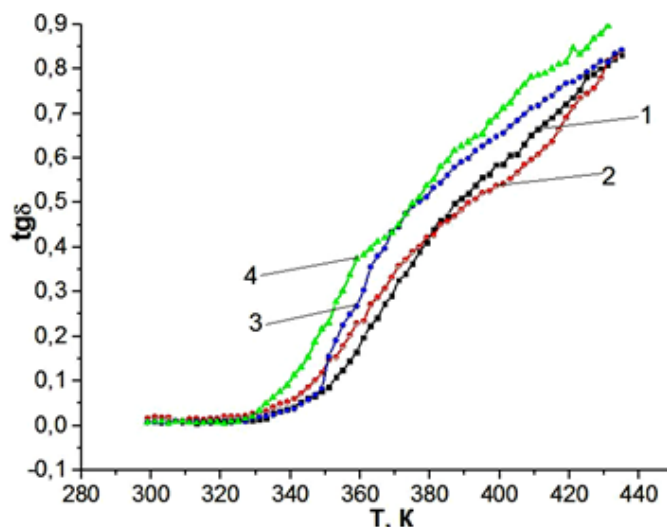


Figure 3 Temperature dependence of the tangent of the angle of dielectric losses for the EP - 3% PbO, formed under different conditions: 1) normal conditions; 2) magnetic field; 3) electric field; 4) EP.

Epoxy polymer, changes in the topological structure are observed. These changes are caused by the influence of external constant physical fields on the occurrence of the polycondensation reaction and the formation of a three-dimensional chemical grid. Differences in the influence of physical fields occur after reaching the region 88 - 94 °C (relaxation of segments of intermolecular fragments of EP). Changes in the temperature range 97 - 167 °C indicate that the use of magnetic or EF to form the structure of the EP can change the density of packaging of the chemical network relative to its initial state (normal conditions). The high-temperature transition in the region 134 - 136 °C can be related to the relaxation in the biphenylolpropane fragment, which is stored regardless of the external conditions of influence. However, the influence of the EF on the temperature dependence of the tangent angle of dielectric losses of the sample EP - PbO is more pronounced.

## References

The author is grateful for financial support from the University of Helsinki and Academy of Finland (Grant number: 353886)

### References

1 W. E. Dyer, B. Kumru, *Polymers as Aerospace Structural Components: How to Reach Sustainability?* *Macromol. Chem. Phys.*, 2023, 2300186. DOI:10.1002/macp.202300186

2 Y. Li, C. Chen, J.T. Li, S. Zhang, Y. Ni, S. Cai, J. Huang, *Enhanced dielectric constant for efficient electromagnetic shielding based on carbon-nanotube-added styrene acrylic emulsion based composite.* *Nanoscale Res. Lett.*, 2010, 5, pp. 1170 – 1176.

3 A. F. Ahmad, S. A. Aziz, Z. Abbas, S. J. Obaiys, A. M. Khamis, Intesar Razaq Hussain, Mohd Hafiz Mohd Zaid. *Preparation of a Chemically Reduced Graphene Oxide Reinforced Epoxy Resin Polymer as a Composite for Electromagnetic*

Interference Shielding and Microwave-Absorbing Applications, *Polymers*, 2018, 10, pp.1180.

4 Yu. V. Bardadym, E. O. Sporyagin. The influence of the constant physical fields on structure of polymer composites with cadmium oxide and polyaniline, 2017 IEEE 7th International Conference Nanomaterials: Application & Properties (NAP), pp. 03NNSA13-1-03NNSA13-5, 2017.

5 M. Yamato, T. Kimura. Magnetic processing of diamagnetic materials, *Polymers*, 2020, 12, p. 1491.

6 J. Ciambella, D.C. Stanier, S.S. Rahatekar. Magnetic alignment of short carbon fibres in curing composites, *Compos. B Eng.*, 2017, 109, pp. 129–137.

7 A. Sierra-Romero, B. Chen. Strategies for the preparation of polymer composites with complex alignment of the dispersed phase, *Nanocomposites*, 2018, 4 (4), pp. 137–155.

8 C. Pearson, S. Hawi, C. Lira, S. Goel, H. Y. Nezhad. Magnetic field assisted 3D printing of short carbon fibre-reinforced polymer composites, *Materials Today*, Volume 64, Part 3, 2022, Pages 1403-1411. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.597>

## **ENERGETIC COORDINATION COMPOUNDS AS POTENTIAL ALTERNATIVES TO CURRENTLY USED LEAD-CONTAINING COMPOUNDS**

**K. Pawlus, T. Jarosz**

Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

klaudia.pawlus@polsl.pl; tomasz.jarosz@opayq.com

Energetic coordination compounds (ECCs) are one of the most intensively investigated groups of energetic materials (EMs). Coordination compounds can possess properties that are intermediary between primary and secondary explosives. Simultaneously ECCs, depending on their structure, exhibit none or only negligible harmfulness towards humans and the environment. These compounds, like other coordination compounds, consist of a central atom (or central atoms in the case of multicore compounds), organic ligands and counter-ions.

The aforementioned compounds are described in literature as potential alternatives to primary explosives that are lead compounds, such as lead (II) azide and lead (II) 2,4,6-trinitroresorcinat. Many ECCs containing copper as a central atom are reported in literature. Despite the ability of such compounds to exhibit high detonation characteristics (e.g., high detonation velocity), they tend to present high sensitivity to mechanical stimuli, which precludes any application due to safety issues. For instance, the compound  $[\text{Cu}_2(\text{N}_3)_4(\text{BTRI})]$  (BTRI = 4,4'-bis(1,2,4-triazole)), has been reported to exhibit a sensitivity to impact of 2 J, a sensitivity to friction of  $\leq 0.1$  N and sensitivity to electrostatic discharge of 5 mJ, while the velocity of detonation is 8.28 km/s. [1]. Therefore, it is reasonable to find new ECCs with specific properties, while maintaining the safety of working with these materials.

According to literature reports, ECCs should contain nitrogen-rich ligands and central atoms that are either non-toxic or exhibit only minimal toxicity. These central atoms are typically d-block metal cations [2]. Unlike most coordination compounds, counter-ions that typically exhibit an oxidative nature are present in the molecules of ECCs, such as  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ . [3].

Based on literature reports, compounds belonging to the group of heterocyclic compounds are often investigated due to their high stability or high heat of formation [4]. Nitrogen present in the molecule of heterocyclic compounds mostly occurs on negative oxidation degrees, consequently, as results of their decomposition, environmentally non-toxic  $\text{N}_2$  is emitted [5].

Triazoles, tetrazoles and their derivatives are widely as ligands in the synthesis of ECCs. These compounds contain from about 40% to 80% by weight of nitrogen and have diversified properties including sensitivity to mechanical stimuli [6]. One example is compounds containing 1H,4'H-[3,3'-bis(1,2,4-triazole)]-4',5,5'-triamine ( $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_9$ ) with a nitrogen content of 69.6 wt %. They exhibit an alkaline-acid characteristic due to their ability to accept two protons or lose one proton [7]. Considering heterocyclic compounds, many coordination compounds based on 4-aminotriazole can be found in the literature functioning as a ligand, such as 1-amino-1,2,4-triazole and 1-amino-1,2,3-triazole (1- ATRI). The use of N1-substituted aminotriazoles increases the energy content of coordination compounds. The following table presents selected properties of coordination compounds containing 1-ATRI (Table 1).

Table 1 Properties of selected energetic coordination compounds, where a - decomposition temperature; b - sensitivity to impact; c - sensitivity to friction; d - sensitivity to electrostatic discharge [8]

Związek	T <sub>dec.</sub> [°C] <sup>a</sup>	IS [J] <sup>b</sup>	FS [N] <sup>c</sup>	ESD [J] <sup>d</sup>
[Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (μ-1-ATRI) <sub>2</sub> ]	167	<1	30	0.10
[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (1-ATRI) <sub>2</sub> ](PA) <sub>2</sub>	188	>40	>360	1.22
[Cu(HTNR) <sub>2</sub> (1-ATRI) <sub>2</sub> ]	177	1.5	80	0.04
[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> (1-ATRI) <sub>4</sub> ](H <sub>2</sub> TNPG) <sub>2</sub>	153	2	160	0.30
[Cu(μ-TNR)(1-ATRI) <sub>2</sub> ]	194	3	60	0.05
[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> (1-ATRI) <sub>4</sub> ](ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	167	1	0.45	0.10
[Fe(1-ATRI) <sub>6</sub> ](ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	166	1.5	2	0.04
[Zn(1-ATRI) <sub>6</sub> ](ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	188	3	6.75	0.07
[Zn(1-ATRI) <sub>4</sub> ](NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	188	6	45	0.70
[Cu(μ-TNR)(1-A-1,2,4-TRI) <sub>2</sub> ]	132	<1	23	0.01

Considering aliphatic compounds, one example of a commonly used ligand is ethylenediamine, which is a bidentate ligand. This compound contains 46.61 wt % nitrogen and the coordination compounds incorporating this ligand are characterized by high thermal stability and average sensitivity to simple stimuli [9]. Another bicyclic ligand is hydrazine, containing 87.42 % nitrogen by weight. Unlike ethylenediamine, the literature indicates that hydrazine-containing compounds have properties similar to initiating explosives [10]. Furthermore, among the current research work, we can find some information on the use of aminoguanidine derivatives, containing 83.97 % nitrogen by weight. This ligand, used in the synthesis of EMs, provides high thermal stability of the obtained compound and has high density with negligible sensitivity to simple stimuli [11].

An example of coordination compounds containing a ligand in the form of hydrazine is nickel(II) hydrazine nitrate Ni(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> or a perchlorate analog. Taking into account the calculated detonation velocity of VOD > 8000 m/s, as well as high sensitivity to mechanical stimuli, the nitrate analogue is currently used [12]. The article [13] reports that its detonation velocity is 7000 m/s, friction sensitivity is 10 N, impact 80 J, electrostatic discharge sensitivity 0.001 J and ignition temperature is 219 °C, which makes it a safer material to handle.

There are also coordination compounds containing ligands with oxygen chain form, such as carbohydrazide (CHZ) [14]. Examples include ECCs containing metal carbohydrazide perchlorates M(CHZ)<sub>3</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (M=Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn), for which compounds with Zn are the most stable and environmentally friendly, while the breakdown of the Zn-N bond initiates decomposition of the material [15]. In addition, Zn<sup>2+</sup> in coordination compounds (ZnCP) is used as both a catalyst and anion carrier during the decomposition process (continuous decomposition in the temperature range of 280 - 340 °C). The ability to coordinate Zn with the three CHZ ligands is possible via an oxygen atom, as well as terminal nitrogen atoms [16].



Energetic coordination compounds may offer alternatives as new green explosive initiators. These compounds can contain ligands in the nature of aliphatic amines, or heterocyclic compounds. The possibility of modifying the molecule in the various stages of synthesis, gives the possibility of obtaining a variety of compounds. Some of them have low toxicity, making them a substitute for lead azide, which is used in industry. Modern explosives should be characterized by the best possible detonation parameters, while ensuring the greatest possible safety in working.

## References

- 1 Wurzenberger, M. H., Grühne, M. S., Lommel, M., Szimhardt, N., & Stierstorfer, J. (2022). Advancement and stabilization of copper (ii) azide by the use of triazole-and tetrazole ligands–enhanced primary explosives. *Materials Advances*, 3(1), 579-591
- 2 Xu, J. G., Li, X. Z., Wu, H. F., Zheng, F. K., Chen, J., & Guo, G. C. (2019). Substitution of nitrogen-rich linkers with insensitive linkers in azide-based energetic coordination polymers toward safe energetic materials. *Crystal Growth & Design*, 19(7), 3934-3944
- 3 Kofen, M., Harter, A. G., Klapötke, T. M., & Stierstorfer, J. (2022). 1, 5-Dimethyltetrazole as a ligand in energetic 3d5 to 3d10-metal coordination compounds. *Energetic Materials Frontiers*, 3(3), 111-121
- 4 Keshavarz, M. H., & Klapötke, T. M. (2021). The properties of energetic materials. In *The Properties of Energetic Materials*. de Gruyter
- 5 Parisi, E., Landi, A., Fusco, S., Manfredi, C., Peluso, A., Wahler, S., ... & Centore, R. (2021). High-energy-density materials: an amphoteric N-rich bis (triazole) and salts of its cationic and anionic species. *Inorganic chemistry*, 60(21), 16213-16222
- 6 Szimhardt, N., Wurzenberger, M. H., Zeisel, L., Grühne, M. S., Lommel, M., Klapötke, T. M., Stierstorfer J., 1-AminoTriazole Transition-Metal Complexes as Laser-Ignitable and Le-ad-Free Primary Explosives, *Chemistry–A European Journal*, 25, 8, 1963-1974, 2019
- 7 Parisi, E., Landi, A., Fusco, S., Manfredi, C., Peluso, A., Wahler, S., ... & Centore, R. (2021). High-energy-density materials: an amphoteric N-rich bis (triazole) and salts of its cationic and anionic species. *Inorganic chemistry*, 60(21), 16213-16222
- 8 Yan Q. L., Cohen A., Petrutik N., Shlomovich A., Zhang J. G., Gozin M, Formation of highly thermostable copper-containing energetic coordination polymers based on oxidized triaminoguanidine. *ACS applied materials & interfaces*, 8, 33, 21674-21682, 2016
- 9 Bi-Dong W., Zun-Ning Z., Fu-Gang L., Yang L., Tong-Lai Z., Jian-Guo Z., Preparation, cry-stal structures, thermal decompositions and explosive properties of two new high-nitrogen azide ethylenediamine energetic compounds, *New Journal of Chemistry*, 37(3):646–653, 2013
- 10 Hariharanth B., Chandrabhanu K. S., Rajendran A. G., Ravindran M., Kartha C. B., Detona-tor using nickel hydrazine nitrate as primary explosive, *Defence Science Journal*, 56, 3, p. 383, 2006
- 11 Yan Q. L., Cohen A., Petrutik N., Shlomovich A., Zhang J. G., Gozin M, Formation of highly thermostable copper-containing energetic coordination polymers based on oxidized triaminoguanidine. *ACS applied materials & interfaces*, 8, 33, 21674-21682, 2016

12 Cartwright, M. Investigation of preparation, solubility and stability properties of nickel hydrazine nitrate (NiHN). *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* 2018, 43, 1270–1276

13 Chhabra, J.; Talawar, M.; Makashir, P.; Asthana, S.; Singh, H. Synthesis, characterization and thermal studies of (Ni/Co) metal 981 salts of hydrazine: potential initiatory compounds. *Journal of hazardous materials* 2003, 99, 225–239

14 Zhang, J.; Zhang, T.; Zhang, J.; Yang, L.; Cui, Y.; Hu, X.; Liu, Z. Synthesis, crystal structure and thermal decomposition character 695 of  $[\text{Zn}(\text{CHZ})_3][\text{C}(\text{NO}_2)_3]_2(\text{H}_2\text{O})_2$  (CHZ=Carbohydrazide). *Structural Chemistry* 2008, 19, 321–328

15 Joas, M.; Klapötke, T.M. Laser Initiation of Tris (carbohydrazide) metal (II) Perchlorates and Bis (carbohydrazide) diperchlorato- 830 copper (II). *Propellants, Explosives, Pyrotechnics* 2015, 40, 246–252

16 Wang, K.; Dai, C.; Sun, C.; Cheng, L.; Zhang, J.; Zhang, T. The effects of  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{ClO}_4^-$  in the excellent primary explosive  $\text{Zn}$  828  $(\text{CHZ})_3(\text{ClO}_4)_2$ . *International Journal of Quantum Chemistry* 2020, 120, e26107

## ОСОБЛИВОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

**Ю.М. Феденко, В.В. Синіцька**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
fedenkoyura@ukr.net

Гальванічне виробництво являє собою промислову галузь, яка займається нанесенням захисних та декоративних покриттів на металеві та неметалеві вироби.

Гальваніка – це електрохімічний процес. Електричний ланцюг містить в собі електроліт, два анода, які підключені до джерела струму, та оброблювана деталь, яка виступає в ролі катода. Коли пропускається електричний струм на електроліті іони металу відновлюються на катоді, утворюючи тонку плівку при осадженні на поверхні виробу.

Гальванічне покриття застосовують для поліпшення захисних властивостей та декоративних характеристик виробів. Використовується якщо неможливо зробити цілий виріб з металу, або якщо вартість продукту буде занадто висока. Гарним прикладом слугує хром. Виробництво деталей і предметів з хрому неможливе через те, що цей метал твердий, але і володіє крихкою властивістю. Але не зважаючи на це, коли наносять хром на сталь, то це надає твердості та антикорозійні властивості. Найпоширеніші процеси – цинкування, нікелювання, хромування, міднення, сріблення, золочення [1-3].

Процес гальваніки відбувається у спеціалізованих ваннах (електролізерах). Туди завантажуються електроліт, який включає в себе солі того металу, котрий осідає на поверхні катоді. Для проходження електричного струму підключають електроди до ванни та виробу. Позитивний заряд під'єднують до анодів, а негативний – до оброблюваної деталі. Запустивши гальванічну систему через електроліт проходить електричний струм. Метал, котрий міститься в електроліті, однорідним шаром осідає на деталь. Два аноди в електролізному резервуарі використовуються для обробки обох поверхонь одночасно.

Кожен гальванічний процес складається з різних операцій, які можна розділити на три групи:

Підготовчі роботи. Перед початком основного процесу гальваніки компоненти необхідно очистити. На цьому етапі деталі обробляють, знежирюють, травлять і полірують.

Основним процесом є нанесення відповідного металевого покриття за допомогою гальванічних методів..

Фінішні процеси необхідні для підтримки та покращення зовнішнього вигляду гальванічних покриттів. Для цього зазвичай використовують фарбування, полірування та лакування [4-7].

Метою знежирення є видалення органічних масел, мінеральних масел і різних твердих речовин, що утримуються в масляній плівці, з поверхні компонентів плівки. Лужні засоби для знежирення повинні містити речовини, що нейтралізують жирні кислоти та емульгатори. Вони також не повинні викликати корозію металів і повинні легко видалятися водою. Цим умовам найбільше відповідають силікати та фосфати лужних металів. Також додають поверхнево-активні речовини з хорошими емульгуючими властивостями. Після знежирення розчин відправляється на рафінування.

Металеві поверхні перед фарбуванням необхідно очистити від окалини, іржі та оксидних плівок шляхом травлення. Процес травлення зазвичай слідує за процесом знежирення, і якість очищення безпосередньо залежить від якості попереднього процесу знежирення. Травлення проводиться розчинами на основі сірчаної, азотної, хлорної та фосфорної кислот. Хлорна кислота в основному розчиняє і видаляє оксиди на поверхні деталі. При використанні сірчаної кислоти оксиди видаляються в основному шляхом травлення металу і механічного видалення нещільної оксидної плівки за допомогою водню, що виділяється. Розчин після травлення повинен бути спрямований на видалення шкідливих забруднень.

Тому для очищення промислових стічних вод використовують лужні та кислі промивні води. Концентрованими стічними водами, витрата яких визначається об'ємом ванни і складом розчину, є відпрацьований технологічний розчин у ванні або промивні води з іншої технологічної операції. 90-95% гальванічної води використовується на промивні операції. При цьому близько 80% маси всіх шкідливих речовин у стічних водах походить зі стічних вод і розчинів електролітів [8].

Кількість, кількісний та якісний склад стічних вод залежить від витрат води на промивання, методу очищення та складу технічного розчину.

Наприклад, розглянемо гальванічну лінію продуктивністю 26 м<sup>2</sup>/год нікелю і 2 м<sup>2</sup>/год хрому з декоративним нікель-хромовим покриттям і стаціонарною ручною ванною для одноступеневого очищення (рисунок 1).

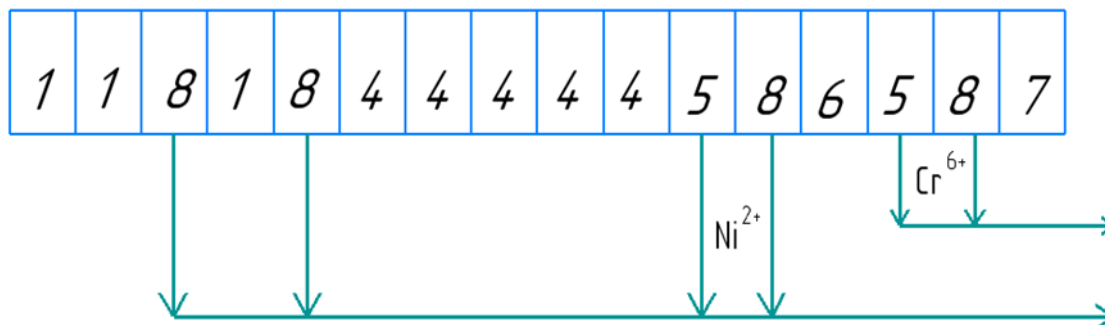


Рисунок 1 Гальванічні лінії для нанесення декоративного покриття (нікель і хром) з продуктивністю за нікелюванням – 26 м<sup>2</sup>/год, за хромуванням – 2 м<sup>2</sup>/год.

1 - знежирення, 4 - нікелювання, 5 - відновлення металу, 6 - хромування,  
7 - сушіння компонентів, 8 - холодне промивання.

У цьому методі кислотно-лужний дренаж складається з лужної промивної води після знежирення 1, кислотної промивної води після нікелювання 4 та технологічних рідин. Стоки концентрат представлені у вигляді промивних вод та стоками після хромування 6. Об'єм та склад стічних вод такої гальванічної лінії наведений в таблиці 1 та таблиці 2 відповідно [9].

Таблиця 1 Обсяг стічних вод гальванічної лінії

Назва технологічної операції	Питоме видалення рідини, $\text{дм}^3/\text{м}^2$	Концентрація компонентів, що очищаються, $\text{г}/\text{дм}^3$		Витрата води, $Q$ , $\text{дм}^3/\text{год}$
		в технологічній ванні, $C_0$	гранично допустима, $C_{ГДК}$	
Знежирення	0,3	35	0,1	2650
Активация	0,2	100	0,1	5000
Активация	0,2	100	0,1	5000
Нікелювання	0,2	52	0,01	10400
Хромування	0,3	127	0,01	4600
Обсяг кислото-лужних стоків				18050
Обсяг хромвмісних стоків				4600

Таблиця 2 Склад стічних вод гальванічної лінії

Компонет	Макс. концентрація компоненту ванні, $\text{г}/\text{дм}^3$	Макс. винос компоненту, $\text{г}/\text{год}$	Максимальна конц. компонентів у стічних водах, $\text{мг}/\text{дм}^3$
NaOH	36	263	15
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	35	263	15
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	35	263	15
HCl	100	500	28
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	320	1600	89
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	60	300	17
$\text{H}_3\text{BO}_4$	40	200	11
1,4 - бутиндіол	0,5	2,5	0,1
Формалін	1,2	6	0,3
Хлорамін Б	2,5	13	0,7
$\text{CrO}_3$	250	225	49
$\text{H}_2\text{SO}_4$	2,5	2,3	0,5
Хромоксан	0,2	0,2	0,04

Вибір обладнання та методу промивання визначає кількісний та якісний склад промивних та стічних вод, що, в свою чергу, визначає склад та ефективність роботи очисної установки [10].

Внаслідок різних процесів, пов'язаних з гальванічним виробництвом, утворюються стічні води різного складу. Залежно від фазового стану речовин у розчині, всі забруднювачі у стічних водах можна розділити на такі групи:

- Тонко-дисперсні суспензії, емульсії.
- Полімерні сполуки, колоїди.

- Органічні речовини, розчинені у воді.
- Солі, кислоти та луги, розчинені у воді.

Загалом, для кожної з цих груп забруднювачів існують свої методи очищення. Наприклад, гравітація, флоатація та адгезія є найефективнішими методами очищення води від дрібнодисперсних суспензій та емульсій. Для колоїдних систем використовуються методи коагуляції. Розчинені органічні речовини найефективніше видаляються з води адсорбційними методами очищення, тоді як розчинені в електролітах солі, кислоти і луги найефективніше видаляються з води реактивними методами або методами знесолення шляхом переведення іонів у нерозчинні сполуки [10].

Якщо класифікувати методи очищення за домінуючим процесом (або основним обладнанням), то їх можна розділити на сім груп механічні, хімічні, флокуляційно-суспензійні, електрохімічні, сорбційні, мембранні та біологічні.

Однак ці методи самі по собі не можуть повністю задовольнити сучасні вимоги, очищення відповідно до норм ГДК (особливо іонів важких металів), 90-95% води повертається в оборотний цикл, нижча вартість очищення, утилізація цінних ресурсів (кислот, лугів, металів).

Для більших обсягів виробництва рекомендується поєднувати в системі очищення кілька методів, наприклад, реагентний та іонний обмін, реагентний та електрохімічний, реагентний та мембранний [10].

#### **Список літературних джерел**

- 1 «Світ сучасної водопідготовки»: Технологічні рішення / за ред. Мітченко Т. Є. Київ : ВУВТ WATERNET, 2021. 82 с.
- 2 Запольский А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 573 с.
- 3 Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами / за ред. І. М. Астреліна, Х. Ратнавіри Water Harmony Project, 2015. 574-577 с.
- 4 Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами / за ред. І. М. Астреліна, Х. Ратнавіри Water Harmony Project, 2015. 678 с.
- 5 Подвігін В. І., Гуревич В. О. Організація виробничого процесу в часі та просторі. Потокове виробництво : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 136 с.
- 6 Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2008. 234-236 с.
- 7 Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2007. 346 с.
- 8 Економіка підприємства : навч. посіб. / за заг. ред. П. В. Круша, В. І. Подвігіної, Б. М. Сердюка. Київ : Ельга-Н, КНТ, 2007. 783 с.
- 9 Очистка стічних вод гальванічних виробництв від іонів цинку іонообмінним методом / Гомеля М.Д., Глушко О.В., Радовенчик В.М. // І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнар. наук.-техн. конф., 4-7 жовтня 2006 р.: тези допов. – Вінниця, 2006. – С. 223.
- 10 Обушенко Т.І. Вилучення зі стічних вод іонів металів методом флоатекстракції / Обушенко Т.І., Астрелін І.М., Толстопалова Н.М., Черняк Н.В. // І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнар. наук.-техн. конф., 4-7 жовтня 2006 р.: тези допов. – Вінниця, 2006. – С. 40.



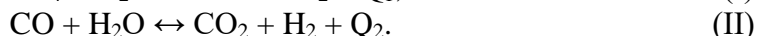
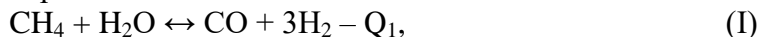
## КІНЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ШАХТНОГО РЕАКТОРА ЗАСОБАМИ EXCEL

А.Л. Концевой, С.А. Концевой, О.М. Кліменков

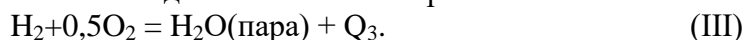
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

kontsev@xtf.kpi.ua

Паро-повітряна каталітична конверсія метану – друга ступінь конверсії природного газу (ПГ), що перебігає в шахтному реакторі на нікелевому каталізаторі згідно оборотних реакцій:



В умовах виробництва вплив екзотермічної реакції парової конверсії CO є незначним і компенсацію ендоефекту парової конверсії метану проводять за рахунок горіння, наприклад, частини водню з киснем повітря:



При цьому з повітрям дозується необхідна кількість азоту для синтезу аміаку – відповідне співвідношення  $(\text{CO} + \text{H}_2)/\text{N}_2$  на виході з конвертора має дорівнювати 3,14. Нагадаємо, що оксид карбону (II) конвертується до водню на наступній стадії парової конверсії CO, а теоретичне співвідношення водню до азоту в синтезі аміаку дорівнює 3.

Шахтний реактор пароповітряної конверсії призначено для проведення практично повної конверсії метану, що залишився в газі після трубчастої печі, і додавання в склад отриманого технологічного газу необхідної кількості атмосферного азоту.

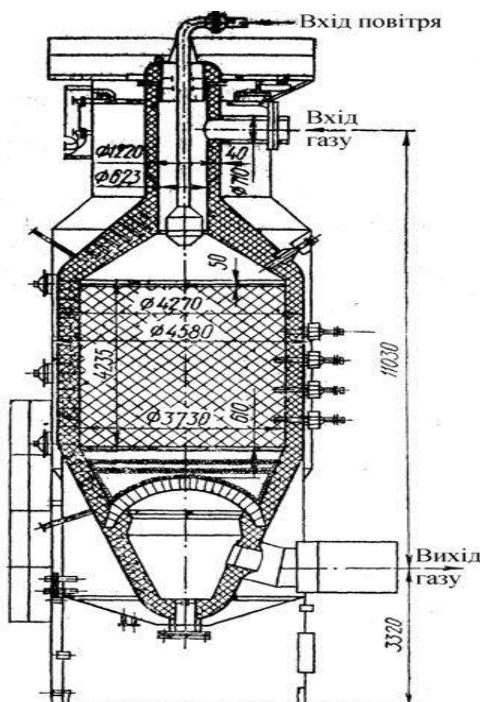


Рисунок 1 Шахтний конвертор [1]

Апарат має вертикально розташовану металеву обичайку з мало вуглецевої сталі. Верхня конусна частина апарату є основою для змішувача повітря й парогазової суміші, що подається з трубчастої печі. Нижня частина обичайки

закінчується конічним днищем із двома боковими відводами конвертованого газу. У середині реактор футерований монолітним вогнетривким бетоном, товщиною біля 300 мм. Верхня частина апарату виконана з корунду високої чистоти.

Шахтний реактор зовні захищається водяною оболонкою. У блоці парової конверсії природного газу він скомпонований із трубчастою піччю, котлами-утилізаторами й парозбірником.

Конвертований газ при температурі 1080-1100 К поступає із трубчастої печі футерованим колектором у змішувач шахтного реактора, туди ж компресором подається технологічне повітря. Газ у корпус змішувача подається тангенційно, повітря – зверху. Температура пароповітряної суміші на вході в реактор складає 755-773 К. При змішуванні потоків швидкість витікання повітря із сопел розподільчого пристрою сягає 60 м/с, швидкість руху газу в циліндричній частині змішувача – 20 м/с. Теплове навантаження у вільному об'ємі шахтного реактору складає біля  $117 \cdot 10^6$  кДж/м<sup>3</sup>. Середня температура парогазової суміші над каталізатором після зв'язування кисню повітря горючими компонентами конвертованого газу, головним чином воднем, дорівнює 1573 К.

Температура газу на виході із реактора знаходиться у діапазоні 1273-1373 К. Газ після шахтного конвертора поступає в котел-утилізатор на охолодження до 400 °С, при цьому виробляється водяна пара за тиску 4 МПа.

Швидкість парової каталітичної конверсії метану під тиском до 4 МПа в реакторі ідеального витіснення описується рівнянням:

$$-\frac{dP_{CH_4}}{d\tau} = K \cdot \frac{P_{CH_4}}{P_{H_2}} \left( 1 - \frac{1}{K_1} \cdot \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}^3}{P_{CH_4} \cdot P_{H_2O}} \right),$$

де  $P_i$  - парціальний тиск відповідного компонента;

$\tau$  - час контакту, с;

$K$  - константа швидкості;

$K_1$  - константа рівноваги.

Позначимо ступінь перетворення метану через  $X$ , а ступінь перетворення CO через  $Y$ .

Нехтуючи меншим ніж 10% збільшенням об'єму вологого газу в зоні конверсії, з урахуванням реакцій парової конверсії  $CH_4$  і CO молярні (об'ємні) концентрація  $n_i$  (частка) і парціальні тиски компонентів конвертованого газу  $P_i$  дорівнюють:

$$\begin{aligned} n_{CH_4} &= n_{CH_4}^0 \cdot (1-X), & P_{CH_4} &= P \cdot n_{CH_4}^0 \cdot (1-X); \\ n_{CO_2} &= n_{CO_2}^0 + (n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X) \cdot Y, & P_{CO_2} &= P \cdot (n_{CO_2}^0 + (n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X) \cdot Y); \\ n_{CO} &= (n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X) \cdot (1-Y), & P_{CO} &= P \cdot (n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X) \cdot (1-Y); \\ n_{H_2} &= n_{H_2}^0 + 3n_{CH_4}^0 \cdot X + n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot Y, & P_{H_2} &= P \cdot (n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot (3+Y)); \\ n_{H_2O} &= n_{H_2O}^0 - n_{CH_4}^0 \cdot X - n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot Y, & P_{H_2O} &= P \cdot (n_{H_2O}^0 - n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot (1+Y)); \end{aligned}$$

$$\text{Ступінь перетворення: } X = \frac{P_{CH_4}^0 - P_{CH_4}}{P_{CH_4}^0},$$

звідки  $dP_{CH_4} = -P_{CH_4}^0 dX$ , де  $P_{CH_4}^0 = P \cdot n_{CH_4}^0$  - парціальний тиск метану у вихідній вологій суміші на виході зони горіння, атм. З урахуванням останньої формули рівняння кінетики приймає проміжний вид:

$$\frac{dx}{d\tau} = K \cdot \frac{P_{CH_4}}{P_{H_2} \cdot P_{CH_4}^0} \left( 1 - \frac{1}{K_1} \cdot \frac{P_{CO} \cdot P_{H_2}^3}{P_{CH_4} \cdot P_{H_2O}} \right).$$

З урахуванням виразів парціального тиску останнє рівняння приймає вид, що дозволяє організувати його числове інтегрування:

$$\frac{dX}{d\tau} = K \cdot \frac{(1-X)}{P \cdot \left( n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot (3+Y) \right)} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{K_1} \cdot \frac{\left( n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X \right) \cdot (1-Y) \cdot \left( n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot (3+Y) \right)^3 \cdot P^2}{n_{CH_4}^0 \cdot (1-X) \cdot \left( n_{H_2O}^0 - n_{CH_4}^0 \cdot X \cdot (1+Y) \right)} \right]$$

Час контакту на кожному кроці інтегрування:

$$\tau_i = \frac{P \cdot \left( n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X_i \cdot (3+Y) \right) dX}{K_i \cdot (1-X_i) \cdot \left[ 1 - \frac{1}{K_{1i}} \cdot \frac{\left( n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X_i \right) \cdot (1-Y) \cdot \left( n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X_i \cdot (3+Y) \right)^3 \cdot P^2}{n_{CH_4}^0 \cdot (1-X_i) \cdot \left( n_{H_2O}^0 - n_{CH_4}^0 \cdot X_i \cdot (1+Y) \right)} \right]}$$

Загальний час перебування:  $\tau = \sum \tau_i$ .

Вихідні дані

Ступінь перетворення CH <sub>4</sub>	X=0,955
Ступінь перетворення CO	Y=0,059.
Температура на вході у зону конверсії, К	T <sub>вх</sub> =1584.
Температура на виході із зони конверсії, К	T <sub>вих</sub> =1273.
Тиск процесу, атм	P = 32.
Ступінь використання поверхні каталізатора, частка	C = 0,35.
Порозність насадки	AN = 0,5.
Коефіцієнт запасу	K <sub>зап</sub> = 4.
Кількість кроків інтегрування	n = 100.

Таблиця 1 Склад газу на вході у зону каталізу

Компонент	Вологий газ	
	м <sup>3</sup> /год	%
CH <sub>4</sub>	5513,02	4,59
CO	5716,13	4,76
CO <sub>2</sub>	5687,12	4,74
H <sub>2</sub>	30928,21	25,76
N <sub>2</sub>	18376,32	15,31
Ar	233,44	0,19
H <sub>2</sub> O	53600,94	44,65
Разом	120055,18	100,00

Зауважимо, що точність розрахунку підвищується із зростанням кількості кроків інтегрування.

Алгоритм розрахунку

1. В подальших розрахунках Y залишається постійною величиною при інтегруванні, враховуючи миттєве досягнення рівноваги реакції парової конверсії CO за умовами конверсії.

2. Середня температура  $T_{сер} = (T_{вх} + T_{вих})/2$ .
3. Коефіцієнт  $a$ , що враховує зміну температури  $a = \frac{T_{вх} - T_{вих}}{X}$ .
4. Крок інтегрування  $H = dX = X/n$ .
5. Ступінь перетворення  $CH_4$  на кожному кроці  $X_i = X_{i-1} + H$ .
6. Температура (адіабатичний режим)  $T_i = T_{вх} - a \cdot X_i$ .
7. Константа швидкості  $K_i = 10^{(6,3 - 4720/T_i)}$ .
8. Константа рівноваги конверсії метану:

$$K_{i1} = 10^{(-9840/T_i + 8,343001 \cdot \text{LOG}_{10}(T_i) - 0,002059 \cdot T_i + 1,78 \cdot 10^{(-7)} \cdot T_i^2 - 11,96)}.$$

В наступних рівняннях використовуються концентрації компонентів  $n_i^0$ , об'ємні (молярні) частки, на вході в зону конверсії за даними таблиці 1.

9.  $X_{2i} = n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X_i \cdot (3+Y)$ .
10.  $X_{3i} = (n_{CO}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X_i) \cdot (1 - Y) \cdot (n_{H_2}^0 + n_{CH_4}^0 \cdot X_i \cdot (3+Y))^3 \cdot P^2$ .
11.  $X_{4i} = K_{i1} \cdot n_{CH_4}^0 \cdot (1 - X_i) \cdot (n_{H_2O}^0 - n_{CH_4}^0 \cdot X_i \cdot (1+Y))$ .
12.  $X_{5i} = X_{2i} / (1 - X_i) / (1 - X_{3i} / X_{4i})$ .
13.  $\tau_i = H \cdot P \cdot X_{5i} / K_i$ .

Значення  $X_i$ ,  $T_i$ ,  $K_{i1}$ ,  $X_{2i}$ ,  $X_{3i}$ ,  $X_{4i}$ ,  $X_{5i}$  та  $\tau_i$  розраховують у таблиці 1 копіюють колонки протягуванням (авто заповненням).

14. Час контакту, с  $\tau = \sum \tau_i$ .
15. Об'єм каталізатору, м<sup>3</sup>:  $V_{kat} = \frac{\tau \cdot V_{вол} \cdot K_{зан} \cdot T_{сер}}{3600 \cdot P \cdot 273 \cdot C \cdot AN}$ .

Таблиця 2 Фрагмент контрольного розрахунку

№	$X_i$	$T_i$	$K_i$	$K_{i1}$	$X_{2i}$	$X_{3i}$	$X_{4i}$	$X_{5i}$	$\tau_i$
1	0,00955	1580,9	2062,2	494203	0,25894	0,80367	10021,2	0,26146	3,87E-05
2	0,0191	1577,8	2034,5	477701	0,26028	0,82367	9583,21	0,26537	3,99E-05
3	0,02865	1574,7	2007	461687	0,26162	0,84403	9162,23	0,26936	4,1E-05
4	0,0382	1571,6	1979,8	446150	0,26296	0,86476	8757,69	0,27343	4,22E-05
96	0,9168	1285,4	424,72	9359,5	0,38633	4,98256	14,3664	7,10884	0,005115
97	0,92635	1282,3	416,1	8889,8	0,38767	5,05923	12,0652	9,06468	0,006657
98	0,9359	1279,2	407,62	8441,6	0,38901	5,13678	9,95977	12,5324	0,009396
99	0,94545	1276,1	399,26	8014	0,39035	5,2152	8,03721	20,38	0,015599
100	0,955	1273	391,04	7606,1	0,39169	5,29452	6,2854	55,2129	0,043149

Час контактування складає  $\tau = 0,12604$  с, об'єм каталізатору  $V_{kat} = 15,71$  м<sup>3</sup>.

### Список літературних джерел

1 ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Технологія зв'язаного азоту: підручник / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О. Я ЛОБОЙКО, Г.І. ГРИНЬ та ін. – Харків.: НТУ “ХП”, 2007. 536 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ВІД ФТОРУ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ ТА ЇХ АКТИВОВАНИМИ ВРАЗКАМИ

**В.С. Куриленко, Н.М. Толстопалова, О.В. Сангінова, Т.І. Обушенко**

Національний технічний університет України

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна

vi.kurylenko@kpi.ua

У даній роботі досліджено адсорбцію фторид-іонів ( $F^-$ ) з використанням природних сорбентів, наприклад бентоніту і цеоліту, а також їх активованих аналогів. Експерименти з адсорбції проводили при різних початкових концентраціях  $F^-$  та рівнях рН, з метою оцінки адсорбційної ефективності бентоніту та цеоліту, а також їх активованих версій в різних умовах.

Фтор є хімічним елементом, який присутній у природному середовищі, і його наявність може бути зумовлена як природними процесами, так і людською діяльністю [1]. Хоча в низьких концентраціях фтор має корисний вплив, зокрема, у запобіганні карієсу, висока концентрація фтору в питній воді може стати причиною флюорозу зубів і скелета, що становить серйозну загрозу здоров'ю в багатьох регіонах світу [2]. Тому видалення надлишку фтору з джерел питної води є питанням великої важливості та наукового інтересу.

Для очищення водних розчинів від іонів фтору використовують різні методи, такі як осадження, мембранні процеси, електрокоагуляція, адсорбція та іонний обмін [3]–[7]. Кожен із цих методів має свої переваги і недоліки.

Адсорбція є одним із перспективних підходів до видалення фтору завдяки своїй простоті, економічній ефективності та можливості використання різних адсорбентів. У процесі адсорбції іони фтору накопичуються на поверхні твердого матеріалу або адсорбенту, що дозволяє ефективно знизити концентрацію фтору у воді [8], [9].

Ефективність природних сорбентів часто можна підвищити за допомогою процесів активації або модифікації, спрямованих на збільшення кількості активних центрів або зміну властивостей поверхні для посилення адсорбції фтору [10]. Це дослідження спрямоване на вивчення адсорбційної здатності природних сорбентів та їх активованих версій для видалення фтору.

Матеріали та методи: Адсорбційні експерименти проводили з використанням бентонітових та цеолітових сорбентів при різних вихідних концентраціях фториду (3, 5, 10 та 15 мг/дм<sup>3</sup>) та значеннях рН (7,5; 3,7; 2; 4; 6; 8). Кислотну активацію сорбентів проводили розчином 2М HNO<sub>3</sub>. Доза сорбенту становила від 0,1 до 1 г на 100 мл модельного розчину. Також досліджено вплив часу сорбції на залишковий вміст фторид-іонів.

Загалом досліджено ефективність природних цеоліту та бентоніту без регуляції рН та з регуляцією (Рис.1).

- Бентоніт (рН 7,5)

Ефективність адсорбції бентоніту при нерегульованому рН 7,5 була обмежена, можливо, через несприятливу електростатичну взаємодію між негативно зарядженими іонами  $F^-$  і слабо зарядженою поверхнею бентоніту. Наприклад, ступінь видалення фтору зростав від 8,33% ( $C_0 = 3$  мг/дм<sup>3</sup>) до 18% ( $C_0 = 10$  мг/дм<sup>3</sup>), а потім зменшився до 12% ( $C_0 = 15$  мг/дм<sup>3</sup>), що може свідчити про межу сорбційної ємності.

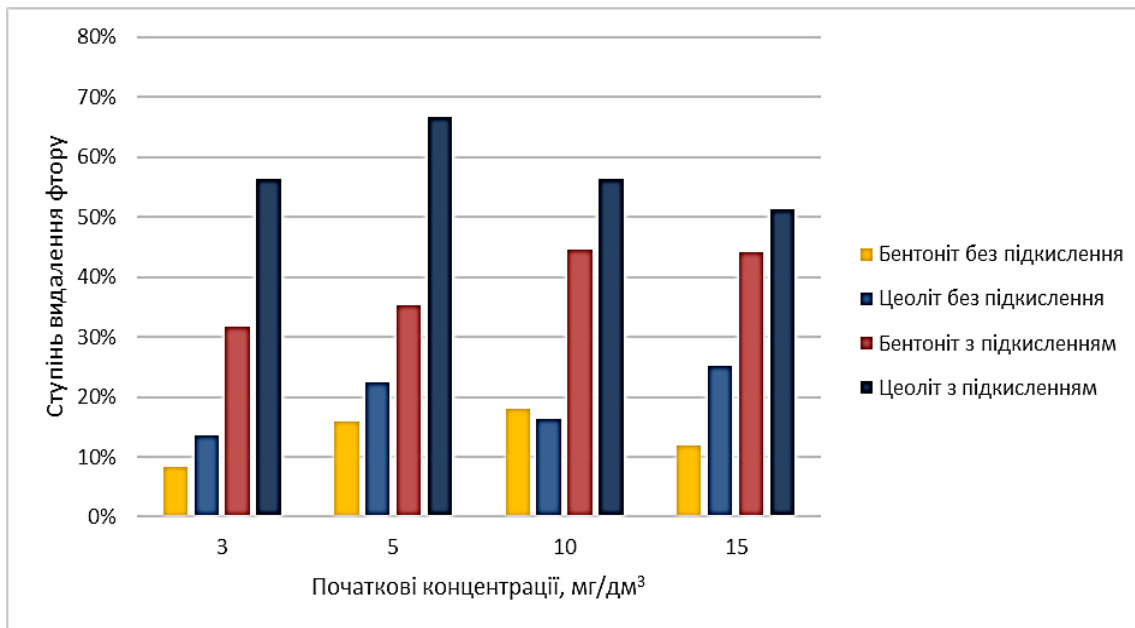


Рисунок 1 Порівняння ефективності сорбції фторид-іонів природними цеолітом на бентонітом

- Цеоліт (рН 7,5)

Цеоліт продемонстрував дещо кращу адсорбційну ефективність, ніж бентоніт при рН 7,5. Вищу ефективність можна пояснити наявністю більш доступних і активних центрів адсорбції на поверхні цеоліту порівняно з бентонітом. Проте загальна адсорбційна здатність залишалася відносно низькою: від 13,67% до 25,13% для початкових концентрацій  $F^-$  3 та 10 мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

- Бентоніт (рН 3,7 підкислений 0,1 М НСІ)

Підкислення розчину до рН 3,7 значно покращило адсорбційну ефективність бентоніту, причиною є протонування поверхні бентоніту, що сприяло адсорбції іонів  $F^-$  через електростатичну взаємодію. Відсоток видалення збільшувався з вищими початковими концентраціями фтору, коливаючись від 31,67% до 44,5%.

- Цеоліт ( рН 3,7 підкислений 0,1 М НСІ)

Подібним чином підкислення до рН 3,7 підвищило адсорбційну здатність цеоліту. Протонування поверхні цеоліту могло створити більш активні центри адсорбції, що призвело до вищого відсотка видалення фтору: від 51,33% до 66,8%, причому найвища ефективність спостерігалася при  $C_0 = 5$  мг/дм<sup>3</sup>.

- Цеоліт, активований нітратною кислотою

Кислотна активація з використанням 2М розчину  $HNO_3$  суттєво підвищила ефективність адсорбції цеоліту. Процес активації сприяв видаленню домішок та збільшенню кількості активних центрів адсорбції, що призвело до майже повного видалення іонів фтору для концентрацій 3, 5, 10 та 15 мг/дм<sup>3</sup> (розчини №1, №2, №3, №4 відповідно) через 120 хвилин. Було проведено дослідження ступеня видалення відносно часу (Рис. 2), після 15 хвилин від 96,87% до 99,57%, після 180 хвилин була досягнута рівновага у всіх зразках досягаючи ступенів видалення від 99,93% до 99,97%. В зв'язку з цим було вирішено зменшити дозу сорбенту в 10 разів в наступних дослідах.



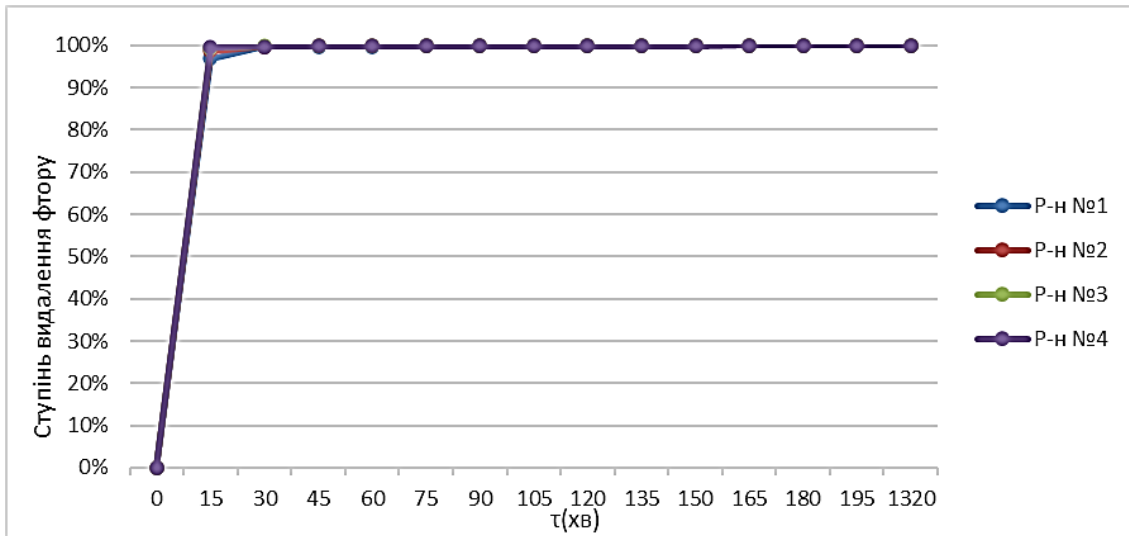


Рисунок 2 Залежність ступеню видалення фтору від часу

Зменшення кількості сорбенту до 0,1 г на 100 мл знижує ступінь видалення фтору. Імовірно, це пов'язано з недостатньою кількістю доступних місць адсорбції для іонів  $F^-$  в результаті зменшення кількості сорбенту. Ступінь видалення зменшувався від 95,97% до 52,6% зі зростанням вихідної концентрації модельного розчину (Рис. 3).

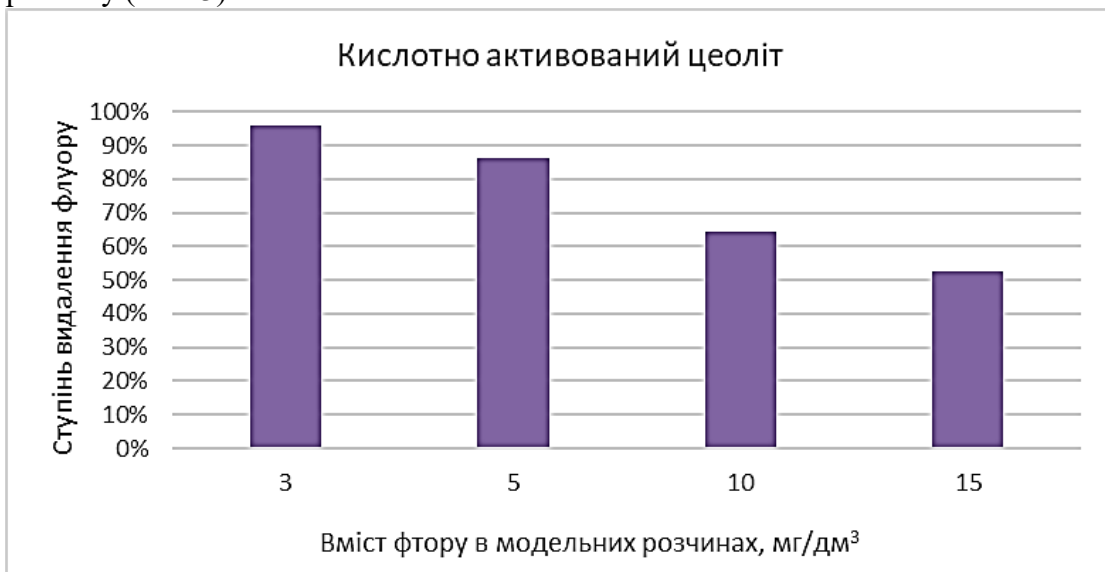


Рисунок 3 Ступінь видалення фтору при зменшенні початкової концентрації

Для визначення впливу дози сорбенту було проведено дослідження з цеолітом (Рис. 4) при початкових концентраціях фтору – 3 мг/дм<sup>3</sup> та 5 мг/дм<sup>3</sup> використовуючи наступні дози сорбентів: 25 мг, 50 мг, 75 мг, 100 мг, 1000 мг. Якщо провести інтерполяцію, то можна побачити, що при початковій концентрації фтору – 3 мг/дм<sup>3</sup> ГДК досягається при дозі сорбенту в 40 мг, а при початковій концентрації фтору в 5 мг/дм<sup>3</sup> – 70 мг.

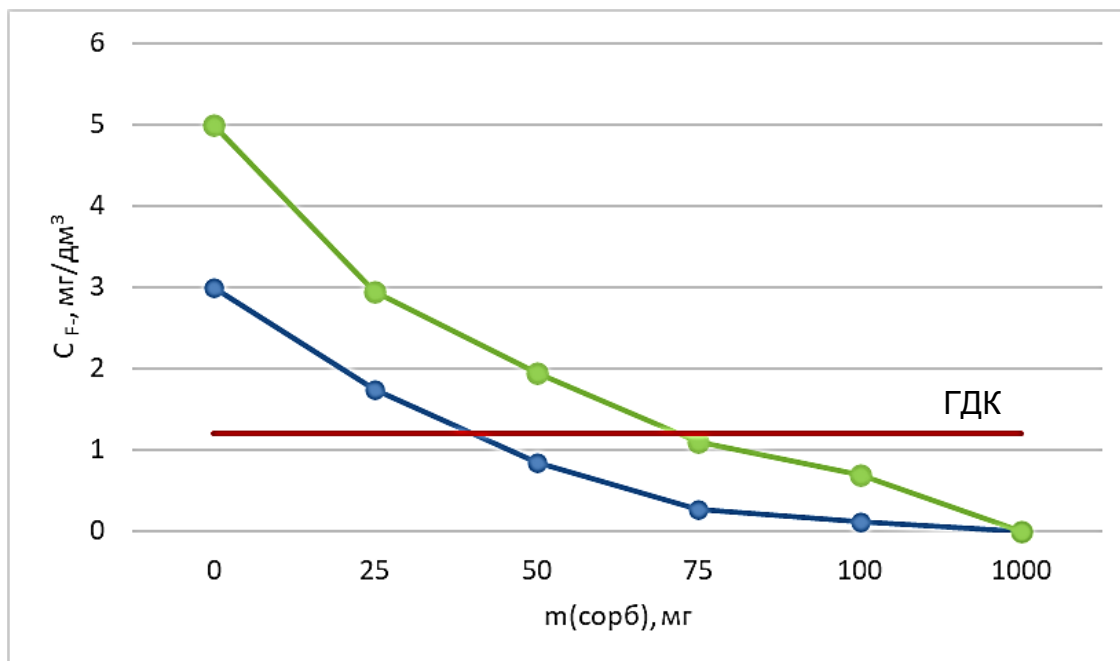


Рисунок 4 Залежність ефективності видалення фтору кислотно активованим цеолітом від дози сорбенту

Можна побачити, що ефективність сорбції зростає із збільшенням дози цеоліту, проте цей зріст не є лінійним. Наприклад, для початкової концентрації фтору 3 мг/дм<sup>3</sup>, ефективність сорбції при 25 мг становить більше 40%, але коли доза збільшується до 100 мг, видалення підвищується до майже 96%. Це свідчить про те, що вже при невеликій дозі сорбенту можливе високе видалення речовини. Проте при збільшенні початкової концентрації фтору до 5 мг/дм<sup>3</sup>, доза сорбенту, необхідна для досягнення аналогічного відсотку видалення, збільшується. Це підкреслює важливість вибору оптимальної дози сорбенту в залежності від концентрації забруднювача у воді.

Також подібне дослідження було проведено для бентоніту (Рис. 5) при тих самих початкових концентраціях. Дози сорбенту було змінено на 50 мг, 75 мг, 100 мг, 200 мг, 300 мг, 400 мг, 1000 мг. Результати показали, що ГДК при використанні бентоніту досягається тільки при дозуванні в 118 мг при початковій концентрації фтору 3 мг/дм<sup>3</sup> та 184 мг при початковій концентрації фтору 5 мг/дм<sup>3</sup>. Загалом, результати демонструють, що оптимальні умови для досягнення ГДК в 1,2 мг/дм<sup>3</sup> включають використання дози сорбенту 200 мг та відповідної початкової концентрації фторидів.

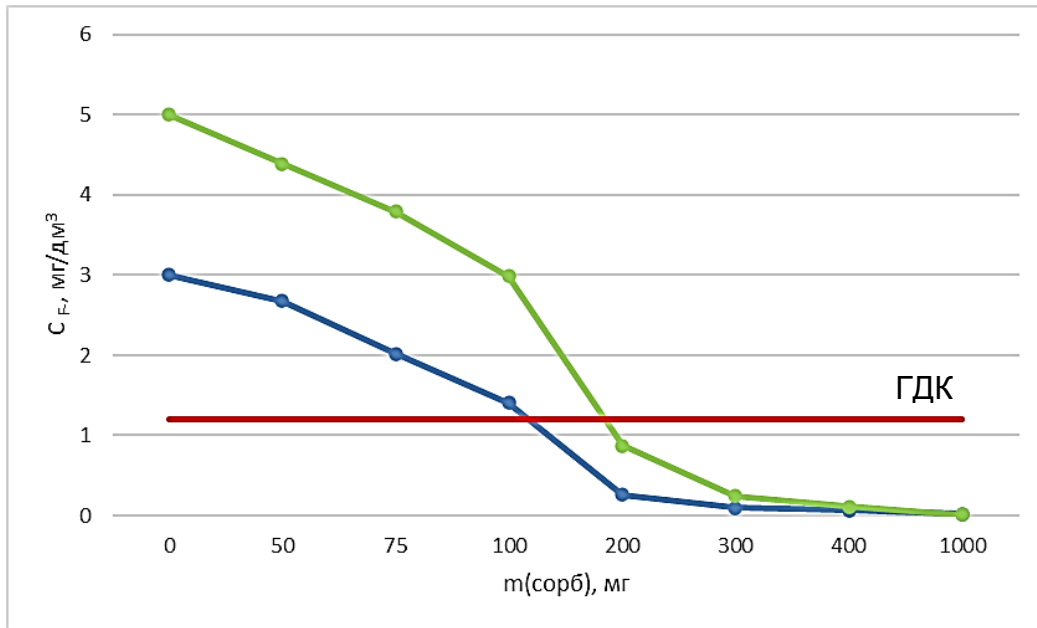


Рисунок 5 Залежність ефективності видалення фтору кислотно активованим бентонітом від дози сорбенту

Проведено дослідження з метою вивчення ефективності різних сорбентів, таких як активований кислотою цеоліт та бентоніт в залежності від часу (Рис. 6). Цеоліт, активований кислотою, проявив високу початкову ефективність у видаленні забруднювача, особливо на початку при нижчих дозах, в порівнянні з бентонітом. Однак, необхідно зазначити, що при подальшому збільшенні дози, ефективність цеоліту у видаленні забруднювача поступово зменшується, що свідчить про швидке насичення його активної поверхні. Бентоніт показав меншу початкову ефективність, його ефективність у видаленні забруднювача показує плавний спад, вказуючи на більш тривалий процес насичення порівняно з цеолітом.

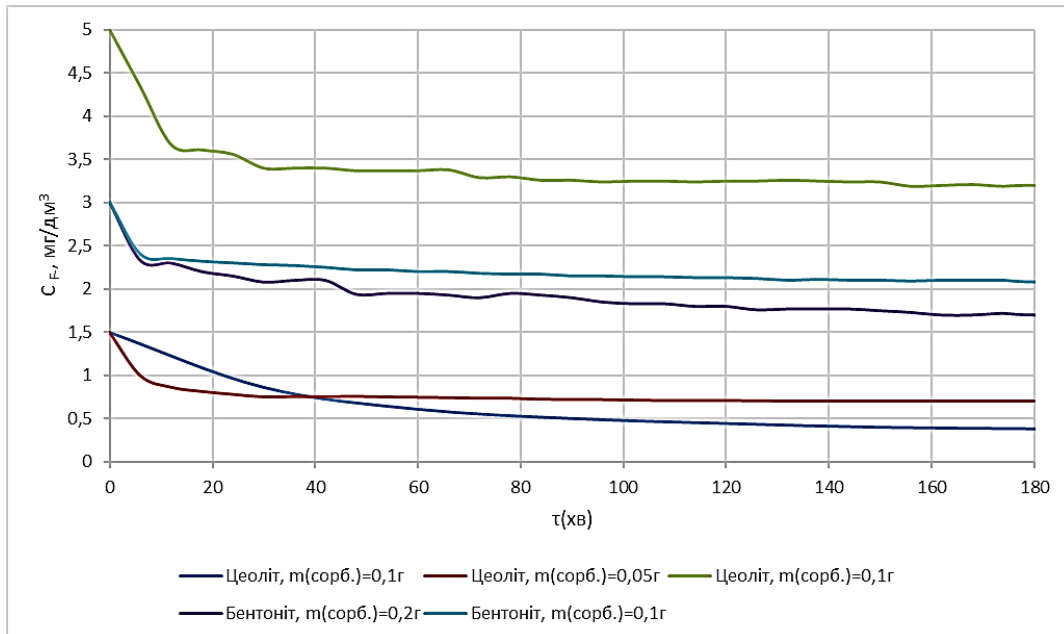


Рисунок 6 Зміна концентрацію фтору від часу при різних умовах

Додатково було виявлено, що концентрація сорбенту впливає на ефективність процесу. Зокрема, для цеоліту вища концентрація сорбенту призводить до нижчої ефективності в порівнянні з меншими концентраціями. Проте такий вплив не є яскраво вираженим для бентоніту. Після досягнення певної дози обидва сорбенти демонструють певну стабілізацію ефективності, що може свідчити про досягнення максимального насичення їхньої активної поверхні.

Підсумовуючи проведені дослідження щодо залежності ефективності сорбції фторидів від типу сорбенту та його обробки – активованій кислотою цеоліт показав високу ефективність видалення фторидів, досягаючи відсотка видалення 96,24% при дозі сорбенту 2 г/дм<sup>3</sup>, що свідчить про високу активність та наявність пор, здатних сорбувати іонів фтору. Ці результати вказують на важливість детального вивчення механізмів сорбції та оптимізації сорбентів, щоб досягти найкращої ефективності видалення забруднювачів з води.

Подальші дослідження будуть спрямовані на покращення властивостей сорбентів завдяки інноваційним методам модифікації, що можуть підвищити ефективність видалення фторид-іонів із води, сприяючи таким чином забезпеченню чистої питної води у відповідності до глобальних стандартів здоров'я та безпеки.

#### **Список літературних джерел**

- 1 W. M. Edmunds and P. L. Smedley, "Fluoride in natural waters," *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*, pp. 311–336, Jan. 2013, doi: 10.1007/978-94-007-4375-5\_13.
- 2 World Health Organization, "Fluoride in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality," 2009.
- 3 T. Arfin and S. Waghmare, "Fluoride removal from water by various techniques: Review," *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 2, pp. 560–571, Dec. 2015.
- 4 J. Singh, P. Singh, and A. Singh, "Fluoride ions vs removal technologies: A study," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 9, no. 6, pp. 815–824, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.06.005>.
- 5 M. Mohapatra, S. Anand, B. K. Mishra, D. E. Giles, and P. Singh, "Review of fluoride removal from drinking water," *J Environ Manage*, vol. 91, no. 1, pp. 67–77, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.015>.
- 6 M. Suneetha, B. Sundar, and K. Ravindhranath, "Studies on defluoridation techniques: A critical review," vol. 8, pp. 295–309, Dec. 2015.
- 7 P. Renuka and K. Pushpanjali, "Review on Defluoridation Techniques of Water 1," 2013.
- 8 A. Bhatnagar, W. Hogland, M. Marques, and M. Sillanpää, "An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications," *Chemical Engineering Journal*, vol. 219, pp. 499–511, Mar. 2013, doi: 10.1016/J.CEJ.2012.12.038.
- 9 G. Alagumuthu and M. Rajan, "Equilibrium and kinetics of adsorption of fluoride onto zirconium impregnated cashew nut shell carbon," *Chemical Engineering Journal*, vol. 158, no. 3, pp. 451–457, Apr. 2010, doi: 10.1016/J.CEJ.2010.01.017.
- 10 A. Bhatnagar, E. Kumar, and M. Sillanpää, "Fluoride removal from water by adsorption –A review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 171, no. 3, pp. 811–840, Jul. 2011, doi: 10.1016/J.CEJ.2011.05.028.

**ПЕРСПЕКТИВНА ДЕРЖАВНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ТА  
РОЗМІНУВАННЯ (ЗНЕШКОДЖЕННЯ) ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ  
ПРЕДМЕТІВ, ЯКІ МОЖУТЬ ПРЕДСТАВЛЯТИ ЗАГРОЗУ  
РАДІАЦІЙНОГО, ЯДЕРНОГО, ХІМІЧНОГО ТА БІОЛОГІЧНОГО  
ХАРАКТЕРУ**

**І.М. Швець, З.М. Швець**

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України  
Командування Військово-Морських Сил Збройних Сил України  
3031715778@ukr.net  
zooyashvets86@gmail.com

Актуальним питанням в умовах ведення бойових дій з окупаційними військами Збройних Сил російської федерації є значне підвищення ймовірності загрози застосування зброї масового ураження як військового, терористичного, кримінального, техногенного та іншого характеру [1]. В сучасних умовах масованих обстрілів всієї глибини території України, найбільшими загрозами, які виникають з боку російської федерації, як країни що володіє ядерною, хімічною і біологічною зброєю, всіма видами її доставлення і можливістю застосування, є розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів в яких не спрацювала або відбулася часткова руйнація вибухової частини, під впливом засобів протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби.

Розвідкою радіаційного, хімічного, біологічного (далі – РХБ) зараження в Збройних Силах України займаються підрозділи військ РХБ захисту на озброєнні яких є спеціальні машини та прилади РХБ розвідки. Розмінуванням та знешкодженням вибухонебезпечних предметів у Збройних Силах України займаються інженерно-саперні підрозділи інженерних військ.

Наразі система знешкодження вибухонебезпечних предметів, які можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру, є недосконалою у зв'язку з різним підпорядкуванням підрозділів РХБ розвідки та інженерно-саперних підрозділів.

Метою статті є ознайомлення з перспективною системою виявлення та розмінування (знешкодження) вибухонебезпечних предметів які можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру, а також пропозиції щодо обладнання, навчання та експертної підтримки українських підрозділів виявлення та розмінування, що можуть зіткнутись з радіаційними, ядерними, хімічними та біологічними загрозами.

На цей час піротехнічні підрозділи та підрозділи РХБ розвідки є у Державній службі України з надзвичайних ситуацій, у Національній поліції України, й інших воєнізованих державних установах України зі своїми організаційними структурами, функціями та можливостями. За майже 10 років війни всі вони набули спроможностей що до поводження з вибухонебезпечними пристроями, що можуть містити радіаційні, ядерні, хімічні та біологічні матеріали. В той же час майже всі установи потребують доукомплектування спеціальним обладнанням підрозділів, і налагодження взаємодії у загальній Державній (перспективній) системі виявлення та розмінування (знешкодження) вибухонебезпечних предметів що можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру.

Збройні Сили України наразі мають найбільші можливості з проведення радіаційної, хімічної, біологічної розвідки, а також розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Із досвіду ведення бойових дій додатково створені групи швидкого реагування на інциденти радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру з оновленим складом та функціями, які плануються покращити та удосконалити додатковими функціями виходячи з вивчення трофейної російської техніки, та набутий досвід у поводженні з сучасними засобами мінування, що стоять на озброєнні російської армії, вивченні складу (включаючи елементну базу і спеціальну хімію вибухових матеріалів), структури, способів функціонування російських крилатих і балістичних ракет та способів знешкодження їх бойових частин. Для цього був розроблений окремий склад сучасного матеріально-технічного забезпечення групи з більш ніж 140 найменувань для більш якісного та оперативного виконання завдань, що дозволяє покращити можливості груп швидкого реагування як з РХБ розвідки так і з розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру, та було поставлено у підрозділі РХБ розвідки дослідний зразок спеціальної машини РХБ розвідки на базі броньованої бойової колісної машини «Козак-2М1» (Рис.1) [2].



Рисунок 1 Спеціальна машина РХБ розвідки на базі броньованої бойової колісної машини «Козак-2М1».

Разом з фахівцями Департаменту енергетики Національної адміністрації ядерної безпеки Сполучених Штатів Америки (DOE/NNSA) для більш оперативного вирішення завдань організоване цілодобове співробітництво, щодо надання консультацій між експертними групами з надзвичайних ситуацій радіологічного та ядерного характеру через систему "Triage" (Рис.2) [3]. Кінцевою метою співробітництва є обмін інформацією щодо особливостей вибухонебезпечних предметів, які можуть представляти загрозу радіаційного або ядерного характеру, ознайомлення українських фахівців зі спеціальним



обладнанням виявлення та ідентифікації радіаційних та ядерних матеріалів, навчання, оснащення та експертна підтримка з боку DOE/NNSA українських фахівців з підрозділів виявлення та розмінування, що можуть зіткнутися з радіаційними або ядерними загрозами (поводження з компонентами радіологічної зброї, компонентами ядерних боєприпасів що не вибухнули, роботу на радіоактивно-заражених ділянках місцевості, а також поведження з джерелами іонізуючого випромінювання).



Рисунок 2 Веб-сайт системи “Triage” Департаменту енергетики Національної адміністрації ядерної безпеки Сполучених Штатів Америки (DOE/NNSA).

Система поведження з ядерними та радіоактивними матеріалами, що діє у Сполучених Штатах Америки (очолює систему – Національний центр у Нью-Мехіко, що займається ідентифікацією та аналізом наданих радіоактивних матеріалів та інцидентів радіаційного (ядерного) характеру), складається з групи вчених – експертів, на основі отриманих результатів аналізу робить свій висновок про рівень радіаційної (ядерної) загрози, та готує свої пропозиції групам виявлення та розмінування від армії або федерального бюро розслідувань щодо поведження з ядерними та радіоактивними матеріалами, перебуваючи з ними на постійному зв'язку. Також готуються рекомендації уряду Сполучених Штатів Америки.

Перспективна структура системи виявлення та реагування на загрози радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру, зокрема при поведженні з вибуховими пристроями, запропонована за американським принципом для України (Рис.3).

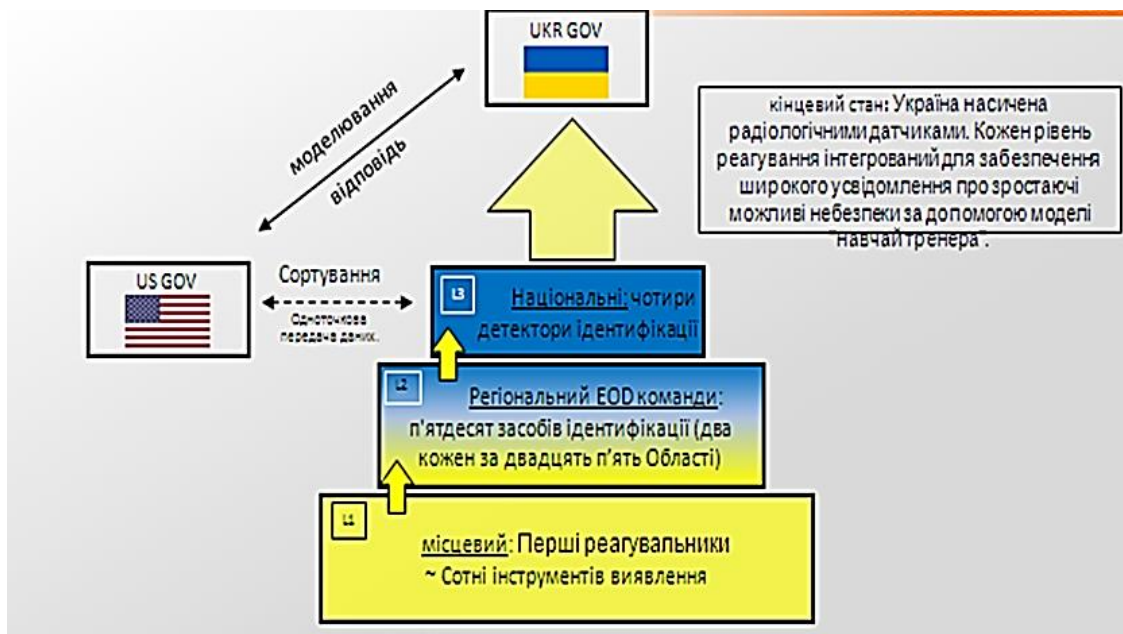


Рисунок 3 Погляд на можливу структуру Державної (перспективної) системи виявлення та розмінування (знешкодження) вибухонебезпечних предметів які можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру.

На першому, місцевому (локальному) рівні реагування пропонується оснастити групи розмінування Збройних Сил України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національної поліції України та інших воєнізованих державних організацій базовими приладами РХБ розвідки та ідентифікації. На ці цілі планується виділити максимум таких приладів.

На другому, регіональному рівні планується оснащення спеціальних груп РХБ розвідки, які повинні реагувати на випадки радіаційних, ядерних, хімічних та біологічних загроз, що можуть виникнути при роботі груп, які працюють на першому рівні реагування. Для таких задач кожне відомство (Збройні Сили України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Національна поліція) готує свої загони РХБ розвідки, які оснащуються більш вищим рівнем обладнання та приладами здатними не тільки виявляти та вимірювати але і реєструвати їх та проводити наближену ідентифікацію радіаційних, ядерних, хімічних та біологічних матеріалів. Орієнтовно на ці цілі планується виділити 50 комплектів приладів. Відповідні групи РХБ розвідки повинні бути відповідним чином екіпіровані, зокрема засобами захисту, зв'язку, навігації, фото (відео) спостереження, індивідуальними дозиметрами, засобами для відбору проб, тощо.

Нарешті, на третьому, національному рівні повинні бути створені можливості з більш детального визначення приналежності виявлених радіаційних, ядерних, хімічних та біологічних матеріалів – промислові, природні, медичні, спеціальні, тощо. Також необхідно провести їх точну ідентифікацію з метою підтримки прийняття рішень по безпечному знешкодженню вибухонебезпечних пристроїв, що можуть такі матеріали містити, та подальшому поводженню з цими матеріалами. На ці цілі американська сторона планує виділити прилади Ortec Detective EX-100 на основі кристалів високочистого германію (так званий

«золотий стандарт») (Рис.4). Ці прилади є більш чутливими та точними, мають розширену бібліотеку спектрів радіонуклідів, та здатні більш точно ідентифікувати виявлені радіаційні (ядерні) матеріали, зокрема ті, що можуть призвести до ланцюгової ядерної реакції [4].

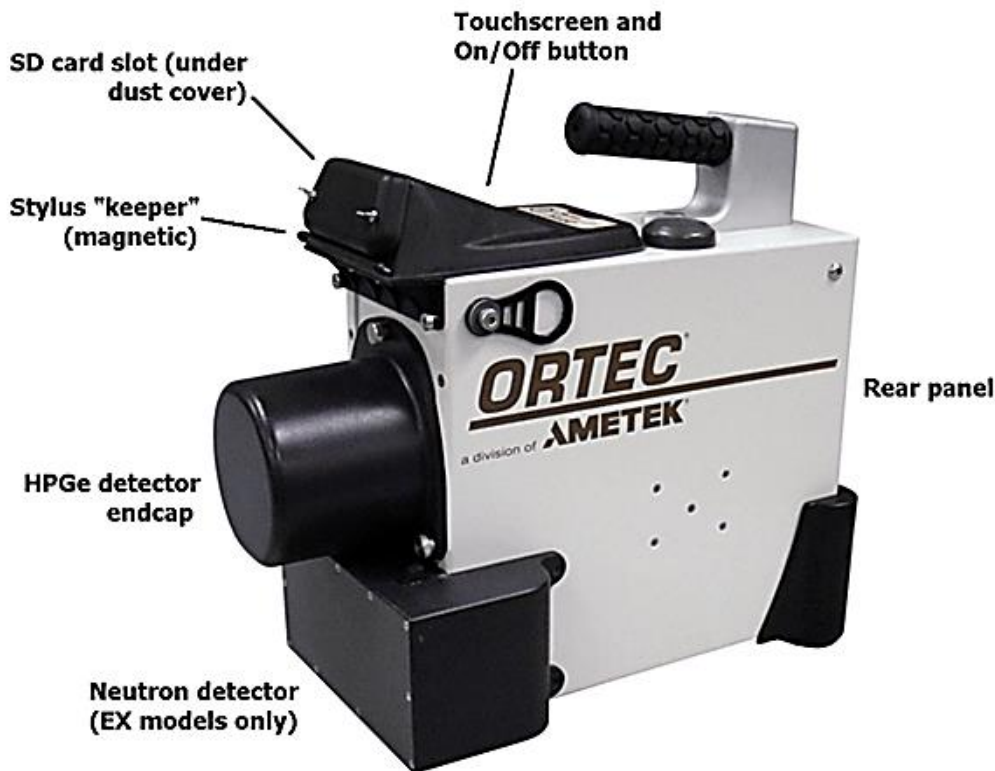


Рисунок 4 Прилад Ortec Detective EX-100.

Таким чином треба розуміти чітку картину наших національних органів, що відповідають за радіаційну, ядерну, хімічну та біологічну безпеку, їх функції, наявність відповідного підготовленого персоналу та обладнання. Така інформація потрібна для більш ефективного визначення, хто може виконувати функції першого, другого та третього рівнів, та як взаємодіяти з Департаментом енергетики Національної адміністрації ядерної безпеки і урядом Сполучених Штатів Америки.

Прилади, які відносяться до місцевого (локального) рівня реагування не володіють достатнім рівнем чутливості при роботі в слабких полях гамма-випромінювання (нейтронні потоки вони взагалі не реєструють) та малих концентраціях. Тобто вони не зможуть виявити екрановані ядерні, хімічні, біологічні матеріали і зреагувати на них. Тому крім оснащення, групи повинні бути доповнені інформаційними матеріалами, в яких вказані на не прямі ознаки можливості розміщення у складі вибухонебезпечних предметів радіоактивних, ядерних, хімічних та біологічних матеріалів. До таких ознак може бути віднесено маркування, зовнішній вигляд носіїв ядерної, хімічної, біологічної зброї та їх бойових частин, тощо. Крім того потрібно розробити методичні рекомендації (алгоритми) поводження з вибухонебезпечними предметами, в яких чітко прописані умови, за яких фахівці-сапери повинні звертатися до груп більш високого рівня для отримання необхідної допомоги.

Найвищий, третій рівень системи реагування на загрози радіаційного, ядерного, хімічного, біологічного характеру покладається на Міністерство оборони України, зокрема у частині ідентифікації вибухонебезпечних предметів, та відпрацюванні експертних пропозицій щодо поводження з ними, повинна займатись наукова установа. При науковій установі повинна бути сформована постійно-діюча (на військовий час) група експертів, до роботи якої залучити фахівців різних наукових організацій (установ) профільного характеру, Командування сил підтримки Збройних Сил України. Департамент енергетики Національної адміністрації ядерної безпеки Сполучених Штатів Америки висловив готовність взяти участь у роботі такої групи експертів, надавати методичну допомогу та налагодити і забезпечити обмін інформацією, для виключення її не санкціонованого витоку.

Безпосередньо групам швидкого реагування потрібно отримати додаткові знання з питань поводження з вибухонебезпечними предметами, що можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру, та вивчити особливості і алгоритми дій при їх приведенні в безпечний стан та транспортування.

#### Висновок.

Очікуваними результатами можливо вважати використання отриманої інформації та сумісного співробітництва з іноземними партнерами та повного укомплектування спеціальним обладнанням на випадок виявлення вибухонебезпечних предметів, що можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру. Формування експертних груп дозволить вирішити проблемні питання та вивчити відповідний досвід, а також отримати важливу інформацію щодо виявлення, ідентифікації та поводження з вибухонебезпечними предметами, які можуть конструктивно містити спеціальні радіаційні матеріали, зокрема такі що можуть визивати і підтримувати ланцюгові ядерні реакції для підтримки українських підрозділів виявлення та розмінування, що можуть зіткнутися з відповідними загрозами.

Доцільно продовжити участь співробітництва з партнерами стосовно поводження з компонентами РХБ зброї, компонентами радіаційних, ядерних, хімічних та біологічних боєприпасів що не вибухнули, роботу на заражених ділянках місцевості, а також поводження з джерелами іонізуючого випромінювання. Формами співробітництва можуть бути робочі зустрічі експертів, постановка новітніх приладів та обладнання для поводження з вибухонебезпечними предметами і радіаційними, ядерними, хімічними та біологічними матеріалами, підготовка та навчання особового складу підрозділів, методична та експертна підтримка з боку сторони партнерів у побудові та науково-технічному супроводженні побудови Державної системи виявлення та розмінування (знешкодження) вибухонебезпечних предметів які можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру.

Визначитися з установами і організаціями, що можуть бути залучені до роботи групи експертів для реагування на загрози радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру, взаємодії з стороною партнерів та підтримки прийняття управлінських рішень, а також з потребою у спеціальному обладнанні для інженерно-саперних (вибухотехнічних) підрозділів та підрозділів РХБ розвідки, які будуть залучені до роботи у Державній (перспективній) системі виявлення та розмінування (знешкодження) вибухонебезпечних предметів які

можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру.

Розглянути можливість координації робіт структурних підрозділів Міністерства оборони України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національної поліції України та інших Державних воєнізованих організацій, що будуть визначені для виконання робіт в рамках Державної (перспективної) системи виявлення та розмінування (знешкодження) вибухонебезпечних предметів які можуть представляти загрозу радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру.

Врахувати отриману інформацію при науково-технічному супроводженні дослідно-конструкторських робіт зі створення нових засобів РХБ розвідки, а також при розробці методик випробувань відповідного озброєння та військової техніки. Опрацювати пропозиції щодо структури та функцій системи реагування на загрози радіаційного, ядерного, хімічного та біологічного характеру.

### **Список літературних джерел**

1 Пропозиції та вимоги до спеціальної машини радіаційної, хімічної, біологічної розвідки військових частин морської піхоти на базі спеціалізованого бронетранспортера для потреб Збройних Сил України. Збірник наукових праць V Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво»//ШІ СДУ, 2021. С.101.20-22.10.2021.

2 В Збройних силах України зацікавлені в створенні нової машини РХБ розвідки. 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://defence-ua.com/news/v\\_zbrojnih\\_silah\\_ukrajini\\_zatsikavleni\\_v\\_stvorenni\\_novoji\\_mashini\\_rhbz-1416.html](https://defence-ua.com/news/v_zbrojnih_silah_ukrajini_zatsikavleni_v_stvorenni_novoji_mashini_rhbz-1416.html), вільний. Загол. з екрану (25.09.2023).

3 Triage [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://triage.global/login>, вільний. Загол. з екрану (25.09.2023).

4 Detective-EX-100T/Detective-DX-100T. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cbrnetechindex.com/p/3751/Ortec-Ametek/Detective-EX-100T/Detective-DX-100T>, вільний. Загол. з екрану (25.09.2023).



## **PARTICULARITY OF OBTAINING THE PHYSIOLOGICALLY COMPLETE DRINKING WATER BY USING MEMBRANE METHODS**

**O.I. Shlikhter<sup>1</sup>, A.V. Tyvonenko<sup>1</sup>, T.E. Mitchenko, Z.V. Maletskyi<sup>2</sup>, I.V. Kosogina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Norwegian University of Life Science, Ås, Norway

kosogina@xtf.kpi.ua

According to the World Health Organisation (WHO), more than 80% of diseases are related to the quality of drinking water. High-quality drinking water should not contain substances harmful to humans and should contain useful minerals that are necessary for the normal functioning of our body. People usually consume water with 0.02 to 2 grams of minerals per litre [1]. Iodine, calcium, potassium, magnesium, sodium and many other substances that make up drinking water play a crucial role in the body's biological processes. Their deficiency or excess can create serious health problems, and in some cases even provoke epidemics of serious diseases.

According to the Sanitary and Epidemiological Norms 2.2.4-171.10, the maximum permissible salt content in drinking water is 1000 mg/l, but this indicator is not a characteristic of physiologically adequate water.

Most often, tap water is used for drinking at home, where it should be noted that if the water is treated, it is physiologically adequate if its total mineralisation is at least 100 mg/l, according to the Sanitary and Epidemiological Norms 2.2.4-171-10. Water purified by reverse osmosis mostly meets these requirements.

Water treatment technology involves the following stages:

### 1. Removal of mechanical impurities

To remove suspended insoluble particles from water, we use a mechanical filter. In this case, water passes through a porous material or mesh, the pores or mesh size of which does not exceed 100 microns (microns).

### 2. Water softening - reducing water hardness.

A special sorption material can be used - an ion exchange resin (cationite). The resin absorbs calcium and magnesium ions in exchange for sodium ions, which are transferred to the water.

### 3. Removal of iron, manganese and organic compounds

The technology of using Ecomix complex filter material, where inert material similar to softeners is poured into the devices and the multicomponent mixture stratifies independently when the filter is started, allows to purify water from iron compounds with a concentration of up to 15 mg/l and manganese compounds with a concentration of up to 3 mg/l.

### 4. Reducing water salinity

It is at this stage that reverse osmosis (RO) technology is used, which is able to qualitatively reduce the salt content in water.

Reverse osmosis technologies require additional equipment: a storage tank into which water is fed after purification and a pumping station.

The modular reverse osmosis units that are produced allow achieving the deepest water purification, but at the same time are the most expensive. In most cases, the water after reverse osmosis is also physiologically complete, so two tasks are solved at once: preparation of water for the whole house and for drinking purposes.

### 5. Removal of odours



The final stage of water treatment technology for various purposes is the removal of odours from water.

To remove hydrogen sulphide, which gives well water the smell of rotten eggs, special activated carbon Centaur is used. Hydrogen sulfide is toxic in high concentrations, but even at low levels it causes corrosion of metal objects.

After the final stage of water purification and odour removal, the resulting water is almost completely desalinated, so it requires additional mineralisation or the installation of a special alternative mineral cartridge. However, this requires additional costs for flushing the mineraliser and cartridge, which is disadvantageous from an economic and environmental point of view.

In this paper, we consider water purification by reverse osmosis using modified membranes, as a result of which the purified water does not require additional mineralisation, the resulting salt content is 100-110 mg/l, which meets the characteristics of physiologically complete water.

Membrane technology for sustainable water production is an effective solution for purification and filtration. Reverse Osmosis (RO) membrane technology is a pressure-driven process with a wide range of applications and has become the main barrier approach for providing high quality water and reusing drinking water. Spiral-wound thin-film composite membranes with polyamide (PA) as the active layer are the most common RO membranes.

Over the past decades, many efforts have been made to extend the service life of RO membranes, including more efficient pretreatment processes, biofouling prevention methods, and the use of membrane cleaning procedures.

Recycling of membranes through membrane modification and reuse in water treatment and water purification technologies is a promising option not only from an economic point of view, but also from an environmental point of view.

Indirect and direct recycling is used to reduce the economic and environmental impact of the disposal of used membranes.

Indirect recycling of the rubber membranes usually involves unwinding the spiral wound rubber elements and removing the plastic components for individual recycling.

Whereas in direct recycling, the polyamide layer is modified to maintain the spiral configuration.

The surfaces of the membranes can be modified by exposing the membranes to a strong chemical oxidant, such as:

- hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) (disadvantage: too long processing time of the membrane element);
- potassium permanganate ( $KMnO_4$ ) (disadvantage: difficult to control the degree of oxidant for membrane element modification, because with greater exposure we get a UV membrane);
- ozone (disadvantage: constant control of the concentration at the same level);
- free chlorine compounds or concentrated solution ( $NaOCl$ ) (the most controlled method).

Since the barrier polyamide layer of the OC membrane has a low tolerance to free chlorine, and long-term exposure changes the morphology and structure of the membrane, chlorine is a widely used agent for changing the porosity of the polyamide layer.

The dose of chlorine depends on the design of the RO membrane and the desired processed product. In general, the literature on the conversion of end-of-life RO

membranes into nanofiltration (NF) and ultrafiltration (UF) membranes uses rather high doses of chlorine exposure in the range of 1000 to 48,000 ppm·h for nanofiltration membranes and 20,000 to 350,000 ppm·h for ultrafiltration membranes [2].

Depending on the type of oxidant, in the case of active chlorine, the modification process can be either passive or active.

The passive modification process involves immersing the membrane element in a sealed container with an active chlorine solution for a certain period of time until the membrane element reaches the specified rejection. The process of active modification involves the constant passage of an active chlorine solution under a pressure of 1 bar through the membrane element.

When modified with sodium hypochlorite, the oxidation process of the RO membrane is necessarily carried out with different ratios of volume concentrations before or after the conversion of the RO membrane into an NF/UF membrane.

In this work, the process of modifying the RO membrane was carried out as follows:

the first stage - washing (cleaning) of the reverse osmosis membrane fabric to remove contaminants that may be present on the surface of the membrane fabric;

the second stage - soaking the cleaned reverse osmosis membrane in a solution of sodium hypochlorite with a volume ratio of sodium hypochlorite to water from 1:1000;

the third stage - modification of the membrane by the passive method for 24 hours at a solution temperature of 25 °C.

According to the above scheme, the polyamide composite reverse osmosis membrane is oxidised with sodium hypochlorite, which reduces the degree of crosslinking of the polyamide barrier layer of the reverse osmosis membrane and the osmotic resistance of the barrier layer.

To determine the optimal dose of oxidant for modifying the membrane's RO, we used the XLE membrane fabric (DOW Filmtec, USA).

For the modification of the SO elements (3 samples with a surface area of 42 cm<sup>2</sup>), a sodium hypochlorite solution with a step of active chlorine concentration of 250-2000 mg/l and a set pH of 10 to 12 was used, which was prepared by diluting commercial NaClO to reach the required concentration. In this case, the duration of the web modification is carried out within 24 hours at a solution temperature of 25 °C.

The concentration of active chlorine in the solutions for modification was constantly monitored according to the method of Sanitary and Epidemiological Norms 2.2.4-171-10 and adjusted to maintain a constant level [1].

The modification process was carried out in passive conditions to obtain a membrane element of a given rejection, which is determined by the composition of the source water and was calculated using the formula given in [3]:

After the direct modification, the membrane fabric was washed from active chlorine with permeate (until there was no reaction with active chlorine).

Next, the characteristics of the modified membrane fabric were determined using tap water under standard conditions to determine the membrane rejection (R). The effect of chlorine dose on membrane rejection is shown in Figure 1.

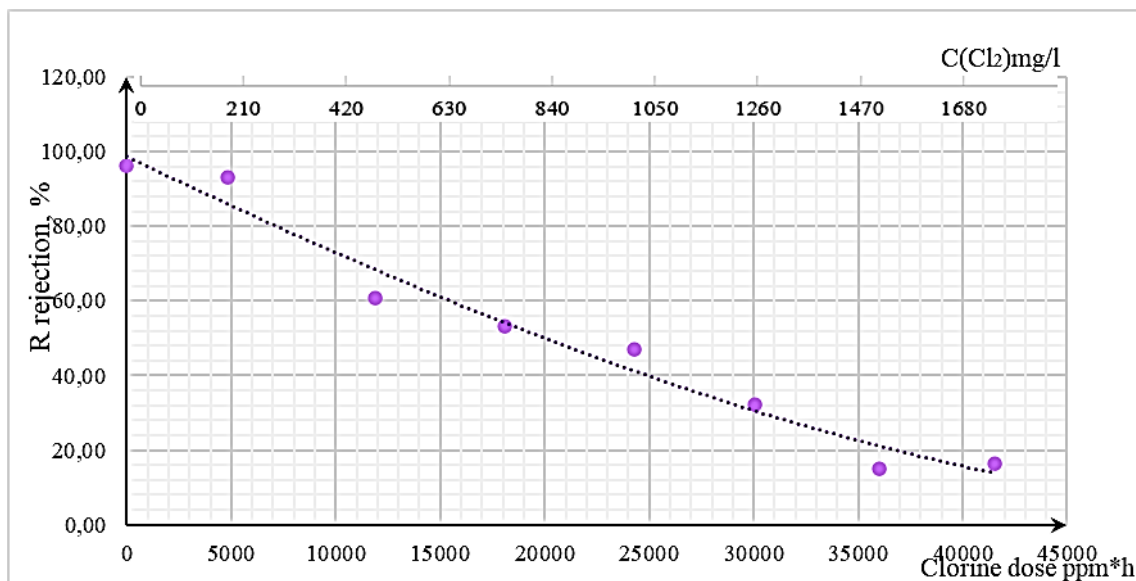


Figure 1 Influence of chlorine dose on the rejection of the RO membrane

Analysing the data obtained (Fig. 1), it is possible to note a decrease in the rejection of the membrane with an increase in the dose of chlorine, which is associated with a change in the structure and permeability of the barrier polyamide layer of the RO membrane under the action of a strong oxidant.

Thus, it was found that the rational oxidant concentration for modifying the XLE reverse osmosis membrane (DOW Filmtec, USA) was 1000 mg/l with a dose of 24000 ppm·h, with the rejection of the modified membrane being 47.5 % ( $C(\text{Cl}_2) = 1000 \text{ mg/l}$ ) and the salt content of the permeate being 116 mg/l ( $C(\text{Cl}_2) = 1000 \text{ mg/l}$ ).

The data obtained indicate that it is possible to produce physiologically adequate water without an additional stage of mineralisation of the treated water.

In the future, it is planned to study the pore size of the modified fabric and determine the modification chemistry.

### References

- 1 United Nations Education; Scientific and Cultural Organization. The United Nations World Water Development Report 2023, Partnerships and Cooperation for Water, 2023, 212. <https://doi.org/10.18356/9789210026208>.
- 2 Geng T. M.; Hong Sh.; Chong L.; Chunxi. A method for surface modification of reverse osmosis membrane. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2020. Publication of CN101804304A.
- 3 Tyvonenko, A.; Mitchenko, T.; Homaniuk, O.; Vasilyuk, S.; Kosogina, I.; Mudryk, R. (2023). Production of physiologically complete drinking water using modified reverse osmosis membrane elements. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2(10 (122)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277491>.

**СЕКЦІЯ 3**  
**Енергозбереження та**  
**альтернативні палива,**  
**запобігання енергетичній кризі.**

**SECTION 3**  
**Energy efficiency**  
**and alternative fuels,**  
**prevention of energy crisis.**

**RESEARCH INTO THE DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF  
LITHIUM-ION BATTERIES ON THE COMPOSITION AND  
CONCENTRATION OF SALTS AND ORGANIC COMPOUNDS IN THE  
ELECTROLYTE.**

**Aliaksei Babraunitski<sup>1,2</sup>, Przemyslaw Data<sup>3</sup>, Krzysztof Karoń<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> Silesian University of Technology / Faculty of Chemistry

<sup>2</sup> The Batteries

<sup>3</sup> Lodz University of Technology / Faculty of Physics

<sup>4</sup> Silesian University of Technology / Centre for Organic and Nanohybrid Electronics  
A.Babraunitski@gmail.com, Przemyslaw.Data@gmail.com, Krzysztof.Karon@polsl.pl

It is impossible to imagine the modern world without electronic devices. The rapid development of technology has brought various devices firmly into our lives. Thanks to advances in miniaturization, the number of wearable devices is increasing, which has led to a growing interest in miniature power supplies.

The modern stage of technological development is characterized by the ever-increasing penetration of electronics into all spheres of life and activities of people. According to American statistics up to 80% of the total industry volume is occupied by electronics. Achievements in the field of electronics contribute to the successful solution of the most complex scientific and technical problems, increasing the efficiency of scientific research, creating new types of machinery and equipment. Development of effective technologies and control systems includes/requires obtaining materials with unique properties, improving the processes of collecting and processing information. Covering a wide range of scientific, technical and production problems, electronics is based on achievements in various fields of knowledge. At the same time, on the one hand, electronics poses challenges to other sciences and production, stimulating their further development, and on the other hand, equips them with qualitatively new technical means and research methods.

Lithium-ion batteries have become the core technology elements of energy storage systems for electronic devices, electric transportation and renewable energy grids. The resources and technologies required for their production and deployment will shape the leaders of the energy transition. Researchers are challenged to improve the parameters of batteries, improve its lifetime, and reduce the demand for key ingredients needed for their production,.

In our research we are focused on appliance of organic-inorganic hybrid composition to improve battery performance.

Hybrid materials are one of the growing new material classes at the edge of technological innovations. Hybrid materials are composites made by synergistic combination of organic and inorganic components at the nanometer or molecular level, a feature that makes them different from traditional composites where the constituents are at the macroscopic (micrometer to millimeter) level. [1]

As part of our research on application of hybrid materials in lithium batteries, we have studied the influence of composition and concentration of salts and organic compounds in the electrolyte for lithium batteries performance. The main aim of the experiments was to determine the optimum electrolyte composition at which the samples battery would show the least degradation.

Degradation of Lithium-ion battery reveals as decrease in the capacity and energy density during their cycling and storage. Degradation pass faster in heavy-duty modes,

when charging/discharging is made with current exceeding 1C (i.e. with current required to fully discharge the battery it in 1h). In our tests a charge/discharge current at level of 5C was applied. This “hard mode” allowed to make fast tests and achieve results in couple of days instead of weeks as it was in case of current on 0.5C - 1C level.

Sample batteries were assembled manually in CR2032 case, according to scheme shown on fig 1. Since pure Li and moisture sensitive electrolyte were used, all preparation steps and batteries assembling were performed in glovebox in argon atmosphere. In these tests a commercial Li chips ( $\varnothing = 1\text{ cm}$ ) and commercial foil with LCO (supplier) was used as cathode. Area of cathode was equal to one  $\text{cm}^2$ , it gives maximum capacity of couple  $\mu\text{Amp/h}$ .

Samples were tested with NEWARE BTS battery testing system, which enables parallel measurement of many samples with different parameters

Battery degradation was defined as a decrease of capacity after a certain number of charge-discharge cycles. The analysis was based on the number of cycles that passed before the capacity dropped twice.

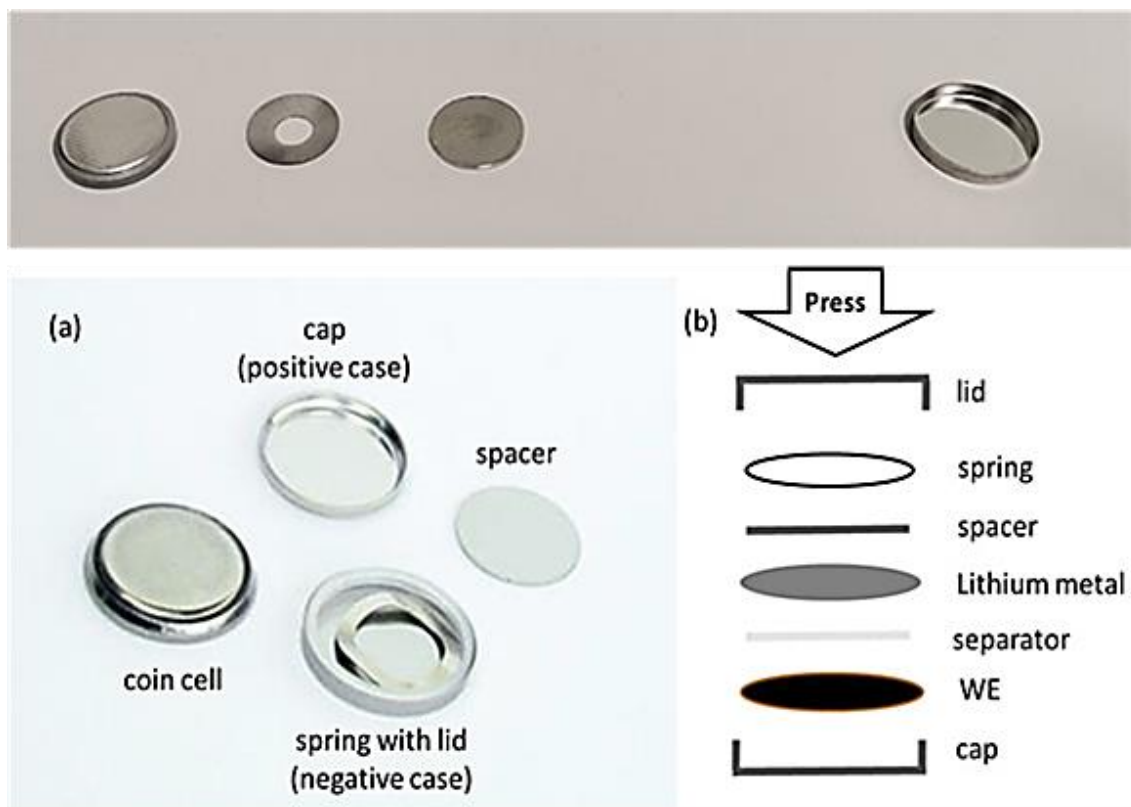


Figure 1 Components for making samples [2]

During research lots of tests were performed to determinate optimal components and their concentration in hybrid electrolyte.

First step of research was to determine optimal non-organic salt concentration in organic electrolyte.



After few initial tests we have chosen a pair of components for further analysis - Lithium-Tetra Fluoroborate in PC. The best results were received for Lithium-Tetra Fluoroborate in PC (1.5M concentration). This sample has good capacity (very close to theoretical) at start of tests and pass more than 100 cycles (108 $\pm$ 5% cycles) before capacity drops down two times Fig. 2. Other samples, with different concentration were down after 80-90 cycles.

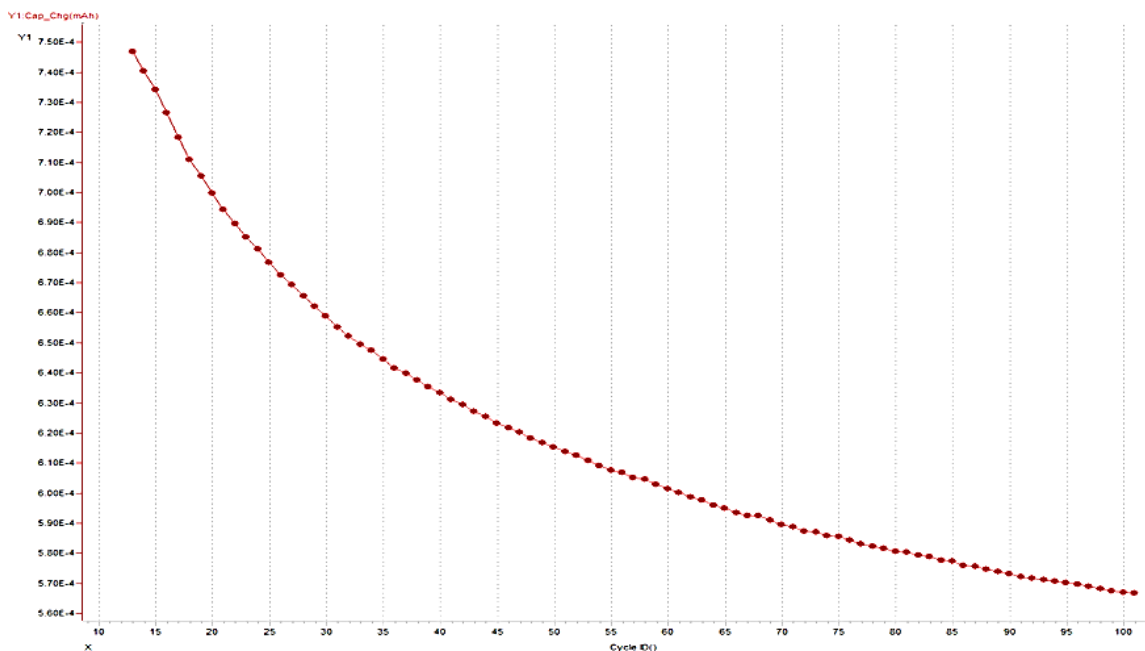


Figure 2 Testing of nonorganic electrolyte (LiBF<sub>4</sub> with solvent 1M concentration)

Next step of our research was to determine organic material and its concentration for hybrid electrolyte. After literature review, and few tests we've decided to use 1-Ethyl-3-Methyl Imidazolium-Tetra Fluoro Borate as organic components. This material was later used as addition in hybrid electrolytes.

In further tests, the best results were obtained for the hybrid electrolyte, which consisted of 1.9 ml of solution with 1.5M concentration (Lithium-Tetra Fluoroborate in PC) with addition of 1 ml of 1-Ethyl-3-Methyl Imidazolium-Tetra Fluoro Borate. The battery with this electrolyte shows very good capacity at start and could be cycled more than 200 cycles before capacity drops down 2 times. Example results for this hybrid electrolyte are shown on Fig.3

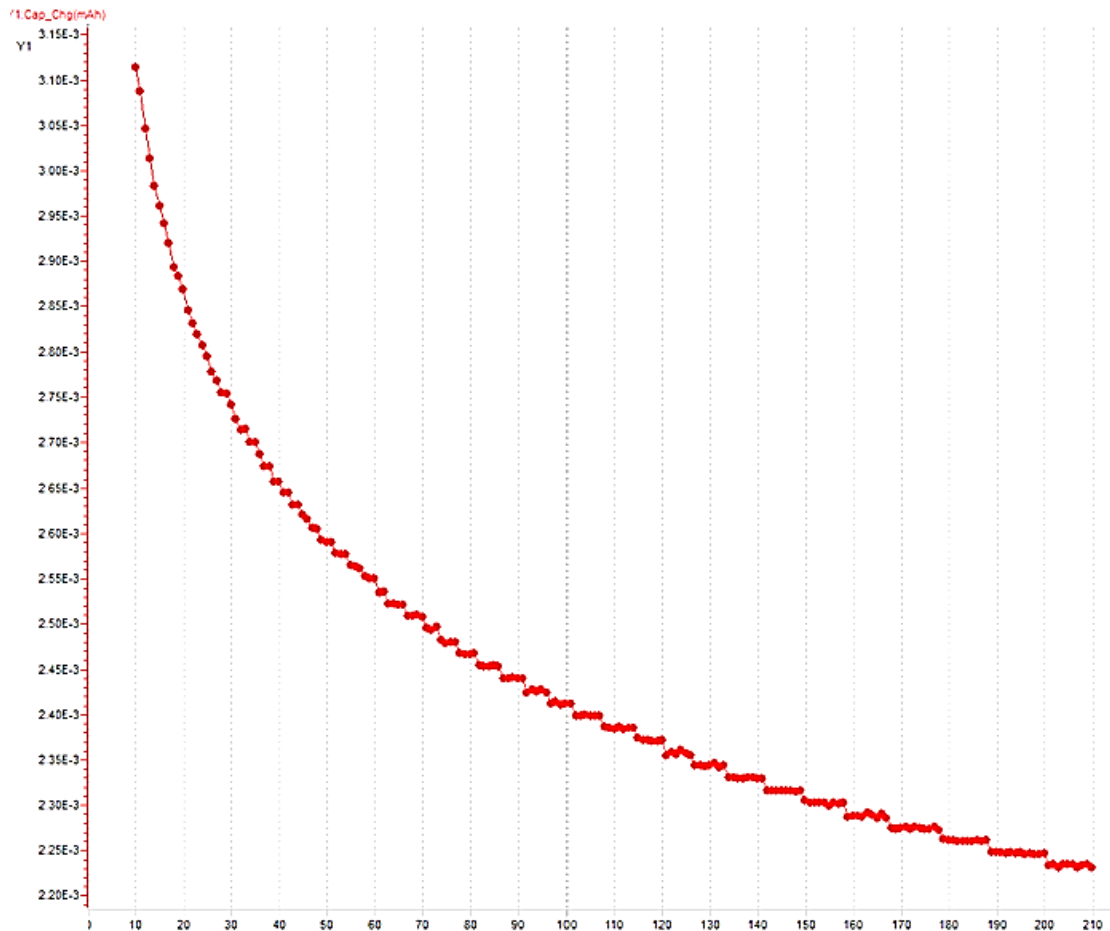


Figure 3 testing of hybrid electrolyte sample

These results prove the thesis of the doctoral research that the hybrid substances can improve the performance of lithium batteries.

Basing on results of research into dependence of the parameters of lithium-ion batteries on the composition and concentration of salts and organic compounds in the electrolyte we can make next step into improving properties of batteries and make better product.

### References

- 1 Classification of micro and nanoscale composites  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128245279000101>
- 2 Nano-sized Transition Metal Oxide Negative Electrode Materials for Lithium-ion Batteries  
[https://www.researchgate.net/publication/325057916\\_Nano-sized\\_Transition\\_Metal\\_Oxide\\_Negative\\_Electrode\\_Materials\\_for\\_Lithium](https://www.researchgate.net/publication/325057916_Nano-sized_Transition_Metal_Oxide_Negative_Electrode_Materials_for_Lithium)

## **АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГРУНТОВИХ ТЕПЛОБМІННИКІВ ДЛЯ КЛІМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ**

**С.М. Романько**

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
khtms@ishostka.sumdu.edu.ua

Сучасний світ стоїть перед величезними викликами пов'язаними зі змінами клімату та обмеженням традиційних джерел енергії на основі викопного палива. Основними споживачами енергії у світі є житлові та комерційні будівлі на які припадає від 15% до 30% загального світового споживання енергії [1]. Така ж кількість парникових газів також виробляється та викидається в навколишнє середовище внаслідок спалювання викопного палива. Згідно даних [8] в усьому світі енергія, необхідна для освітлення, опалення, охолодження та кондиціонування повітря в будівлях, становить приблизно 40% від загального світового річного споживання, що має значний вплив на навколишнє середовище через викиди CO<sub>2</sub> та NO<sub>x</sub>. Крім того, протягом останніх десятиліть було відзначено значне зростання глобального споживання електроенергії через попит на кондиціонування повітря та відповідне пікове зростання попиту на електроенергію в літній сезон [9], [10]. Україна не стоїть осторонь глобальних проблем і перехід на екологічно чисті відновлювальні види енергії як замітники викопного палива є надзвичайно актуальним, зокрема в місті Шостка.

Енергетичною стратегією України до 2035 р. передбачено збільшення частки «зеленої» енергії до 25 % у енергетичному балансі країни, зниження імпортозалежності енергетичної галузі України з 51 % у 2015 р. до 33 % у 2035 р., а також повноцінна інтеграція з енергетичною системою ЄС, а Європейський закон про клімат (European Climate Law) передбачає досягнення країнами Євросоюзу 100%-ї вуглецевої нейтральності до 2050 року, його основні положення були представлені в Європейській «зеленій угоді» в грудні 2019 року [2].

Одним із напрямків досягнення вуглецевої нейтральності є використання геотермальної енергії, яка є одним із найчистіших джерел відновлюваної енергії, Геотермальну енергію можна використовувати для виробництва електроенергії та тепла [3], а при використанні низькотемпературної геотермальної енергії її можна використати і для охолодження будівель влітку [4]. Для видобутку низькотемпературної геотермальної енергії застосовуються системи ґрунтового теплового насоса (GSHP) [5], які можна поділити на системи з відкритим контуром і системи з замкнутим циклом із підключенням ґрунтового теплообмінника [6], де теплоносій циркулює через замкнутий контур який закопаний у землю або занурений у воду. Петля теплообміну може мати горизонтальну, вертикальну конфігурацію або бути зануреною у якусь природню водойму (ставок, озеро тощо). Горизонтальне розташування теплообмінника є рентабельним для невеликих житлових будинків, особливо для нового будівництва. Установки з вертикальною конфігурацією теплообмінника, як правило, використовуються для великих будівель, так як використання горизонтальної системи теплообміну потребує значної площі землі. Система з відкритим контуром використовує воду з свердловин, колодязів або воду з природніх водойм як теплообмінну рідину, яка циркулює безпосередньо через систему теплового насосу. Після того, як вода пройшла циркуляцію по системі, вона повертається в землю через свердловину, колодязь або скидається у водойму (Міністерство енергетики США, Управління з енергоефективності та

відновлюваних джерел енергії). Згідно [7] GSHP із відкритим контуром економить 28% енергії та зменшує CO<sub>2</sub> на 28%, ніж GSHP із закритим циклом у сезон охолодження. При використанні як для охолодження, так і для опалення протягом року GSHP із відкритим контуром економить близько 6% енергії та скорочує приблизно 6% викидів CO<sub>2</sub>, ніж GSHP із закритим циклом.

Особливістю нашого регіону є те, що основний водоносний горизонт знаходиться в тріщинуватій крейді, що має порожнечу в яких знаходиться вода, і має товщину десятки метрів (паспорт свердловини м. Шостка, пров. Зоряний). Це дає можливість створювати ґрунтові теплообмінники з відкритим контуром які можуть працювати як на відбір тепла з ґрунту в опалювальний сезон так і перенесенням у ґрунт зайвого тепла з будинку під час спеки. Причому останнє може бути здійснено без використання теплового насосу.

Схема роботи ґрунтового теплового насосу з відкритим циклом руху теплоносія зображено на рис.1. Теплоносій (вода) 4, що поступає у видобувну

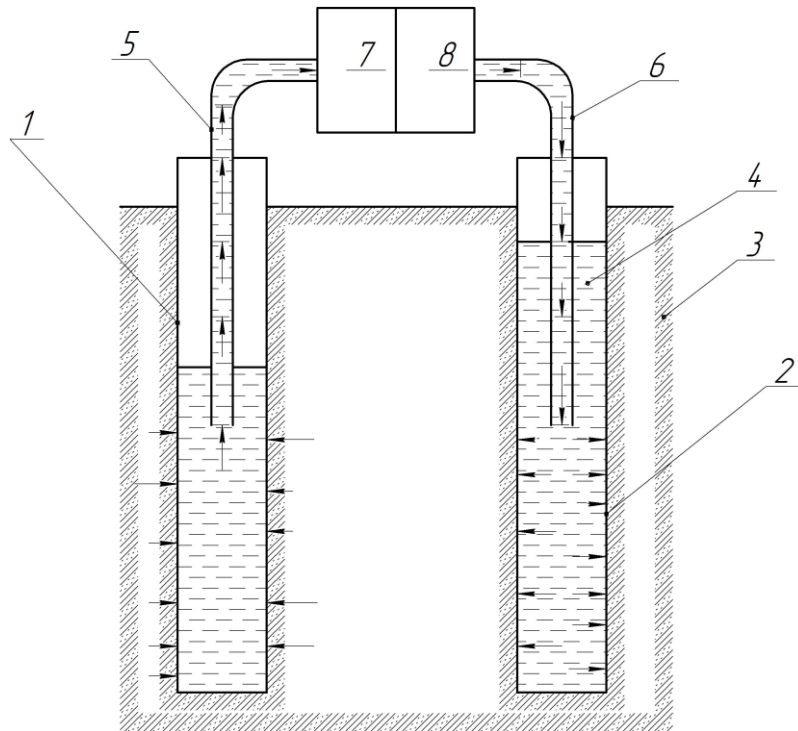


Рисунок 1 Схема установки

свердловину 1 з водоносного шару ґрунту 3 насосом 7 через трубу 5 подається на теплообмінник або теплообмінники 8 кліматичної системи будинку пов'язані з тепловим насосом та системою охолодження будинку. Після теплообміну вода через трубу 6 подається у нагнітальну свердловину 2 звідки вона повертається назад у водоносний шар ґрунту. При цьому, у разі якщо система працює у режимі опалення житлового будинку в теплообміннику за

допомогою теплового насосу відбувається відбір тепла, і вода закачується у водоносний шар ґрунту охолодженою, а влітку, коли система працює в режимі охолодження будинку, у водоносний шар ґрунту потрапляє підігріта вода.

Для дослідження процесу теплообміну в ґрунті з застосуванням відкритого циклу руху теплоносія були пробурені дві однакові свердловини (рис.2) глибиною 26 метрів. Буріння свердловин проводилось гідравлічним способом. Для запобігання обсіпання свердловини паралельно обсаджували її сталеву трубою ДУ50 ГОСТ 3262-7 (позиція 7).

В ході буріння було з'ясовано, що після проходження верхнього шару ґрунту 1, шару піску 2 і шару глини 3, на глибині 8,2 метри розташовується перший водоносний горизонт (пливун) 4, який складається з суміші піску та води. Його товща складала 1,8 метрів. Позицією 5 на схемі позначено перетинку, що відділяє

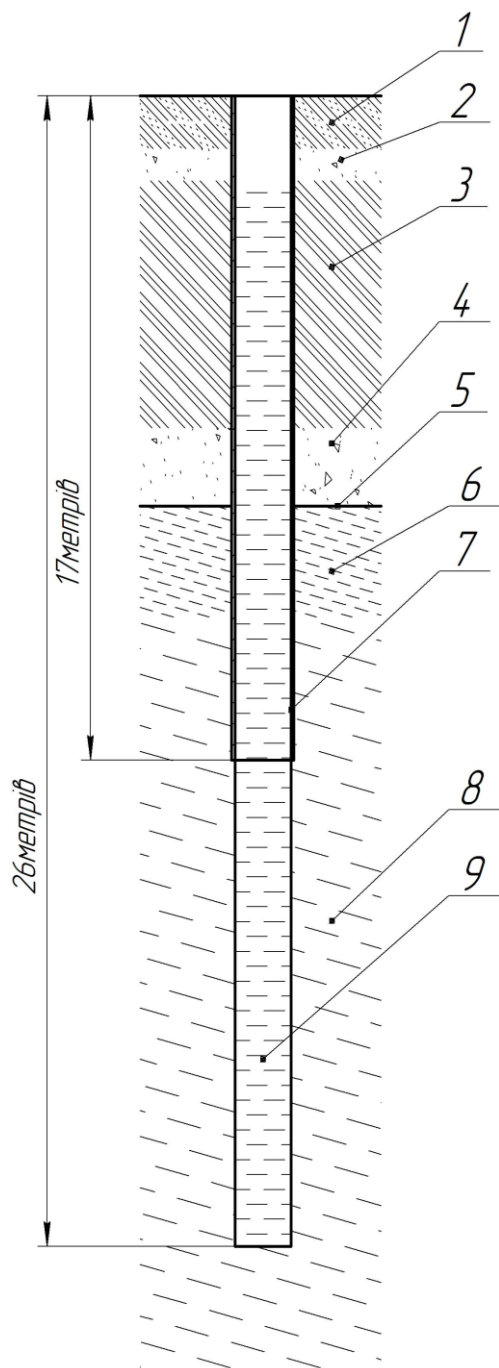


Рисунок 2 Схема свердловини

пливун від крейди. Дана перетинка не розмивається водою, але добре розколюється при ударі. Позицією 6 на схемі позначено щільну крейду після якої починається другий водоносний шар, що розташований у тріщинуватій крейді 8. Як видно зі схеми, у зазначеному випадку, маємо два водоносних шари: перший розташований вище у пливуні, другий розташований знизу у тріщинуватій крейді. Для запобігання перетоку води між різними водоносними шарами а також потраплянню піску у водоносний шар розташований у крейду обсадну трубу опущено на 7 метрів нижче першого водоносного шару.

При дослідженні даної свердловини була виміряна температура теплоносія (води) яка складала  $8,9^{\circ}\text{C}$ . Вимірювання проводилось термометром з ціною поділки  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Був виміряний статичний рівень води у свердловинах, який на 20.10.2023р. склав 1,62 метри нижче рівня підлоги. Було встановлено здатність приймальної свердловини приймати воду яка складала  $0,48 \text{ м}^3/\text{год}$ . при підйомі рівня води у свердловині на 1 метр. Як наслідок, для даної свердловини, при перевищенні витрат теплоносія  $0,778 \text{ м}^3/\text{год}$  його буде необхідно закачувати у нагнітальну свердловину під додатковим тиском.

Висновок. Проведено аналіз ґрунтових теплообмінників для видобутку низькотемпературної геотермальної енергії. Найбільш перспективними в м. Шостка є ґрунтові теплові насоси з відкритим

циклом руху теплоносія, вони можуть працювати як на відбір тепла з ґрунту в опалювальний сезон так і перенесенням у ґрунт зайвого тепла з будинку під час спеки.

### Список літературних джерел

- 1 Ozturk, M. Energy and exergy analysis of a combined ground source heat pump system. *Appl. Therm. Eng.* 2014, 73, 362–370
- 2 Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
- 3 Soltani, M.; Kashkooli, F.M.; Dehghani-Sani, A.R.; Kazemi, A.R.; Bordbar, N.; Farshchi, M.J.; Elmi, M.; Gharali, K.; B. Dusseault, M. A comprehensive study of geothermal heating and cooling systems. *Sustain. Cities Soc.* **2019**, 44, 793–818.
- 4 ASHRAE. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2011.
- 5 Yang H., Cui P., Fang Z. Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: A review of models and systems, *Applied Energy*, Volume 87, Issue 1, January 2010, Pages 16-27 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.038>
- 6 Jin Luo <sup>a</sup>, Joachim Rohn <sup>b</sup>, Wei Xiang <sup>a</sup>, David Bertermann <sup>b</sup>, Philipp Blum. A review of ground investigations for ground source heat pump (GSHP) systems, *Energy and Buildings*, Volume 117, 1 April 2016, Pages 160-175 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.038>
- 7 Boahen, Samuel, et al. "A study on the evaluation of the annual energy consumption for a geothermal heat pump system with open loop and closed loop ground heat exchangers." *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration* 25.03 (2017): 1750024.
- 8 Breger, Dwayne S., et al. "Thermal energy storage in the ground: comparative analysis of heat transfer modeling using U-tubes and boreholes." *Solar Energy* 56.6 (1996): 493-503.
- 9 Yang, Hongxing, Patrick Cui, and Zhaohong Fang. "Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: A review of models and systems." *Applied energy* 87.1 (2010): 16-27.
- 10 Lund, John W., Derek H. Freeston, and Tonya L. Boyd. "Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review." *Geothermics* 34.6 (2005): 691-727.



## ROZPOZNANIE MOŻLIWOŚCI OTRZYMYWANIA AZOTANÓW POLISACHARYDÓW I ICH ZASTOSOWANIA JAKO LEPISZCZ W UKŁADACH PIROTECHNICZNYCH

E. Gawrysiak, K. Łysiń  
Silesian University of Technology  
edytgaw031@student.polsl.pl

### Abstrakt

Celem pracy była optymalizacja syntezy i zastosowania azotanów(V) polisacharydów w roli wysokoenergetycznych lepiszczy. Zakres pracy eksperymentalnej obejmował optymalizację reakcji estryfikacji wybranych polisacharydów: gumy guar, gumy arabskiej oraz 1-karagenianu. Celem potwierdzenia struktury produktów syntez zastosowano spektroskopię w podczerwieni. Rozpoznano podstawowe właściwości otrzymanych substancji takie jak rozpuszczalność w wybranych rozpuszczalnikach organicznych (octanie etylu, acetonie, etanolu, metanolu), wrażliwość na tarcie oraz zbadano użyteczność azotanu gumy arabskiej cechującego się największą spośród otrzymanych substancji rozpuszczalnością w roli lepiszcza dla wybranej formułacji pirotechnicznej. W toku pracy zoptymalizowano procedury syntezy oraz określono warunki ich przeprowadzania prowadzące do efektywnego wyodrębnienia produktów z układów poreakcyjnych. W związku z niewystarczającą rozpuszczalnością otrzymanych związków, ich zastosowanie w roli lepiszcza okazało się nieefektywne.

### Wstęp

Jedną z klas materiałów wysokoenergetycznych są masy pirotechniczne. W zależności od składu stosowane do wytworzenia określonego efektu specjalnego [1] m.in. efektu świetlnego [2] np. do produkcji fajerwerek [3], efektu cieplnego lub emisji dymu [3] np. w flarach [6]. Masy pirotechniczne mogą być wykorzystywane również w lotnictwie, inżynierii lądowej, przemyśle wydobywczym, motoryzacyjnym [7] oraz w celach wojskowych i policyjnych [8]. Reakcje spalania mas pirotechnicznych są to gwałtowne i egzotermiczne reakcje redoks [9], których spalanie powinno polegać na zachodzących możliwie jak najbardziej ilościowo reakcjach utleniania substancji palnych (paliw) i redukcji utleniaczy. Masy pirotechniczne typowo złożone są z jednego lub większej ilości utleniaczy oraz z paliw. Substancje te często zespolone są ze sobą za pomocą lepiszcza [2].

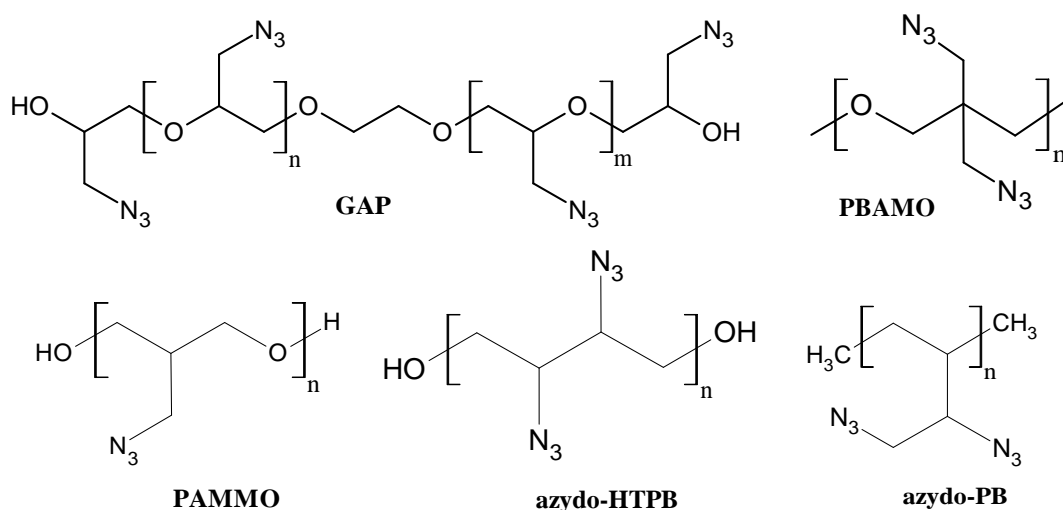
Najczęściej w roli lepiszczy spotykane są wybrane polimery w związku z ich właściwościami lepko-elastycznymi (tj. przy poddaniu cyklicznemu obciążeniu nie ulegają trwałym odkształceniom, a praca mechaniczna wykorzystana do odkształcenia materiału jest rozpraszana w postaci energii) [10] oraz dobrą adhezją [11]. Dzięki temu w podwyższonej temperaturze są zdolne do płynięcia, a po m.in. zaprasowaniu umożliwiają spójenie ze sobą ziaren masy pirotechnicznej [12]. Niemodyfikowane polimery typowo wykazują silnie ujemny bilans tlenowy tj. wysokie zapotrzebowanie na tlen niezbędny do ich spalania, co wiąże się z pogorszeniem parametrów palenia zawierających je formułacji [13]. W przeciwieństwie do klasycznych polimerów, struktura polimerów wysokoenergetycznych wykazuje bogactwo atomów tlenu i innych heteroatomów. Mogą być one związane z polimerem w postaci grup eksplozoforowych np. nitrowych, nadających właściwości wysokoenergetyczne formułacjom w których będą one zawarte (m.in. polepszenie wydajności energetycznej spalania oraz bilansu tlenowego) [14].

Klasyczne lepiszcza wprowadza się do mas pirotechnicznych w formie prepolimeru lub polimeru. od lat 60-tych najczęściej stosowanym polimerem nieenergetycznym jest

polibutadien zakończony grupami hydroksylowymi (**HTPB**) (**Rys. 1**). Mimo tego, że posiada on korzystne właściwości mechaniczne, w strukturze polimeru nie występują grupy eksplozoforowe oraz składa się on jedynie ze szkieletu węglowego. W związku ze skrajnie ujemnym bilansem tlenowym (-313 % [25]), powoduje on obniżenie ilości tlenu dostępnego do spalania innych komponentów formułacji [16].

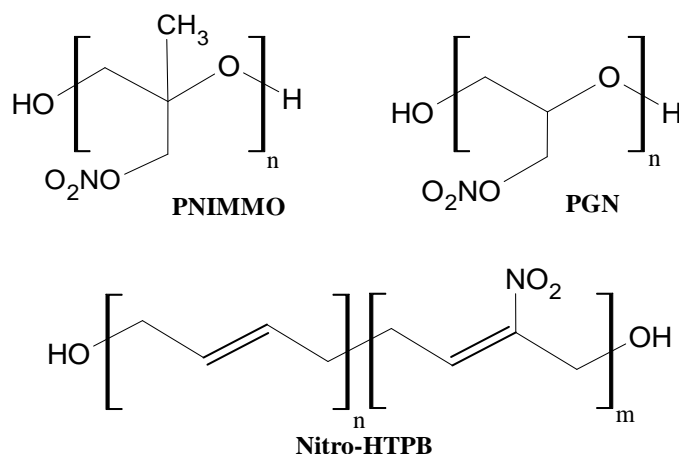
Polimery wysokoenergetyczne są związkami opartymi na grupach eksplozoforowych (m.in.  $-\text{NO}_2$ ,  $-\text{ONO}_2$ ,  $-\text{N}_3$ ). Są one otrzymywane w wyniku polimeryzacji monomerów energetycznych lub w wyniku wprowadzenia grupy energetycznej do istniejącego polimeru [17].

Wśród polimerów znajdujących zastosowanie w roli lepiszcz wysokoenergetycznych wyróżniamy lepiszcza azydkowe (**Rys. 1**) oraz lepiszcza zawierające grupy azotanowe. Ze względu na specyficzne właściwości takie jak m.in. duża ilość uwalnianego ciepła (odszczępienie jednej grupy azydkowej ( $-\text{N}_3$ ) przyczynia się do uwolnienia 355 kJ energii [18]), brak zużycia tlenu w czasie rozkładu, oraz małe masy cząsteczkowe produktów rozkładu, lepiszcza azydkowe wydają się być najbardziej obiecującą alternatywą dla klasycznych lepiszcz nieenergetycznych takich jak np. HTPB [19].



Rysunek 1 Zestawienie struktur wybranych lepiszcz azydkowych: GAP [20], PBAMO [21], azydo-HTPB, azydo-PB [16] oraz PAMMO [22].

Lepiszcz na bazie estrów kwasu azotowego stosowane są, aby poprawić wydajność energetyczną i bilans tlenowy masy pirotechnicznej. Są one klasą lepiszcz wysokoenergetycznych zawierających boczne grupy estrów azotanowych ( $-\text{ONO}_2$ ) przyłączone do łańcucha głównego polimeru (**Rys. 2**). Estry azotanowe przyczyniają się do znacznej poprawy bilansu tlenowego z uwagi na wysoką zawartość tlenu, przez co część utleniacza zastosowana w formułacji może być zastąpiona dodatkami wysokoenergetycznymi. Grupa azotanowa z uwagi na swoją polarność wykazuje kompatybilność z innymi wysokoenergetycznymi komponentami formułacji [23].



Rysunek 2 Zestawienie struktur wybranych polimerów zawierających grupy azotanowe: PNIMMO [8], PGN [24] oraz nitro-HTPB [25].

### Otrzymywanie azotanu gumy guar

Przeprowadzonym syntezom przypisano następujące oznaczenia:

- A-D oznaczające kolejne warianty syntezy przeprowadzonej dla otrzymania danego azotanu polisacharydu;
- indeks dolny <sub>1-3</sub> wskazujący który polisacharyd (**Tab. 2**) był wykorzystany w roli substratu reakcji estryfikacji (<sub>1</sub> dla gumy guar, <sub>2</sub> dla gumy arabskiej, <sub>3</sub> dla 1-karagenianu).

### Synteza A<sub>1</sub>

Odczynniki do syntezy A<sub>1</sub>:

- 10 cm<sup>3</sup> 100 % kwas azotowy(V) zawierający rozpuszczone tlenki azotu (w dalszej części pracy nazywany kwasem azotowym dymiącym)
- 6 cm<sup>3</sup> 95 % kwas siarkowy(VI) (w dalszej części nazywany kwasem siarkowym)
- 1 g gumy guar cz. d. a.
- wodorowęglan sodu

Synteza A<sub>1</sub>:

Do 1 g gumy guar dodano 10 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego i ochłodzono do temperatury 0 °C. Następnie, przy ciągłym mieszaniu powoli wkraplało 6 cm<sup>3</sup> kwasu siarkowego utrzymując temperaturę poniżej 0 °C. Po dodaniu całości kwasu siarkowego zawartość zlewki mieszano jeszcze w temperaturze poniżej 0 °C, przez około 20 min. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzano do ok. 5 l wody dejonizowanej. Osad dokładnie mieszano z wodą za pomocą bagietki oraz częściowo zobojętniono poprzez dodanie wodorowęglanu sodu. Po zobojętnieniu, osad pozostawiono do opadnięcia, a następnie wodę nad osadu zdekantowano. Osad sączono pod zmniejszonym ciśnieniem, a następnie wysuszono w temperaturze pokojowej. W wyniku reakcji otrzymano 1,27 g produktu.

### **Synteza B<sub>1</sub>**

W wyniku dodania kolejnych odczynników do gumy guar w syntezie A<sub>1</sub> utworzona została zbita grudka polisacharydu ograniczająca powierzchnię reakcji. W związku z tym, kolejną syntezę przeprowadzono stopniowo dodając gumę guar do mieszaniny pozostałych odczynników.

Odczynniki do syntezy B<sub>1</sub>:

- 15 cm<sup>3</sup> 100% kwas azotowy dymiący
- 33 cm<sup>3</sup> 95% kwas siarkowy
- 16 cm<sup>3</sup> wody destylowanej
- ok. 5 l wody dejonizowanej
- 1 g gumy guar cz. d. a.
- wodorowęglan sodu

Synteza B<sub>1</sub>:

Przygotowano mieszaninę 33 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu siarkowego i 15 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego oraz 16 cm<sup>3</sup> wody destylowanej. Wodę przed dodaniem kwasu azotowego i wkropleniem kwasu siarkowego schłodzono do temperatury około 0 °C. Do przygotowanej w poprzednim etapie mieszaniny ochłodzonej do około 0 °C, przy intensywnym mieszaniu małymi porcjami dodano 1 g gumy guar. Proces estryfikacji trwał około 20 minut. Temperaturę utrzymywano na tym samym poziomie. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzono do ok. 5 l wody dejonizowanej. Osad dokładnie mieszano z wodą za pomocą bagietki oraz częściowo zobojętniono poprzez dodanie wodorowęglanu sodu. Po zobojętnieniu, osad pozostawiono do opadnięcia, a następnie wodę z nad osadu zdekantowano. Osad odsączono pod zmniejszonym ciśnieniem, a następnie wysuszono w temperaturze pokojowej. W wyniku reakcji otrzymano 0,99 g produktu.

### **Synteza C<sub>1</sub>**

W związku z utworzeniem zbitych grudek polisacharydu ograniczających objętość reakcji w syntezie B<sub>1</sub>, zastosowano przepis niewymagający użycia wody destylowanej w roli jednego z odczynników do przeprowadzenia reakcji.

Odczynniki do syntezy C<sub>1</sub>:

- 5 cm<sup>3</sup> 100% kwas azotowy dymiący
- 12 cm<sup>3</sup> 95% kwas siarkowy
- ok. 5 l wody dejonizowanej
- 1 g gumy guar cz. d. a.
- wodorowęglan sodu

Synteza C<sub>1</sub>:

Przygotowano mieszaninę 12 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu siarkowego i 5 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego. Przed wkraplaniem kwasu siarkowego do azotowego, oba kwasy ochłodzono do temperatury poniżej 0 °C. Do przygotowanej mieszaniny, ochłodzonej do około 0 °C, przy intensywnym mieszaniu dodano małymi porcjami 1 g gumy guar. Proces estryfikacji trwał około 20 minut. Temperaturę utrzymywano na tym samym poziomie. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzono do ok. 5 l wody

dejonizowanej. Zlewka z wodą dejonizowaną była termostatowana łaźnią lodową i utrzymywana w niskiej temperaturze. Osad dokładnie mieszano z wodą oraz częściowo zobojętniono poprzez dodatek wodorowęglanu sodu. Po zobojętnieniu, osad pozostawiono do opadnięcia, a następnie wodę z nad osadu zdekantowano. Osad sączono pod zmniejszonym ciśnieniem, a następnie suszono w temperaturze pokojowej. W wyniku reakcji otrzymano 0,84 g produktu.

### **Synteza D<sub>1</sub>**

Syntezę D<sub>1</sub> przeprowadzono w ramach stażu w zakładzie NITROERG S.A. w Bieruniu. Do przeprowadzenia syntezy D<sub>1</sub> zastosowano odczynniki dostępne na zakładzie.

W porównaniu do poprzednich syntez zmniejszono ilość użytej wody dejonizowanej oraz zastosowano zobojętnienie mieszaniny poreakcyjnej roztworem wodorotlenku sodu zamiast wodorowęglanem sodu.

Odczynniki do syntezy D<sub>1</sub>:

- 24 cm<sup>3</sup> 65% kwas azotowy
- 52,5 cm<sup>3</sup> 69% kwas siarkowy
- ok. 1 l wody dejonizowanej
- 1 g gumy guar (czystość techniczna)
- wodorotlenek sodu

Synteza D<sub>1</sub>:

Przygotowano mieszaninę 52,5 cm<sup>3</sup> 69% kwasu siarkowego i 24 cm<sup>3</sup> 65% kwasu azotowego. Do przygotowanej mieszaniny, ochłodzonej do około 0 °C, przy intensywnym mieszaniu dodano małymi porcjami 1 g gumy guar o czystości technicznej roztartej na moździerzu. Proces estyfikacji trwał około 20 minut. Temperaturę utrzymywano na tym samym poziomie. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzono do ok. 1 l wody dejonizowanej. Zlewka z wodą dejonizowaną była termostatowana łaźnią lodową i utrzymywana w niskiej temperaturze. Osad dokładnie mieszano z wodą oraz stopniowo zobojętniono poprzez dodatek 5 M roztworu wodorotlenku sodu. Przy obniżaniu pH z kwasowego do obojętnego roztwór ulegał powolnemu odbarwieniu z koloru żółtego. Po zobojętnieniu, osad pozostawiono do opadnięcia, a następnie wodę z nad osadu zdekantowano. Osad sączono pod zmniejszonym ciśnieniem, a następnie suszono w temperaturze pokojowej. W wyniku reakcji nie udało się wyodrębnić produktu.

### **Otrzymywanie azotanu gumy arabskiej**

#### **Synteza A<sub>2</sub>**

Syntezę przeprowadzono analogicznie do syntezy C<sub>1</sub> z wykorzystaniem odmiennego polisacharydu w roli substratu.

Odczynniki do syntezy A<sub>2</sub>:

- 5 cm<sup>3</sup> 100% kwas azotowy dymiący
- 12 cm<sup>3</sup> 95% kwas siarkowy
- ok. 5 l wody dejonizowanej
- 1 g gumy arabskiej cz. d. a.
- wodorowęglan sodu

#### Synteza A<sub>2</sub>:

Przygotowano mieszaninę 12 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu siarkowego i 5 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego. Przed wkraplaniem kwasu siarkowego do azotowego, oba kwasy ochłodzono do temperatury poniżej 0 °C. Do przygotowanej mieszaniny ochłodzonej do temperatury około 0 °C, przy intensywnym mieszaniu małymi porcjami dodawano 1 g gumy arabskiej. Proces estryfikacji trwał około 20 minut. Temperaturę utrzymywano na tym samym poziomie. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzono do ok. 5 l wody dejonizowanej. Zlewka z wodą dejonizowaną była termostatowana łaźnią lodową i utrzymywana w niskiej temperaturze. Osad dokładnie mieszano z wodą oraz częściowo zobojętniono poprzez dodatek wodorowęglanu sodu. Po zobojętnieniu powstała nieopadająca zawiesina. Osad sączono na 3 sączkach karbowanych, a następnie suszono w temperaturze pokojowej. W wyniku reakcji otrzymano 0,52 g produktu.

#### Synteza B<sub>2</sub>

Syntezę B<sub>2</sub> przeprowadzono w ramach stażu w zakładzie NITROERG S.A. w Bieruniu. Do przeprowadzenia syntezy B<sub>2</sub> zastosowano odczynniki dostępne na zakładzie.

W porównaniu do poprzednich syntez zmniejszono ilość użytej wody dejonizowanej oraz zwiększono ilość polisacharydu poddawanego estryfikacji.

#### Odczynniki do syntezy B<sub>2</sub>:

- 120 cm<sup>3</sup> 65% kwas azotowy
- 262,5 cm<sup>3</sup> 69% kwas siarkowy
- ok. 1 l wody dejonizowanej
- 5 g gumy arabskiej (czystość techniczna)
- wodorowęglan sodu

#### Synteza B<sub>2</sub>:

Przygotowano mieszaninę 262,5 cm<sup>3</sup> 69% kwasu siarkowego i 120 cm<sup>3</sup> 65% kwasu azotowego. Do przygotowanej mieszaniny, ochłodzonej do około 0 °C, przy intensywnym mieszaniu dodano małymi porcjami 5 g gumy guar o czystości technicznej roztartej na móżdżerze. Proces estryfikacji trwał około 20 minut. Temperaturę utrzymywano na tym samym poziomie. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzono do ok. 1 l wody dejonizowanej. Zlewka z wodą dejonizowaną była termostatowana łaźnią lodową i utrzymywana w niskiej temperaturze. Osad dokładnie mieszano z wodą oraz częściowo zobojętniono poprzez dodatek wodorowęglanu sodu. W wyniku reakcji nie udało się wyodrębnić produktu.

#### Synteza C<sub>2</sub>

Zamiast wprowadzania mieszaniny poreakcyjnej do wody dejonizowanej, wprowadzono ją na drobno pokruszony lód z wody dejonizowanej.

#### Odczynniki do syntezy C<sub>2</sub>:

- 5 cm<sup>3</sup> 100% kwas azotowy dymiący
- 12 cm<sup>3</sup> 95% kwas siarkowy



- lód z wody destylowanej (ok. 0,5 l)
- 100 ml wody dejonizowanej
- 1 g gumy arabskiej cz. d. a.

#### Synteza C<sub>2</sub>:

Do 5 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego ochłodzonego do temperatury poniżej 0 °C, przy ciągłym mieszaniu powoli wkroplono 12 cm<sup>3</sup> ochłodzonego do temperatury poniżej 0 °C stężonego kwasu siarkowego utrzymując temperaturę układu. Po dodaniu całości kwasu siarkowego zawartość zlewki mieszano w temperaturze poniżej 0 °C, przez około 20 min. Następnie powoli, przy ciągłym mieszaniu z wykorzystaniem mieszadła mechanicznego dodano małymi porcjami 1 g rozdrobnionej gumy arabskiej, zważając

na to, aby temperatura nie przekroczyła 0 °C. Po dodaniu gumy arabskiej zawartość zlewki mieszano przez 20 min. Następnie mieszaninę przeniesiono do krystalizatora wypełnionego rozdrobnionym lodem z wody destylowanej (ok. 0,5 l). Osad dokładnie mieszano z wodą za pomocą mieszadła mechanicznego, a po rozpuszczeniu lodu, odsączono na 3 sączkach karbowanych, przemyto kilka razy zimną wodą destylowaną do odczynu obojętnego. Po dokładnym odsączeniu produkt suszono się w temperaturze pokojowej. W wyniku reakcji otrzymano 1,14 g produktu. Produkt rozpuszczono w 100 ml wody dejonizowanej, a następnie gotowano przez 40 min w celu odkwaszenia. Masa produktu po gotowaniu wynosiła 0,62 g. W wyniku gotowania nastąpił 55% ubytek masy próbki.

#### Synteza D<sub>2</sub>

W porównaniu do syntezy C<sub>2</sub> zastosowano dwukrotnie mniejszą ilość drobno pokruszonego lodu z wody dejonizowanej, na który wprowadzono mieszaninę poreakcyjną.

#### Odczynniki do syntezy D<sub>2</sub>:

- 5 cm<sup>3</sup> 100% kwas azotowy dymiący
- 12 cm<sup>3</sup> 95% kwas siarkowy
- 1 g gumy arabskiej cz. d. a.
- lód z wody destylowanej (ok. 0,2 l)

#### Synteza D<sub>2</sub>:

Do 5 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego ochłodzonego do temperatury poniżej 0°C, przy ciągłym mieszaniu powoli wkroplono 12 cm<sup>3</sup> ochłodzonego do temperatury poniżej 0 °C stężonego kwasu siarkowego utrzymując temperaturę układu. Po dodaniu całości kwasu siarkowego zawartość zlewki mieszano w temperaturze poniżej 0 °C, przez około 20 min. Następnie powoli, przy ciągłym mieszaniu z wykorzystaniem mieszadła mechanicznego dodano małymi porcjami 1g dobrze rozdrobnionej gumy arabskiej, zważając na to, aby temperatura nie przekroczyła 0 °C. Po dodaniu gumy arabskiej zawartość zlewki mieszano przez 20 min. Następnie mieszaninę powoli wylano do krystalizatora wypełnionego rozdrobnionym lodem z wody destylowanej (ok. 0,2 l). Osad dokładnie mieszano z wodą za pomocą mieszadła mechanicznego, a po rozpuszczeniu lodu, odsączono na sączku karbowanym, przemyto kilka razy zimną wodą destylowaną do odczynu obojętnego. Po dokładnym odsączeniu produkt suszono się w temperaturze pokojowej. Otrzymano 1,08 g produktu.

### Otrzymywanie azotanu 1-karagenianu

Syntezę przeprowadzono analogicznie do syntezy C<sub>1</sub>.

Odczynniki do syntezy A<sub>3</sub>:

- 5 cm<sup>3</sup> 100 % kwas azotowy dymiący
- 12 cm<sup>3</sup> 95 % kwas siarkowy
- ok. 5 l wody dejonizowanej
- 1 g 1-karagenianu cz. d. a.
- wodorowęglan sodu

Synteza A<sub>3</sub>:

Przygotowano mieszaninę 12 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu siarkowego i 5 cm<sup>3</sup> stężonego kwasu azotowego. Przed wkraplaniem kwasu siarkowego do azotowego, oba kwasy ochłodzono do temperatury poniżej 0 °C. Do przygotowanej mieszaniny ochłodzonej do około 0 °C, przy intensywnym mieszaniu małymi porcjami dodano 1 g 1-karagenianu. Proces estryfikacji trwał około 20 minut. Temperaturę utrzymywano na tym samym poziomie. Następnie mieszaninę poreakcyjną powoli wprowadzono do ok. 5 l wody dejonizowanej. Zlewka z wodą dejonizowaną była termostatowana łaźnią lodową i utrzymywana w niskiej temperaturze. Osad dokładnie mieszano z wodą oraz częściowo zobojętniono poprzez dodatek wodorowęglanu sodu. Część roztworu z powstałą nieopadającą zawiesiną zamrożono, a po rozmrożeniu przesączono pod próżnią.

W wyniku reakcji nie udało się wyodrębnić produktu.

### Badanie rozpuszczalności

Oznaczenie rozpuszczalności przeprowadzono dla azotanu gumy guar z syntez B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> oraz dla azotanu gumy arabskiej z syntezy A<sub>2</sub>. Do badań wybrano preparaty pochodzące z syntez, w których otrzymano największą ilość produktów. Odważono ok. 0,05 g każdej z badanych substancji, przeniesiono do zlewki szklanej i rozpuszczono w 20 ml czterech wybranych rozpuszczalników: octanie etylu, acetonie, etanolu oraz metanolu poprzez mieszanie bagietką szklaną przez około 4 minuty. Sączki oraz szalki Petriego zważono przed sączeniem. Każdorazowo roztwór przesączono, a sączek przeniesiono na szalkę Petriego i pozostawiono do wyschnięcia. Wysuszony sączek zważono na wadze analitycznej. Na podstawie różnicy mas czystego sączka i szalki Petriego oraz masy sączka po sączeniu i szalki Petriego obliczono masę substancji, która uległa rozpuszczeniu oraz rozpuszczalność w 20 ml rozpuszczalnika. Najlepszą rozpuszczalnością cechował się azotan gumy arabskiej w acetonie (**Tab. 1**). Dla tej substancji przeprowadzono analogiczną próbę rozpuszczalności 0,08 g azotanu gumy arabskiej w 20 ml acetonu (**Tab. 2**).

Tabela 1 Zestawienie rozpuszczalności [% mas.] 0,05 g wybranych azotanów polisacharydów w 20 ml rozpuszczalnika przy 4 min mieszania.

Badana substancja	Octan etylu	Aceton	Etanol	Metanol
Azotan gumy guar B <sub>1</sub>	63	66	3	61
Azotan gumy guar C <sub>1</sub>	58	70	4	30
Azotan gumy arabskiej A <sub>2</sub>	87	100	27	62

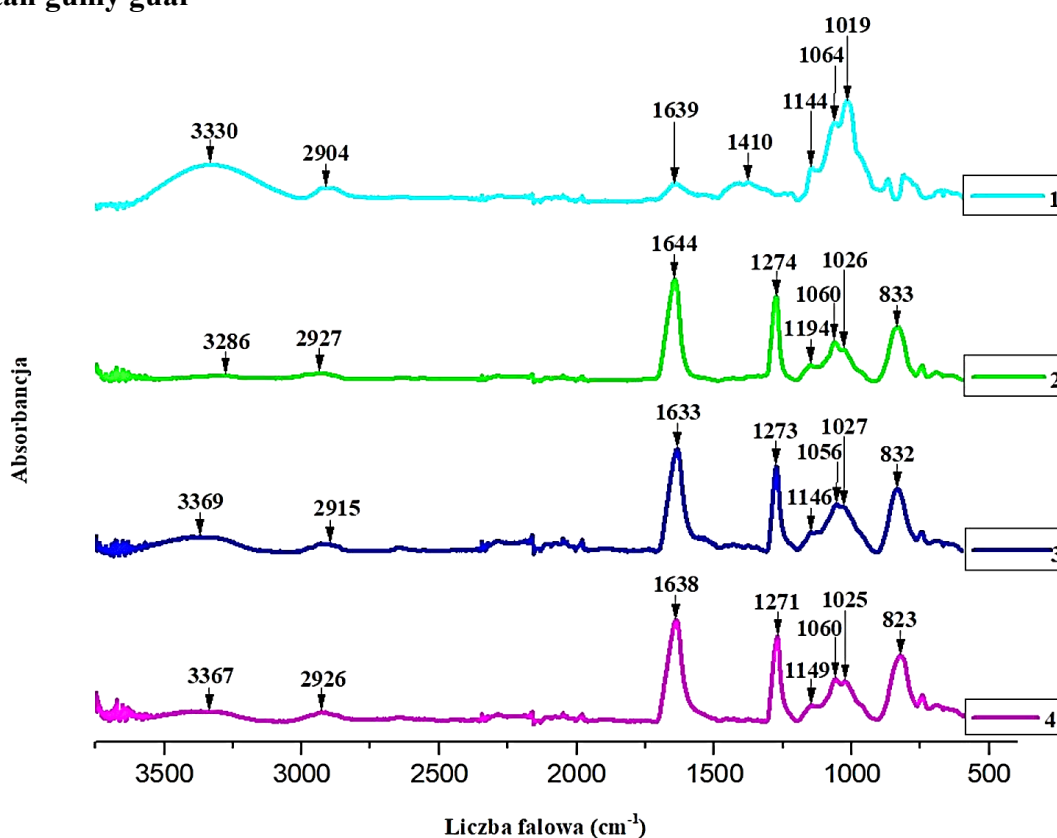
Tabela 2 Rozpuszczalność [% mas.] 0,08 g azotanu gumy arabskiej A<sub>2</sub> w 20 ml rozpuszczalnika przy 4 min mieszania.

Badana substancja	Rozpuszczalność w acetonie
Azotan gumy arabskiej A <sub>2</sub>	97

### Spektroskopia w podczerwieni

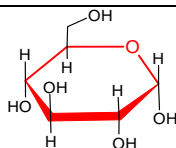
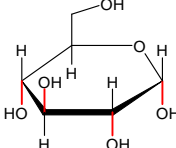
Badania przeprowadzono na spektrometrze Perkin-Elmer Spectrum Two (Waltham, MA, USA) z jednodobiciową przystawką ATR. Przy przeprowadzaniu pomiarów zastosowano kryształ diamentowy, co uzasadniono jego przewagą nad alternatywnymi kryształami wykorzystywanymi do ATR – niewystarczającą trwałością kryształu selenku cynku oraz wysoką ceną germanu. Pomiar przeprowadzono w zakresie 400-3750 cm<sup>-1</sup>.

### Azotan gumy guar



Rysunek 3 Zestawienie widm ATR-IR gumy guar (1) z azotanem gumy guar z syntez A<sub>1</sub> (2), A<sub>2</sub> (3), A<sub>3</sub> (4).

Tabela 3 Zestawienie i interpretacja sygnałów otrzymanych w badaniach IR dla gumy guar i azotanu gumy guar.

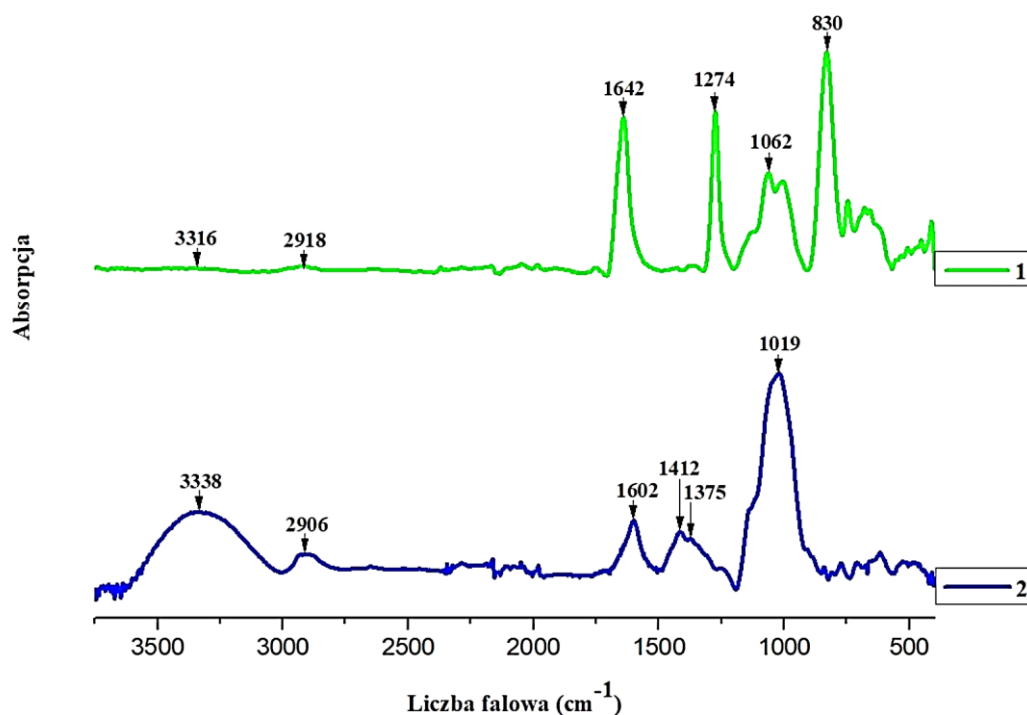
Pasmo absorpcyjne (Rys. 14) [cm <sup>-1</sup> ]	Rodzaj drgań	Grupa funkcyjna, uwagi	Oдношник
3369, 3367, 3330, 3286	rozciągające	O-H	[26] [27]
2927, 2926, 2915, 2904	rozciągające	C-H	[26] [28]
1639	rozciągające		[26]
1644, 1638, 1633	asymetryczne rozciągające	NO <sub>2</sub> (w azotanie gumy guar)	[28]
1410	symetryczne deformacyjne	CH <sub>2</sub>	[26]
1274, 1273, 1271	symetryczne rozciągające	NO <sub>2</sub> (w azotanie gumy guar)	[28]
1194, 1149, 1146, 1144	rozciągające	C-OH (w pierścieniu piranozowym) 	[26] [27]
1064, 1060, 1056	rozciągające	CH <sub>2</sub> OH	[26] [27]
1027, 1026, 1025, 1019	skręcające	CH <sub>2</sub>	[26]
833, 832, 823	rozciągające	O-NO <sub>2</sub> (w azotanie gumy guar) <sup>1</sup>	[28]
750-500	obszar daktyloskopowy „odcisku palca”		[26]

\*Szum z zakresu 1900-2300 cm<sup>-1</sup> pojawia się w związku z zastosowaniem kryształu diamentowego w przystawce ATR.

### Azotan gumy arabskiej

Z uwagi na rozkład próbek podczas przechowywania, struktury próbek z syntezy A<sub>2</sub>, C<sub>2</sub> oraz D<sub>2</sub> nie udało się potwierdzić za pomocą spektroskopii IR. W związku z tym przeprowadzono syntezę analogiczną do C<sub>2</sub> celem potwierdzenia obecności grup funkcyjnych, których obecności oczekiwano w otrzymanych związkach.

<sup>1</sup> Intensywność pików związanych z grupami O-NO<sub>2</sub> jest zmienna i odzwierciedla różny stopień zstryfikowania kwasem azotowym gumy guar.



Rysunek 4 Zestawienie widm ATR-IR azotanu gumy arabskiej (1) i gumy arabskiej (2).

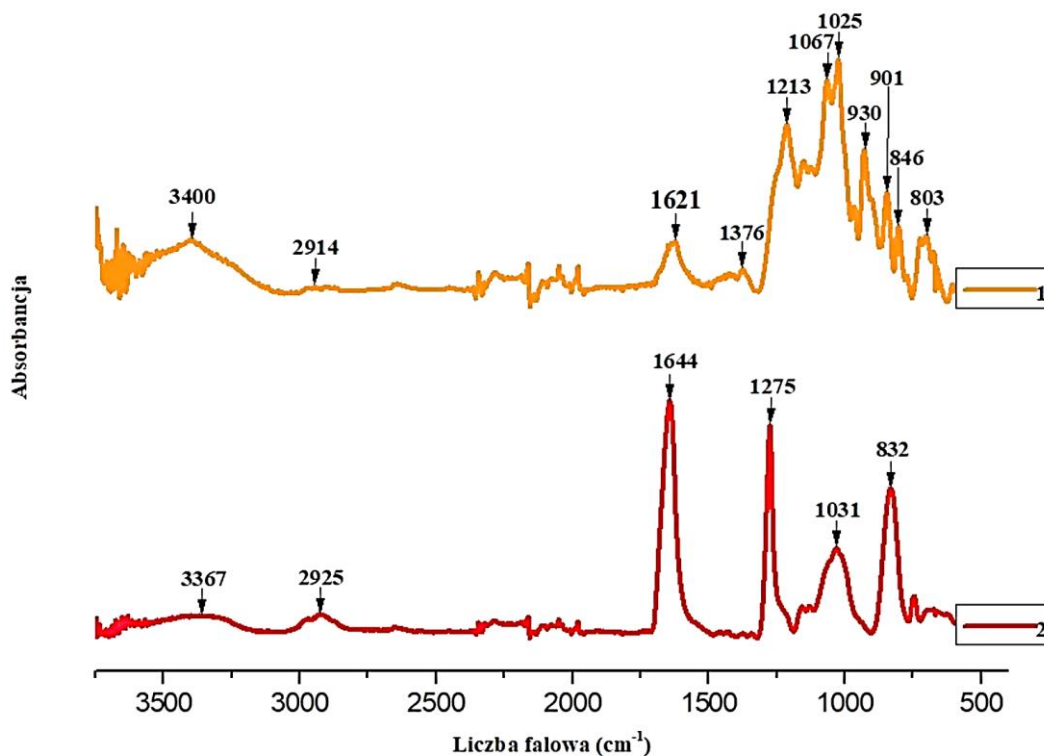
Tabela 4 Zestawienie i interpretacja sygnałów otrzymanych w badaniach IR dla gumy arabskiej i azotanu gumy arabskiej.

Pasmo absorpcyjne (Rys. 15) [cm <sup>-1</sup> ]	Rodzaj drgań, uwagi	Grupa funkcyjna, uwagi	Oдно́ник
3338, 3316	rozciągające	O-H	[26]
2906, 2918	rozciągające	C-H	[26] [28]
1642	asymetryczne rozciągające	NO <sub>2</sub> (w azotanie gumy arabskiej)	[28]
1602	-	C=O (kwas alifatyczny)	[29]
1412	rozciągające (pierwszy nadton), trzeci nadton	O-H (z H <sub>2</sub> O), C=O (kwas glukuronowy)	[30]
1375	rozciągające (pierwszy nadton), deformacyjne (z CH <sub>3</sub> )	C-H (ramnoza)	[30]
1274	symetryczne rozciągające	NO <sub>2</sub> (w azotanie gumy arabskiej)	[28]
1019, 1062	rozciągające (nadtony z CH <sub>2</sub> )	C-H (galaktoza, arabinoza)	[30]
830	rozciągające	O-NO <sub>2</sub> (w azotanie gumy arabskiej) <sup>2</sup>	[28]
900-1250	obszar daktyloskopowy „odcisku palca”		[26]

<sup>2</sup> Intensywność pików związanych z grupami O-NO<sub>2</sub> jest zmienna i odzwierciedla różny stopień zestyfikowania kwasem azotowym gumy arabskiej.

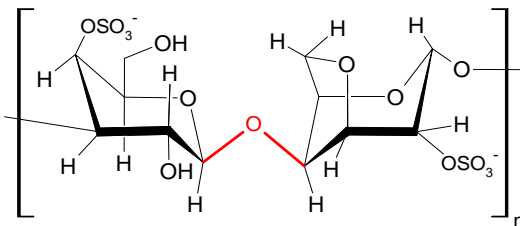
\*Szum z zakresu 1900-2300  $\text{cm}^{-1}$  pojawia się w związku z zastosowaniem kryształu diamentowego w przystawce ATR.

### Azotan 1-karagenianu

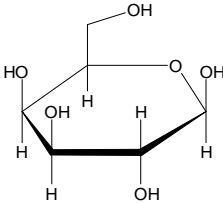


Rysunek 5 Zestawienie widm ATR-IR 1-karagenianu (1) z azotanem 1-karagenianu (2).

Tabela 5 Zestawienie i interpretacja sygnałów otrzymanych w badaniach IR dla 1-karagenianu i azotanu 1-karagenianu.

Pasmo absorpcyjne (Rys. 16) [ $\text{cm}^{-1}$ ]	Wiązanie/grupa funkcyjna	Odnosićnik
3400, 3367	O-H	[31]
2914, 2925	C-H	[31]
1621	zaabsorbowana woda	[31]
1644	$\text{NO}_2$ (w azotanie 1-karagenianu)	[28]
1376	grupa $\text{OSO}_3^-$	[31]
1275	$\text{NO}_2$ (w azotanie 1-karagenianu)	[28]
1213	C=O (w grupie $\text{OSO}_3^-$ )	[31]
1067	C-O (3,6-anhydrogalaktoza)	[32]
1025	 wiązanie O-glikozydowe	[31]



930	 <p>galaktoza</p>	[32]
901	C-O (anhydro-D-galaktoza)	[31] [32]
846	C-O-SO <sub>3</sub> na C2 w 3,6-anhydrogalaktozie)	[32]
832	O-NO <sub>2</sub> (w azotanie 1-karagenianu) <sup>3</sup>	[28]
803	C-O-SO <sub>3</sub> (na C2 w 3,6-anhydrogalaktozie)	[32]
700-950	obszar daktyloskopowy „odcisku palca”	[33]

\*Szum z zakresu 1900-2300 cm<sup>-1</sup> pojawia się w związku z zastosowaniem kryształu diamentowego w przystawce ATR.

### Oznaczenie wrażliwości na tarcie

Badania przeprowadzono na aparacie Petersa zgodnie z normą 13631-3:2004.

Tabela 6 Zestawienie wrażliwości na tarcie otrzymanych azotanów polisacharydów.

Badana substancja	Wrażliwość na tarcie [N]
Azotan gumy guar A <sub>1</sub>	64
Azotan gumy guar B <sub>1</sub>	84
Azotan gumy guar C <sub>1</sub>	96
Azotan gumy arabskiej A <sub>2</sub>	96
Azotan gumy arabskiej C <sub>2</sub>	84
Azotan gumy arabskiej D <sub>2</sub>	80

### Zastosowanie azotanu gumy arabskiej w roli lepiszcza

Początkowo azotan gumy arabskiej rozpuszczono w 10 ml acetonu. Z uwagi na niepożądaną konsystencję paliwa objętość rozpuszczalnika zredukowano do 5 ml.

#### Skład formulacji A:

0,2 g azotanu gumy arabskiej C<sub>2</sub> (odkwaszony poprzez gotowanie) w 5 ml acetonu

0,5 g utleniacza – NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + KNO<sub>3</sub> wag. 1:1

0,2 g pył aluminiowo-magnezowy (PAM) (Mg/Al wag. 1:1) o średnim wymiarze ziaren 45 μm

#### Skład formulacji B:

0,2 g azotanu gumy arabskiej C<sub>2</sub> (nieodkwaszony poprzez gotowanie) w 5 ml acetonu

0,5 g utleniacza – NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + KNO<sub>3</sub> wag. 1:1

0,2 g pył PAM (Mg/Al wag. 1:1) o średnim wymiarze ziaren 45 μm

<sup>3</sup> Intensywność pików związanych z grupami O-NO<sub>2</sub> jest zmienna i odzwierciedla różny stopień zestyfikowania kwasem azotowym 1-karagenianu

Odważony azotan gumy arabskiej wprowadzono do zlewki, a następnie rozpuszczono poprzez dokładne wymieszanie (około 4 min) w odmierzonym cylindrem miarowym objętości acetonu. Mieszaninę  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  oraz  $\text{KNO}_3$  o stosunku wagowym 1:1 roztarto w czystym moździerzu oraz odważono na wadze analitycznej. Następnie do układu wprowadzono odpowiednią ilość utleniacza oraz wymieszano. Do tak powstałej masy wprowadzono uprzednio odważony pył PAM. Całość dokładnie wymieszano do uzyskania jednorodnej konsystencji. Uzyskaną masę zaelaborowano do 5 cm rurki papierowej o średnicy 6 mm.

Procedurę powtórzono w identyczny sposób dla drugiej formulacji. Rurki papierowe podsypano masą podpałową, w której każdorazowo umieszczono stopinę, od której zapalano badany układ.

Czasy spalania zmierzono elektronicznie oraz obliczono pogładową szybkość spalania rurki papierowej. Spalenie obu próbek wiązało się z karmelizacją cukru z masy podpałowej.

Formulacja A (odkwaszona poprzez gotowanie) spalała się pulsacyjnie, odstrzeliwała i gwałtownie przygasa. Szybkość spalania wynosiła ok. 17 mm/s.

Formulacja B (nieodkwaszona poprzez gotowanie) spalała się praktycznie tak niestabilnie, jak w przypadku poprzedniej formulacji. Szybkość spalania wynosiła ok. 16 mm/s, a próbka okresowo gwałtownie przygasała. Przy spalaniu obecny był bardzo jasny płomień oraz emisja bezbarwnych tlenków siarki i azotu. Przy spalaniu formulacji B zaobserwowano krótsze pulsacje niż w przypadku formulacji A.

### Dyskusja wyników

W syntezie  $A_1$  doszło do powstania zbitej grudki polisacharydu, w wyniku czego uzyskano niską wydajność reakcji.

Synteza  $B_1$  przeprowadzana była z wykorzystaniem zmodyfikowanej procedury, uzyskując nieznacznie wyższą wydajność reakcji. Kolejna modyfikacja procedury procedury syntezy ( $C_1$ ) pozwoliła na uzyskanie produktu o lepszej jakości, lecz poskutkowało uzyskaniem niższej wydajności oczyszczonego produktu reakcji. Estryfikację gumy arabskiej przeprowadzono analogicznie do procedury syntezy  $C_1$ .

Estryfikacja 1-karagenianu (synteza  $A_3$ ) nie powiodła się z uwagi na utworzenie nieopadającej zawiesiny wysoce drobnokrystalicznego osadu. Część roztworu zamrożono i po rozmrożeniu przesączono pod zmniejszonym ciśnieniem na sączku o bardzo drobnej gramaturze. Było to czasochłonne, a ilość uzyskanego osadu pozwoliła jedynie na potwierdzenie struktury otrzymanego produktu przy użyciu spektroskopii IR. Z uwagi na wejście osadu w pory sączków karbowanych, osadu nie udało się wyodrębnić. W związku z problematycznością reakcji zaniechano prób jej optymalizacji.

Widma IR otrzymanych azotanów polisacharydów odniesiono do widm polisacharydów wykorzystanych w roli substratów do reakcji estryfikacji (**Tab. 3–5**). W wyniku przeprowadzenia reakcji zaobserwowano zanikanie pasma grup hydroksylowych oraz pojawianie się pasm grup azotanowych, co świadczy o zajściu reakcji estryfikacji dla przeprowadzonych syntez.

Z uwagi na najbardziej obiecującą rozpuszczalność, do badanej formulacji wykorzystano układ azotanu gumy arabskiej w acetonie. Formulację przygotowano w dwóch wariantach: z lepszem po (A) i przed odkwaszeniem (B). Odkwaszenie przeprowadzono poprzez rozpuszczenie produktu syntezy  $C_2$  w 100 ml wody

dejonizowanej i gotowanie przez 40 min, co doprowadziło do 55 % ubytku masy próbki.

Spalanie formulacji B było wysoce niestabilne, a bardzo jasny płomień wynikający z obecności PAM jako komponentu formulacji gwałtownie przygasał. W związku z brakiem wcześniejszej obróbki termicznej, przy spalaniu próbka uwalniała tlenki siarki i azotu. Formułacja A spalała się bardziej stabilnie w porównaniu do formulacji B. Przy spalaniu formulacji A nie zaobserwowano wydzielania się żółtych tlenków, w związku z przeprowadzoną wcześniej obróbką termiczną materiału.

W związku z niezadawalającą stabilnością spalania formulacji A oraz B azotanu gumy arabskiej cechującego się największą rozpuszczalnością spośród otrzymanych produktów, badań na reszcie otrzymanych azotanów polisacharydów zaniechano.

### Podsumowanie i wnioski

Spośród dostępnych polisacharydów w roli substratów wykorzystano gumę guar, gumę arabską oraz 1-karagenian. Takiego wyboru dokonano, aby określić wpływ odmiennej struktury monomerowych jednostek cukrowych polisacharydów na przebieg syntezy, proces estryfikacji oraz właściwości otrzymanych produktów. Łącznie przeprowadzono 9 syntez azotanów polisacharydów: 4 syntezы azotanu gumy guar, 4 syntezы azotanu gumy arabskiej oraz syntezę azotanu 1-karagenianu. Dokonano optymalizacji syntezy azotanu gumy guar oraz arabskiej.

Rozpuszczalność otrzymanych preparatów zbadano dla 4 rozpuszczalników: octanu etylu, acetonu, etanolu oraz metanolu. Największą rozpuszczalnością cechował się azotan gumy arabskiej w acetonie, a najmniejszą guma guar w etanolu (**Tab. 5**).

Dzięki możliwości przeprowadzenia syntez w różnych wariantach, potwierdzone zostało, że w nie każdej reakcji, w której teoretycznie powinno się otrzymać produkt, istnieje techniczna możliwość jego separacji z układu reakcyjnego.

### Bibliografia

1 Abdelaziz A., Bekhouche S., Tarchoun A., Mezroua A., Trache D., Towards a deep insight into thermal and moisture aging of silicon-based pyrotechnic delay composition through a combination of spectroscopy – principal component analysis approaches., *Propellants Explos. Pyrotech.*, 2022, 47(10): e202200092. DOI: 10.1002/prop.202200092

2 Sadek R., Kassem M., Abdo M., Elbasuney S., Novel blue flare tracer with enhanced color quality and luminous intensity, 2018, *J. Lumin.*, 195: 8–13. DOI:10.1016/j.jlumin.2017.10.080

3 Martín-Alberca C., García-Ruiz C., Analytical techniques for the analysis of consumer fireworks, 2014, *TrAC Trends Anal. Chem.*, 56: 27-36. DOI: 10.1016/j.trac.2013.12.010

4 Biegańska J., Barański K., Experiments with Pyrotechnic Compositions Based on a

Mathematical Model –Part I Evaluation of the Applicability of Mathematical Models in Developing Pyrotechnic Compositions Producing an Acoustic Effect, *Energies*, 2021, 14, 8548, DOI: 10.3390/en14248548

5 Rosères C., Courty L., Gillard P., Boulnois C., Burning Velocities of Pyrotechnic Compositions: Effects of Composition and Granulometry, *Energies*, 2022, 15, 3942. DOI: 10.3390/en15113942

- 6 Woodley C., Claridge R., Johnson N., Jones A., Ignition and combustion of pyrotechnics at low pressures and at temperature extremes, *Def. Technol.*, 2017, 13(3): 119–126. DOI:10.1016/j.dt.2017.03.004
- 7 Polis M., Szydło K., Jarosz T., Procek M., Skóra P., Stolarczyk A., Investigation of Combustion of KMnO<sub>4</sub>/Zn Pyrotechnic Delay Composition, *Materials (Basel)*, 2022, 15(18), 6406. DOI: 10.3390/ma15186406
- 8 Stolarczyk A., Jarosz T., Thermal Properties of Energetic Materials –What Are the Sources of Discrepancies?, *Fire*, 2022, 5(6):206. DOI: 10.3390/fire5060206
- 9 Abdelaziz A., Bekhouche S., Tarchoun A., Mezroua A., Trache D., Towards a deep insight into thermal and moisture aging of silicon-based pyrotechnic delay composition through a combination of spectroscopy – Principal component analysis approaches., *Propellants, Explos., Pyrotech.*, 2022, 47(10): e202200092. DOI: 10.1002/prop.202200092
- 10 Perry J., Walley S., Vibration-Induced Heating of Energetic Materials: A Review., *J. Dynamic Behavior Mater.*, 2022, 8: 162–177. DOI:10.1007/s40870-021-00322-7
- 11 Yang J., Lu Z., Zhou X., Sun Z., Hu Y., Zhang T., Wu C., Zhang G., Jiang W., Current Self-Healing Binders for Energetic Composite Material Applications, *Molecules*, 28(1): 428. DOI:10.3390/molecules28010428
- 12 Anniyappan M., Talawar M., Sinha R., Murthy K., Review on Advanced Energetic Materials for Insensitive Munition Formulations, *Combust. Explos. Shock Waves*, 2020, 56(5): 495–519. DOI:10.1134/s0010508220050019
- 13 Gayathri S., Reshmi S., Nitrate Functionalized Polymers for High Energy Propellants and Explosives: Recent Advances, 2017, *Polym. Adv. Technol.*, 28(12): 1539–1550. DOI:10.1002/pat.4039
- 14 Zlotin S., Dalinger I., Makhova N., Tartakovsky V., Nitro compounds as the core structures of promising energetic materials and versatile reagents for organic synthesis, 2020, *Russ. Chem. Rev.*, 89(1): 1-54. DOI: 10.1070/RCR4908
- 15 Venugopalan S., Sarwade D., Agrawal J., Role of oxygen balance on the thermal decomposition behaviour of composite propellants, *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, 1994, 289-291
- 16 Cheng T., Review of novel energetic polymers and binders – high energy propellant ingredients for the new space race, *Designed Monomers and Polymers*, 22(1):54-65, DOI: 10.1080/15685551.2019.1575652
- 17 Xiao Z., He W., Ying S., Ahou W., Xu F., Current trends in energetic thermoplastic elastomers as binders in high energy insensitive propellants in China, *Sci. Tech. Energetic Materials*, 2014, 75(2):37-43
- 18 Talawar M.B., Sivabalan R., Mukundan T., Muthurajan H., Sikder A.K., Gandhe B.R., Subhananda Rao A., Environmentally compatible next generation green energetic materials (GEMs), *J. Hazard. Mater.*, 2009, 161(2-3):589–60. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.011
- 19 Gan J., Zhang X., Zhang W., Hang R., Xie W., Liu Y., Luo W., Chen Y., Research Progress of Bonding Agents and Their Performance Evaluation Methods, *Molecules*, 2022, 27(2): 340. DOI:10.3390/molecules27020340
- 20 Deng J., Li G., Xia M., Lan Y., Luo Y., Improvement of mechanical characteristics of glycidyl azide polymer binder system by addition of flexible polyether, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2016, 133(35): 43840. DOI: 10.1002/APP.43840

21 Li B., Niu H., Zhang J., Li G., Luo Y., Zheng J., Probing the compatibility and interaction of energetic binders based on 3,3-bis(azidomethyl)oxetane with some explosives: thermal, interfacial and simulation studies, 2017, *Polym. Int.*, 67(1):132–140. DOI:10.1002/pi.5493

22 Wang K., Li H., Li Jq. et al., Molecular dynamic simulation of performance of modified BAMO/AMMO copolymers and their effects on mechanical properties of energetic materials, *Sci Rep*, 2020, 10, 18140. DOI: 10.1038/s41598-020-75146-x

23 Dou J., Xu M., Tan B., Lu X., Mo H., Wang B., Liu N., Research progress of nitrate ester binders, *FirePhysChem*, 2023, 3(1):54–77. DOI: 10.1016/j.fpc.2022.09.003

24 Shee S., Reddy S., Athar A., SikProbing the Compatibility of Energetic Binder Poly Glycidyl Nitrate with Energetic Plasticizers: Thermal, Rheological and DFT Studies, *RSC Adv.*, 2015, 5(123): 101297-101308. DOI: 10.1039/C5RA16476A

25 Abusaidi H., Ghorbani M., Ghaieni H. R., Development of Composite Solid Propellant Based on Nitro Functionalized Hydroxyl-Terminated Polybutadiene, *Propellants, Explos., Pyrotech.*, 2017, 42(6):671-675, DOI: 10.1002/prop.201600120

26 Sowunmi A., Orodu O., Efevbokhan V., Ogundare S., Comparative dataset on the characterization of natural polymers and nanocomposites for enhanced oil recovery, *Data Br.*, 2020, 33: 106506. DOI:10.1016/j.dib.2020.106506

27 Liyanage S., Abidi N., Auld D., Moussa H., Chemical and physical characterization of galactomannan extracted from guar cultivars (*Cyamopsis tetragonolobus* L.), *Ind. Crops Prod.*, 2015, 74: 388–396. DOI:10.1016/j.indcrop.2015.05.013

28 Trache D., Khimeche K., Mezroua A., Benziane M., Physicochemical properties of microcrystalline nitrocellulose from Alfa grass fibres and its thermal stability, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 124(3): 1485–1496. DOI:10.1007/s10973-016-5293-1

29 Hosseinikhah S., Fatemeh Mirjalili B., Salehi N., Bamoniri A., Gum arabic-OPO<sub>3</sub>H<sub>2</sub> as a new natural-based green catalyst for the one-pot pseudo-four-component synthesis of naphtho[1,2-e][1,3]oxazines, *RSC Adv.*, 2020, 10(66): 40508–40513. DOI:10.1039/d0ra07199d

30 Dong Y., Sørensen, K., He S., Engelsen S., Gum Arabic authentication and mixture quantification by near infrared spectroscopy, *Food Control*, 2017, 78: 144–149. DOI:10.1016/j.foodcont.2017.02.002

31 Elsupikhe R., Shameli K., Ahmad M., Ibrahim N., Zainudin N., Green sonochemical synthesis of silver nanoparticles at varying concentrations of κ-carrageenan, *Nanoscale Research Letters*, 2015, 10(1): 302. DOI:10.1186/s11671-015-0916-1

32 Pereira L., Amado A., Critchley A., Van de Velde F., Ribeiro-Claro P., Identification of selected seaweed polysaccharides (phycocolloids) by vibrational spectroscopy (FTIR-ATR and FT-Raman), *Food Hydrocoll.*, 2009, 23(7): 1903–1909. DOI:10.1016/j.foodhyd.2008.11.014

33 Tuvikene R., Carrageenans. *Handbook of Hydrocolloids (Third Edition)*, 767-804. DOI: 10.1016/B978-0-12-820104-6.00006-1

**СЕКЦІЯ 4**  
**Післявоєнна відбудова та управління**  
**економікою України**

**SECTION 4**  
**Postwar reconstruction and management**  
**of Ukrainian economy**



## UKRAINE'S RECOVERY FROM THE WAR CONSEQUENCES: ECONOMIC MANAGEMENT AND DEVELOPMENT SCENARIOS

T.S. Lukianenko<sup>1</sup>, I.V. Klindukh<sup>1</sup>, R.V. Zakusylo<sup>2</sup>, L.S. Petrushova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Separate Structural Subdivision

"Hlukhiv Agrotechnical Professional College of Sumy NAU"

<sup>2</sup>Shostka Institute of Sumy State University

Tatluk08@ukr.net

**Introduction.** Russia's aggressive invasion has united Ukrainian society, and at the same time, there is a need for a rapid response to the unprecedented challenges posed by the realities of today. The external threats did not meet the expectations of the aggressor country, which relied on the complete economic collapse of Ukraine and destabilization of the financial and economic system, but there were negative consequences. The key problems for Ukraine's economy today are a decline in production, an increase in the number of unemployed, weakening of public finances, and threats to currency stability. Ukraine's recovery from the war consequences is a topical issue for both technical experts and economists.

**Scientific analysis.** The Ukrainian Institute for the Future presented a forecast of Ukraine's economy for 2023-2024. Economists have prepared two detailed scenarios - positive and negative. The latter, according to experts, is the baseline, i.e. the most likely.

According to the most likely negative scenario, a full-scale war in Ukraine will continue. However, by the first half of 2024, the active phase of hostilities will end. However, the risks of blackouts during the heating season, i.e. missile attacks on critical infrastructure, will remain.

According to experts, internal contradictions will grow in society and the government, and there will be no consensus on the strategy and vector of Ukraine's further movement.

The country's population, according to the above scenario, will decline by about 1.5-2 million people. The abolition of martial law will lead to the departure of men, and the danger will deter most Ukrainian migrants from returning.

There will be a crisis in the labor market. It is predicted that those who were unable to find work abroad will return to Ukraine. Here, they will need social assistance, which is an additional burden on the budget.

In terms of the quality of human capital, we are suffering serious losses, economists say. After all, those who left Ukraine and did not return usually have the knowledge and skills necessary and important for survival in the modern world.

As a result, there will be a crisis in the labor market and a growing shortage of skilled labor. Experts emphasize that Ukraine has long had a problem of professional degradation and a shortage of skilled labor, and the need for quality specialists will only increase with migration. Employers will compete for individual employees, raise salaries, and increase costs on benefits and bonuses.

Business will not be able to grow rapidly. Production will be concentrated around the military-industrial complex. Most industrial sectors will enter a "depressed" phase. This does not mean that production volumes will fall, but there will be no business development. Access to capital will be extremely limited, there will be no sources of financing, no investments, no business confidence in the future, no government support or incentives.

Investment activity will be extremely low, and the country may face a shortage of investment resources. The share of capital investment will not exceed 10-15% of GDP. This is critically insufficient to launch economic growth. There will also be almost no foreign investment. There are no incentives for capital accumulation.

The logistics problem will not be solved quickly. The proximity of the front line to the Dnipro River will greatly complicate river logistics. The undermining of the Kakhovka hydroelectric dam will make river logistics in southern Ukraine virtually impossible, which will also negatively affect the volume of sea transportation, as goods will have to be delivered to ports by other means of transport.

Experts predict that part of the economy may be "in the shadows" due to the increased fiscal burden aimed at providing the defense sector with resources. A significant share of businesses may migrate abroad.

As for the positive scenario, the probability of which economists estimate as low, Ukraine's economy will grow by 10-15% per year. Although the probability of positive changes in Ukraine by the end of 2024 is low, experts have considered the factors and events that could lead to the realization of the positive scenario and their positive effects on the economy.

Thus, in case of de-occupation of the territories to the pre-war borders and establishment of logistics, +3-5% real GDP growth per year is predicted:

creation of additional GDP due to the return of territories;

increase in exports, in particular through the use of maritime transport.

According to this forecast, the country will continue to receive significant aid ( $\geq$  \$30 billion per year) to restore transport, energy, and social infrastructure, and demining of territories - +3-5% of GDP per year. Recovery projects will be the first impetus for economic growth in 2024, in particular through investment, production growth, job creation, increased household income, and consumption growth.

The government's migration policy, with the launch of a preferential mortgage program, will help bring 2-3 million emigrants back to Ukraine, which will result in +7-12% growth in the consumption market and, accordingly, growth in demand, business income, tax revenues, and the economy as a whole.

Civilian infrastructure will open at full capacity (offline schools, clubs, sports clubs, etc.), which will help increase parental productivity and create new jobs in education and services.

Launching a program for the rehabilitation and resocialization of combatants and social programs to restore the mental state of Ukrainians, including children, in order to improve the quality of human capital in Ukraine will help increase the productivity of Ukrainians and accelerate GDP growth.

Economists point out that the probability of all these factors materializing at once is negligible. But a combination of several of them is quite likely, especially since some of them depend on the political will of the country's decision-makers. The main motivation for them should be the fact that the probability that we will win the war but lose the reconstruction is now extremely high, experts say.

Despite the ongoing war, the Ukrainian government, experts and partners are already actively developing plans for Ukraine's post-war recovery.

As of today, the President of Ukraine has already signed a decree establishing the National Council for the recovery of Ukraine from the consequences of the war. This is an advisory body whose duty is to develop a plan for economic recovery.

According to this plan, first of all, before rebuilding, Ukraine is trying to minimize all kinds of damage from the war in every way possible.

This includes relocating businesses from the war zone to safer regions, housing for temporarily displaced persons, and generally all measures aimed at ensuring that people and businesses continue to live and work, and thus keep the economy going.

The second important step is to document the damage. On the one hand, it is necessary to bring Russia to justice for war crimes in international courts, and on the other hand, such documentation helps to collect information about all the destruction and damage.

Then they can be categorized and plans for reconstruction can be developed. To determine the extent of the damage, it is first necessary to collect information about the damage, analyze it, and determine further actions based on this analysis.

The joint project of the Kyiv School of Economics, the Office of the President and the Ministry of Economy "Russia will pay" and the Ministry of Digital Transformation are documenting the damage caused by Russia's military aggression through the Diia app.

Anyone can submit information about the damage caused to Ukraine and its citizens by Russian troops: the destruction of infrastructure, housing, schools, looting, environmental damage, and much more. It is important that this collected information is then combined into a single register, which will be used to plan reconstruction.

Critical infrastructure will need to be restored immediately after the end of hostilities. In particular, power grids, roads, railways, gas supply, water supply, and the Internet. We need to rebuild schools and hospitals, provide at least temporary housing for those who have lost it.

At this stage, a lot of humanitarian aid will still be needed. Part of this can be done even before the end of the war - to restore the most important things in the territories liberated from occupation.

In the future, all efforts will need to be directed to the recovery of the economy as a whole and its stable growth. Significant attention will be paid to job creation. It is also necessary to keep in mind the support and development of entrepreneurship, a prudent financial policy, and strengthening of the energy sector.

As part of the post-war recovery, Ukraine will have to rebuild some cities from scratch. This will provide an opportunity to apply the latest urban planning and architecture approaches and make Ukrainian cities more comfortable and inclusive for their residents.

At the same time, in order to move towards the EU, we will need to continue the reforms started before the war and harmonize our legislation with the European one. We need to introduce a European certification system, continue large-scale privatization, anti-corruption and judicial reforms.

The reconstruction process will require significant financial investments, which raises the question: "Where to get the money?".

Reconstruction will need to be financed from all possible sources. The Ukrainian government has already created a number of funds for this purpose:

- Small and Medium Business Support Fund;
- Army Support Fund;
- Fund for Economic Recovery and Transformation;
- Humanitarian Fund;
- Public Debt Service and Repayment Fund;

#### Fund for Restoration of Property and Destroyed Infrastructure.

In the future, it would be advisable to consolidate all these funds into one. After all, it will be much more difficult to monitor the use of funds from 6-7 funds, which will create confusion and corruption risks. Therefore, a common Recovery Fund for all funds would be a good solution.

Europe has already started thinking about accumulating funds for Ukraine's recovery. The Energy Community has created a Fund for Ukraine to restore the energy infrastructure destroyed by the Russian war, with donors mainly from EU member states.

In filling these funds, Ukraine hopes to receive assistance from partner countries and international institutions such as the World Bank, the International Monetary Fund, the European Investment Bank, and the European Bank for Reconstruction and Development.

A separate area is the assistance of large international companies and charitable foundations.

Finally, part of the restoration costs can be covered by seized Russian assets, both in Ukraine and around the world.

Another theoretically possible source of funding is reparations from Russia. But they can only be discussed after the war is won and Russia surrenders and has to compensate for the damage.

Considering the experience of previous wars of the 20th and 21st centuries, Ukraine thinks about recovery in advance. It is not only about creating plans and funds for the future.

Critical infrastructure is already being rebuilt in the territories liberated from occupation. This allows the residents of the liberated territories to return home sooner, start working again sooner, and restore the economy faster.

It is crucial that this recovery is carried out in a moderate and transparent manner. Therefore, it is necessary that competent experts are involved in these processes and that money is spent efficiently and for its intended purpose.

**Conclusions.** The article considers possible ways of Ukraine's development and its recovery from the consequences of Russian aggression. The existing economic and demographic problems are revealed, ways of developing the Ukrainian economy and possibilities of financing Ukrainian industry and construction are proposed. A scientific analysis of forecasts for the country's economic development is made and a number of funds and programs that can participate in financing the Ukrainian revival are proposed.

Together we will win!

#### References

1 Указ Президента України. Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни № 266/2022 від 17.06.2022.

2 Боярчук Д., Хартвелл К., Городніченко Ю. Відбудова України: питання та спільні позиції. Вокс Україна, 11.04.2023 р.

3 Обух В. Чим прислужиться Україні світовий досвід повоєнної відбудови. Укрінформ, 03.04.2023 р.

4 Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики. Золотова О., Іванова В., Симак Д., Кудінов О. Економіка під час воєнного стану: проблеми й шляхи подолання кризи (український досвід), 30.06.2023 р.

5 Як забезпечити економічне зростання в умовах війни. УП, 3.03.2023 р.

6 <https://ces.org.ua/tracker-economy-during-the-war/>

7 <https://www.kmu.gov.ua/gromadskosti/fondi-vidnovlennya-ukray>

## ІННОВАЦІЙНІ ІНСТРУМЕНТАРІЇ ФІНАНСУВАННЯ В ПІДПРИЄМНИЦТВІ

**Ірина Вареник, Іван Кутько, Софія Імшенецька**  
Шосткинський фаховий коледж ім.І Кожедуба СумДУ  
varenik.i@ukr.net

Забезпечення фінансування для розвитку інновацій – важлива передумова для зростання інтелектуального потенціалу підприємства. Проте, в сучасних умовах економічної нестабільності в Україні, багато компаній не мають можливості виділити свої власні ресурси на ці цілі. Тому вони вимушені шукати сторонні джерела фінансування.

Але залучення коштів зі сторони також виявляється проблематичним завдяки відсутності фінансової грамотності більшості населення України та загальному недовір'ю до інвестиційних інструментів. При цьому, венчурні фонди в Україні теж мають свої обмеження через недорозвинену інфраструктуру фондового ринку, відсутність належного регулюючого законодавства та недостатньо розвинену кадрову базу.

Саме в такому контексті стає актуальним наше дослідження. Ми шукаємо новий, спрощений механізм взаємодії між компаніями, що потребують інвестицій, і населенням. У розвинених країнах такий механізм вже існує і відомий як "краудфандинг," або публічне інвестування. Тому наше дослідження актуальне, оскільки воно спрямоване на аналіз роботи краудфандингу та його можливого впливу на економіку.

Попередні наукові дослідження вже проводилися в цій галузі, але вони фокусувалися лише на окремих аспектах цієї теми. Дослідженнями краудфандингу займався ряд вчених, серед яких: Рогова А.В. [1], Огородник В.О. [5], Петрушенко Ю.М. та Дудкін О.В. [2], Васильчук І. П. [2], Макарович В. К. [4], Химич І. [1] та інші. Але їхні праці висвітлюють лише окремі питання роботи краудфандингу. Відсутні праці, які б мали узагальнюючий характер та показали б місце краудфандингових компаній у су- часній світовій та вітчизняній економіці.

Найпоширенішими способами залучення інвестицій на підприємство є продаж пайових фінансових інструментів, венчурне фінансування, внески співвласників, комерційні кредити, продаж облігацій та інших боргових цінних паперів.

Слабка розвинутість вітчизняного фондового ринку не дозволяє повноцінно користуватися його можливостями й інструментами. Як наслідок, майже не можливо залучити кошти юридичних та, особливо, фізичних осіб. Комерційні кредити тягнуть за собою надто великі витрати на погашення відсотків за користування ними, що робить їх використання недоцільним. Можна відмітити й те, що банки неохоче дають кредити під новаторські проекти, бо вважають їх занадто ризикованими та ненадійними. У структурі активів вітчизняних венчурних фондів переважають вкладення у нефондові інструменти та неінноваційні підприємства [1]. В той час, коли, наприклад, у США та Західній Європі переважає венчурне фінансування інноваційних проектів [3].

Держава та місцеві органи самоврядування також не дуже допомагають коштами активізації інноваційної діяльності. Лише 1,9% загального обсягу фінансування інноваційної діяльності в Україні здійснено з державного та місцевих бюджетів [2].



Інноваційна діяльність – це процес зі створення та просування на ринок інноваційних товарів (як конкретної продукції, так і технології, тобто способу виробництва чи управління виробництвом), в ціну яких входить додана вартість та оцінка об'єкта інтелектуальної власності з точки зору суб'єкта господарювання є інноваційною діяльністю [5].

Метою проведення будь-якої інноваційної діяльності на підприємстві є отримання прибутку та зайняття домінуючої позиції на ринку. Дана діяльність – це складна система, в якій беруть участь різні учасники. З одного боку, це вчені та винахідники, з іншого – підприємці-новатори, і нарешті інвестори, які зацікавлені в проведенні інноваційних досліджень, вдосконалюючи таким чином процес виробництва.

Підприємницька інноваційна діяльність безпосередньо пов'язана з вдосконаленням знань, доведенням інноваційної ідеї до розробок конкретного товару, послуги чи технології, які користуються попитом на ринку, з розрахунком одержати інноваційний прибуток підприємству. Така діяльність передбачає здійснення цілого комплексу практичних заходів з підготовки і організації виробничого процесу, модифікації продукту і технології, перепідготовку персоналу для виконання нового завдання, застосування нових технологій, обладнання тощо, які бере на себе організатор господарського процесу – підприємство [5].

Метою інноваційної діяльності на підприємстві є отримання економічного ефекту від практичного впровадження інновацій і їх подальшої реалізації. З цією метою необхідне проведення маркетингових досліджень ринкового попиту на нову продукцію, зокрема здійснення рекламної компанії, вивчення пропозиції близької за своїми техніко-економічними характеристиками продукції фірм-конкурентів і т. ін. Все це говорить про те, що необхідною умовою вдосконалення механізму управління інноваційною діяльністю в процесі формування ринкової економічної системи є створення системи розвиненого інноваційного підприємництва [5]. Як свідчить досвід розвинених країн світу, технологічний прогрес перманентно здійснює вплив на якість життя людей, їх взаємовідносини один з одним, їх ставлення до навколишнього середовища. Розробка нових технологій, які покликані забезпечити застосування екологічно чистих та безвідходних технологій неможлива без розвитку інноваційного підприємництва.

Інноваційний процес включає в себе реалізацію інвестицій, у ході якої поєднується наука, техніка, економіка, підприємництво й управління. Сучасний тренд, що з'явився у відповідь на фінансову кризу і зниження рівня життя, відроджує колективне використання існуючих ресурсів і здібностей людей, які залишаються мало задіяними або взагалі не використовуються їх справжніми власниками, створює спільно-часткову власність для використання в спільних цілях і під єдиним управлінням. Все це називається *sharing economy* (*shareconomy*), або дольовою економікою. В історії і до сьогоднішнього дня збереглися такі приклади подібної кооперації як артілі. Однак завдяки широкому розповсюдженню Інтернету і комп'ютерів, дане явище отримало новий стимул розвитку, ставши настільки популярним, що знаменитий Ганноверський ярмарок СеВІТ-2013, зробив *shareconomy* своїм лейтмотивом.



Один з подібних інструментів, краудфандінг, стане, як вважається, «ультимативним посередником між компаніями і домогосподарствам» [5]. За своєю суттю краудфандінг є інститут для привнесення деякої демократії в світ фінансових операцій.

Новим фінансовим інструментом стає краудфандінг або народне фінансування (від англ. crowd funding, crowd - «натовп», funding - «фінансування»), як колективне співробітництво людей, які добровільно об'єднують свої гроші або інші ресурси разом, як правило через Інтернет, щоб підтримати зусилля інших людей або організацій. В даний час краудфандінг зарекомендував себе як повноцінний фінансовий інструмент, причому інвестицій на посівній стадії. Краудфандінг здатний змінити правила гри в галузі фінансування інновацій і тим самим в конкурентній боротьбі, що йде в кожній з галузей і серед розвинених країн світу.

Основні тенденції та чинники розвитку краудфандінга, в тому числі як інструменту фінансування інновацій [2]:

технологічні досягнення і розвиток соціальних засобів масової інформації. Сучасний рівень розвитку технологій дозволяє користувачам інтернету вступати в онлайн-спільноти за інтересами, щоб обмінюватися ідеями і вирішувати нагальні проблеми;

відмова від посередництва. Забезпечується прямий зв'язок покупців з продавцями, творців з інвесторами і проектів з спільнотами. Традиційні бізнес-моделі занадто складні і вимагають великих часових і фінансових витрат;

малий бізнес відчуває труднощі з залученням початкового капіталу. Стартапи стикаються з великими труднощами, намагаючись залучити невеликі суми для початкового фінансування (до 1 млн. дол).

Підприємці починають освоювати краудфандінговий спосіб фінансування, завдяки якому вони отримують не тільки необхідний стартовий капітал, а й додаткову рекламу через соціальні мережі, і безцінні відгуки від споживачів. Багато інвесторів усвідомлюють, що вони можуть брати участь в реалізації проектів від початку до кінця, відстежуючи процес їх розвитку і допомагаючи в міру сил. В середині 2000-х рр. з'явилася теорія краудсорсингу і краудфандінгу, яка узагальнює перші результати. Історія виникнення терміну «краудсорсинг» тісно пов'язана з ім'ям Джеффа Хау, який в червні 2006 р. опублікував статтю «The Rise of Crowdsourcing», де вперше в світі застосував поняття [2]. У статті описаний феномен об'єднання людей для вирішення будь-якої задачі без винагороди або з невеликою нагородою і наслідки розвитку таких об'єднань для компаній, що професійно вирішують аналогічні завдання. Пізніше в 2008 р. вийшла в світ монографія «Crowdsourcing: Why the Power of the Crowd Is Driving the Future of Business» [2]. У ній автор ілюструє історичний підхід до розуміння феномену краудсорсингу. Витоками цього явища вважаються спільноти любителів, а його поява пов'язується безпосередньо з розвитком особливого напрямку інформаційних технологій - відкритого програмного забезпечення. У подальшому теорія краудсорсингу і краудфандінгу була підхоплена представниками управлінського та економічного підходів. Дарен Бребхам розробив практику використання краудсорсингу як інструменту вирішення комунікативних проблем, і доводить можливість застосування практик краудсорсингу в управлінських рішеннях [2].

Визначенням терміну «краудфандінг» займалися вчені як вітчизняні, так і закордонні дослідники. Проте до цього часу не існує єдиного підходу до визначення цього явища. Так, Дж. Ахлерс визначає краудфандінг як форму збору коштів фізичною особою або групою осіб шляхом добровільного пожертвування зазвичай (вкрай) малих сум на підтримку певної мети. Група вчених на чолі з А. Орданіні характеризують його як особисту ініціативу, розпочату, для того щоб зібрати гроші для нового проекту, запропонованого кимось, здійснювана засобом невеликих і середніх за розміром інвестицій групи зацікавлених осіб [1]. Б. Рубінтон в роботі [2] зазначає, що краудфандінг – це процес, в якому одна сторона залучає кошти для фінансування проекту, запитуючи і отримуючи невеликі внески від великої кількості зацікавлених людей в обмін на надання певної ціннісної форми цим людям. Д. Гусєва та Н. Малихін вважають краудфандінг колективним внеском людей, які використовують свої ресурси для підтримки проектів, ініційованих іншими людьми і організаціями. У сучасному світі цей процес відбувається з використанням інтернету [3]. В. Тегін та Б. Усманов дають наступне визначення: «краудфандінг – це колективне співробітництво, засноване на довірі тих, хто об'єднує свої фінансові чи інші ресурси через Інтернет, щоб підтримати проекти, розпочаті за ініціативою інших людей (організацій)» [4]. Узагальнене визначення в своїй роботі дає Н. Ларіонов. Він визначає краудфандінг як інструмент колективного фінансування конкретних проектів (цілей) (культурних, соціальних, благодійних, комерційних, виробничо-технологічних) за допомогою перерозподілу фінансових ресурсів між широкою громадськістю і підприємцями, здійснюваного через Інтернет, безоплатно або в обмін на грошові або негрошові винагороди [3].

З огляду на вищесказане, проаналізувавши проблематику та перспективи інвестування проектів, вважаємо, що необхідним елементом для повноцінного функціонування індустріального парку «Свема» повинна стати онлайн-платформа для інвестування проектів приватними особами. Під краудфандінговою платформою ми розуміємо посередника, який реалізує взаємодію між реципієнтом (ініціатором проекту) та його донорами на базі відповідного програмного забезпечення, включаючи Web-сайт для здійснення такої взаємодії. Створивши Web-сайт краудфандінгової платформи, необхідно забезпечувати прозорість кожного проекту фінансування і можливість управляти Web- сайтом для кожного проекту, на якому всі зацікавлені сторони можуть стежити за збором коштів, виконанням зобов'язань реципієнтами тощо [5].

На наш погляд, економічне середовище в нашій країні є менш сприятливим для широкого інвестування, тому ми пропонуємо в першу чергу запуснути краудфандінгову платформу. За задумом, вартості всіх проектів, що представлятимуться на цій платформі, будуть розбиті на частки номіналом від 1 до 1000 умовних одиниць, а зареєструватися та придбати частки зможе кожен бажаючий.

Після розміщення нового стартап проекту на онлайн-платформі мікроінвестори, які є зареєстрованими в системі, отримуватимуть відповідне повідомлення. Вони матимуть можливість ознайомитись з характеристиками проекту, і, якщо виникне бажання, уклавши відповідну угоду, придбати його частку. Після запуску проекту, у визначений термін, почнеться нарахування дивідендів і інвестор буде отримувати грошові кошти на свій рахунок на цій платформі. У разі, якщо рівень прибутковості інвестованого проекту

знижуватиметься нижче певного критичного рівня, буде запускатися процедура голосування серед власників часток проекту щодо визначення подальших перспектив його реалізації або ліквідації. У разі виходу з проекту, незалежно від причин, інвестор матиме можливість вивести кошти за допомогою будь-якої, зручної для нього, платіжної системи, або ж реінвестувати їх в інші проекти. Ініціатор стартап проекту, що розміщує заявку на платформі, буде виплачувати платформі винагороду, визначену у відсотковому відношенні до загальної суми зібраних коштів.

Узгодження в межах правового поля та документальне відображення в угодах всіх аспектів взаємодії учасників на даний момент вбачається найбільш складним завданням, яке необхідно якомога швидше вирішити для запуску краудінвестиційної онлайн-платформи на базі індустріального парку «Свема» в найкоротший термін [5].

#### **Список літературних джерел**

- 1 Черваньов Д. М. Менеджмент інноваційно-інвестиційного розвитку підприємств України / Д. М. Черваньов, Л. І. Нейкова. – К. : Знання, 1999. – 516 с. – С. 25.
- 2 Инновационный менеджмент / [С. Д. Ильенкова (ред.), Л. М. Гохберг, С. Ю. Ягудин и др]. – М. : ЮНИТИ, 2000. – 328 с.
- 3 Зянько В. В. Інноваційне підприємництво: сутність, механізми і форми розвитку. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 397 с.
- 4 Закон України «Про інноваційну діяльність» // Відомості Верховної Ради. – 2002. – № 36. – С. 266.
- 5 Жаліло Я. А. Матеріали круглого столу «Розвиток ринку високих технологій в Україні» // Економіка і прогнозування. – 2004. – № 3. – С. 7–73. – С. 27.

## **ЕКОНОМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ЧАС**

**Ю.М. Мануйлович**

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
manuilovich86@gmail.com

Макрофінансова стабільність, як різноманітне явище, являє собою сукупність механізмів взаємодії суб'єктів, сформованих регулятивними заходами держави для стабілізації фінансової системи. На практичному рівні цей механізм являє собою сукупність форм, методів та інструментів забезпечення фінансової стабільності в частині контролю за швидкістю руху капіталу, звуженням цінового розриву, виникненням і поширенням фінансових інновацій, діяльністю фінансових установ.

Існують деякі принципи забезпечення національної економічної та фінансової стабільності. Без визначення цих принципів неможливо забезпечити фінансову стабільність. Основними принципами забезпечення макроекономічної стабільності в ринковій економіці є: встановлення правильного механізму фінансової системи відповідно до ринкової економіки, вибір економічних цілей, державне регулювання фінансової системи, єдина законодавча база, визначення місця та ролі державних фінансів в економіці, лібералізація зовнішньої торгівлі, ефективне використання бюджетно-податкових і грошово-кредитних інструментів у втручанні держави в економіку та ін., платіжному балансі, експортно-імпортному балансі, балансі грошового обігу.

Розробка практичних рекомендацій щодо макрофінансової стійкості потребує вивчення різних аспектів як фінансової системи загалом, так і її окремих елементів. Як відомо, фінанси – складна система. Кожна частина «системи» – це певна частина взаємозалежних елементів, які сприяють характеристиці цілого. Фінансова система складається з низки компонентів, таких як фінансові ринки, фінансові установи та платіжні системи. Фінансова стійкість відбиває стан фінансової системи, що має такі характеристики: фінансова система має правильно виконувати свої функції; фінансова система має бути стійкою до внутрішніх та зовнішніх шоків; мати можливість відновити свої функції. Будь-хто, хто намагається прояснити концепцію фінансової стабільності, знає, що досі не існує загальноприйнятої моделі чи аналітичної структури, яка б могла виміряти фінансову стабільність та забезпечити дослідження політики для різних економічних систем. Причина цього в тому, що фінансова стабільність перебуває на ранній стадії порівняно з монетарною та макроекономічною стабільністю.

Аналіз фінансової стійкості слід розглядати в контексті грошово-кредитної економіки, яка сприймається як засіб платежу та розрахункова одиниця. Макрофінансова стабільність – це економічний процес, що забезпечує економічне зростання. Макрофінансова стабільність визначається соціально-політичною структурою країни та об'єктивними законами економічного зростання, які ефективно впливають на економічний розвиток. Макрофінансова стабільність пов'язана як з ефективністю використання фінансових ресурсів, так і з використанням кредитних ресурсів. Неможливо охарактеризувати розвиток фінансової стійкості одним показником. Немає конкретного індикатора, який міг би виміряти фінансову стабільність. Він відображає багатогранні характеристики, такі як стабільність фінансових інститутів, фінансових ринків та ефективна робота платіжної системи. Також необхідно враховувати фактори, що можуть вплинути на реальний сектор економіки.

Основними показниками, що визначають фінансову стійкість країни, є: рівень бюджетного дефіциту; рівень інфляції; нормалізація фінансових потоків та розрахункових відносин; стабільність банківської системи та національної валюти; рівень захисту інтересів вкладників; золотовалютні резерви країни; стан і рівень фінансового ринку та ринку цінних паперів; рівень зовнішнього та внутрішнього боргу країни; дефіцит платіжного балансу тощо. Розглянемо динаміку цих показників, щоб дослідити макрофінансову стабільність України під час війни. На рисунку 1 показано динаміку рівня інфляції з початку військових дій в Україні.

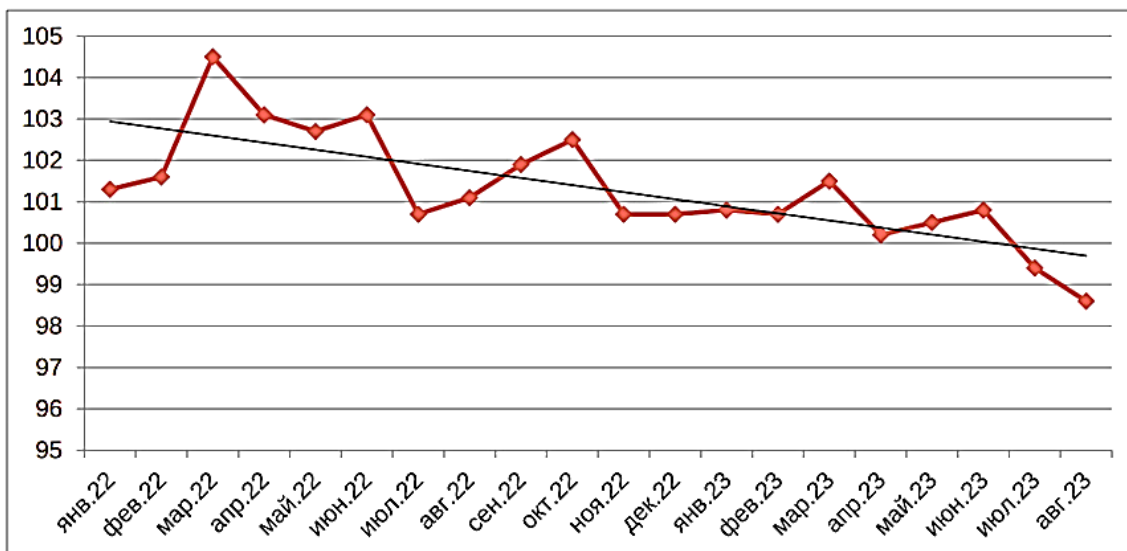


Рисунок 1 Динаміка рівня інфляції в Україні за 2022 р. – поч. 2023 р., %

Як видно з графіку на рисунку 1, інфляція була значною, сягнувши загалом 124,5% з початку 2022 року. Це значно перевищує відповідні показники за попередній період (105% у 2020 році та 110% у 2021 році) і негативно впливає на макрофінансову стабільність. Із січня по серпень 2023 р. спостерігається зниження рівня інфляції у порівнянні з груднем 2022 р. на 2,1 пункти. Іншим важливим показником є зміна обмінного курсу.

На початку війни українським банкам вдалося зафіксувати курс гривні по відношенню до долара на позначці 29,25 грн., що сприяло забезпеченню стабільної фінансової системи. З ранніх етапів війни НБУ вдалось тримати зафіксований курс і зберігати стабільність фінансової системи, але в липні 2022 року курс гривні до долара США зріс на 25% і становив 36,57 грн/дол. При цьому банк України запровадив стабілізуючі заходи, щоб підтримати стійкість в економіці під час війни. Надлишкове падіння вартості національної валюти по відношенню до долара США та євро негативно позначилась на макрофінансовій стабільності, що відобразилось на діловій активності країни та здатності повертати кредити. У липні 2023 р. вартість долара залишилась на позначці 36,57 грн/дол., а вартість євро зросла на 1,25 грн/євро, у порівнянні з груднем 2022 р.

Іншим важливим показником є виконання державного бюджету. Зовнішній борг України значно збільшився з лютого 2022 року через необхідність зовнішніх запозичень для підтримки української економіки в умовах воєнного стану. В умовах війни дефіцит бюджету зріс на 601010,3 млн. грн. В умовах сьогоднішніх

реалій збільшення обсягів зовнішнього боргу є тягарем для української економіки. Це пов'язано з тим, що залучені кошти використовуються на поточні потреби і не призводять до створення нової вартості чи багатства. Іншим важливим показником є облікова ставка НБУ.

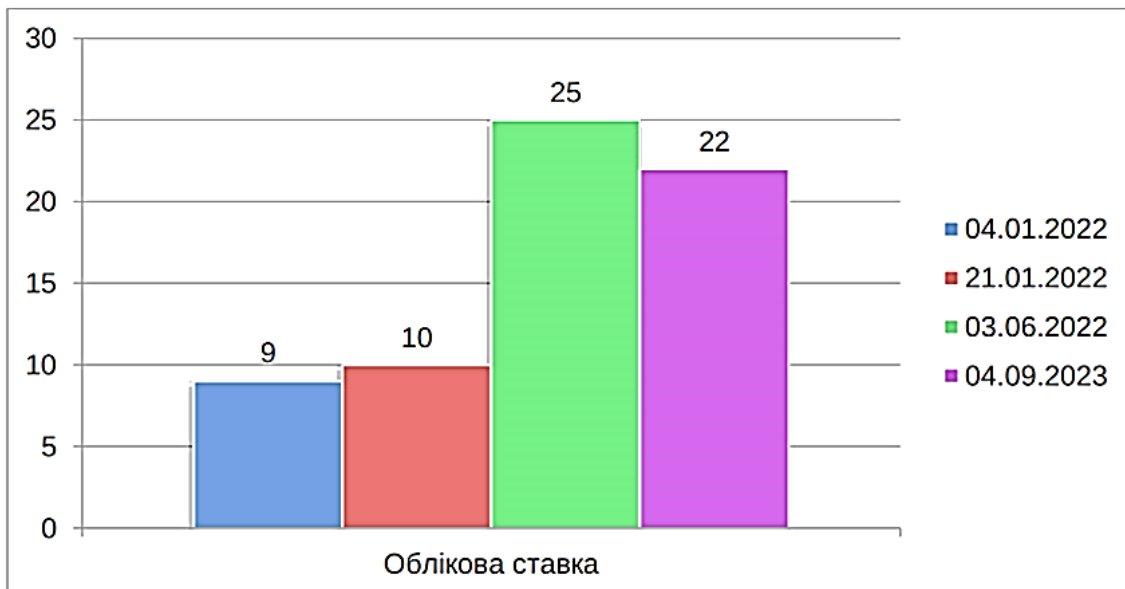


Рисунок 2 Динаміка облікової ставки НБУ за січ. 22 – вер. 23 роки, %

Його динаміка показана на рисунку 2. Відповідно коментарів НБУ пояснили, що рішення про одномоментне підвищення облікової ставки на 15 відсоткових пунктів пов'язане з тим, що економіка поступово почала адаптуватися до життя в умовах масштабної війни. Тому домогосподарства та бізнес повертаються до логіки збереження та примноження своїх заощаджень та активів. Оскільки в квітні гривня впала на 16,4% в річному обчисленні і має тенденцію до подальшого падіння, все більше людей розглядають можливість купівлі іноземної валюти як спосіб мінімізувати ризик того, що їхні гроші з'їсть інфляція. Це могло сприяти сплеску активності на готівковому валютному ринку наприкінці травня, коли курс долара сягнув 37–38 грн. / дол. Іноземна валюта залишається чи не єдиним варіантом для заощаджень, а відсоткові ставки за гривневими інструментами, такими як депозити та військові облігації, значно відстають від інфляції.

Ані банки, ані уряд не поспішають підвищувати відсоткові ставки. Як наслідок, НБУ був змушений продавати значні обсяги валютних резервів через занадто низькі гривневі відсоткові ставки, що знижує стійкість економіки в умовах військового конфлікту. У березні-квітні НБУ «вичерпував» валютні резерви на 2 мільярди доларів США щомісяця, а в травні цей показник збільшився до 3,4 мільярда доларів США. НБУ очікує, що підвищення курсу призведе до поступового відходу від долара в економіці, яка значно зросла під час війни. Це має відбутися за рахунок підвищення привабливості гривневих депозитів та державних облігацій. Крім того, вищі відсоткові ставки сповільнять економіку та знизять інфляцію.

На сьогоднішній день Індекс ПФТС (Перша Фондова Торгова Система) є єдиним національним індексом, що входить до переліку основних світових



фондових індексів. Міжнародна фінансова корпорація визнає Індекс ПФТС єдиним індикатором внутрішнього стану українського фінансового ринку. За проведеним аналізом можемо зробити висновок, що найбільший обсяг торгів на фондовому ринку України був у січні 2022 року. У грудні цього ж року обсяги торгів зменшились на 2,74 пункти, а в липні 2023 ще на 12,17 пунктів. Така негативна тенденція фондового індексу свідчить про погіршення ситуації на фінансовому ринку, удорожчання іноземної валюти, погіршення макрофінансової стабільності країни.

Проведене дослідження показало, що у I кварталі 2023 року у порівнянні із I кварталом 2022 року зросли обсяги коштів, запозичених в іноземних державах у вигляді позик і кредитів від іноземних банків та міжнародних фінансових організацій, відсотки за ними, а також зобов'язання держави за коштами, залученими шляхом випуску державних облігацій на міжнародному ринку на 38 %. За оцінками МВФ, відношення державного боргу до ВВП може зрости до 98,3% до кінця 2023 року.

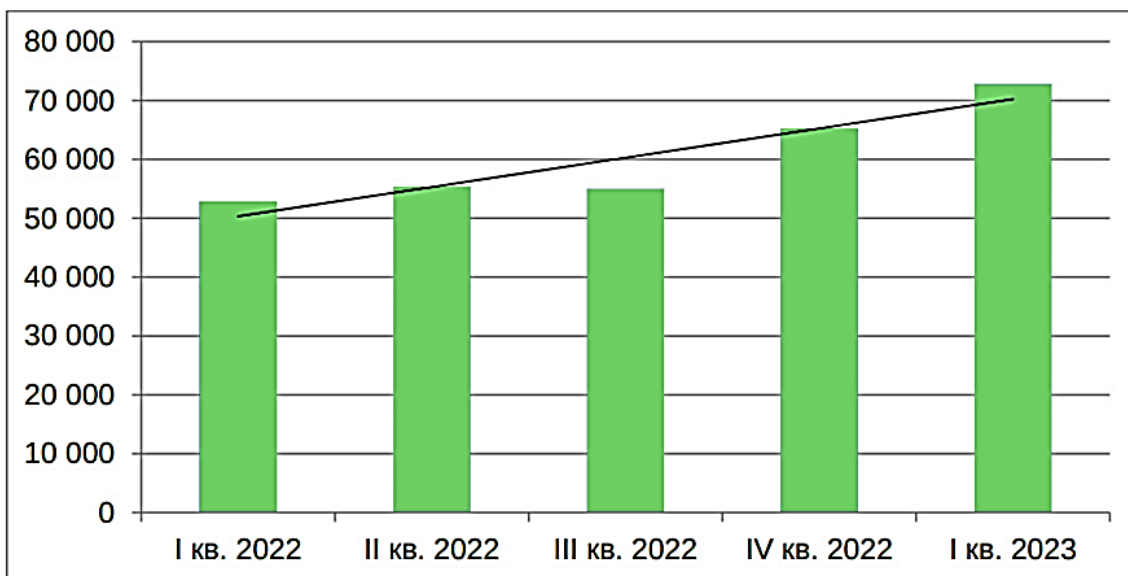


Рисунок 3 Динаміка обсягів зовнішнього державного боргу, млн. дол. США

Причинами цього є необхідність продовження витрат на армію та соціальні видатки, а також те, що українська економіка зростатиме незначними темпами в межах 1-3% за оцінкою МВФ і до 2% за квітневим макроекономічним прогнозом НБУ. Поки війна не закінчиться, борг продовжуватиме зростати, але ціною, яка буде значною. Найважливіше для України зараз - залучити якомога більше грантів і дешевих, "довгих" кредитів від партнерів для фінансування відбудови та дефіциту бюджету. Угода про замороження виплат за зовнішнім цивільним боргом діятиме лише до 2024 року. Якщо війна не закінчиться до того часу, борг доведеться реструктуризувати (тобто відкласти виплати на довший період, знизити відсотки або списати частину боргу).

Таким чином, українська економіка наразі перебуває під гнітом військового вторгнення. За період війни спостерігається погіршення макрофінансової стабільності України: зменшились обсяги торгів на фондовому ринку держави на 15 пунктів, зріс зовнішній борг на 38%, збільшився дефіцит державного бюджету на 601010,3 млн. грн, підвищилась вартість іноземної валюти на 8,15 грн/дол. і на

7,65 грн/євро, зростання облікової ставки на 13 пунктів. Проте слід відзначити позитивну динаміку щодо зменшення рівня інфляції на 3 пункти. Для забезпечення макрофінансової стабільності необхідно прийняти зважене рішення. Уряд робить все можливе, щоб досягти цього, але ресурси обмежені, а борги зростають. У найближчі роки, згідно побудованої лінії тренду на основі офіційних статистичних даних, в Україні спостерігатиметься зменшення рівня інфляції, зростання курсу гривні щодо іноземних валют, зростатиме дефіцит державного бюджету, зменшаться фінансові ресурси для погашення зовнішніх кредитів, погіршиться ситуація на фондовому ринку, зросте облікова ставка НБУ, збільшиться обсяг зовнішнього державного боргу.

#### **Список літературних джерел**

1 Zakhochay K. Macrobudget statistics as a financial regulation instrument under the conditions of decentralization. *Modernization of Public Finance: Current Issue and Challenges: Collection of Scientific Papers. International scientific conference, March 13, 2018.* К.: Agrar Media, 2018. p. 11 12.

2 Висоцька І. Проблеми забезпечення стабільності та стійкості фінансової системи України. *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Серія економічна.* 2012. Випуск 2. С. 30 38.

3 Захожай К., Жам О. Основні принципи і пріоритети макрофінансової стабілізації в контексті економічного розвитку держави. URL: [http://www.investplan.com.ua/pdf/9\\_2019/8.pdf](http://www.investplan.com.ua/pdf/9_2019/8.pdf)(дата звернення: 10.09.2023).

4 Кабінет Міністрів України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/minfin-niderlandi-nadadut-ukrayini-kreditna-sumu-do-200-mln-yevro-na-pilgovih-umovah>(дата звернення: 10.09.2023).

5 Макрофінансова стабільність, потреби ЗСУ та підтримка людей. URL: [https://lb.ua/economics/2022/08/08/525648\\_makrofinansova\\_stabilnist.html](https://lb.ua/economics/2022/08/08/525648_makrofinansova_stabilnist.html) (дата звернення: 10.09.2023).

## **ІНСТИТУЦІЯ РАХІВНИЦТВА ЯК СКЛАДОВА ГОСПОДАРСЬКОГО МЕХАНІЗМУ КРАЇНИ**

**Ірина Вареник, Наталія Осадча**

Шосткинський фаховий коледж ім. І.Кожедуба

Сумського державного університету

varenik.i@ukr.net

Ринкова орієнтація в розвитку України, інтеграція її до загальноєвропейських структур зумовлюють потребу у вірогідному, порівнянному відображенні стану вітчизняного господарства. До того ж, інформаційне забезпечення і статистичне описування найзначніших співвідношень і результатів господарської діяльності країни дозволяють їй уникати труднощів у прийнятті рішень на міжнародному рівні, у питаннях складання і використання бюджетів міжнародних організацій.

У системі національних рахунків, яка широко застосовується промислово розвинутими країнами, економіка розглядається як єдине ціле, без принципової різниці між матеріальним виробництвом і наданням послуг. Відображаючи основні народногосподарські взаємозв'язки, система дає загальну оцінку пропорцій і результатів діяльності національного господарства матеріально-речових, з фінансових позицій для всіх інституціональних одиниць на всіх рівнях функціонування економічного механізму. Отже, в західних країнах такими, що створюють національний дохід, визнаються практично всі учасники виробництва матеріальних благ і надання послуг.

Коло інтересів науковців щодо даної проблеми досить широке. Окремі питання інструментального забезпечення макроекономічного обліку були висвітлені в роботах та публікаціях В.І.Андріанова, І.Гаврилова, В.Гейця, М.Кармінського, В.Коноваленко, О.М.Романовича, Б.Є.Одинцова, В.Ф.Ситника. Але систематизованого переліку заходів оптимізації використання інструментарію на сучасному етапі розроблено не було.

Формування нової економічної системи, заснованої на ринкових відносинах, матеріалізація національних цілей через державну економічну політику потребують широкого використання системи макроекономічних показників. Вони покликані відображати складні взаємопов'язані процеси, що відбуваються в економіці й безпосередньо визначають динаміку економічного зростання та важливі пропорції розширеного відтворення.

Як вже неодноразово досліджувалося, при існуванні адміністративно-планової економіки традиційною макроекономічною моделлю радянської статистики був баланс народного господарства (БНГ). Він має тривалішу історію, ніж система національних рахунків. В 30-х роках був сформований БНГ і такого поняття, як СНР тоді взагалі не існувало, тому публікація радянських статистиків викликала значний інтерес і стала предметом вивчення. Пріоритет радянської статистики значною мірою є закономірним, бо при плановому господарстві подібна макроекономічна модель була необхідною. На Заході ще тільки обговорювались можливі підходи до побудови СНР, а в нашій країні модель із подібним призначенням створювалась, щорічно розраховувалась і використовувалась у плануванні. Необхідно також відмітити, що подібна робота активно здійснювалась саме в Україні. З 1960 по 1980 роки водночас формувалися обидві моделі: в країнах з плановою економікою - баланс народного господарства, в країнах із ринковою економікою - система національних рахунків. Організація

Об'єднаних Націй визнавала обидві моделі, і лише на початку 90-х років СНР стала по-справжньому домінувати у світі [2].

Як тільки Україна перейшла на ринкову економіку, БНГ себе вичерпав. Гроші обертаються в економіці вільно, не розрізняючи, де закінчується виробнича сфера і де починається невиробнича. Послуги продаються за гроші, як і товари. Банки відіграють у ринковій економіці вагомий роль, а з точки зору БНГ їх ніби й не існувало зовсім. Змінилися соціально-економічні умови, вимоги до макроекономічного моделювання, і саме це визначило вибір української статистики на користь системи національних рахунків.

Застосування СНР в Україні з перших років незалежності базувалося на макроекономічних розрахунках, які велися на базі колишньої радянської макроекономічної статистики. Спочатку вони здійснювались за схемою так званих перехідних ключів, а потім почалися повномасштабні економічні розрахунки за Системою національних рахунків. З 1993-1994 років макроекономічні розрахунки за системою БНГ були припинені й Україна почала здійснювати перехід на розрахунки згідно СНР. Серед багатьох вирішених проблем на цьому етапі слід виділити відпрацьовану систему показників СНР і методику розрахунків кожного з них [1]. Одним із пріоритетних напрямів Державної Програми було створення системи національних рахунків, включаючи розробку міжгалузевих балансів за системою національних рахунків, проведення міжнародних порівнянь валового внутрішнього продукту. У 1993 році передбачалось завершення основних робіт з формування системи соціально-економічних показників статистики, вирішення питань про розмежування функцій між державною й відомчою статистикою та обліком, виконання експериментальних розрахунків по Україні, консолідованих рахунків СНР, платіжного балансу [2]. Ведеться постійна робота щодо удосконалення існуючої сьогодні нормативно-правової бази розвитку системи національних рахунків, розробляється проект Програми розвитку системи національних рахунків на найближчі роки.

Низка нових показників СНР - 93, які розраховуються Держкомстатом України, відкриває можливості для повнішого вивчення розподілу доходів та рівня життя. Це показники фактичного споживання, які включають споживання товарів та послуг, показники скоригованого наявного доходу. Ці показники розраховуються як у поточних, так і у постійних цінах, що дає можливість аналізувати не лише структурні показники, а й показники динаміки цін і фізичного обсягу.

Із впровадженням у національну статистику системи національних рахунків валовому внутрішньому продукту приділяється першочергова увага, як центральному показнику СНР. ВВП країни обчислюється на річній, кварталній і місячній основі, у фактичних і порівняних цінах. Позитивною особливістю організації СНР в Україні є щомісячні оцінки ВВП, які стають доступними для органів управління та громадськості вже на 15 день після завершення звітного періоду і дають змогу максимально оперативно спостерігати економічну динаміку [3].

Вважається, однією із важливих задач дослідження проблем використання СНР є аналіз основних показників, які використовуються в системі макроекономічного обліку та можливість бухгалтерського обліку задовольнити потреби національного рахівництва у достовірній економічній інформації.

Рахунок виробництва - перший у послідовності рахунків, які складаються для інституційних одиниць, секторів та економіки у цілому. Оскільки дані про доходи, які є результатом виробництва, переносяться до наступних рахунків, порядок складання рахунку виробництва може здійснювати великий вплив на систему національних рахунків. У будь-якому випадку інформація про виробництво дуже важлива сама по собі. У загальному виразі виробництво можливо охарактеризувати, як діяльність підприємства, яка направлена на перетворення витрат у випуск продукції. Щоб така характеристика більш відповідала практиці, необхідно чітко визначити зміст поняття «витрати» та «випуск» у системі національного рахунку та оцінити можливість первісного обліку надати відповідну економічну інформацію у відповідності до вимог системи. У системі первісного обліку теж існує рахунок «Виробництво», де по  $D^T$ -рахунку обліковується вихід продукції, а по  $K^T$ -витрати на виробництво, проте чи відповідає поняття випуску продукції у статистиці поняттю виходу продукції у бухгалтерському обліку та поняття витрат на виробництво поняттю проміжного споживання.

Проміжні витрати враховуються та оцінюються у системі на момент, коли відповідні товари та послуги надходять у процес виробництва, а випуск продукції обліковується та оцінюється на момент завершення цього процесу [4].

Деякі товари та послуги, створені у процесі виробництва (у тому числі і послуги, які здійсненні у ході допоміжної діяльності), використовуються для інших процесів у рамках тієї ж установи на протязі того ж звітного періоду. Такі товари та послуги не залишають межі даного підрозділу і тому не враховуються у складі випущеної ним продукції. Відповідно, продукція - це поняття, яке характеризує не процес виробництва, а виробничу одиницю - підрозділ або підприємство. Випуск продукції повинен розглядатися у контексті рахунку виробництва, який складається для підрозділу або підприємства, а не для виробничих процесів. Тому до складу продукції враховуються тільки товари та послуги, вироблені підприємством та використовувані потім за межами цього підрозділу. У тих випадках, коли підприємство складається з декількох структурних одиниць, випуск продукції цього підприємства розраховується шляхом додавання продукції, яка вироблена окремими підрозділами які його складають.

Основний принцип обліку зміни запасів полягає у наступному: продукція обліковується на момент її виробництва і оцінюється за однією і тією ж ціною, незалежно від того, продається ця продукція або використовується іншим чином відразу, або надходить у запаси з метою наступного продажу або використання. Якщо вироблені раніше товари вилучаються із запасів і продаються або використовуються іншим чином, то це не відображається як випуск продукції. Відповідно, товари, які надходять у запаси, повинні враховуватися у діючих на цей час базисних цінах, тоді як товари, які вилучаються із запасів, - у цінах, за якими вони потім реалізуються. Таким чином вартість продаж або іншого використання вироблених раніше товарів нейтралізується (від'ємною) вартістю товарів, вилучених із запасів

В макрообліку господарських операцій поняття випуску як такого з первісного обліку відсутнє. З іншого боку ми з'ясували, що випуск повинен дорівнювати вартості реалізованої продукції плюс зміна запасів готової продукції. У статистиці під «обсягом виробленої продукції» розуміють – вартісну оцінку



фактично виробленої підприємством продукції і включає продукцію (роботи, послуги), виготовлену і відвантажену (або передбачену для відвантаження) іншим підприємствам, структурним одиницям даного підприємства, а також продукцію (роботи, послуги), виготовлену і призначену для внутрішнього кінцевого споживання (за виключенням продукції, використаної для подальшої її переробки в межах одного виробництва) або інвестування підприємства [1]. Отже, навіть бухгалтерам не зрозуміло, як саме заповнювати відповідну звітність. Бухгалтери зазвичай у графі «Випуск» обліковують лише кількість реалізованої продукції. Працівники ж відділу структурної статистики пропонують додавати до цих даних величину вартості запасів при цьому оцінюючи їх за цінами за якими вони можуть бути реалізовані у майбутньому, а цього робити не слід, оскільки процес реалізації є стратегічним і прийняття рішень стосовно цього є прерогативою керівника підприємства. Тому досить важливо застосовувати методика обліку, яка буде задовольняти як первісний бухгалтерський облік так і загалом макроекономічне рахівництво та облік макроекономічних показників.

Щодо статистики національного доходу колишніх соціалістичних країн, то протягом кількох десятиріч макроекономічна статистика базувалась на марксистській політекономічній основі – так званій системі Балансів народного господарства /БНГ/ [49], яка з методологічної точки зору істотно відрізнялась від Системи національних рахунків. У середині 70-х років Статистична комісія ООН погодила розглядати БНГ як другу формально рівноправну Систему національних рахунків. Проте вона не поширювалась за межі 10-15 “соціалістичних” країн. Тоді у більшості цих держав, і, в першу чергу, у СРСР, майже вся статистика національного доходу була закритою, крім загальних показників його зростання. На цьому фоні більш відкритою залишалась статистика національного доходу у Польщі та Угорщині. Лише наприкінці 80-х років минулого сторіччя у Радянському Союзі в епоху гласності були скасовані обмеження на розповсюдження статистичної інформації та було прийнято рішення про перехід на обчислення показників валового національного продукту.

В Україні макроекономічні балансові розрахунки (обчислення валового суспільного продукту, національного доходу), як і в інших союзних республіках, розпочалися з початку 60-х років. В цілому ці розрахунки були досить масштабними, але вони ще більшою мірою, ніж в СРСР, залишались закритими, крім періоду “відлиги” на початку 60-х років. Тоді вийшла досить велика колективна монографія Інституту економіки АН УРСР під характерною для тих часів назвою “Національний дохід Української РСР в період розгорнутого будівництва комунізму”

Важливим нововведенням СНР є розподіл економічних суб’єктів на інституційні сектори [1]. Система визначає п’ять інституційних секторів. Чотири з них, крім сектору домашніх господарств, є юридичними особами, а у секторі домогосподарств – тільки фізичними особами [1]. Окремі елементи кінцевих витрат у ВВП не можуть одночасно відноситись до двох або більше інституційних секторів [3], що призводило б до виникнення подвійного рахунку у цьому макропоказнику. Крім того, інституційні сектори можуть поділятися у національній статистиці на підсектори [3]. Так, враховуючи значний обсяг сільськогосподарської та іншої (будівельної, торговельної) продукції, так званих “некорпоративних” підприємств, для України у секторі домогосподарств було б



доцільно, принаймні, для аналітичних цілей виділити відповідний підсектор, або декілька підсекторів.

До кінцевих витрат домогосподарств на кінцеве споживання належать витрати домашніх господарств-резидентів незалежно від того, здійснюються вони на економічній території своєї країни, або за кордоном [96, с.220 п. 9.70]. В Україні, не зважаючи на незначний, порівняно з розвинутими країнами, обсяг туристичних і ділових поїздок в інші країни, загальний обсяг кінцевих споживчих витрат її резидентів за кордоном істотно перевищує кінцеві споживчі витрати нерезидентів в Україні. Щоправда, досить важко оцінити обсяги кінцевих споживчих витрат росіян і інших нерезидентів при відпочинку у Криму. Другим складним моментом є доходи і витрати громадян України, які працюють за її межами. Згідно з трактуванням СНР у випадку, коли ці громадяни працюють за межами України більше року, вони мають відноситись до нерезидентів

Таким чином, перехід України до загальноприйнятої у міжнародній практиці системи обліку та статистики відкриває нові можливості щодо системного спостереження та аналізу процесів відтворення господарського механізму національної економіки, зокрема в галузях, інституційних секторах, на регіональному рівні, які прийняті в міжнародній практиці економіко-статистичного аналізу. Макроекономічні показники ( ВВП, ВНП, ВНД тощо) є джерелом національного рахівництва, моделлю економічного кругообігу, що відображає стан господарської системи та забезпечує оптимальні умови для планування та прогнозування економічного розвитку

#### **Список літературних джерел**

- 1 Черваньов Д. М Менеджмент інноваційно-інвестиційного розвитку підприємств України .Київ: Знання. 1999. 125с.
- 2 Василенко, А.В. Інноваційні методи фінансування інвестиційних проектів. *Інвестиції. Практика та досвід*. 2018.№7.С.34-41
- 3 Краснокутська Н. С. Потенціал підприємства: формування та оцінка : навч. посіб. Центр навч. л-ри, 2005. – 352 с
- 4 Петренко В. П. Управління процесами інтелектокористування в соціально-економічних системах : наукова монографія. Івано-Франківськ : Нова Зоря, 2006. – 352 с
- 5 Базилевич В. Д. Інтелектуальна власність : підручник Знання, 2006.– 431 с.

## РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СТРАТЕГІЧНИХ ПРОГРАМ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ЧАС

О.М. Тур

Шосткинський інститут Сумського Державного університету  
o.tur@ishostka.sumdu.edu.ua

Особливості створення та впровадження проектів цифрової трансформації в Україні – актуальне питання, розгляд якого дасть можливість виявити сильні та слабкі сторони роботи уряду в галузі становлення інформаційного суспільства у воєнний та після воєнний періоди розвитку країни.

Отже проведемо аналіз етапів реалізації проектів цифрової трансформації, що наведено на рисунку 1.



Рисунок 1 Етапи реалізації проектів цифрової трансформації урядом України

Отже, зважаючи на означену інформацію з рисунку 1 та беручи до уваги інформацію з [3] можна констатувати наступне:

Встановлення стратегічних цілей та завдань обмежується їх публічним оголошенням. Так міністерство цифрових трансформацій України завило про свої наміри забезпечити переведення всіх державних послуг в онлайн, 95 %

транспортної інфраструктури та населених пунктів покрити мережею інтернет, забезпечити зростання частки ІТ-компаній у ВВП країни на рівні 10 %, забезпечити навчання 6 млн. українців цифровій грамотності [2]. Слід відмітити той факт що термін дії існуючої стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні завершився у 2020 році, нової стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні не існує. Проте міністерство цифрової трансформації України активно співпрацює із профільними міністерствами. Результатами такої співпраці є розроблені стратегії цифрової трансформації певних сторін соціально-економічного розвитку держави, зокрема такі стратегії розробляються для забезпечення цифрової трансформації промисловості України, соціальної сфери, віртуальних активів, захисту дітей у мережі Інтернет тощо.

Поточне планування роботи міністерства цифрової трансформації відбувається у вигляді складання річних планів. Для забезпечення публічного контролю за діяльністю міністерства ці плани оприлюднюються на веб-порталі міністерства (<https://thedigital.gov.ua>).

Реалізація проєктів цифрової трансформації покладається на профільні міністерства. Завдяки запровадженню посад заступників міністрів з цифрової трансформації – CDTO, стало можливим покласти обов'язки із виконання профільних проєктів на осіб які є професіоналами в даних питаннях.

Публічний контроль за реалізацією відповідних проєктів реалізовано за допомогою інформаційного дашборду, що дозволяє в режимі реального часу відслідковувати як реалізуються проєкти, які задачі і коли будуть виконуватись. За кожним виконаним проєктом міністерство цифрової трансформації звітує перед урядом та громадянами країни. Звіти з виконання річного плану роботи міністерства викладаються на веб-порталі міністерства (<https://thedigital.gov.ua>).

Нормативні документи (накази, закони, розпорядження тощо) які регламентують особливості надання нових онлайн-послуг або функціонування веб-порталів часто розробляються після їх запуску. Така особливість роботи міністерства дозволяє прискорити терміни впровадження нововведень у широкі маси.

Беручи до уваги безумовну ефективність роботи міністерства цифрової трансформації України слід і вказати і на такі недоліки, що стримують розвиток інформаційного суспільства в Україні:

*Низька інформаційна грамотність населення та низька частка покриття території мережею Інтернет.* За інформацією міністерства цифрової трансформації України 5,75 млн. українців не мають якісного доступу до мережі Інтернет [1]. Старше покоління, переважно пенсіонери, не вміють користуватися цифровими технологіями. Враховуючи той факт, що он-лайн-державні послуги можна отримати за умови доступу до мережі інтернет, а також інформацію про ці послуги можна дізнатися із відповідних веб-порталів, соціальних мереж та он-лайн конференцій, семінарів міністерства то це призводить до суттєвого обмеження поширення інформації про он-лайн-державні послуги та відповідно і ступінь активності їх використання може значно зрости.

*Відсутність єдиної стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні* – відсутність такого документу позбавляє законодавчої обов'язковості усіх установлених стратегічних завдань міністерства цифрової трансформації України. При не виконанні заявлених стратегічних цілей, про які йшлося вище, міністерство цифрової трансформації не нестиме жодної відповідальності за

невиконання цілей. За 2019-2021 роки склалася практика за якої міністерство цифрової трансформації лише розробляє поточні плани реалізації проєктів цифрової трансформації без фіксації довгострокових цілей. Обмеження стратегічного планування двома-трьома роками позбавляє можливості побачити сценарії розвитку країни за впровадження нововведень міністерства. Отже, публічний контроль за роботою міністерства у зв'язку з такою обставиною є не повним та менш ефективним.

*Значна чисельність проєктів які реалізуються міністерством цифрової трансформації України* – за даними офіційного дашборду міністерства цифрової трансформації (<https://plan2.dia.gov.ua>) на разі реалізується 94 проєкти. Значна кількість проєктів вимагає суттєвих фінансових, трудових та адміністративних ресурсів. Навіть беручи до уваги факт існування значної кількості реалізованих сервісів, програм, баз даних, веб-порталів які в рамках проєктів модернізуються, зосередження уваги на значному обсязі роботи призводить до появи помилок, дедлайнів, нестачі фінансових, трудових ресурсів тощо. Світовий досвід розбудови інформаційного суспільства свідчить про поетапну реалізацію онлайн проєктів протягом десяти-двадцяти років. Міністерство цифрової трансформації України наголошує на дедлайні максимум в три роки. За такої кількості проєктів до реалізації цілі міністерства виглядають не реальними.

Не зважаючи на очевидні недоліки роботи Міністерства цифрової трансформації в галузі розбудови інформаційного суспільства в Україні все ж простежується висока ефективність його роботи, чітке слідування планам реалізації проєктів.

З нашої точки зору, в своїй роботі Міністерство цифрової трансформації України дотримується таких принципів:

*простота та функціональність онлайн сервісів* – онлайн державні послуги є простими у використанні та не потребують серйозних навиків у користуванні комп'ютерною технікою. Всі довідки та онлайн форми де це можна спрощуються що скорочує час громадянина на отримання онлайн державних послуг;

*швидкість отримання державних послуг* – у розробці онлайн державних послуг міністерство спрямовує увагу на скороченні на отримання бажаної державної послуги для громадянина. Так для оформлення ФОП онлайн необхідно витратити лише 10 хвилин вільного часу, а реєстраційні документи надійдуть протягом двох діб. Для отримання довідки про доходи фізичної особи витрачається менше 10 хв, а сама довідка надходить до особистого кабінету громадянина на порталі «Дія» протягом доби.

*орієнтація на громадянина* – усі веб-портали та онлайн державні послуги розробляються таким чином щоб полегшити навігацію користувача та скоротити обсяг форм для заповнення при замовленні державної послуги, а це суттєво скорочує час громадянина на отримання послуги. Доступ до онлайн послуг та веб-порталів є цілодобовим, а отже їх можна отримати у вільний від роботи та побутових справ час.

*забезпечення високого рівня кібербезпеки* – усі особисті дані громадянина при отриманні онлайн державних послуг не зберігаються в системі. Система міжвідомчої взаємодії «Трембіта», на основі якої зараз працює більше 50 онлайн державних послуг пройшла Bug Bounty тест. Тому усі програмні продукти міністерства цифрової трансформації є стійкими до кібератак та не

містять критичних помилок. Отже, міністерство цифрової трансформації України піклується про кібербезпеку в онлайн-овому державному просторі.

*дотримання діючого законодавства* – усі розробки міністерства цифрової трансформації України здійснюються із врахуванням діючих законодавчих актів України.

Розвиток інформаційного суспільства в Україні розпочався із поширенням інформаційних технологій. До підписання Угоди про асоціацію з Євросоюзом становлення та розвиток інформаційного суспільства носив фрагментарний та хаотичний характер. Після підписання Угоди про асоціацію з Євросоюзом в Україні розпочалися активні дії щодо розбудови інформаційного суспільства. Зокрема, за 2019 – 2021 роки зроблено суттєві кроки на шляху становлення інформаційного суспільства в Україні які ознаменувалися впровадженням у роботу державних органів системи міжвідомчої взаємодії «Трембіта» та розробкою веб-порталу «Дія» [4,5]. Робота над становленням та розвитком інформаційного суспільства не зупинилася і після початку повномасштабних воєнних дій які тривають з 2022 року, що виражається у розробці низки веб-сервісів спрямованих на забезпечення безпеки громадян країні під час війни. Активна робота уряду України в галузі розбудови інформаційного суспільства, що буде продовжуватися і після завершення війни активно наближає Україну до інтеграції у європейський простір.

#### **Список літературних джерел**

1 17 тисяч населених пунктів не мають жодного оптичного провайдера – дослідження Мінцифри. *Офіційний веб-сайт Міністерства та Комітету цифрової трансформації України*. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/17-tisyach-naselenikh-punktiv-ne-mayut-zhodnogo-optichnogo-provaydera-doslidzhennya-mintsifri> (дата звернення 11.11.2023).

2 Михайло Федоров презентував 100 перемог Мінцифри за 2020 рік. *Офіційний веб-сайт Міністерства та Комітету цифрової трансформації України*. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/mikhaylo-fedorov-prezentuvav-100-peremog-mintsifri-za-2020-rik-ta-anonsuvav-masshtabni-natsionalni-proekti>. (дата звернення 11.11.2023).

3 Наказ Міністерства цифрової трансформації України «Про затвердження Звіту про виконання плану роботи Міністерства цифрової трансформації на 2020 рік» № 20 від 19.02.2021 року. Офіційний веб-сайт Міністерства та Комітету цифрової трансформації України. URL: [https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/reports/Звіт\\_про\\_виконання\\_плану\\_Мінцифри\\_2020.pdf](https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/reports/Звіт_про_виконання_плану_Мінцифри_2020.pdf). (дата звернення 11.11.2023).

4 Оксана Малолеткова, Торуємо шлях до ідеальної цифрової держави. Урядовий Кур'єр. 19 лютого 2021 року. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/toruyemo-shlyah-do-idealnoyi-cifrovoyi-derzhavi/>. (дата звернення 11.11.2023).

5 Через портал Дія зареєструвалися вже 300 тисяч ФОП. Мультимедійна платформа іномовлення України «Укрінформ». URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3224041-cerez-portal-dia-zareestruvalisavze-300-tisac-fop.html>. (дата звернення 11.11.2023).



## ОСОБЛИВОСТІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

**Н.Ю. Баланюк, А.Л. Баланюк**

ДПТНЗ Шосткинське вище професійне училище, Шостка, Україна  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
13kaiifleem@gmail.com

За період 2022-2023 років Українська економічна система зазнала суттєвих втрат. Умови війни набули безпрецедентні оберти: відповідно переважна більшість національних галузей господарювання були вимушені розробляти інноваційні механізми власної діяльності.

Однак, навіть поетапний адаптаційний процес суб'єктів господарювання до жорстких вимог військового стану нажалі не зміг в майбутньому забезпечити належне збереження бажаної динаміки під час розвитку.

Отже, робимо акцент на ефективному подальшому співробітництві органів влади з представниками бізнесу, що мають взяти за пріоритет перш за все, формування концепцій, стратегії і тактики післявоєнного відновлення економіки.

Питаннями післявоєнного відновлення економіки України, а також подальшої відбудови і підтримки кожної ланки національної економічної системи, сприяннями подальшому розвитку у найближчій перспективі займалися у своїх працях такі дослідники, як Ю. Кіндзерський [4], М. Зверяков [2], М. Кизим, О. Шапран [7], В. Шаров [8] тощо.

Наприклад, Ю. Кіндзерським досліджено перелік відповідних аспектів і перспектив із впровадження інноваційних реформ національної економічної системи. Робота дослідника першочергово спиралась на врахуванні реального фактору опосередкованого рівня ефективності функціонування національного промислового сектору. Ми погоджуємось із позицією науковця, що війна підштовхнула до актуалізації потреби у його необхідній модернізації;

Науковець детермінує дефініцію «війна» як «вікно можливостей» для формування нової високопродуктивної і високотехнологічної «розумної» і «зеленої» економіки» [4].

Стратегія повоєнного відновлення неминуче повинна бути побудована із врахуванням «попередніх прорахунків розвитку». Відповідно, Ю. Кіндзерський у своїй роботі сформулював стратегічні пріоритети відновлення економіки України та сталого зростання, що побудовані із врахуванням втрат, наявного потенціалу, а також подальших орієнтирів розвитку держави [4].

Також не можемо не погодитись із позицією сучасних науковців щодо важливості зміни моделі споживання на етапі післявоєнного відновлення економіки України. Наприклад, О. Шапран визнає, що серед певного переліку інструментів з ефективного подолання кризових явищ в період післявоєнного відновлення мають зазначатися опосередковані заходи з відповідального споживання як серед бізнесу, так і серед громадян.

Підсумовуючи джерельну базу дослідження, ми доходимо висновку, що реформуванню післявоєнного механізму з управління економіко-політичними процесами України приділено достатню увагу з боку науковців – теоретиків та практиків. Однак, деякі стратегічні напрями, зокрема критерії подальшого пошуку інноваційної, модернізованої стратегії стабілізації, відновлення, стимулювання економічних процесів і бізнес-обізнаності, реалізації державою власної зміцненої позиції як учасника суспільно-економічних торгівельних відносин на світовій



арені, підвищення відповідно рівня власної конкурентоспроможності, підтримки фізичних та юридичних осіб – споживачів та виробників, підвищення рівня зайнятості і платоспроможності – всі ці питання залишаються актуальними на даний час і потребують подальшого дослідження, особливо в безпрецедентних умовах.

За попередніми підрахунками Міністерства економіки України (далі – Мінекономіки) 2022 рік став найважчим для вітчизняної економічної системи. Мінекономіки з використанням непрямих методів розрахунку та інструментів моделювання оцінило падіння ВВП у березні 2022 року на рівні 47–50% (до березня 2021 року) [1], що спричинило падіння за І квартал, за даними Державної служби статистики України (далі – Держстату), на 15,1% [6].

Також згідно прогнозів Мінекономіки зазначено, що у 2022-2023 роках очікується значне падіння виробництва по всіх видах економічної діяльності, що зберігатиметься до завершення воєнних дій. Найбільшого падіння зазнає будівництво, діяльність якого обмежитья відновленням зруйнованої критичної інфраструктури, та промисловість за видами діяльності, на які припадає лівова частина промислового виробництва України (добувна промисловість, металургія, енергетика).

Станом на сьогодні ми плавно переходимо з 2023 року у 2024 рік, проте, війну ще не закінчено, а це означає перевагу негативних факторів: втрати економіки і бізнесу триватимуть надалі, не зможуть цьому явищу зарадити безкінечні іноземні валютні трансми та допомоги, а відповідно наші громадяни й надалі відчуватимуть негативний та навіть руйнівний вплив воєнних подій.

Хотілося б звернутися до історичного перебігу подій минулого сторіччя стосовно відновлення Європи, Японії, Кореї, Сінгапуру. Зайвий раз ми впевнюємося у історичних фактах: у разі, коли після воєнних дій економіку країни не відновляти, то її потрібно буде дотувати, що у кінцевому підрахунку буде потребувати значно більших фінансових вкладень.

У рамках політики повоєнного відновлення Україні доведеться відбудувувати деякі зруйновані міста та селі практично з нуля. Досить важливим є те, щоб відповідна інфраструктурна відбудова стала в майбутньому якісним перетворенням, інноваційною модернізацією.

Отже, інноваційне поетапне відновлення має передбачити відповідний комплекс взаємоузгоджених заходів, а саме:

- аналіз реального стану та конкретних показників результатів діяльності сфер господарювання;
- окреслення проблем, що гальмують їх подальший динамічний розвиток;
- формування тактичних напрямків з реструктуризації сфер господарства, що перебувають в єдиній системі загальнонаціонального економічного механізму.

Визначальною на нашу думку перевагою політики післявоєнної відбудови, беручи до уваги її різноспрямованість, є пошук саме такого механізму, який би був націлений на забезпечення паралельного вирішення нескінченних гуманітарних проблем, проблем, пов'язаних із масовим руйнуванням інфраструктури міст та сіл, а також проблем, поєднаних із безперервним пошуком оновлених джерел фінансових та матеріальних ресурсів, з їх подальшим раціональним використанням.

В межах незалежної аналітичної діяльності – експертами НБУ було сформовано певні припущення щодо подальшого функціонування економіки в

Україні (протягом 2023–2025 рр.). Зокрема, спеціалісти наголошують, що будь – які реформи з післявоєнного відновлення будуть дієвими та відповідно матимуть очікуваний ефект лише за наявності продуманого базового «фундаменту», що базується на актуалізації та примноженні наступних трендів, серед яких:

- поступове максимальне відновлення роботи чорноморських портів України з початку 2024 року;
- участь у міжнародній фінансовій підтримці, задля подальшого фінансування потреб державного та місцевих бюджетів;
- виокремлення стратегії запровадження активної економічної та соціальної політики;
- намагання сповільнити інфляційні процеси (хоча реалії сьогодення визначають, що її рівень за результатами 2022 року перевищить 30%, а імовірність приведення показника до рівня у 5%, як встановлено НБУ, занадто низька) [5];
- нівелювання втрат економіки у 2023–2024 роках.

Як ми розуміємо, дані припущення мають суто гіпотетичний характер, так як це пов'язано перш за все із складністю в розрахунку реальної оцінки втрат економічного та людського потенціалу в умова збереження часткової окупації території України, а також існування безпекових ризиків.

Відповідно, орієнтовні темпи післявоєнного відновлення економіки НБУ оцінює у 5–6% на рік [6].

Дані припущення сформовані лише на основі врахування поточного стану роботи економіки та фактичних обсягів втрат, які визначено на момент продовження воєнних дій.

Керуючись базовим сценарієм повоєнного функціонування економіки України, який сформовано на основі врахування попереднього (довоєнного) вітчизняного досвіду регулювання економічних процесів та є найбільш імовірним, післявоєнне відновлення доцільно розглядати як сукупність окремих, проте взаємоузгоджених векторів.

За результатами запровадження реформ протягом 2024-2026 років за умови раціонального вибору інструментарію, можливим буде отримати наступні результати:

- призупинення вектору падіння виробництва товарів та послуг, поетапне нарощування обсягів виробництва, модернізація підприємств під переробну галузь;
- проведення інноваційних реконструкційних заходів щодо відновлення повністю або частково зруйнованих виробничих/інфраструктурних потужностей;
- оновлення пошкоджених ланцюгів транспортування продукції, збільшення пропускнуго режиму логістики;
- збереження контролю над інфляційними процесами;
- примноження робочих місць, легалізація трудових відносин на підставі застосування цифрового контролю за роботою відповідної галузі;
- виконання всіх економічних передумов щодо відкриття чотирьох свобод для України щодо вільного руху товарів, послуг, капіталів, вільного переміщення робочої сили та підписання договору про приєднання України до ЄС (грудень 2024 року).

В ході проведеного дослідження було визначено, що економіка України продовжує й надалі перебувати у негативному стані безпрецедентної кризи. Ми

спостерігаємо за такими показниками, як: значний занепад реального ВВП, динамічний ріст інфляції, сповільнення економічної та соціальної активності тощо. Одним з найактуальніших завдань для української законодавчої та виконавчої влади та бізнесових структур є скооперована співпраця у відповідному напрямку формування оптимальної реформованої інноваційної стратегії з подальшою продуманою тактикою післявоєнного відновлення економічної та політичної систем.

Так, НБУ, як головний регулятор фінансових, фіскальних, валютних, монетарних процесів, визначає що базою для повоєнного «відродження» економіки має бути приведення базових макроекономічних показників до оптимального (в ідеалі – довоєнного) стану. На основі забезпеченої стабільності системи доцільним є реалізація ряду реформ (в частині оновлення механізмів регулювання МСБ, ринку праці, управління державною власністю, діяльності правоохоронних органів тощо [6]).

Таким чином, актуальність обставин, глобальність кризових явищ, що охопили країну з подальшим негативним руйнівним характером подій, спрямовують вектор уваги саме на важливості дослідження проблематики та вимагають виваженої політики у розробці механізму зі стратегії післявоєнної відбудови, необхідної задля збереження України як потенційно потужної, економічно активної та перспективної держави.

#### Список літературних джерел

1 Гуменюк В. В. Зарубіжний досвід повоєнної трансформації державного управління і уроки для України. *Економіка України*. 2022. № 8. С. 34–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.08.034>.

2 Зверяков М. І. Формування моделі економічного розвитку в нових історичних реаліях. *Економіка України*. 2022. № 8. С. 03–19. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.08.003>.

3 Інфляційний звіт (липень 2022) / Національний банк України, Київ. 2022.

4 Кіндзерський Ю. Повоєнне відновлення промисловості України: виклики та особливості політики. *Економічний аналіз*. 2022. Том 32. № 2. С. 101–117. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2022.02.101>.

5 Проект Плану відновлення України / Національна рада з відновлення України від наслідків війни, Київ. 2022. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/economic-recovery-and-development.pdf>

6 Статистична інформація. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

7 Шапран О. Маркетингове обґрунтування заходів щодо стабілізації економічної системи України у післявоєнний період на основі шерінгової економіки. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (економічні науки)*. 2022. № 1. С. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.20998/2519-4461.2022.1.3>.

8 Шаров О. М. Уроки та перспективи «плану Маршалла» для України. *Економіка України*. 2015. № 4. С. 12–18. URL: [http://economyukr.org.ua/?page\\_id=723&lang=uk&aid=553](http://economyukr.org.ua/?page_id=723&lang=uk&aid=553).

**СЕКЦІЯ 5**  
**Інформаційні технології,**  
**моделювання та автоматизація**

**SECTION 5**  
**Information technology,**  
**modeling and automation**

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЗІ СТРУКТУРОЮ $\text{ZnO:Al/ZnMgO/CuO}$

М.М. Іващенко<sup>1</sup>, А.С. Опанасюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Відокремлений структурний підрозділ «Класичний фаховий коледж СумДУ»

<sup>2</sup> Сумський державний університет  
m.ivashchenko@gm.sumdu.edu.ua

Комп'ютерне моделювання основних фізичних процесів, які відбуваються в тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачах (ФЕП), привертає особливу увагу дослідників ще з початку 80-х років ХХ століття. Для моделювання роботи фотоперетворювачів, розрахунку їх оптичних та електрофізичних характеристик використовується достатньо велика кількість експериментальних моделей. Однак, інтерпретація отриманих при їх використанні результатів дуже часто є досить важкою. Тривимірне числове моделювання в наш час широко використовується також для попереднього проектування ФЕП та їх тестування [1].

Ідеальний програмний пакет, призначений для моделювання роботи тонкоплівкових ФЕП, повинен відповідати наступним критеріям:

мати можливість моделювання процесів у багатошарових структурах;

можливість моделювання процесів у ФЕП з шарами, ширина забороненої зони яких є більшою ніж 3 еВ;

враховувати рекомбінацію генерованих носіїв заряду на глибоких рівнях в об'ємі матеріалу та на поверхні;

можливість розділення енергетичних зон на складові частини;

можливість моделювання основних електричних характеристик ФЕП як функції від часу;

мати велику швидкість моделювання процесів та легкість в користуванні.

Мінімальна кількість шарів ФЕП, з якими спроможний працювати прийнятний для використання пакет моделювання, повинна складати не менше 6; повинна бути передбачена можливість моделювання не лише темнових і світлових вольт-амперних характеристик (ВАХ), а і інших залежностей, наприклад, квантового виходу, частотно-ємнісних залежностей тощо.

Порівняльні характеристики деяких основних програмних пакетів, які використовуються для моделювання фізичних процесів у ФЕП на основі гетеропереходів (ГП), наведені в табл. 1 [2].

Основний інструмент, яким користувався оперує у відмічених програмних продуктах, є так звана «активна» панель, в якій дослідник встановлює початкові (стартові) параметри для моделювання: робочу температуру, діапазон напруги, частоту, тип випромінювання тощо. Далі, після введення стартових параметрів, ще одним необхідним інструментом для моделювання, є «активний перелік розрахункових залежностей», який дозволяє отримувати ВАХ, частотно-ємнісні характеристики, залежності «квантовий вихід – довжина хвилі (енергія фотона)» та ін. [3].

Кожен з програмних пакетів, наведених у таблиці 1 має як свої переваги так і недоліки, однак одним з найбільш привабливих з них є програмний пакет SCAPS. Його особливістю є те, що основні параметри симуляції (моделювання) можуть бути скриптовані користувачем власноручно, що дозволяє оптимізувати пакет програм під певні, більш вузьконаправлені задачі, які в результаті будуть розв'язуватися більш ефективно [4].

Таблиця 1 Порівняльні характеристики програм для моделювання фізичних процесів у ФЕП [2]

	AMPS	SCAPS	ASA	PC1D
Макс. кільк. шарів	30	7	необмежена	5
Побудова зонних діаграм	Враховується модель Андерсона			
Розділення енергетичних зон	ні	ні	так	ні
Глибокі стани в забороненій зоні	50	3	4	без заряду
Глибокі поверхневі стани	ні	так	ні	ні
Багатопрофільне моделювання	ні	так	так	короткочасно
Числове наближення	враховується			
Швидкість	мала	висока	дуже висока	дуже висока
Інтерактивність	задовільна	добра	відсутня	добра

Світлові ВАХ були змодельовані з використанням програмного пакету SCAPS-3307 [5]. Процес моделювання був оснований на використанні рівняння Пуассона. Шар ZnO:Al був обраний нами в якості верхнього струмопровідного шару завдяки електронному типу провідності, високому значенню коефіцієнта оптичного пропускання та фізико-технологічним параметрам отримання, максимально наближеним до аналогічних параметрів віконного шару [6]. Шар Zn<sub>0,5</sub>Mg<sub>0,5</sub>O був обраний в якості віконного шару завдяки можливості контролю значення ширини забороненої зони, змінюючи концентрацію магнію у сполуці. В якості поглинаючого шару ФЕП був обраний оксид міді (CuO) завдяки своєму значенню ширини забороненої зони, яке є наближеним до оптимального.

Перед початком процесу моделювання необхідно обрати вхідні базові параметри, такі як: товщини поглинаючого, віконного та струмопровідного шарів ( $d$ ), значення ширини ЗЗ ( $E_g$ ) шарів, їх спорідненості електронів ( $\chi$ ) та діелектричні сталі ( $\epsilon/\epsilon_0$ ), рухливості електронів ( $\mu_n$ ) та дірок ( $\mu_p$ ), їх ефективні маси ( $m_n/m_0$  та  $m_p/m_0$ , відповідно), густини станів у зоні провідності ( $N_C$ ) та валентній ( $N_V$ ) зоні, тощо [2].

Основні базові параметри, використані для моделювання приведені в Таблиці 2.

Процес моделювання проводився з використанням таких стартових початкових умов: кліматична зона сонячного випромінювання AM 1.5; три з чотирьох (товщина поглинаючого шару CuO, товщина віконного шару Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O, товщина струмопровідного шару ZnO:Al, робоча температура сонячного елементу) параметрів моделювання мали фіксоване значення, в той час, як один з них – змінювався



Таблиця 2 Базові параметри для проведення числового моделювання

Шар	CuO	Zn <sub>0,5</sub> Mg <sub>0,5</sub> O	ZnO:Al
$E_g$ , eВ	1,51	3,90	3,50
$X$ , eВ	4,07	3,67	4,65
$\varepsilon/\varepsilon_0$ , в.о.	18,10	10,50	9,00
$N_C$ , см <sup>-3</sup>	$2,20 \times 10^{20}$	$2,50 \times 10^{19}$	$2.20 \times 10^{18}$
$N_V$ , см <sup>-3</sup>	$5,50 \times 10^{19}$	$4,20 \times 10^{19}$	$1.80 \times 10^{19}$
$\mu_n$ , см <sup>2</sup> /с	100	100	100
$\mu_p$ , см <sup>2</sup> /год	10	50	25
$m_n/m_0$	-	0,35	0,38
$m_p/m_0$	0,42	-	-

Товщина базового (поглинаючого) шару є важливим робочим параметром для ФЕП завдяки поглинання носіїв заряду та імовірності підвищення внаслідок цього ефективності фотоперетворення. На Рис. 1 представлені результати моделювання ФЕП на базі структури CuO/Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O/ZnO:Al як функції зміни товщини поглинаючого шару.

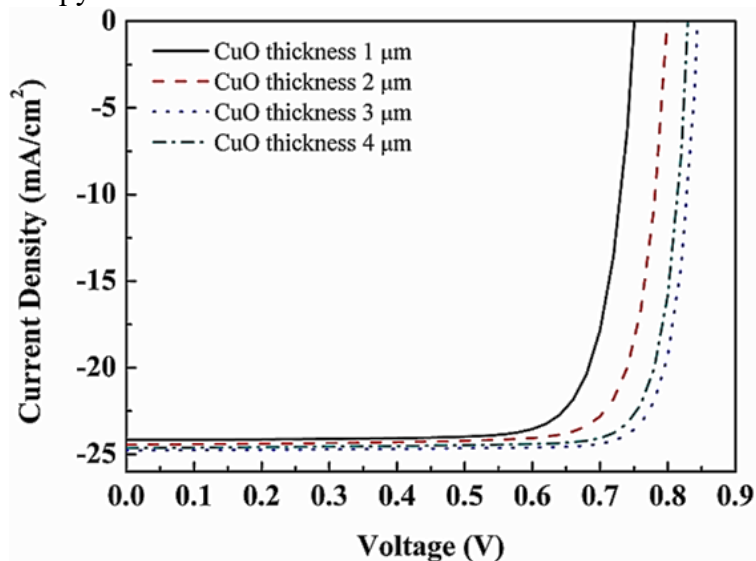


Рисунок 1 Світлові ВАХ ФЕП зі структурою CuO/Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O/ZnO:Al при різних значеннях товщини поглинаючого шару

Аналіз ВАХ показав наступне: при збільшенні величини товщини поглинаючого шару з 1,0 до 4,0 мкм напруга холостого ходу  $U_{oc}$  незначно коливалася ( $U_{oc} = 0,75-0,84$  В); густина струму короткого замикання спочатку значно збільшувалась своє значення – з  $24,17$  мА/см<sup>2</sup> до  $24,77$  мА/см<sup>2</sup> потім дещо зменшувалась до  $24,63$  мА/см<sup>2</sup> при збільшенні товщини поглинаючого шару.

Коефіцієнт корисної дії фотоелектричного перетворення при збільшенні товщини шару  $\text{CuO}$  з 1,0 мкм до 3,0 мкм збільшував своє значення з 14,55 % до 17,19 %, після цього, при подальшому зростанні товщини шару  $\text{CuO}$  до 4,0 мкм  $\eta$  дещо зменшував своє значення до 17,13 %. Даний ефект може бути викликаний максимальним поглинанням сонячного випромінювання при товщинах поглинаючих шарів 4,0 мкм. При даних значеннях товщин кількість генерованих електронно-діркових пар досягає стану насичення. Подальше збільшення товщини поглинаючого шару призводить до збільшення значення опору даного шару [7]. Як результат проведеного моделювання, було встановлене оптимальне значення товщини поглинаючого шару, яке було використане в подальших розрахунках.

На Рис. 2 приведені результати моделювання ФЕП при різних товщинах віконного шару, яка є важливим робочим параметром, так як природа віконного шару може суттєво впливати на кількість світлового випромінювання, яке потрапить на поглинаючий шар [8].

Було встановлено, що значення  $U_{OC}$  для шару  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ , який змінював своє значення з 25 до 100 нм, нехтовно змінювалося в бік зменшення з 0,85 до 0,84 В, що свідчить про фактичну сталість рівня рекомбінації носіїв заряду незалежно від товщини віконного шару. Зміна густини струму короткого замикання при зміні товщини віконного шару проявилася у наступному: значення  $J_{SC}$  зменшувалося з 25,78  $\text{mA}/\text{cm}^2$  до 24,77  $\text{mA}/\text{cm}^2$ . К.к.д. змодельованого ФЕП зменшувався при підвищенні товщини віконного шару. Даний ефект можна пояснити збільшенням рівня поглинання фотонів у віконному шарі при збільшенні його товщини [9].

Необхідно відмітити, що отримання суцільних плівок  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  при товщинах, менших за 25 нм є надзвичайно складною задачею, тому процес моделювання віконного та струмопровідного шарів при товщинах, менших за 25 нм не проводився.

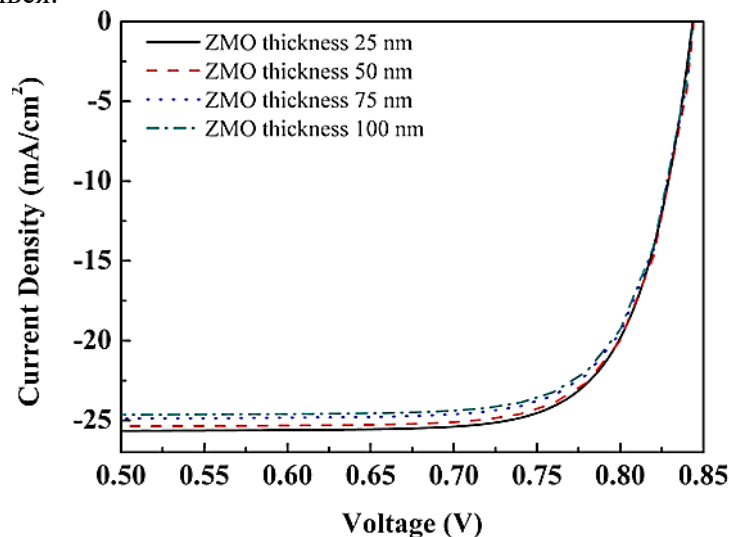


Рисунок 2 Світлові ВАХ ФЕП зі структурою  $\text{CuO}/\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}/\text{ZnO}:\text{Al}$  при різних товщинах віконного шару  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$

В результаті було отримане значення товщини віконного шару, оптимальне для подальшого моделювання, яке склало 25 нм. Ці дані використовувалися в подальшому.

На Рис. 3 представлені результати моделювання ФЕП при різних товщинах струмопровідного шару ZnO:Al.

Було встановлено, що значення коефіцієнту корисної дії ( $\eta$ ) при збільшенні товщини шару ZnO:Al з 25 нм до 100 нм у незначній мірі змінювалося – дещо зменшувалося з 18,51 до 18,46 %. Отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість використання в подальшому струмопровідний шар ZnO:Al з мінімальною товщиною 25 нм.

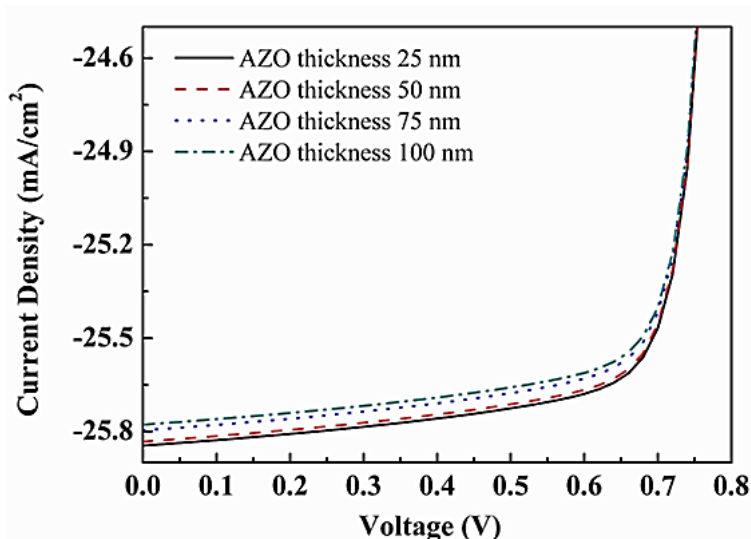


Рисунок 3 Світлові ВАХ ФЕП зі структурою CuO/Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O/ZnO:Al при різних товщинах струмопровідного шару

В процесі експлуатації ФЕП можуть нагріватися при їх опроміненні сонячним світлом. Даний ефект може внести суттєвий вплив на робочі характеристики ФЕП. Тому, нами був досліджений вплив температури ФЕП на їх робочі характеристики в межах 290-320 К з оптимізованими раніше товщинами шарів. Результати моделювання представлені на Рис. 4.

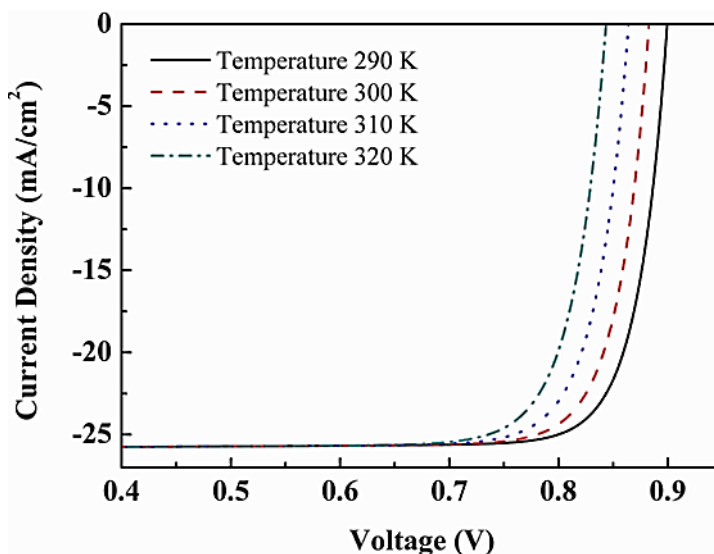


Рисунок 4 Світлові ВАХ ФЕП зі структурою CuO/Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O/ZnO:Al при різних робочих температурах

В результаті проведеного числового моделювання значення коефіцієнта корисної дії ФЕП  $\eta$  зменшувалося при збільшенні значення температури експлуатації з 20,90 % при 290 К до 18,51 % при 320 К. Отримані дані мають гарну кореляцію з фізичними, так як при збільшенні значення робочої температури  $T$  призводить до зменшення значень ширини забороненої зони шарів ФЕП, що призводить до зменшення різниці контактних потенціалів на гетеромежі.

В якості висновків по даній роботі можна привести наступне. Було проведено числове моделювання наступних робочих характеристик фотоелектричного перетворювача на базі  $\text{CuO}/\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}/\text{ZnO}:\text{Al}$ : напруга холостого ходу  $U_{OC}$ , густина струму короткого замикання  $J_{SC}$ , фактор заповнення  $FF$  та коефіцієнт корисної дії  $\eta$  при різних умовах проектування – товщинах поглинаючого ( $d_{\text{CuO}}$ ), віконного ( $d_{\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}}$ ), струмопровідного ( $d_{\text{ZnO}:\text{Al}}$ ) шарів, при різних температурах експлуатації фотоперетворювачів. Були отримані світлові вольт-амперні характеристики змодельованих ФЕП. Були визначені оптимальні структурні та технологічні параметри, які можуть забезпечити максимальну ефективність фото перетворення, а саме:  $d_{\text{CuO}} = 4.0$  мкм,  $d_{\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}} = 25$  нм,  $d_{\text{ZnO}:\text{Al}} = 25$  нм,  $T = 290$  К. Оптимальні робочі характеристики для змодельованого ФЕП склали значення:  $U_{OC} = 0,90\text{В}$ ,  $J_{SC} = 26,16$  мА/см<sup>2</sup>,  $FF = 86,25$  %,  $\eta = 20,35$  %.

#### Список літературних джерел

- 1 S. Kasap, P. Capper, Springer handbook of electronic and photonic materials. Springer International Publishing AG, Cham, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9>.
- 2 Іващенко М.М. Структурні, оптичні та електрофізичні властивості плівок CdSe і ZnSe та гетеропереходів на їх основі: дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.04.01 / М.М. Іващенко // Суми. – 2014. – 163 с.
- 3 J. Verschraegen, M. Burgelman, Thin Solid Films 515 (2007) 6276-6279. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.12.049>.
- 4 S. Degrave, M. Burgelman P. Nollet, 3rd IEEE World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 1 (2003) 487-490.
- 5 М.М. Ivashchenko, A.S. Opanasyuk, I.P. Buryk, et al., J. Nano- Electron. Phys. 10 (2018) 03004. [https://doi.org/10.21272/jnep.10\(3\).03004](https://doi.org/10.21272/jnep.10(3).03004).
- 6 O.V. Diachenko, O.A. Dobrozhan, A.S. Opanasyuk, et al., Superlattice Microst. 122 (2018) 476-485. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2018.06.063>.
- 7 A.S. Opanasyuk, M.M. Ivashchenko, I.P. Buryk, et al., J. Nano- Electron. Phys. 7 (2015) 02037.
- 8 Cherouana, R. Labbani, Mater. Today 5 (2018) 13795-13799. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.020>
- 9 P. Sawicka-Chudy, M. Sibinski, E. Rybak-Wilusz, et al., AIP Advances 10 (2020) 010701. <https://doi.org/10.1063/1.5125433>.

## **РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, МОДЕЛЮВАННЯ І АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**А.Л. Баланюк, Ю.М. Мар'їнських**

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
13kaiifleem@gmail.com, mymih44@gmail.com

Моделювання в інженерії є необхідним етапом розробки нових технологій та пристроїв. Інженери використовують комп'ютерні програми та математичні моделі для створення віртуальних прототипів, які дозволяють їм тестувати різні сценарії функціонування та виявляти можливі проблеми чи недоліки ще до фізичного створення пристрою. Це зберігає час та ресурси, а також сприяє підвищенню надійності та безпеки нових технологічних рішень.

У сфері медицини симуляція відіграє важливу роль у навчанні медичних фахівців, зокрема хірургів. Використовуючи спеціальні симулятори та програмне забезпечення, медичні студенти та лікарі можуть відпрацьовувати навички хірургічних втручань та інших процедур без ризику для життя пацієнтів. Це дозволяє підвищити якість навчання та підготовки медичних кадрів, а також зменшує ймовірність помилок під час реальних операцій.

В транспортній галузі симуляція використовується для оптимізації руху та підвищення безпеки на дорогах та в інших видах транспорту. Це дозволяє моделювати різні сценарії дорожнього руху, включаючи рух автомобілів, поїздів, літаків та кораблів, і аналізувати їх вплив на трафік та безпеку. Такі симуляції можуть бути корисними для розробки нових систем управління транспортом та вдосконалення існуючих інфраструктурних рішень.

Зокрема, моделювання дозволяє економістам аналізувати та прогнозувати складні економічні процеси. Вони можуть створювати моделі, які враховують вплив різних факторів, таких як інфляція, безробіття, податки та інші, на економічну ситуацію в країні чи регіоні. Це допомагає урядам та бізнесам приймати обґрунтовані рішення щодо фінансової політики, інвестицій та розвитку галузей економіки.

Однією зі специфічних галузей моделювання є кліматичне моделювання. Вчені використовують цей вид моделювання для дослідження змін клімату, визначення впливу глобального потепління та розробки стратегій для зменшення викидів парникових газів. Моделі клімату допомагають у розумінні складних процесів в атмосфері, океані та екосистемах, що дозволяє приймати дієві заходи для збереження природного середовища та ресурсів планети.

У галузі науки та досліджень моделювання використовується для створення гіпотетичних моделей фізичних явищ, що допомагає вченим тестувати та перевіряти свої теорії. Наприклад, в космології моделі допомагають висвітлити розвиток Всесвіту від Великого вибуху і до сучасності. В інших галузях науки, таких як фізика, хімія та біологія, моделювання використовується для вивчення молекулярних та атомних структур, хімічних реакцій та життєвих процесів.

У підсумку, моделювання є потужним інструментом, що допомагає вирішувати складні проблеми у багатьох галузях знань. Від науки та техніки до економіки та медицини, воно сприяє розвитку та прогресу суспільства, допомагаючи приймати обґрунтовані рішення та зрозуміти складні процеси, які оточують нас у сучасному світі.

Автоматизація інтенсивно розвивається у різних галузях, впливаючи на спосіб, яким працює сучасне суспільство. У промисловості, автоматизовані

системи виробництва та роботи з робочими машинами дозволяють виготовляти продукцію швидше та ефективніше, знижуючи витрати на робочу силу та скорочуючи час на виробництво. Це також підвищує якість та надійність продукції завдяки усуненню людських помилок.

У сфері транспорту автоматизація включає в себе системи автопілоту та управління транспортними потоками. Автономні автомобілі стають все більш поширеними, що може призвести до покращення безпеки на дорозі та зменшення аварій. Транспортні системи також використовують дані з IoT-пристроїв для оптимізації маршрутів, управління трафіком та зменшення забруднення навколишнього середовища.

У сільському господарстві автоматизація допомагає вдосконалити процеси виробництва та збільшити врожаї. Від автоматизованих сільськогосподарських машин до систем автополиву та моніторингу стану рослин, сільське господарство стає більш продуктивним та стійким до змін клімату.

Інтернет речей (IoT) відкриває нові можливості для автоматизації та збору даних. Велика кількість підключених пристроїв, які обмінюються інформацією через мережу, дає можливість збирати великий обсяг даних, що можуть бути використані для аналізу та прийняття рішень. Наприклад, в домашньому середовищі, IoT-пристрої можуть віддалено контролювати освітлення, опалення, та системи безпеки, що робить житло більш зручним та ефективним.

Усі ці аспекти автоматизації показують, що інформаційні технології та автоматизація відіграють ключову роль у сучасному світі, спрощуючи багато процесів та підвищуючи якість життя людей. Те, що раніше було справою рук, зараз може бути здійснене швидше та ефективніше завдяки технологічному прогресу.

Розвиток інформаційних технологій, моделювання і автоматизації справді перетворюють наше суспільство, надаючи безліч переваг. Інформаційні технології не лише полегшують наші щоденні справи, але й розширюють горизонти можливостей. Вони допомагають розробляти нові технології, вирішувати складні завдання і забезпечують розвиток економічного сектору.

Проте, існують важливі виклики, пов'язані з цими технологіями. Один із них - втрата робочих місць унаслідок роботизації та автоматизації. Підприємства впроваджують автоматизовані системи для зменшення витрат на оплату праці та підвищення продуктивності. Це може призвести до безробіття в тих галузях, де рутинна робота може бути легко замінена машинами. Важливо розглядати цей виклик як можливість досягнення більшого балансу між автоматизацією і збереженням робочих місць, а також перепідготовки працівників для нових сфер зайнятості.

Ще одним викликом є питання щодо приватності та безпеки даних. Збільшення обсягу даних, які збираються та обробляються інформаційними системами, створює серйозні проблеми у забезпеченні конфіденційності особистої інформації. Існує ризик витоку даних, зловживання особистою інформацією та інших проблем, які потребують уваги та регулювання з боку уряду та бізнесу.

Зростання важливості інформаційних технологій, моделювання та автоматизації вимагає обережного та збалансованого підходу. Суспільство повинно постійно вдосконалювати свої підходи до регулювання та використання



цих технологій, забезпечуючи максимальну вигоду для людей та захист їхніх прав і інтересів.

Інформаційні технології моделювання і автоматизації справді перетворюють наше життя та суспільство загалом, і їхній вплив є неоціненим. Вони проникають у всі сфери нашого життя, від особистого використання комп'ютерів та смартфонів до революційних змін у промисловості, охороні здоров'я, транспорті та багатьох інших галузях.

Завдяки інформаційним технологіям моделювання, ми можемо створювати віртуальні моделі різних процесів та явищ, що допомагає нам краще їх розуміти та аналізувати. Наприклад, в медицині лікарі можуть використовувати комп'ютерні симулятори для навчання та тренування, що покращує якість медичної практики та безпеку пацієнтів. У промисловості, моделювання допомагає оптимізувати процеси виробництва та розробляти нові технології, що зменшує витрати та сприяє створенню високоякісної продукції.

Автоматизація, у свою чергу, дозволяє замінити рутинну роботу людини на роботу машин та комп'ютерів. Це підвищує продуктивність та якість виконаної роботи, а також дозволяє працівникам зосередитися на більш складних та креативних завданнях. Виробництво стає ефективнішим, терміни виготовлення скорочуються, а якість продукції підвищується завдяки усуненню помилок.

Проте, разом з усією цією позитивною динамікою, виникають і важливі виклики. Роботизація та автоматизація можуть призвести до втрати робочих місць, особливо у тих галузях, де робочі процеси легко автоматизувати. Це вимагає уважного вивчення ініціатив для створення нових робочих місць та перепідготовки працівників.

Питання приватності та безпеки даних стають дедалі більш актуальними, оскільки великі обсяги особистої інформації збираються та обробляються системами автоматизації. Важливо розвивати відповідні правила та норми, які б забезпечували захист особистих даних та зберігали конфіденційність.

Усі ці аспекти свідчать про необхідність ретельного обговорення і регулювання використання інформаційних технологій моделювання та автоматизації. Треба розвивати стратегії для забезпечення максимальної користі для суспільства, зберігання працівників та захисту особистостей в умовах постійної технологічної еволюції.

#### **Список літературних джерел**

1. Роль інформаційних технологій у сучасному суспільстві: Дослідження Інституту ІТ Інновацій, Журнал "Техносфера 2020".
2. Автоматизація виробництва: Новий погляд з журналу "Передові Промислові Рішення", 2019.
3. "Зміна транспортної системи під дією Інтернету Речей", Доповідь на Міжнародному Конгресі "Майбутні Технології", 2021.
4. "Моделювання в медицині: Відкриття у статті "Медична Динаміка", 2018.
5. "Економічні наслідки роботизації і автоматизації: Аналіз у дослідженні "Економіка XXI століття", 2019.
6. "Інтернет Речей: Магія технології та виклики сучасності", Журнал "Майбутнє у Вересні", 2020.
7. "Статистика Інформаційних Технологій у Україні: Огляд від Державної Служби Цифрової Трансформації", 2022.

## ПУБЛІЧНА БІБЛІОТЕКА ПО ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ ПРОТИВНИКА ДЛЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

С.Є. Євсєєв

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
sergiy@yevseyev.ua

Повномасштабна агресія проти України знову підкреслила значущість та важливість захисту критичної інфраструктури від безпілотних літальних апаратів (БПЛА) різного типу: як керованих, так і таких, що працюють у повністю автоматичному режимі.

До лютого 2022 року вже було зафіксовано декілька значущих атак за допомогою БПЛА на промислові та військові об'єкти:

*Атаки на нафтові об'єкти Саудівської Аравії (2019 рік).* У вересні 2019 року була вчинена масштабна атака на об'єкти нафтової компанії Saudi Aramco. Було пошкоджено об'єкти в Абкаїку та Хурайсі. Хоча спочатку заяви вказували на інвільованість БПЛА, пізніше стало відомо, що було використано як безпілотники, так і крилаті ракети. Відповідальність за атаку взяли на себе йменські хусити, але багато країн вважали, що Іран стоїть за цією операцією.

*Атаки на військові бази в Сирії.* Під час громадянської війни в Сирії БПЛА були активно використані для проведення розвідки та нанесення ударів по різноманітних цілях. В основному такі атаки відбувалися на військові бази, що контролювалися силами президента Асада або російськими військовими.

*Атаки на військові об'єкти в Вірменії та Азербайджані (2020 рік).* Під час конфлікту в Нагірному Карабасі у 2020 році обидві сторони активно використовували безпілотники. Особливо ефективною виявилася ударна авіація Азербайджану, яка завдала серйозних втрат військовим Вірменії.

Ці та інші атаки БПЛА демонстрували, наскільки ці технології можуть бути ефективними та небезпечними в сучасних військових конфліктах і як вони можуть змінювати баланс сил під час активних бойових дій

Наша війна виключенням не стала: супротивник активно використовує різні типи апаратів, які люди вже прозвали «дронами», «мопедами» та ін. Особливо грізною стали баражуючі боеприпаси типу «Shahed 136», «Ланцет», «Куб-БЛА», БПЛА систем управління тактичної ланки типу «Орлан», «Картограф», «Форпост», ударні «Оріони» та ін.

Росте номенклатура безпілотників, змінюються і практичні засоби їх застосування: від простого спостереження до «виманювання» ППО. Залучають їх і до безпосередніх атак, і до допомоги пораненим (коли з малих БПЛА скидають ліки для поранених бійців та показують безпечний маршрут відходу) та ін.

Відповідно, має змінюватись і технологія ідентифікації та знищення БПЛА, як зазначав український вчений С. О. Перепеліцин ще у 2020 році [1]. Він вказав на необхідність використання блоків нейромережевого аналізу для протистояння загроз БПЛА, оскільки розвиток т.з. «нейромереж» набув в останні роки неабиякого значення – на це вплинуло, звичайно, зростання обчислювальних потужностей та зниження їх вартості.

Нейромережі навчилися виконувати складні завдання: від підтримки спілкування на рівні, близьким до людського, генерації картинок по текстовому опису до постановки діагнозів хворим чи гри на біржі.

Відповідно, виникає очевидне бажання використати їх у військовій справі. По всьому світу [2, 3, 4, 5] вчені досліджують різні методи ідентифікації та

знешкодження БПЛА, але використовують або математичні абстракції (моделі), або досліджують 1-2 типи відомих БПЛА.

Будь-який нейромережевий аналіз можливий лише коли у дослідника існує доступ до спеціальним чином підготовленого масиву даних. Наприклад, відоме комерційне LLM-рішення, ChatGPT від компанії OpenAI використовувало величезний масив даних для навчання. Цей масив містить текст з різних джерел з Інтернету: книги, веб-сайти, статті та інше. Точні деталі та об'єми цього масиву є комерційною таємницею OpenAI, але він був настільки обширний, що дозволив навчити модель різним мовам, фактам, контексту та іншим аспектам комунікації на різні теми і навіть проходити тест Тьюрінга.

За оцінками видання Medium [6], розмір датасету (бази для навчання) поточної версії GPT, GPT 4, склав біля 1 ПБ даних та 1.8 трильйону параметрів.

Як відомо, нейромережі складаються з великої кількості «нейронів», які з'єднані між собою. Кожне з'єднання має вагу, а кожен нейрон може мати своє зміщення (bias). Ці ваги та зміщення називаються «параметрами» нейромережі.

Під час процесу навчання мета полягає в оптимізації цих параметрів таким чином, щоб нейромережа могла найкраще відтворювати бажаний вихід на основі вхідних даних. Наприклад, якщо у нас є нейромережа, яка намагається розпізнати котів на фотографіях, параметри нейромережі будуть коригуватися таким чином, щоб коли мережа бачить фотографію кота, вона видає відповідь, що це кіт, а не собака або який-небудь інший предмет чи живий організм.

Оптимізація параметрів здійснюється за допомогою алгоритмів, таких як градієнтний спуск, які поступово коригують вагу та зміщення на основі помилок, які робить мережа протягом навчання.

Україна, яка знаходиться у гострій (активній) фазі бойових дій з супротивником, котрий переважає кількісно, має віднаходити способи протидії ворожим силам. Наразі найбільш поширеним використанням БПЛА у ЗСУ є:

*Ідентифікація ворожих сил.* БПЛА пролітає заданим маршрутом і оператор отримує відеозапис чи набір фотографій, по яких або в ручному, або напівавтоматичному режимі бійці пробують визначити, чи є по маршруту ворог, чим він оснащений (кількість та чим саме);

*Ураження військових сил за допомогою людини-оператора.* Ударний дрон виводиться на ціль вручну, ідентифікації об'єкта та прийняття рішення про знищення приймає людина;

*Ураження військових сил в автоматичному режимі.* Ударний дрон виводиться на ціль автоматично та рішення по ураженню приймає бортова автоматика (в переважній більшості – по заходу на потрібні координати чи візуальну ідентифікацію);

Нейромережі можуть використані в *ідентифікації* цілей (або індивідуальної цілі дрона), але виникає потреба в «сирих» (raw) даних, з яких дослідник може згенерувати датасет для навчання.

І в цьому в українських дослідників є колізія: їм дуже важко (або, навіть, неможливо) отримати достатню кількість різнопланових даних (аудіо- та візуальних) для аналізу, оскільки монополістом таких даних є держава та її відповідні органи.

Дослідникам (особливо з непрофільних навчальних закладів) доводиться звертатись до Міністерства оборони або до Міністерства цифрової трансформації, очікувати підтвердження запитів, проходити численні перевірки – що затягує час

аналізу і не факт, що запит буде задоволений або отримані дані підійдуть для конкретного дослідження.

Відповідно, лише нечисленні «профільні» структури мають доступ до даних та можуть використовувати їх у власних розробках, що дуже звужує можливості національної ІТ-галузі по продукуванню рішень для потреб військових. Але чи правильно це? Може, Державі треба зайняти більш проактивну позицію, відкрити публічну (доступну для громадян України, ВНЗ відповідної акредитації) електронну бібліотеку з аудіовізуальними та / або РЛС-даними по живій силі та техніці (які вже не становлять військової таємниці).

Звичайно, підготовка такої бібліотеки на національному рівні вимагатиме ресурсів, часу та якісного регулярного оновлення. Чому це важливо:

*Тільки держава має доступ до всіх даних*, які збирають Збройні сили у всіх їх повноті. Відповідно, лише держава здатна забезпечити сталий розвиток такої бібліотеки з даними, які будуть нести наукову цінність;

Використання великої кількості попередньо класифікованих даних *дозволяє вийти на наступний якісний рівень* як спеціалізованих нейромереж для військових, так і для непрофільних, може, навіть, часом і аматорських рішень.

Постійне оновлення даних буде корисне і «профільним» освітнім закладам та підприємствам, оскільки *дозволить підвищити точність розпізнавання військової техніки*, дозволить ідентифікувати «прогалини» у власних датасетах та коригувати наповнення в майбутньому.

Аматорські рішення теж не треба відкидати – так, звичайно, багато з них будуть викликати посмішку у професійних військових розробників або думку: «Ну, ми вже це проходили». Може, і проходили, але волонтерів в ІТ – величезна кількість і у них відсутній обмін досвідом з закритими державними інституціями. Вони не мають доступу на полігони, спілкуються лише з друзями з військових частин, але мають відповідні знання, аби пропонувати щось нове. Навіть якщо з 100 запропонованих «аматорами» ідей 99 виявиться сміттям, а 1 – гарною та втіленою у життя, це вже буде маленькою перемогою, оскільки держава не витратитиме на R&D ані копійки.

Наприклад, можливість для «аматорів» поглянути на проблему візуальної ідентифікації БПЛА по його відеозображенню, ще і в умовах дощу / туману, з дешевих камер (наприклад, 3-4 ракурси одночасно), у поєднанні з інфрачервоним зображенням може призвести до прориву у певній предметній області.

Які ж саме дані варто включити до бібліотеки:

Зображення об'єкта з багатьох ракурсів, при різних погодних умовах на один тип об'єктива;

Зображення об'єкта з різних типів об'єктивів;

Аудіо-відбиток об'єкта;

Інфрачервоний відбиток об'єкта;

Дані про електромагнітне випромінювання (якщо воно є), можливість перехоплення керування;

Традиційне застосування об'єкта (наприклад, якщо система помилково визначить БПЛА, як танк у повітрі – такого не може бути);

Зображення об'єкту з різних відстаней, під час руху, маскування та ін.

Тактико-технічні характеристики об'єкта, типові обмеження та супутні об'єкти (наприклад, якщо виявлено пускові установки від ЗРК – деє має бути і командний пункт)

Відомі (відкриті для публікації) моделі, на базі яких можна створити власну або покращити існуючу.

Держава має віддати належне простому факту, що у талановитих людей єдина зброя, якою вони володіють на професійному рівні – це комп'ютер та вміння програмувати. Вже менша кількість здатна втілити якісь рішення «в залізі» і ще менша – побудувати щось, що дійсно буде працювати і приносити користь. Відповідно, і прогрес в цьому випадку, в першу чергу, буде йти зі сторони розробки програмного забезпечення, комплексів систем управління, особливо для індивідуальних дронів чи систем протидії «роям» дронів.

Вже існують ідеї по ідентифікації «роїв» дронів на базі ефекту Доплера [4], вчені пробують використати математичну модель «переслідування» [5], але ці теоретичні моделі досить відірвані від практики, відповідно – потребують перевірки. Традиційний науковий ланцюжок пізнання «теорія – серія експериментів – практичні підтвердження або спростування теорії» під час активних бойових дій є дуже важким у реалізації, оскільки потребує ресурсів, яких може не бути у пересічного дослідника.

Тому, крім аудіовізуальної чи радіолокаційної інформації слід ще зберігати і практичну інформацію по всім взірцям ворожої техніки: практичний запас ходу, швидкість, дальність, можливість контролю, специфіку елементів керування, у випадку з наземною технікою – варіанти кустарних модифікацій (приварені «мангали» та ін), сліди від траків – все те, що може спотворити аналіз та призвести до неефективних рішень.

#### **Список літературних джерел**

1 С. О. Перепеліцин. Система захисту від загроз удару БПЛА із використанням блоків нейромережевого аналізу // Наукоємні технології № 1(45), 2020, DOI: 10.18372/2310-5461.45.14579

2 Simeon Okechukwu Ajakwe. Radicalization of Airspace Security: Prospects and Botheration of Drone Defense System Technology / Simeon Okechukwu Ajakwe, Dong-Seong Kim, Jae-Min Lee // Journal of Intelligence, Conflict, and Warfare and Simon Fraser University, 2023. URL: <https://journals.lib.sfu.ca/index.php/jicw/article/view/5274/4492>

3 Kejie Yang. A Multi-drones Target Tracing Strategy Based on the Pursuit-Evasion Game Formula / Kejie Yang, Ming Zhu, Xiao Guo // 2022 China Automation Congress (CAC), DOI: 10.1109/CAC57257.2022.10054992

4 Megha Katana. Simulation of micro-doppler signatures of drones / Megha Katana, Brejesh Lall // 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Workshops (ICASSPW), DOI: 10.1109/ICASSPW59220.2023.10193632

5 Jennifer Simonjan. Reinforcement Learning-based Countermeasures against Attacking UAV Swarms / Jennifer Simonjan, Kseniia Harshina, Melanie Schranz // 2023 19th International Conference on Distributed Computing in Smart Systems and the Internet of Things (DCOSSIoT), DOI: 10.1109/DCOSS-IoT58021.2023.00103

6 GPT-4: Everything you want to know about OpenAI's new AI model // Medium.com, 2023. URL: <https://medium.com/predict/gpt-4-everything-you-want-to-know-about-openais-new-ai-model-a5977b42e495>



## СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ В КАМЕРНІЙ СУШАРЦІ

Г.М. Худолей, Д.І. Захарченко

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
hudoley1951@gmail.com

В роботі [1] на основі конструктивно-технологічного аналізу об'єкта управління (камерної сушарки періодичної дії) була розроблена математична модель динаміки процесу сушіння, а також надані результати дослідження, які дозволили зробити висновок щодо її адекватності реальному процесу. Опираючись на аналіз вимог щодо ведення технологічного процесу сушіння та маючи на увазі результати дослідження отриманої в [1] математичної моделі, вдалось сформулювати основні завдання системи управління, що синтезується, а саме:

Для забезпечення зменшення бракованої продукції в умовах наявності зовнішніх збурень необхідно жорстко витримувати норми технологічного регламенту щодо розрахункової температури  $T_{rov}$  в камері сушарки та гідродинамічного режиму обдування матеріалу шляхом стабілізації величини об'ємного приходу теплоносія на вході  $G_{rov}^0$ .

Зменшення непродуктивних витрат теплової енергії на сушіння матеріалу можна забезпечити своєчасним завершенням кожного окремого циклу висушування в умовах початкових умов, що міняються. Розрахунок тривалості кожного циклу висушування доцільно виконувати шляхом імітаційного моделювання попередньо ідентифікованої математичної моделі динаміки [1].

В цій роботі наводяться результати реалізації першого з наведених вище завдань.

Функціональна схема системи управління технологічним процесом сушіння в камерній сушарці періодичної дії, що реалізує першу з вимог, може мати вигляд, наведений на рис. 1.

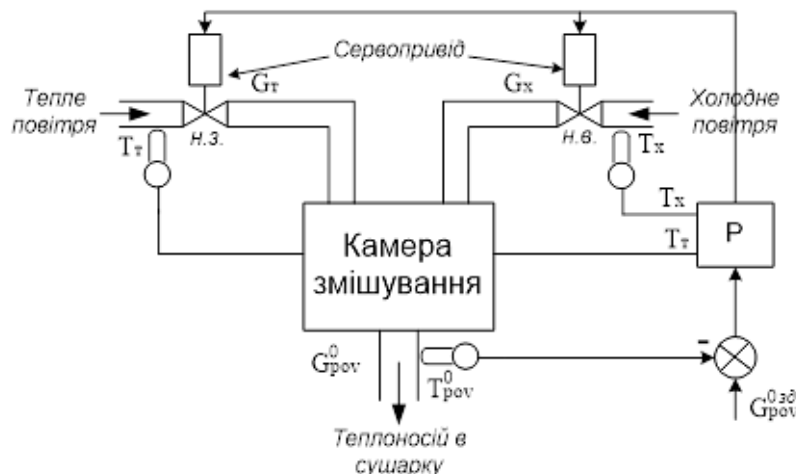


Рисунок 1 Функціональна схема системи управління температурою теплоносія

Так як процес сушіння йде при незмінній температурі поверхні матеріалу, а значить головними факторами, що можуть порушити тепловий режим є зовнішні впливи, а також маючи на увазі суттєву теплову інерцію камерної сушарки, що ускладнює створення високоякісної системи стабілізації, прийнято рішення стабілізувати температуру теплоносія на вході в сушарку  $T_{rov}^0$  шляхом зміни



співвідношення об'ємної витрати потоків теплового повітря  $G_T$  з температурою  $T_T$  та холодного повітря  $G_X$  з температурою  $T_X$ . Температури  $T_T$  та  $T_X$  потоків повітря мають властивість непередбачуване мінятись, тобто виступають в ролі контрольованих збурень.

Щоб одночасно забезпечити постійну задану величину об'ємного приходу в камеру сушарку теплоносія з заданою температурою  $T_{rov}^0$ , для управління використаємо два сервоприводи, які працюють асинхронно, тобто при переміщенні заслінки теплового повітря в одну сторону одночасно заслінка холодного повітря переміщується в іншу, чим забезпечується незмінність подачі об'єму теплоносія при зміні його температури.

Об'єкт управління являє собою (див. рис. 1) камеру змішування, в яку підводяться для змішування до необхідної температури  $T_{rov}^0$  потік теплового повітря з температурою  $T_T$  та холодного – з температурою  $T_X$ . Для зміни величини об'ємної витрати використовуються сервоприводи, які працюють в асинхронному режимі.

Невеликий об'єм камери змішування при відносно великих швидкостях потоків дозволяють припустити, що гідродинамічний режим процесу змішування – ідеальне перемішування, а обмежений діапазон температур теплоносія та його компонентів (не більше 100 °С) дають можливість вважати, що їх тепло-фізичні параметри не залежать від температури та складу и визначаються як деякі середні величини.

Тепловий баланс для камери змішування [2]

$$V_{cm} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{dT_{rov}^0}{dt} = G_T \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_T + G_X \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_X - (G_X + G_T) \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_{rov}^0, \quad (1)$$

де  $V_{cm}$  – об'єм камери змішування;  $\rho, c_p$  – щільність та питома ізобарна теплоємність теплоносія та його компонентів;  $T_{rov}^0, T_X, T_T$  – температури теплоносія після камери змішування, холодного та теплового повітря, відповідно;  $G_X, G_T$  – об'ємний розхід відповідно холодного та теплового повітря.

Після нескладних перетворень, скорочення на  $\rho \cdot c_p$  та виразивши об'ємну витрату холодного та теплового повітря через його задане значення  $G_{rov}^0$  і ступінь відкриття заслінки  $\Delta u$  (приймаємо, що об'ємна витрата повітря прямо пропорційний ступеню відкриття заслінки, тобто  $G_T = G_{rov}^0 \cdot \Delta u$  та  $G_X = G_{rov}^0 \cdot (1 - \Delta u)$ ), отримаємо

$$\frac{V_{cm}}{G_{rov}^0} \cdot \frac{dT_{rov}^0}{dt} + T_{rov}^0 = \Delta u \cdot T_T + (1 - \Delta u) \cdot T_X. \quad (2)$$

Структурна схема математичної моделі камери змішування продемонстрована на рис. 2,

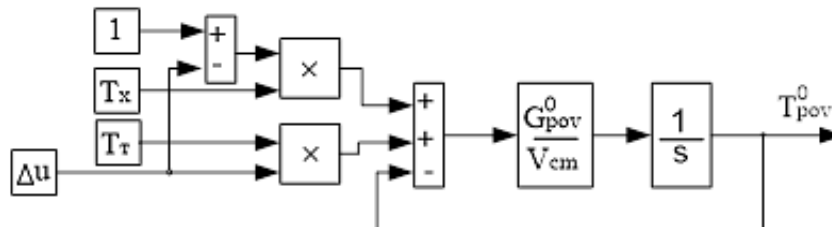


Рисунок 2 Структурна схема математичної моделі камери змішування

а результати моделювання при умовно прийнятих значеннях  $G_{rov}^0=5400$  м<sup>3</sup>/год,  $V_{cm}=0,15$  м<sup>3</sup>,  $T_T=80$  °С,  $T_X=20$  °С на рис. 3.

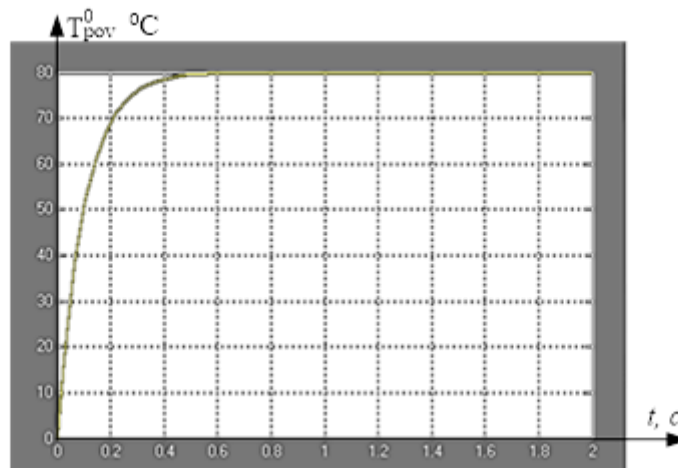


Рисунок 3 Результати моделювання камери змішування

Малогобаритні швидкодіючі сервоприводи в наш час широко використовуються в різноманітних сучасних високоточних системах управління, в тому числі і для переміщення та позиціонування органів регулювання. Найчастіше промислові системи управління положенням приводу будуються за принципами підлеглого регулювання.

В роботі [4] наводиться методика побудови математичної моделі сервопривода на основі електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням з підпорядкованим керуванням положення та швидкості.

Зазвичай в системах підпорядкованого управління використовують три контури. Якщо необхідно регулювати положення, то найкраще, чим можна при цьому керувати – це швидкістю (частотою обертання), оскільки саме швидкість безпосередньо впливає на зміну положення (швидкість – це похідна від положення), інші величини (струм, напруга і інше) впливають на положення опосередковано, не зручно для регулювання. Якщо треба регулювати швидкість, то для її регулювання краще вибрати момент двигуна, оскільки момент визначає прискорення приводу, а воно простим математичним законом пов'язане зі швидкістю. Так як для двигуна момент - це струм, то для регулювання моменту потрібно керувати напругою на інверторі перетворювача, тому що струм і напруга теж пов'язані у першому наближенні простим диференціальним рівнянням.

Якщо якийсь внутрішній контур опустити, то положення буде регулюватися, але погано, не з такою швидкодією, як у системі з трьома контурами. Якщо немає, наприклад, контуру струму, то залишиться безконтрольний момент приводу (струм) – він змінюватиметься довільно. Проте в сервоприводах, призначених для переміщення органів регулювання запірної арматури суттєвої зміни моменту не очікується, а значить схему управління можна спростити.

Рівняння замкнутої системи в операторній формі мають вигляд [4]

$$\begin{cases} \omega = \frac{rK_d^2}{T_{MP}}(M - M_c), \\ M = \frac{1/rK_d}{T_{яp+1}}\left(U - \frac{1}{K_d}\omega\right), \\ \varphi = \frac{n\omega}{p}, \\ U = K_p(\varphi_3 - \varphi). \end{cases} \quad (3)$$

Тут  $r$  – повний активний опір якірного ланцюга (Ом);  $\omega$  – механічна швидкість

обертання ротора (рад/с);  $M$  – момент обертання, що створюється двигуном ( $H^*M$ );  $M_c$  – момент статичного навантаження, приведений до валу двигуна ( $H^*M$ );  $K_d = K\Phi$  (рад/В\*с), де  $K$  – безрозмірний конструктивний коефіцієнт двигуна,  $\Phi$  – магнітний потік збудження двигуна, який створюється постійним магнітом (Вб);  $T_M$  – електромеханічна постійна часу привода (с);  $T_\gamma$  – електромагнітна постійна якійного ланцюга (с);  $U$  – напруга на обмотці якоря двигуна (В);  $\varphi$  – кут повороту вихідного валу сервопривода (рад);  $n$  – передаточне число редуктора;  $K_p$  – коефіцієнт підсилення П-регулятора (В/рад);  $\varphi_3$  – заданий кут повороту вихідного валу сервопривода (рад).

Структурна схема сервопривода відповідно до моделі (3) наведена на рис. 4.

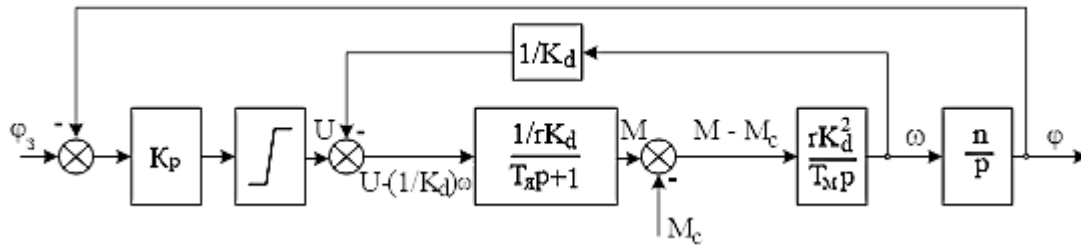


Рисунок 4 Структурна схема математичної моделі сервоприводу

Якщо розв'язати систему рівнянь (3) відносно  $\varphi$ , то отримаємо

$$\varphi(p) = \frac{\varphi_3(p) - r \frac{K_d}{K_p} (T_\gamma p + 1) M_c}{T_\gamma T_M T_c p^3 + T_M T_c p^2 + T_c p + 1}, \quad (4)$$

де  $T_c = \frac{1}{n K_d K_p}$ .

Підбором відповідного характеристичного полінома замкнутої системи (4) можна отримати задовільні динамічні властивості сервопривода (підбором величини коефіцієнта підсилення  $K_p$ ). Як еталонний поліном використаємо характеристичний поліном на основі бінома Ньютона [3]

$$H(p) = (p + \omega_0)^n, \quad (5)$$

де  $\omega_0$  – параметр полінома;  $n = 3$  – порядок полінома. Для забезпечення монотонності перехідного процесу без перерегулювання корні полінома (5) вибираєм кратні, дійсні та від'ємні. Порівнявши характеристичні поліноми (4) та (5) Знаходимо розрахункові співвідношення  $T_M = 1/\omega_0$ ;  $T_c = 3/\omega_0$ ;  $T_\gamma = 1/3\omega_0$ . Перехідна характеристика сервопривода при  $\omega_0 = 1$  представлена на рис. 5.

Порівнюючи перехідні характеристики на рис. 3 та рис. 5 бачимо, що інерційні властивості камери змішування на порядок кращі, чим сервопривода. Тому при синтезі системи управління необхідно ставити задачу стабілізації роботи сервоприводів каналів подачі теплого та холодного повітря в умовах високого рівня зовнішніх збурень.

Структурна схема математичної моделі об'єкта управління – камери змішування, при сумісній роботі з сервоприводами, що регулюють величину об'ємних потоків теплого та холодного повітря наводиться на рис. 6.

Результати моделювання камери змішування, при сумісній роботі з сервоприводами, виконаного в математичному пакеті MatLab (додаток Simulink), продемонстровані на рис. 7. Моделювання показало, що об'єкт управління має властивість самовирівнювання та значну інерційність, яка визначається динамічними характеристиками сервопривода.

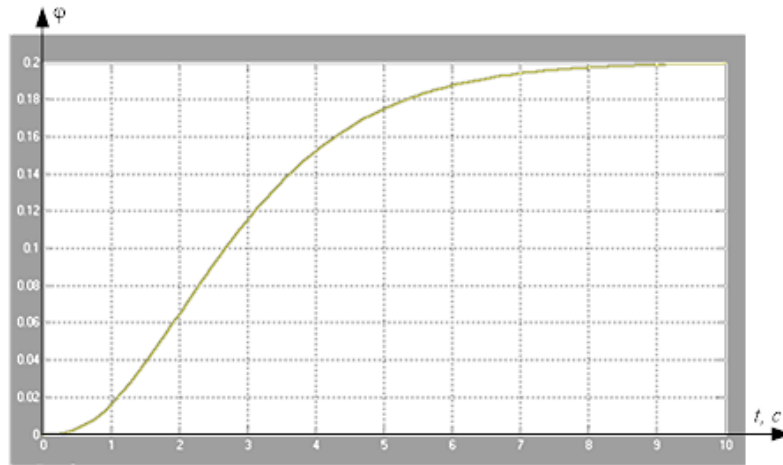


Рисунок 5 Перехідна характеристика сервоприводу за ступінчатоївхідного сигналу на величину  $\varphi=0.2$

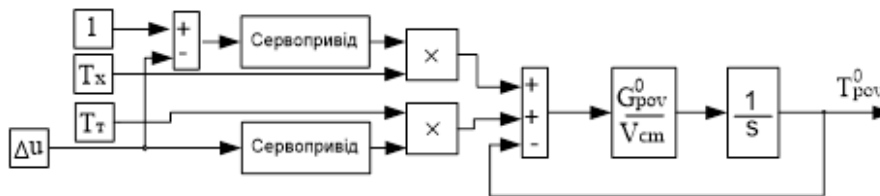


Рисунок 6 Структурна схема математичної моделі камери змішування за сумісної роботи з сервоприводами

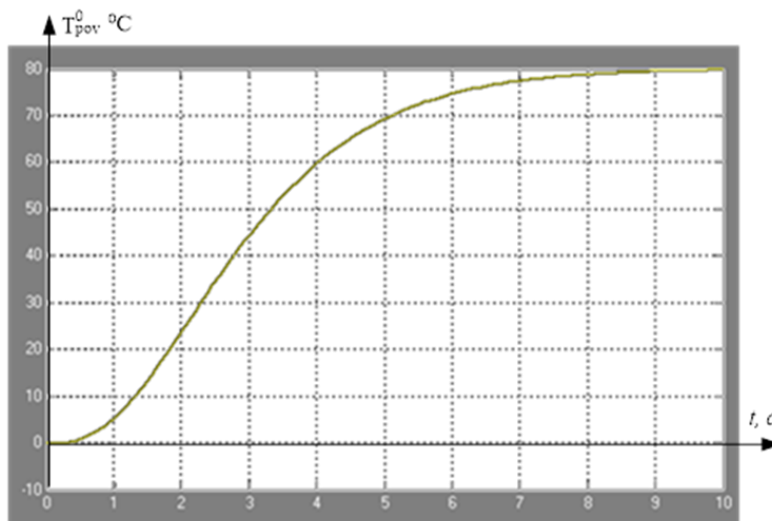


Рисунок 7 Перехідна характеристика камери змішування з сервоприводами за ступінчатої зміни сигналу керування  $\Delta u=1$ , що відповідає максимальній температурі

Структурна схема замкнутої системи управління температурою на вході до камерної сушарки  $T_{rov}^0$  наведена на рис. 8.

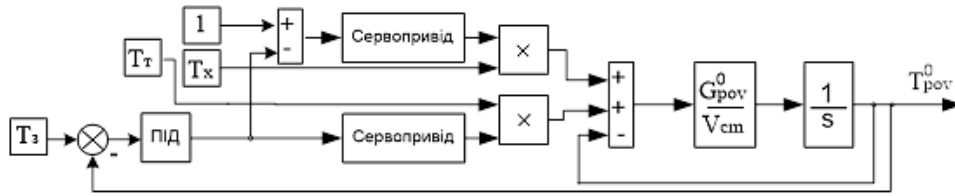


Рисунок 8 Структурна схема замкнутої системи управління температурою на вході в сушарку

Для оптимізації параметрів вибраного для регулювання ПІД-регулятора було прийнято рішення використати інструментальний пакет *Nonlinear Control Design Blockset* (NCD-Blockset), який надає графічний інтерфейс для знаходження таких параметрів динамічних об'єктів, що забезпечують бажану якість перехідних процесів [5]. Як засіб досягнення зазначеної мети приймається оптимізаційний підхід, базований на мінімізації функції штрафу порушення динамічних обмежень. За допомогою цього інструменту можна налаштовувати параметри нелінійної *Simulink*-моделі. Особливе значення має те, що в процесі налаштування враховуються невизначеності моделі параметричного типу, що дозволяє синтезувати робастні закони управління.

Динамічні обмеження задаються у візуальному режимі. На базі цих обмежень *NCD-Blockset* автоматично генерує задачу оптимізації так, щоб точка екстремуму в просторі параметрів, що налаштовувалися, відповідала виконанню всіх вимог, що пред'являються до якості перехідного процесу. Ця задача вирішується із залученням спеціалізованої процедури квадратичного програмування з пакету *Optimization Toolbox*. Хід оптимізації контролюється на екрані в вигляді графіка контрольованого процесу, а результат фіксується у робочому просторі.

Вихідні дані для виконання синтезу налаштувань ПІД-регулятора з математичним описом  $R(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s$ :

перерегулювання  $\sigma \leq 5\%$ ;

час перехідного процесу  $t_p \leq 2$  с.

Побудуємо *Simulink*-модель об'єкта управління відповідно до рис. 8 та з урахуванням підключення до виходу блока *NCD Output* як це показано на рис. 9.

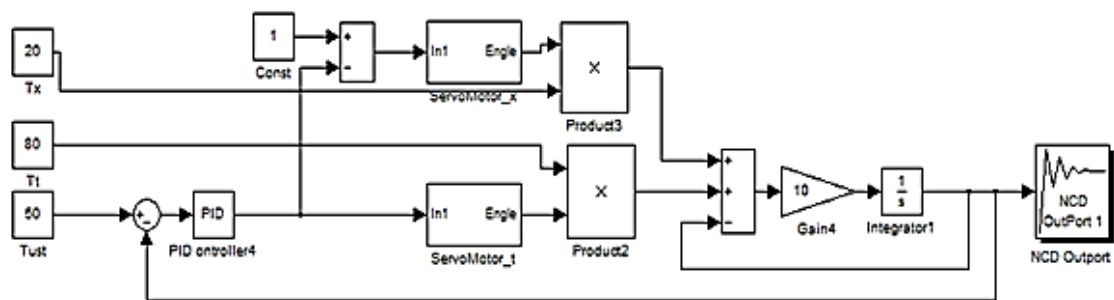


Рисунок 9 Структурна схема моделі замкнутої системи управління температурою на вході в сушарку в середовищі Simulink для оптимізації налаштувань

Відповідно до вихідних даних щодо якості перехідного процесу встановлюємо коридор, в межах якого повинен знаходитись вхідний сигнал блока *NCD Output* після оптимізації та запускаємо процес пошуку оптимальних налаштувань. Форма коридора та результати роботи інструментального пакета представлені на рис. 10.

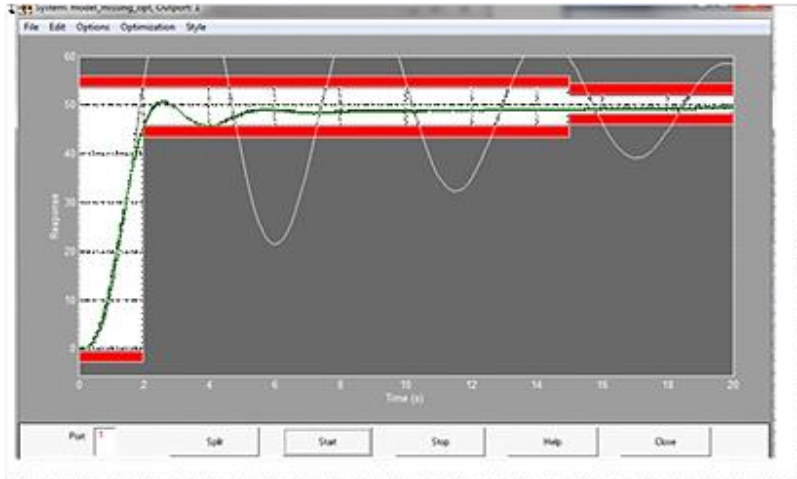


Рисунок 10 Форма заданого коридору та результати оптимізації налаштувань

Можна констатувати, що оптимізація налаштувань виконана успішно (на рис. 10 це демонструє крива, що знаходиться в межах коридора) і показники якості перехідного процесу не перевищують заданих значень (перехідна характеристика системи управління з фактичними показниками якості показана на рис. 11). Оптимальні для цього процесу параметри налаштувань ПІД-регулятора:  $K_p = 0,072$ ;  $K_i = 0,007$ ;  $K_d = 0,058$ .

В нормальних умовах процес сушіння матеріалу в камерній сушарці проходить в умовах наявності зовнішніх збурень двох видів:

високочастотні збурення температури теплого повітря, який поступає в камеру змішування від джерела нагрівання (пічні гази або теплообмінник);

низькочастотні збурення температури холодного повітря викликані добовими змінами температури атмосфери.

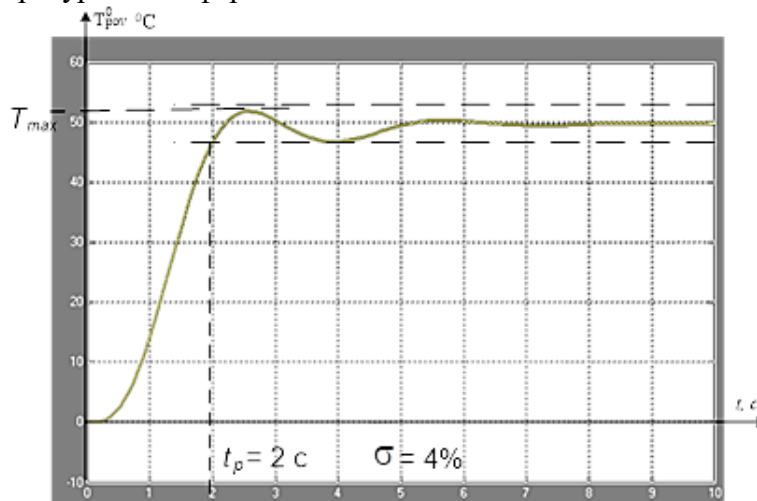


Рисунок 11 Оптимальний перехідний процес системи управління

Для імітації таких збурень та перевірки якості роботи системи управління в відповідних умовах була складена *Simulink*-модель системи (див. рис. 12), в якій до температури теплого повітря  $T_T$  добавляється високочастотний випадковий сигнал з амплітудою  $4^{\circ}\text{C}$ , до температури холодного повітря  $T_x$  добавляється синусоїдальний сигнал низької частоти з амплітудою  $10^{\circ}\text{C}$  (середньодобове відхилення температури).



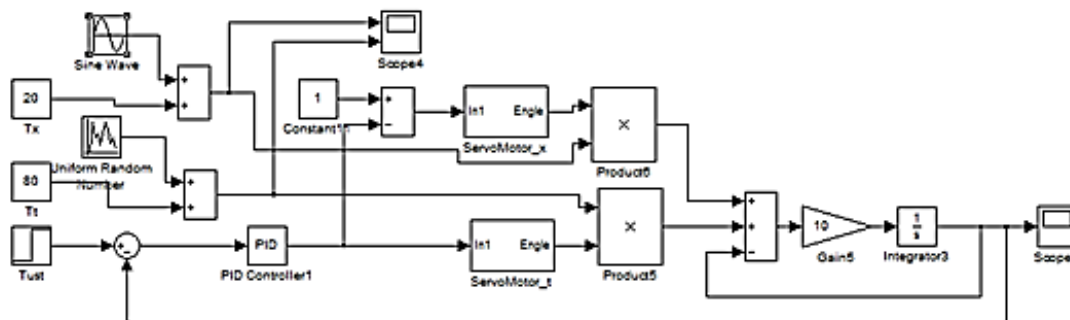


Рисунок 12 Структурна схема моделі замкнутої системи управління температурою на вході в сушарку в середовищі Simulink в умовах дії зовнішніх збурень

Форма вхідних збурень, що поступають в систему та результати роботи системи представлені на рис. 13.

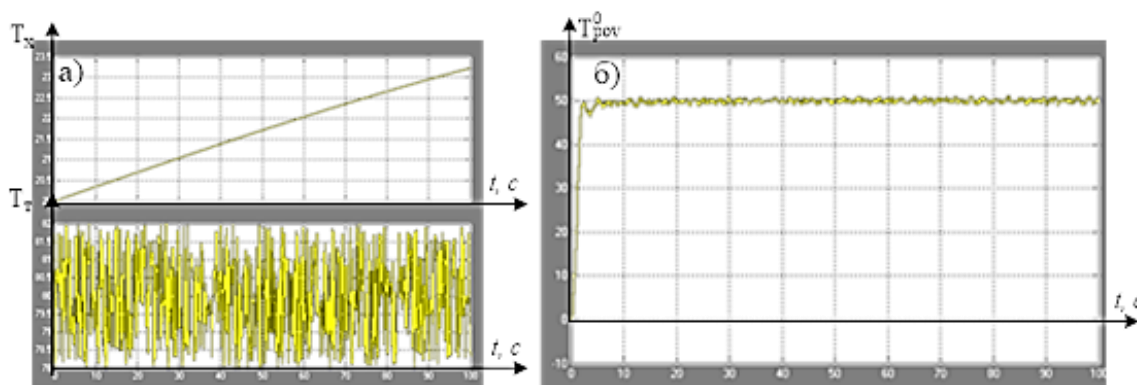


Рисунок 13 а) Вхідні збурення, б) перехідний процес системи управління

Імітаційне моделювання показує, що система управління температурою на вході в сушарку працездатна і має задовільні фільтруючі властивості.

#### Список літературних джерел

1 Г.М. Худолей, Д.І. Захарченко, П.О. Васильцов. Математична модель сушіння цегли-сирцю в камерній сушарці. Матеріали VIII Всеукраїнської науково-методичної конференції «ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО: РОЗВИТОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ» (Шостка, 27 квітня 2023 року), с. 136-141.

2 Математичне моделювання та застосування ЕОМ у хімічній технології: конспект лекцій / укладач Худолей Г.М. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 183 с.

3 Лазарев Ю. Ф. Моделювання на ЕОМ. Навч. посібник. – К.: Корнійчук, 2007. - 290 с.

4 Веремей Е.И, Погожев С.В. Электронное пособие "Nonlinear Control Design Blockset". <http://matlab.exponenta.ru/nonlinecondes/book1/index.php>.

## **ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ІНТЕРАКТИВНОЇ ПЛАТФОРМИ НАВЧАННЯ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ РИЗИКІВ ВІД ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ**

**Т.О. Левицька, Д.В. Кожан**

Приазовський державний технічний університет

Міни виявилися серйозною перешкодою для українських військових, сповільнюючи наступальні дії, пошкоджуючи бронетехніку. Для подолання мінних полів у Запорізькій і Донецькій області необхідні масштабні військово-інженерні операції, які є непростими навіть для найкраще оснащених армій.

Через це українські сили вимушені просуватися стримано, спочатку атакуючи російську артилерією та інші вогневі позиції, а вже потім намагаються йти в наступ, використовуючи лінійні заряди для розмінування та бронемашини з пугами.

Військові та гуманітарні сапери використовують дуже різні методи знешкодження мін, тому навіть після того, як українські військові прочищають смуги через мінні поля та відвойовують територію, ризик для цивільного населення залишається і може тривати десятиліттями.

Військові зазвичай позначають свої мінні поля на мапі, щоб їхні підрозділи знали, де небезпека. Це може полегшувати гуманітарне розмінування. В Україні більшість таких мінних полів розташовані біля лінії зіткнення, яка пролягає від кордону з Росією на сході, приблизно за 150 км на схід від Харкова, на південь і захід через Запорізьку область до Херсона ближче до узбережжя Чорного моря. Протяжність лінії становить тисячі кілометрів, і кількість мінних полів уздовж неї не встановлена.

Рівень засмічення мінами можна бачити там, де Україна відвоювала територію. В колись окупованих містах в Київській, Сумській, Чернігівській, Миколаївській та Харківській областях виявили багато мін, особливо протипіхотних

Військове призначення мін полягає в тому, щоб перешкоджати пересуванню ворога, змушуючи транспортні засоби та солдатів уникати певних ділянок, витрачати час на розмінування через ризик втрат. Упродовж зими російські війська неодноразово штурмували українське місто Вугледар, але атаки зупинили протитранспортні міни.

Коли армії наступають, то не прибирають всі міни. Натомість вони створюють смуги, через які можна наступати на позиції противника. Для цього військові можуть використовувати інструменти, які є швидшими та більш руйнівними, наприклад «лінійні заряди» – канати з вибухівкою, які вистрілюють в мінне поле і висаджують в повітря, щоб вибухали міни.

Насамперед, співпрацюючи з органами відповідної країни, фахівці провадять нетехнічне обстеження, щоб виявити рівні забруднення. Це передбачає спілкування в громадах, вивчення того, що люди бачили, чули та пережили, а також аналіз звітів і записів про бойові дії та позиції

Використовуючи дані опитування, експерти позначають на мапах багатокутники, що показують зони, на яких треба зосередитися.

Наступний крок – технічне обстеження, яке передбачає пошук меж мінних полів за допомогою такого обладнання як георадари і металодетектори. Фахівці з розмінування кажуть, що виявляти вибухівку можуть навчені собаки і щурі.

А тоді починається розмінування, в якому пріоритет надається територіям, важливим для місцевого населення, таким як сільськогосподарські угіддя, джерела

води, населені пункти та дороги. За словами Коморовського, є два загальні типи очищення, які обидва вимагають висококваліфікованих працівників у захисному спорядженні:

Таким чином в країні стає гостре питання щодо виявлення мін та їх розмінування. Основна загроза яка стає перед цивільним населенням полягає в тому щоб вчасно помітити міну та проінформувати служби, що займаються розмінуванням. Це значить, що діти та дорослі повинні буде обізнаними у тому, яким чином може їм погрожувати небезпека. Тому навчання з попередження ризиків від вибухонебезпечних предметів є актуальним питанням сьогодення в Україні.

На сьогоднішній день інтерактивне навчання за допомогою різних платформ є найпопулярнішим видом навчання[1-3]. Це пов'язано з технічними особливостями та частковим онлайн навчання в Україні. Ці платформи збагачують результати навчання, пропонуючи різноманітні функції, такі як мультимедійний вміст, тести, зворотній зв'язок у реальному часі та інструменти для співпраці. Але спільним серед платформ інтерактивного навчання є те, що вони роблять навчання більш привабливим, доступним та ефективним. Інтерактивне навчання допомагає зробити навчальний процес більш спільним і дає здобувачам більше шансів взаємодіяти один з одним у змістовний спосіб. Згодом це допомагає їм краще підготуватися до багатьох викликів, з якими вони зіткнуться пізніше в житті[4-5].

Оскільки головною тематикою інтерактивного навчання в цій роботі було обрано саме виявлення вибухонебезпечних предметів, то слід розуміти, що найбільший ризик зустріти міну є у покинутих будинках, на вулицях, на дитячих майданчиках, у полях, лісах, на узбіччях доріг. Особливо пильними треба бути людям, які повертаються додому після завершення там бойових дій.

Основою є безпека людини, тому якщо людина помітила вибухонебезпечних предмет то у жодному разі не слід торкатися підозрілого предмета. Не слід намагатися доторкнутися (рукою, ногою чи іншим предметом), перемістити, підняти чи знешкодити підозрілий предмет. Не слід чіпати покинуту техніку. Необхідно відійти на безпечну відстань, тримати дистанцію від підозрілого предмета щонайменше 100 метрів та позначити місце, де є підозрілий предмет. Можна позначте ціпками, одягом, камінням тощо місцезнаходження підозрілого предмета. Обов'язково слід попередити про знахідку інших осіб поряд та проінформувати про знахідку офіційні канали.

Таким чином з перелічених переваг інтерактивного навчання та з урахуванням основної тематики якої будуть навчатися здобувачі хочеться відмітити додатково те, що здобувачі можуть перевірити свої навички, вчитися методом проб і помилок і уникати помилок, які можуть дорого коштувати їм, оскільки навчання виявленню вибухонебезпечних предметів пов'язано напряму з ризиком втрати життя [6-7].

Об'єктом в даній роботі виступає процес формування та навчання моделі та створення баз знань для вирішення завдання навчання з попередження ризиків від вибухонебезпечних предметів.

Предметом виступають методи та підходи до проектування та формування інтерактивної платформи, за допомогою яких буде вирішуватися завдання навчання з попередження ризиків від вибухонебезпечних предметів.

Метою даної роботи є створення та навчання моделі, що полягає в основі інтерактивної платформи навчання з попередження ризиків від вибухонебезпечних предметів.

Для досягнення встановленої на роботу мети необхідно вирішити наступні необхідні завдання:

ознайомитися з аудиторією та цілями для вибору інтерактивних елементів для включення у онлайн-модулі інтерактивної платформи навчання;

обрати методи для побудови інтерактивної платформи для навчання з попередження ризиків від вибухонебезпечних предметів;

визначити модель машинного навчання для виявлення вибухонебезпечних предметів, що буде покладено в основу математичної моделі платформи, що розробляється;

визначити алгоритм навчання який ляже в основу інтерактивної платформи;

виконати проектування інтерактивної платформи навчання з попередження ризиків від вибухонебезпечних предметів;

побудувати структурну модель програмного забезпечення, що розробляється;

розробити програмний продукт відповідно до розробленої математичної моделі, в основі якого покладено розроблений алгоритм;

провести ряд комп'ютерних експериментів для перевірки роботи розробленої системи.

Оскільки головною задачею навчання є виявлення вибухонебезпечних предметів то було вирішено в моделі додати визначення типу міни. Було вирішено використовувати дерева рішень.

Дерево рішень – спосіб автоматичного аналізу великих масивів даних, а також ефективний інструмент інтелектуального аналізу даних та передбачуваної аналітики. Він допомагає у вирішенні завдань із класифікації та регресії.

Переваги:

- формують чіткі та зрозумілі правила класифікації, тобто дерева рішень добре та швидко інтерпретуються;
- здатні генерувати правила в областях, де фахівцю важко формалізувати свої знання;
- легко візуалізуються, тобто можуть «інтерпретуватися» не лише як модель загалом, а й як прогноз для окремого тестового суб'єкта (шлях у дереві);
- швидко навчаються та прогнозують;
- не потрібно багато параметрів моделі;
- підтримують як числові так і категоріальні ознаки.

Недоліки:

- дерева рішень чутливі до шумів у вхідних даних. Невеликі зміни навчальної вибірки можуть призвести до глобальних коригувань моделі, що позначиться зміні правил класифікації та інтерпретованості моделі;
- розділяюча межа має певні обмеження, через що дерево рішень щодо якості класифікації поступається іншим методам;
- можливе перенавчання дерева рішень, через що доводиться вдаватися до методу «відсікання гілок», встановлення мінімальної кількості елементів у листі дерева або максимальної глибини дерева;
- складний пошук оптимального дерева рішень: це призводить до необхідності використання евристики типу жадібного пошуку ознаки з максимальним

приростом інформації, які зрештою не дають 100% гарантії знаходження оптимального дерева;

- дерево рішень робить константний прогноз для об'єктів, що знаходяться в ознаковому просторі поза паралелепіпедом, який охоплює не всі об'єкти навчальної вибірки.

Окрім дерев рішень, що виступають у якості інструменту для виявлення типу вибухонебезпечного предмета в роботі ще використовується візуальний аналіз. Оскільки саме візуальний аналіз дозволяє по виборці даних виявити закономірності, що належать кожному класу, що підвергається аналізу.

Тобто візуалізація даних – це процес використання візуальних елементів, таких як діаграми, графіки чи карти для подання даних. Він переводить складні, масштабні чи числові дані у візуальне уявлення, яке легше обробляти. Інструменти візуалізації даних покращують та автоматизують процес візуальної передачі даних для забезпечення точності та деталізації. За допомогою візуального аналізу можна використовувати візуальні уявлення для отримання практичних висновків з необроблених даних.

### **Список літературних джерел**

1 O. V. Klochko, S. V. Tkachenko, I. M. Babiichuk, V. M. Fedorets, T. V. Galych Using Virtual Reality Technologies for Teaching Computer Science at Secondary School, 17th International conference on ict in education, research and industrial applications, 5th International Workshop on Methods, Resources and Technologies for Open Learning and Research (MROL 2021), September 28 – October 02, 2021, Kherson, Ukraine, p. 467-479.

2 Samer Skaik, Rokhsana Jahan Tumpa A Case Study of the Practical Implications of Using Interactive Technology in Teaching International Postgraduate Students, Skaik & Tumpa / Contemporary Educational Technology, 2 2022, 14(1), ep335, p. 1-17, <https://doi.org/10.30935/cedtech/11372>

3 Faiz Tuma, The use of educational technology for interactive teaching in lectures, Published online, 2021, p. 231–235, doi: 10.1016/j.amsu.2021.01.051.

4 Salsabil Hassan, Hani Obeidat, The Effectiveness of Using Interactive Video on Teaching Social and National Education in Developing Students Visual Thinking, Journal of Positive School Psychology, 2022, Vol. 6, No. 6, 6219 – 6230.

5 I –Jui Lee, Hsiu-Ting Hsu, Applied the augmented reality technology combined with social stories strategies and computational thinking games to improve the social skills of children with ASD, Interactive Learning Environments, 2023 p. 1-29 <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2258942>.

6 Pan Ai-Jou, Huang Yu-Che, Lai Chin-Feng, Constructing hands-on distance labs: the development and implementation of an Intelligent Learning Management System (ILMS-d) in undergraduate IoT courses, Interactive Learning Environments, 2023, p. 1049-4820, <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2263061>.

7 Dashtestani Reza, Mohamadi Ahmad, In-service teachers' conceptualization of implementing interactive learning in online and face-to-face teaching contexts: challenges and opportunities, Interactive Learning Environments, 2023, p. 1049-4820, <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.22552>

СЕКЦІЯ 6  
Хімія та фармацевтика

SECTION 6  
Chemistry and pharmaceuticals



**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
ВИРОБНИЦТВА СУБСТАНЦІЇ НАФАЗОЛІНУ НІТРАТУ З МЕТОЮ  
ЗМЕНШЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛИШКОВИХ РОЗЧИННИКІВ**

**Т.М. Соломінчук<sup>1,2</sup>, В.В. Рудюк<sup>1</sup>, Л.В. Сидоренко<sup>2</sup>, В.А. Георгіянець<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>АТ «Фармак», м. Київ

<sup>2</sup>Національний фармацевтичний університет, м. Харків  
t.solominchuk@farmak.ua

Розробка нових фармацевтичних продуктів шляхом органічного синтезу протягом останнього століття сприяла революції в медицині, дозволивши різко скоротити число госпіталізацій та смертей. Однак це досягнення є помилковим, якщо це негативно впливає на навколишнє середовище. Виробництво хімічних речовин може призвести до утворення значної кількості побічних продуктів і забрудників, наприклад забруднені розчинники, які мають негативний вплив на навколишнє середовище. Проте, останнім часом у зв'язку зі збільшенням уваги до «зеленої хімії», хіміки, що займаються органічним синтезом, зосередили свою увагу та творчу енергію на мінімізації впливу побічних продуктів синтезу на навколишнє середовище [1, 2]. Розчинникам приділяється велика увага в рамках екологічної хімії, оскільки органічні розчинники постійно присутні в процесах фармацевтичного виробництва. Фармацевтична промисловість є одним із найбільших споживачів органічних розчинників на кількість кінцевого продукту [3, 4]. Вони зазвичай використовуються на будь-якому етапі синтезу активних компонентів або допоміжних речовин, а іноді і в процесі виробництва готового лікарського засобу. З токсикологічних міркувань виробники прагнуть мінімізувати кількість розчинників, що застосовуються під час виробництва лікарських засобів. Крім того, що вони не мають терапевтичного значення, вони можуть додатково прискорити розкладання продукту. Вимоги до вмісту органічних розчинників наведені у фармакопеях та настановах ІСН, визначають максимально допустимі кількості органічних розчинників у фармацевтичних продуктах [5–7].

Вибір розчинників для синтезу активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) є окремою темою та вимагає великого обсягу експериментальних досліджень. У синтезі лікарських речовин розчинники становлять більшу частину реакційної маси в хімічному процесі. Тому обмеження їх кількості та вибір розчинників з мінімальним впливом на навколишнє середовище є найефективнішими важелями зменшення впливу активного фармацевтичного інгредієнта на навколишнє середовище. Звичайно, оптимальним є проведення реакцій без розчинника або у водному середовищі, проте це є можливим для досить невеликої кількості органічних реакцій.

Вибір розчинника безпосередньо пов'язаний з безпекою та якістю субстанції, що синтезується. Для мінімізації вмісту розчинників в кінцевій субстанції одним з ключових факторів є вибір природи та кількості розчинника, що забезпечує повноту перебігу реакції, ефективно очищення від домішок в процесі кристалізації та легко відганяється з реакційного середовища.

На АТ «Фармак» для синтезу субстанції Нафазоліну нітрат (торгова назва «Нафтизин») використовуються наступні розчинники: 1,2,4-трихлорбензол, 2-пропанол, а також реактив етаноламін, вміст яких контролюється в фармакопейному продукті за такими критеріями прийнятності:

- етаноламіну – не більше 0,05 %;

- 1,2,4-трихлорбензолу – не більше 0,036 %;
- 2-пропанолу – не більше 0,5 %.

Найбільш токсичним з використовуваних розчинників є 1,2,4-трихлорбензол (далі – 1,2,4-ТХБ). За даними Агенції з охорони довкілля США (U.S. Environmental Protection Agency) 1,2,4-ТХБ належить до групи D «Недостатньо інформації для оцінки канцерогенного потенціалу». В токсикологічних дослідженнях пероральне введення 1,2,4-Трихлорбензолу мишам, самцям та самкам (лінія B6C3F1) сприяло зростанню частоти гепатоцелюлярної карциноми та аденоми. В той же час, існуючі дані не підтверджують мутагенну активність 1,2,4-Трихлорбензолу, та, згідно експертних висновків, канцерогенний потенціал, ймовірно, обумовлений його цитотоксичними ефектами [8]. У піддослідних тварин більшість хлорованих бензолів індукують мікросомальні ферменти печінки і викликають порфірію, гіпертрофію і централобулярний некроз печінки. Хлоровані бензоли можуть викликати пошкодження нирок, зміни слизових оболонок і подразнення верхніх дихальних шляхів, залежно від шляху і часу введення, а також від застосованої дози [9, 10].

Також виробництво та використання трихлорбензолів як розчинників, хімічних проміжних продуктів і носіїв барвників призвело до їх викиду в навколишнє середовище. Трихлорбензоли також можуть потрапляти в навколишнє середовище опосередковано в результаті розкладання вищих хлоробензолів (тетрахлорбензолу, пентахлорбензолу та гексахлорбензолу) та пестициду ліндану ( $\gamma$ -гексахлорциклогексану) [11].

Саме тому контроль розчинників синтезу є актуальним для забезпечення якості та безпечності готової субстанції, а значить і готового лікарського засобу.

Метою роботи є підтвердити максимально повне очищення субстанції Нафазоліну нітрат від розчинників, які використовуються в процесі її виробництва, шляхом встановлення часу проведення конденсації та об'єму відіганого азеотропу, і подальшим визначенням їх кількісного вмісту у кінцевому продукті.

Для проведення реакції використовувалось стандартне скляне лабораторне обладнання (трехгорла колба, насадка для перегонки, зворотній та низхідний холодильники) та комерційно доступні реактиви (в дужках вказані їхні виробники та чистота): альфанафтилоцтова кислота (Shenzhen Nexconn Pharmatechs Ltd, 99,0 %), етилендіамін (Nouryon Functional Chemicals AB, 99,6 %), етилендіамін дихлорхлорид (Merck KGaA, 100,0 %), етаноламін (Sigma Aldrich, 99,8 %), 1,2,4-трихлорбензол (Sigma Aldrich, 99,97 %), 2-пропанол (Sigma Aldrich, 99,9 %), *N,N*-диметилформамід (Sigma Aldrich, 99,9 %), оцтова кислота льодяна (Sigma Aldrich, 99,9 %), кислота хлорна 0,1 М (Merck), кислота хлористоводнева 1 М (Supelco), гідроксид натрію 1 М (Supelco), етанол 96 % (концерн «Укрспирт», 96,3 %).

Для проведення аналізів використовувались наступні прилади: газовий хроматограф Agilent Technologies 7890 B з колонкою кварцевою капілярною РТА-5 (Agilent Technologies), титратор Mettler Toledo T 70, рН-метр Mettler Toledo Seven Compact S220, вимірювач температури плавлення Mettler Toledo MP-70, ваги аналітичні Mettler Toledo MS104S.

Аналіз проводили відповідно до монографій європейської фармакопеї на дані субстанції (Ph. Eur. 0147 Нафазоліну нітрат та Ph. Eur. 0730 Нафазоліну Гідрохлорид) [12].

Аналіз кількісного вмісту органічних розчинників проводили за допомогою газового хроматографа з полуменево-іонізаційним детектором. Випробовуваний розчин готували з концентрацією 200 мг/мл в *N,N*-диметилформаміді, а розчини порівняння з наступними концентраціями: 1 мг/мл 2-пропанолу, 0,2 мг/мл етаноламіну та 0,072 мг/мл 1,2,4-трихлорбензолу в *N,N*-диметилформаміді.

Під час синтезу Нафтизину на підприємстві АТ «Фармак» технологічний процес складається з наступних послідовних стадій синтезу:

- одержання хлоргідрату 2-( $\alpha$ -нафтилметил)-імідозоліну (Нафтизину гідрохлорид);
- одержання субстанції Нафтизину нітрату технічного;
- одержання Нафтизину нітрату фармакопейного.

Перша стадія полягає у реакції конденсації  $\alpha$ -нафтилоцтової кислоти з етилендіаміну гідрохлоридом, яку проводять при відгонці азеотропної суміші 1,2,4-ТХБ та води, яка утворюється при реакції. Для можливості встановлення часу конденсації було проведено лабораторний дослід з використанням 260 мл 1,2,4-ТХБ. Закінчення конденсації контролювали, вимірюючи об'єм відігнутого азеотропу протягом певного періоду часу (Таблиця 1). Як видно з таблиці, загальний час конденсації становив близько 5 годин.

Таблиця 1 Контроль процесу відгонки

Час, год	Температура, °C			Об'єм фракцій відігнутого азеотропу, мл	
	$t_{\text{бани}}$	$t_{\text{маси}}$	$t_{\text{пару}}$	Вода	1,2,4-ТХБ
0	220	178	н/в	0	0
1	212	183	100	6	1,6
1,5	218	190	101	6,4	1,7
2	218	193	83	7,2	1,9
2,5	232	200	106	8,7	2,1
3	256	211	115	10	3,5
3,5	260	211	110	11,5	4,5
4	275	213	213	12	120
4,5	275	213	213	13	124
5	270	213	214	14	130

Технічний напівпродукт (Нафтизину гідрохлорид) кристалізують з водного розчину 2-пропанолу, в якому 1,2,4-ТХБ добре розчинний, що забезпечує видалення його залишкових кількостей з отриманого продукту.

Одержання технічного Нафазоліну нітрату проводять використовуючи етаноламін як основу та азотну кислоту. Залишок етаноламіну, що не прореагував, нейтралізують надлишком азотної кислоти, в результаті чого в ході даної реакції утворюється добре розчинна у воді сіль, що забезпечує відсутність етаноламіну в кінцевому продукті. Згідно таблиці 2 результати кількісного визначення залишкових кількостей розчинників показує їх відсутність у кінцевому продукті. Крім того, зазначених розчинників не було виявлено в жодній з 11 комерційних серій, що підтверджує повне очищення від них на стадіях отримання субстанції. Результати аналізу напівпродукту (Нафтизину гідрохлорид) та кінцевої субстанції (Нафтизину нітрат) наведено у Таблиці 2.

Таблиця 2 Результати контролю напівпродукту та кінцевої субстанції

Показники якості	Субстанція	
	Напівпродукт: Нафтизину гідрохлорид	Кінцева субстанція: Нафтизину нітрат
Температура плавлення	257,9 °С	169,8 °С
Втрата в масі при висушуванні	0,55 %	0,3 %
pH	н/в	6,24
Кількісне визначення	99,8 %	100,1 %
Залишкові кількості органічних розчинників - 1,2,4-ТХБ - етаноламін - 2-пропанол	н/в	н.м.в.* н.м.в. н.м.в.

\*: н.м.в. – нижче межі виявлення.

Як видно з Таблиці 2, відсутність 1,2,4-ТХБ (на рівні нижче межі виявлення) у субстанції Нафтизину нітрат фармакопейний підтверджує, що контроль об'єму азеотропу при відгонці позитивно впливає на якість кінцевого продукту.

У даній роботі підтверджено повне очищення субстанції Нафазоліну нітрат від розчинників, які використовуються при її виробництві, шляхом контролю об'єму відігнутого азеотропу на стації конденсації. Проведений аналіз кількісного вмісту розчинників в готовій субстанції методом газової хроматографії підтверджує їхню повну відсутність.

#### Список літературних джерел

1. Anastas, P.T.;Williamson, T.C., Eds.; Green Chemistry: Frontiers in Benign Chemical Syntheses and Processes;Oxford University Press: Oxford, UK, 1998.
2. Anastas, P.;Warner, J., Eds.; Green Chemistry: Theory and Practice;Oxford University Press: Oxford, UK, 1998.
3. Constable, D.J.C., Jimenez-Gonzalez, C., and Henderson, R.K. (2007). Perspective on solvent use in the pharmaceutical industry. *Org. Process. Res. Dev.* 11, 133–137. <https://doi.org/10.1021/op060170h>.
4. Dunn Peter, J., Wells Andrew, S., and Williams, Michael T. (2010). Future trends for green chemistry in the pharmaceutical industry. *Green Chemistry in the Pharmaceutical Industry* – in: *Green Chemistry in the Pharmaceutical Industry*; editors: Peter J. Dunn, Andrew S. Wells, and Michael T. Williams (Wiley Online Books). <https://doi.org/10.1002/9783527629688.ch16>.
5. ICH Q3C Guideline, Impurities: Residual solvents.
6. United States Pharmacopeia. Residual Solvents <467>.
7. European Pharmacopoeia 11th Edition, 2.4.24. Identification and control of residual solvents.
8. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for 1,2,4-Trichlorobenzene (CASRN 120-82-1) EPA/690/R-09/065F Final 6-16-2009.
9. T. R. Torkelson, V. K. Rowe in G. D. Clayton, F. L. Clayton (eds.): *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, 3rd ed., vol. 2 B, Wiley-Interscience, New York 1981, pp. 3433–3601.
10. American Conference of Governmental Industrial Hygienists Inc. Documentation of the Threshold Limit Values 1980 (With Annual Supplements) 6500 Glenway Bldg. D-5, Cincinnati, OH 45211.
11. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp199-c2.pdf>.
12. European Pharmacopoeia (2023). Available at: <https://pheur.edqm.eu/>

## НОВІ ГІДРАЗОНИ ТА СЕМІКАРБАЗОНИ – ПОХІДНІ 2-АЦИЛ-1,3-ІНДАНДІОНІВ

М.В. Мельниченко<sup>1</sup>, В.В. Листван<sup>1</sup>, Г. Литвиненко<sup>2</sup>,  
М. Цибуларчик-Цецотка<sup>2</sup>, К.В. Листван<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Житомирський державний університет імені Івана Франка

<sup>2</sup>Варшавський університет

<sup>3</sup>Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

masha.melnychenko16@gmail.com

Вивчення похідних похідних 1,3-індандіону почалися ще в минулому столітті, проте незважаючи на це інформації в літературних джерелах не так багато, а дані речовини приваблюють хіміків-органіків та біологів і в наш час.

Продукти взаємодії ацильованих 1,3-індандіонів з аміносполуками є досить цінними речовинами для медичної та фармацевтичної галузі, оскільки конкретні представники вже запатентовані як протипухлинні, спазмолітичні, протизапальні, протиракові препарати, а також можуть застосовуватися як гербіциди, родентициди та інсектициди. [1,4,5,7,9,10]

Метою даної роботи є синтез 2-ацил-1,3-індандіонів та одержання гідразонів та семікарбазонів на їх основі, враховуючи хімічну будову та властивості, а також дослідження антиоксидантної активності одержаних речовин.

Індан-1,3-діони мають досить цікаву особливість – наявність кето-енольної таутомерії, що дозволяє деяким речовинам перебувати у різних формах та проявляти різні хімічні властивості, а звідси і фізіологічні. Тобто, ці речовини можуть бути у формі кетону або енолу або ж знаходитися у рівновазі між обома формами чи переходити з однієї форми в іншу. [3]

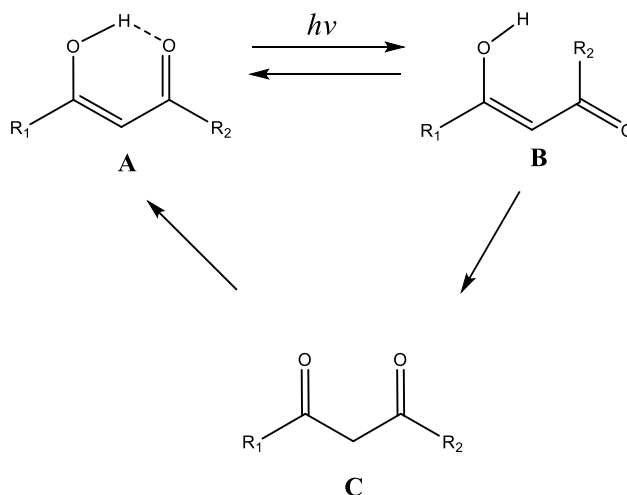


Рисунок 1 Перехід між різними формами 1,3-дикетонів під впливом УФ-випромінювання  $R_1$  та  $R_2$  – ацильні або арильні замісники

Традиційним методом синтезу 2-ацил-1,3-індандіонів вважається конденсація Кляйзена при нагріванні, яка полягає у взаємодії діетилфталату з відповідним кетоном, де одержуємо 2-ацил-1,3-індандіон, який нас цікавить та етиловий спирт як побічний продукт. У якості каталізатора зазвичай використовують натрій метилат. [3,8]

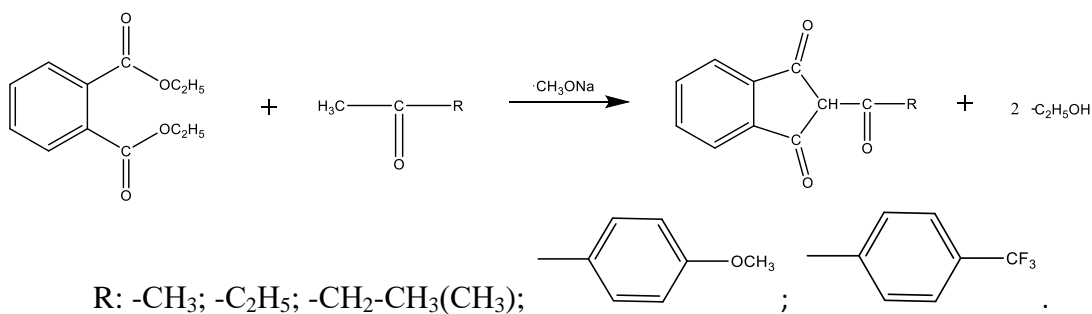


Рисунок 2 Схема перебігу конденсації Кляйзена

На початковому етапі ми спробували синтезувати похідні 1,3-індандіону конденсацією при охолодженні, проте дана методика зазнала невдачі, оскільки було отримано трансестерифікований діетилфталат. Проте конденсація при підвищенні температури пройшла без жодних проблем. Також слід зазначити, що в літературі [8] вказано, що у ролі каталізатора найкраще застосовувати свіжоприготовлений натрій метилат, оскільки це значно підвищує вихід продукту. Ми ж не готували натрій метилат, а використали придбаний і це ніяк не вплинуло на перебіг реакції та на вихід чи чистоту продукту.

Тож, таким способом нам вдалося синтезувати 5 ацильованих індандіонів з різними замісниками – алкільними, алкільними розгалуженої будови та ароматичними. Отримані продукти з алкільними замісниками є досить легко розчинними в етанолі, проте продукт з алкільним замісником розгалуженої будови розчиняється ще легше, що ж стосується продуктів із замісниками ароматичної будови, то в цьому випадку є певні труднощі, оскільки за звичайних умов ці речовини не є повністю розчинними, оскільки при нагріванні розчиняються, але при охолодженні за звичайних умов одразу кристалізують.

2-Ацил-1,3-індандіони є лише проміжними продуктами (у нашому випадку) для отримання більш цінних за фізіологічними властивостями речовин – гідразонів та семікарбазонів. Реакцію проводять у спиртовому розчині та при нагріванні.

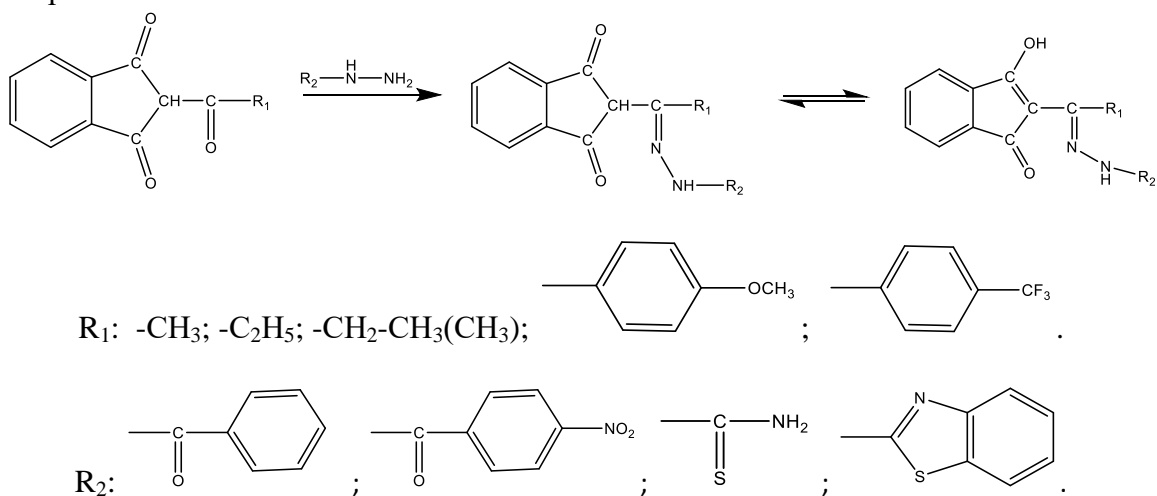


Рисунок 3 Схема перебігу реакції між 2-ацил-1,3-індандіонами та аміносполуками



В результаті взаємодії 2-ацил-1,3-індантіонів з первинними амінами утворюються іміни, а реакція в цьому випадку протікає трохи важче.

Нам вдалося синтезувати 16 таких аміносполук із 20 запланованих. Ацильовані похідні 1,3-індантіону з алкільними замісниками реагували значно легше, ніж із ароматичними, що скоріш за все пов'язано з їх розчинністю, а при взаємодії тіосемікарбазиду та 2-гідразинобензотіазолу з похідною одержаною на основі 4-метоксиацетофенону було одержано речовини, котрі виявилися нерозчинними ні в одному розчиннику, тому дослідити ці речовини не вдалося. При спробах провести колонкову хроматографію для серії цих речовин для їх очищення, на виході ми одержували більш забруднені речовини, ніж до хроматографії. Ймовірно, при проходженні через силікагель ці речовини вступали у взаємодію. На жаль, причину такого процесу нам не вдалося встановити.

За даними ЯМР серед отриманих семікарбазонів та гідразонів 12 речовин знаходяться у формі енолу та 4 у формі кетону, про що свідчать сигнали спектрів  $^1\text{H}$ .

Слід зазначити, що проблема також полягала у розчиненні цих сполук для подальших досліджень антиоксидантної активності. Якщо похідні ацильованого індантіону розчинялися або слабо розчинялися в етанолі, то з одержаних гідразонів та тіосемікарбазонів вдалося розчинити лише три сполуки. Інші ж частково або повністю розчинялися лише в ДМСО за винятком декількох речовин, котрі не розчинилися в жодному розчиннику.

Дослідження антиоксидантної активності ми проводили двома методами: методом DPPH та методом зупиненого потоку, котрі полягають у взаємодії вільного радикалу DPPH з досліджуваною речовиною.

Метод DPPH [6] полягає у вимірюванні інтенсивності забарвлення вільного радикалу до та після взаємодії з досліджуваною речовиною із пурпурно-синього на світло-жовте. Оптична густина вимірюється спектрофотометрично, а інтенсивність забарвлення розчину зменшується відповідно до зменшення концентрації вільного радикалу. За допомогою цього методу було встановлено, що 5 синтезованих речовин проявляють високу антиоксидантну активність на рівні тролоксу. Це речовини, що належать до класу S-тіосемікарбазонів та бензотіазолгідразонів. Досліджувані речовини розчиняли у ДМСО.

Метод зупиненого потоку полягає у відстеженні швидкості хімічних реакцій у часовому масштабі від мілісекунд до секунд. В цьому випадку реакція між досліджуваною речовиною та вільним радикалом DPPH проводиться у спиртовому розчині (етанол у нашому випадку). Першим етапом процесу є змішування двох розчинів та надходження їх у змішувач, далі ініціюється швидка реакція між речовинами, а потім змішаний розчин надходить у комірку для спостереження. Час, що необхідний для проходження розчину від точки змішування до точки спостереження називається мертвим часом. Також у даному методі є важливим дотримання температурних умов.[2]

Швидкість хімічної реакції пов'язана з концентрацією реагентів. Ми готували розчин DPPH з концентрацією 40  $\mu\text{M}$  та розчини досліджуваних речовин з концентрацією 5  $\text{mM}$ . Концентрація розчину вільного радикалу не змінювалася протягом всього дослідження, а концентрацію розчину досліджуваної речовини ми знижували, проводячи 5-8 розведень для однієї речовини та засікаючи час

проходження реакції. Після цього обчислювали константу швидкості кожної реакції при зміні концентрації.

З усіх одержаних гідразонів та семікарбазонів дослідження було проведено для наступних речовин:

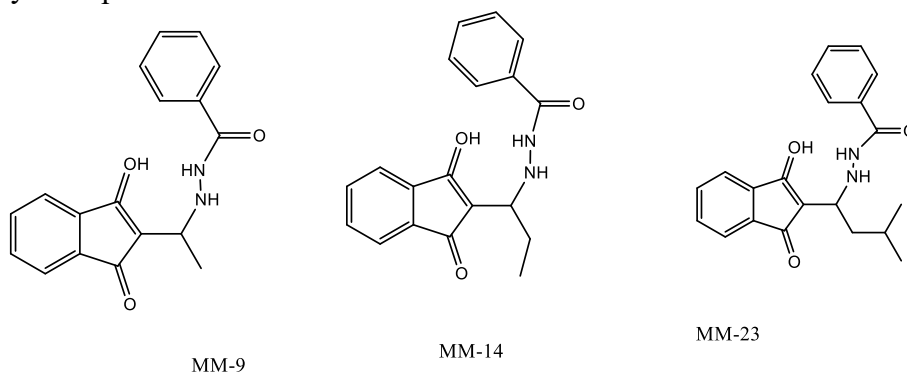


Рисунок 4 Формули гідразонів, що досліджувалися методом зупиненого потоку

Також ми спробували змінити середовище, додаючи в розчин етанолу спочатку водний розчин NaOH, а потім окремо провели дослідження додавши CH<sub>3</sub>OH.

Таблиця 1 Результати дослідження одержаних гідразонів методом зупиненого потоку

Речовина	Розчинник	$k^s/M^{-1}s^{-1}$
MM-9	EtOH	9.1
MM-9	EtOH/NaOH	26.0
MM-9	EtOH/CH <sub>3</sub> COOH	1.96
MM-14	EtOH	6.03
MM-14	EtOH/CH <sub>3</sub> COOH	42.29
MM-23	EtOH	2.66
MM-23	EtOH/CH <sub>3</sub> COOH	32.76

За даними таблиці можемо зробити висновок, що зміна середовища впливає на швидкість проходження реакції між розчином DPPH та розчином досліджуваної речовини, оскільки зміна середовища впливає на перехід речовини до форми кетону або енолу, що є наслідком кето-енольної таутомерії.

Якщо говорити про зв'язок даного методу із антиоксидантною активністю, слід зазначити, що швидкість реакції показує наскільки швидко дані речовини будуть уповільнювати процеси окиснення в живих організмах та при яких концентраціях цей процес буде найбільш ефективним.

Отже, з огляду на хімічні та фізіологічні властивості похідні 2-ацил-1,3-індантіонів є досить цікавими сполуками. Проте зважаючи на нерозчинність окремих представників провести дослідження щодо їх фізіологічної дії в повній мірі не вдалося. З огляду на це речовини, що містять у своїй будові ароматичні замісники потребують більш тривалого та детального дослідження, на відміну від представників, котрі мають у своїй будові алкільні замісники та охоче вступають у реакції і досить добре розчиняються навіть в етанолі. Дана тема є досить актуальною для сьогодення і майбутнього, оскільки наявність енольної форми

даних сполук дає змогу одержати препарати на їх основі для лікування багатьох паталогічних розладів, даючи прогрес медицині.

#### Список літературних джерел

- 1 Deady LW, Desneves J, Kaye AJ, Finlay GJ, Baguley BC, Denny WA (2000) Synthesis and antitumor activity of some indeno[1,2-b]quinoline-based bis carboxamides. *Bioorg Med Chem* 8:977–984. doi:10.1016/S0968-0896(00)00039-0
- 2 Foti, M. C.; Daquino, C.; Geraci, C. Electron-transfer reaction of cinnamic acids and their methyl esters with the DPPH• radical in alcoholic solutions. *J. Org. Chem.* 2004, 69 (7), 2309–2314.
- 3 L.B.Kilgore, J.F.Ford, W.C.Wolfe. Insecticidal Properties of 1,3-Indandiones.// *Ind.Eng.Chem.* 1942. V.34. № 4. P.494-497.
- 4 Rampa A, Bisi A, Belluti F, Gobbi S, Valenti P, Andrisano V, Cavrini V, Cavalli A, Recanatini M (2000) Acetylcholinesterase inhibitors for potential use in Alzheimer's disease: molecular modeling, synthesis and kinetic evaluation of 11H-indeno-[1,2-b]-quinolin-10-ylamine derivatives. *Bioorg Med Chem* 8:497–506. doi:10.1016/S0968-0896(99)00306-5
- 5 Venugopalan B, Bapat C, Pinto Desouza E, Desouza N (1992) Synthesis of 2-and 3-(4-chlorophenyl)-4-hydroxy-7-(4-trifluoromethylphenyl)-5,6,7,8-tetrahydroquinolin-5-one and 5,10-dihydro-11H-8-chloroindeno[1,2-b]quinolin-10,11-diones as antimalarials. *Indian J Chem Sect B Org Chem Incl Med Chem* 31:35–38
- 6 W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier and C. Berset. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity // *LWT - Food Science and Technology*, 1995.- Vol.28.- P. 25–30
- 7 Yamato M, Takeuchi Y, Hashigaki K, Ikeda Y, Chang MR, Takeuchi K, Matsushima M, Tsuruo T, Tashiro T (1989) Synthesis and antitumor activity of fused tetracyclic quinoline derivatives. 1. *J Med Chem* 32:1295–1300. doi:10.1021/jm00126a025
- 8 Листван В.В., Листван В.М., Авдєєва В.В. 2-Ациліндандіони як напівпродукти для синтезу нових сполук з потенційною фізіологічною активністю // *Наук. записки Тернопільського держ. пед. університету. Сер. хім.- 2003.- Вип.7.- С. 10-13.*
- 9 Пат. 171342 (1986) ЄС // *С.А. Vol.104. № 109627*
- 10 Пат. 8024128 (1980) Японії // *С.А. Vol.93. № 114189.*

**АДСОРБЦІЙНА ІММОБІЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ  $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{nic})_2]^{2+}$  НА  
ПОВЕРХНІ РЕНТГЕНОЛЮМІНОФОРУ  $\text{LaF}_3:\text{Tb}/\text{Citrat}$**   
О.Д. Щеглов<sup>1,2</sup>, А.П. Кусяк<sup>1</sup>, А.Л. Петрановська<sup>1</sup>, В.В. Рудюк<sup>2</sup>, П.П. Горбик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут хімії поверхні ім. О.О.Чуйка Національної академії наук України

<sup>2</sup>Акціонерне товариство «Фармак»

ol.shcheglov@gmail.com

Дослідження проведено в контексті розвитку концепції актуальних галузей медицини та фармакології, а саме фотофармакології та фотодинамічної терапії.

В якості люмінесцентного носія синтезовано наночастинки з хімічно активною поверхнею  $\text{LaF}_3:\text{Tb}/\text{Citrat}$  для подальшої іммобілізації фоточутливої речовини, а саме  $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{nic})_2]^{2+}$  - (RuBiNic).

Синтез наночастинок проведено згідно з підходами запропонованими Sudarsan V. et al [1], шляхом співосадження солей лантану та тербію у водному розчині  $\text{NH}_4\text{F}$ . Для функціоналізації поверхні карбоксильними групами синтез проводили у присутності натрію цитрату.

Для вивчення морфології синтезованих наночастинок проведено дослідження методом трансмісійної електронної мікроскопії. Середній розмір наночастинок  $7,13 \pm 2,46$  нм (рис. 2), утворюються агломерати розміром до 55 нм (рис. 1).

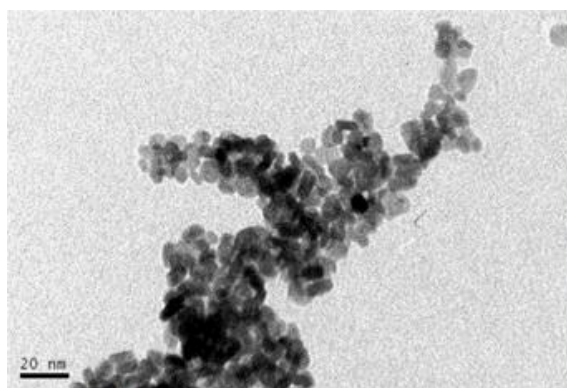


Рисунок 1 ТЕМ-зображення наночастинок  $\text{LaF}_3:\text{Tb}/\text{Citrat}$

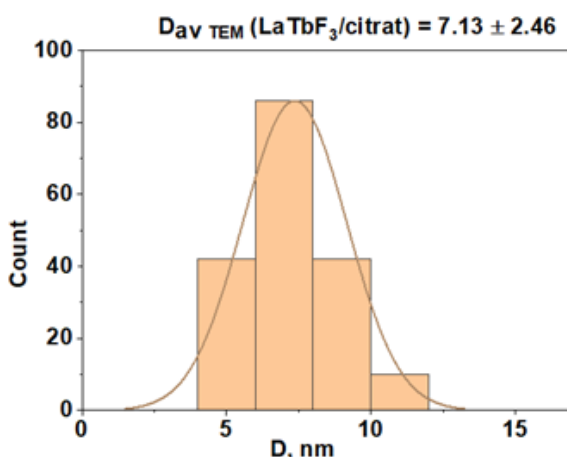


Рисунок 2 Розподіл за розміром наночастинок  $\text{LaF}_3:\text{Tb}/\text{Citrat}$

Для підтвердження модифікування поверхні наночастинок  $\text{LaF}_3:\text{Tb}$  проведено дослідження зразків синтезованих в присутності натрію цитрату та немодифікованих зразків методом ІЧ-спектроскопії.

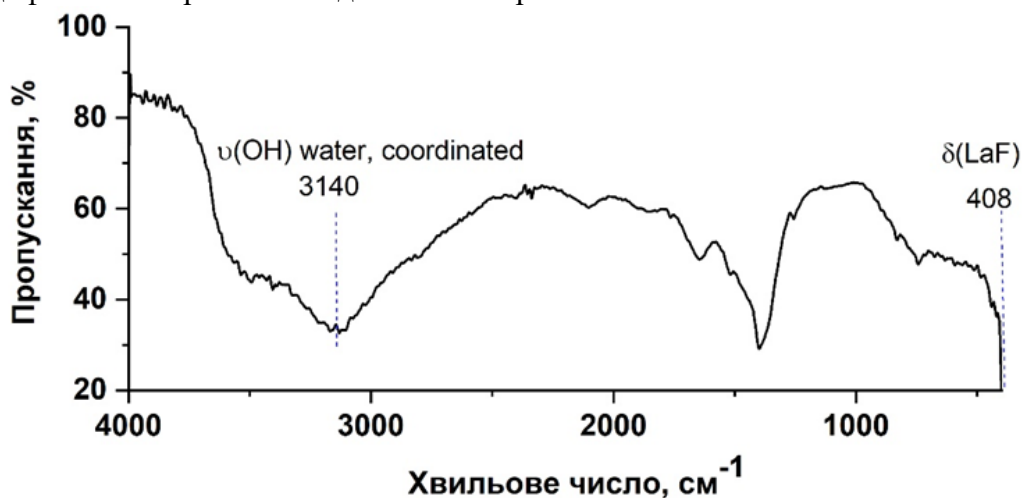


Рисунок 3 ІЧ-спектр зразків наночастинок  $\text{LaF}_3:\text{Tb}$

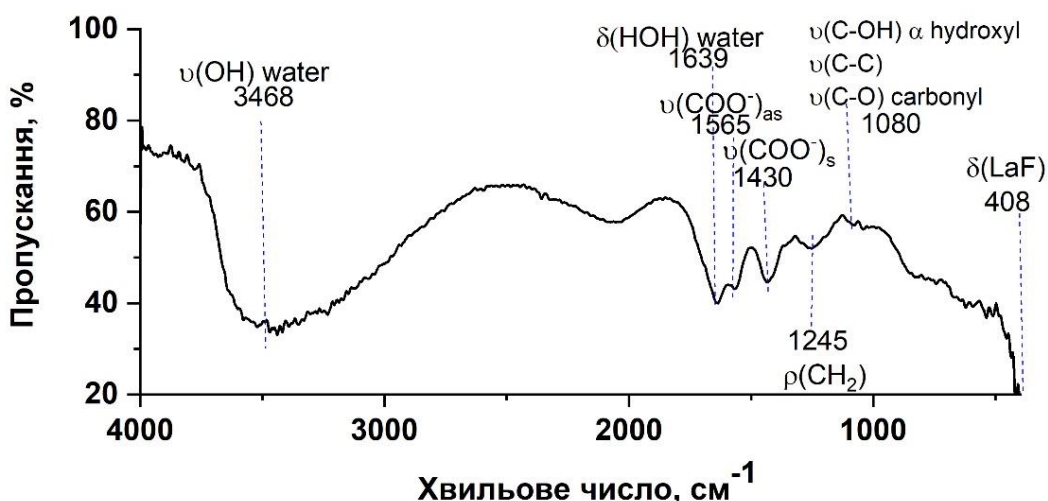


Рисунок 4 ІЧ-спектри зразків наночастинок  $\text{LaF}_3:\text{Tb}/\text{Citr}$

Аналіз одержаних ІЧ-спектрів (рис. 3-4) свідчить про успішність проведеного модифікування. На ІЧ-спектрі немодифікованого зразка фіксуються максимуми валентних та деформаційних коливань молекул води, що утворюють кристалогідрат з фторидом лантану (при  $3300\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$ ) та адсорбовані на поверхні (при  $3500\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$ ) та коливань зв'язку  $\text{La}\text{--}\text{F}$ . На спектрі модифікованих зразків наявні максимуми, характерні для цитратної кислоти:  $1080$ ,  $1245$ ,  $1430$  та  $1565\text{ cm}^{-1}$  [2, 3].

Кислотно-основні властивості поверхні отриманих зразків  $\text{LaF}_3:\text{Tb}/\text{Citr}$  досліджено в середовищі  $0,15\text{ M}$  розчину  $\text{NaCl}$  аналогічно [4, 5] (рис. 5). Форма кривої гідролітичної адсорбції свідчить про кислотну природу поверхні, що обумовлена здатністю до депротонування карбоксильних поверхневих груп.

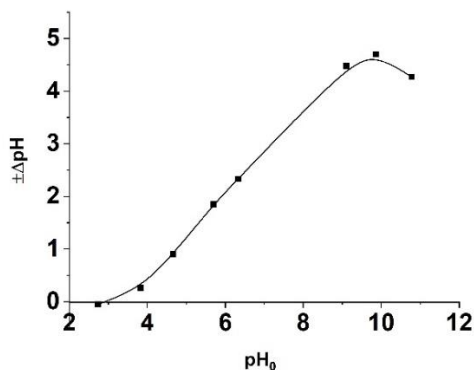


Рисунок 5 Крива залежності  $\pm\Delta p\text{H}$  від  $p\text{H}_0$

Дослідження адсорбції RuBiNіc з водного розчину та визначення статичної сорбційної ємності композиту проведено у статичному режимі протягом 2 годин у діапазоні початкових концентрацій 0,0095-0,32 мг/мл. Концентрацію RuBiNіc до та після адсорбції було використано для визначення адсорбційної ємності нанокompозиту (A, мг/г) за класичним рівнянням [6]. Отримані експериментальні дані було використано для аналізу відповідності моделям адсорбції Ленгмюра та Фрейндліха [7-9]. В результаті визначення величин констант, що входять до рівнянь Ленгмюра та Фрейндліха встановлено, що найбільший коефіцієнт кореляції ( $r^2 = 0,99$ ) відповідає моделі Ленгмюра (рис. 6-7).

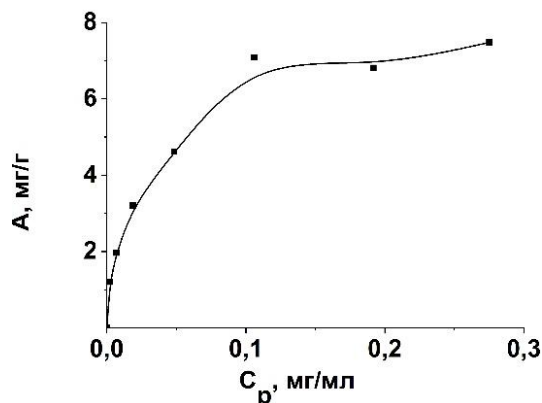


Рисунок 6 Крива ізотерми адсорбції (RuBiNіc) на поверхні LaF<sub>3</sub>:Tb/Citr

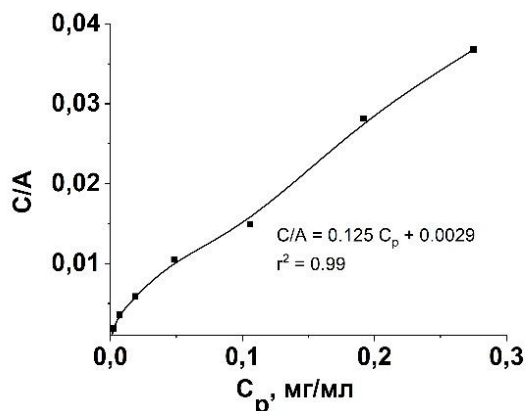


Рисунок 7 Крива лінеаризації ізотерми адсорбції  $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{nic})_2]^{2+}$  на поверхні LaF<sub>3</sub>:Tb/Citr в координатах моделі Ленгмюра



Отримані результати можуть бути використані для оптимізації умов адсорбційної іммобілізації молекул фоточувливих речовин на поверхні люмінофорів на основі фториду лантану та створення систем доставки та дистанційного контролю речовин специфічної дії для іонних каналів та рецепторів плазматичної мембрани.

#### Список літературних джерел

- 1 Sudarsan, V.; van Veggel, Frank C. J. M.; Herring, Rodney A.; Raudsepp, Mati (2005) Surface  $\text{Eu}^{3+}$  ions are different than “bulk”  $\text{Eu}^{3+}$  ions in crystalline doped  $\text{LaF}_3$  nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*, 15(13), 1332–1342. <https://doi.org/10.1039/B413436B>
- 2 G. Vanhoyland, J. Pagnaer, J. D’Haen, S. Mullens, J. Mullens (2005) Characterization and structural study of lanthanum citrate trihydrate  $[\text{La}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ , *J. Solid State Chem.*, 178 (1), 166 – 171. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2004.10.042>
- 3 G.B. Deacon; R.J. Phillips (1980) Relationships between the carbon-oxygen stretching frequencies of carboxylate complexes and the type of carboxylate coordination, *Coord. Chem. Rev.*, 33(3), 227 – 250. [https://doi.org/10.1016/s0010-8545\(00\)80455-5](https://doi.org/10.1016/s0010-8545(00)80455-5)
- 4 A. Kussyak et al. (2023) Synthesis and Properties of Nanodispersed Luminescent Structures Based on Lanthanum Fluoride and Phosphate for Optopharmacology and Photodynamic Therapy of Tumor Diseases, *What to Know about Lanthanum 65 – 94*, Nova Science Publishers Inc., New York
- 5 N. V. Kussyak, A. P. Kussyak, K. P. Svyrydiuk, A. L. Petranovska & P. P. Gorbyk (2021) Evaluation of the acid–base surface properties of nanoscale  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$  by potentiometric method, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 719:1, 140-152, <https://doi.org/10.1080/15421406.2021.1878744>
- 6 Kussyak NV, Kussyak AP, Dudarko OA, Korniiichuk NM., Petranovska AL, Gorbyk PP (2022) Adsorption of doxorubicin on the surface of magnetically sensitive nanocomposite  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{C}$ . *Mol Cryst Liq Cryst*, <https://doi.org/10.1080/15421406.2022.2073525>
- 7 Ho YS, McKay G (1999) Pseudo-second order model for sorption processes. *Process biochem* 34:451 – 465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- 8 Ho YS, Ng JCY, McKay G (2000) Kinetics of pollutant sorption by biosorbents: review. *Sep Purif Methods* 29:189 – 232. <https://doi.org/10.1081/spm-100100009>
- 9 Douven S, Paez CA, Gommers CJ (2015) The range of validity of sorption kinetic models. *J Colloid Interface Sci*, 448: 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.02.053>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН МЕТІУРУ, КАМЕТУРУ ТА ІВІНУ НА УРОЖАЙНІСТЬ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ ЯРОЇ СОРТУ ДЕМІРА

В.А. Циганкова<sup>1</sup>, В.М. Копіч<sup>1</sup>, Н.М. Василенко<sup>1</sup>, С.Г. Пільо<sup>1</sup>,  
О.В. Головченко<sup>1</sup>, М.В. Малієнко<sup>2</sup>, В.С. Броварець<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України,

<sup>2</sup>СТОВ «Перемога»

vTsygankova@ukr.net;

**Анотація.** Стаття присвячена розробці нових екологічно безпечних регуляторів росту важливої сільськогосподарської культури – пшениці твердої ярої сорту Деміра на основі синтетичних сполук, похідних N-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої та калієвої солей (Метіур і Каметур). Досліджено вплив синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру на урожайність пшениці твердої ярої сорту Деміра, вирощеної у польових умовах. Встановлено, що за умов обробки насіння перед посадкою у ґрунт водними розчинами регуляторів росту рослин Івіном, Метіуром та Каметуrom, застосованих у діапазоні концентрацій  $10^{-4}$ М -  $10^{-7}$ М, підвищуються кількісні показники урожайності пшениці: середня маса 10-ти колосків (г) підвищується на 41,30 – 94,05 %, середня довжина колосу (мм) підвищується на 21,33 – 66,28 %, урожайність зерна (кг/0,1га) підвищується на 5,87 – 20,24 %. Найвищі показники урожайності рослин пшениці отримані за умов застосування регуляторів росту рослин у найбільш ефективних концентраціях: Метіуру –  $10^{-5}$ М,  $10^{-6}$ М та  $10^{-7}$ М, Каметуру –  $10^{-4}$ М,  $10^{-6}$ М та  $10^{-7}$ М, Івіну –  $10^{-5}$ М та  $10^{-7}$ М.

**Ключові слова:** пшениця, регулятори росту рослин, Івін, Метіур, Каметур, урожайність рослин.

**Вступ.** Актуальною проблемою сучасної аграрної галузі є розробка нових ефективних та екологічно безпечних технологій вирощування пшениці – найважливішої зернової культури для отримання органічної сільськогосподарської продукції та зменшення забруднення навколишнього середовища [1, 2]. Глобальні кліматичні зміни та стресові фактори абіотичного і біотичного характеру є ключовими негативними факторами, що впливають на виробництво сільськогосподарських культур у всьому світі [3 - 5]. На сьогодні для вирішення цієї актуальної проблеми використовують природні або синтетичні регулятори росту рослин для кращого засвоєння поживних речовин, покращення росту та фотосинтетичної ефективності рослин, що сприяє підвищенню врожайності та стійкості рослини до стресових факторів [6 - 9]. Застосування природних або синтетичних регуляторів росту рослин є одним із перспективних напрямків сільського господарства, що сприятиме поліпшенню якості продукції, підвищенню врожайності та стресостійкості рослин.

На сьогодні значна увага приділяється розробці нових екологічно безпечних регуляторів росту рослин на основі синтетичних низькомолекулярних гетероциклічних сполук, похідних піридину та піримідину [10, 11]. В Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України розроблено нові ефективні та екологічно безпечні регулятори росту рослин на основі синтетичних сполук, похідних N-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої та калієвої солей (Метіур і Каметур). У проведених

нами раніше дослідженнях встановлено, що застосування синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру покращує ріст сільськогосподарських культур, підвищує їх урожайність та адаптивні властивості до стресових факторів [12 - 14]. Завдяки використанню регуляторів росту рослин на основі синтетичних сполук, похідних піридину та піримідину можливо поліпшити ріст та розвиток рослин, підвищити їх урожайність, зменшити використання екологічно токсичних пестицидів для захисту рослин та покращити екологічний стан усєї системи землеробства. Застосування екологічно безпечних синтетичних регуляторів росту рослин сприятиме зменшенню використання токсичних для здоров'я людини та тварин пестицидів та фунгіцидів [15, 16], покращенню балансу природних екосистем та фітосанітарного стану ґрунтів, покращенню екологічного стану усєї сільськогосподарської системи.

Метою даної роботи є вивчення впливу синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру на урожайність пшениці твердої ярої сорту Деміра, вирощеної у польових умовах.

#### Матеріали та методи.

**Хімічні формули регуляторів росту рослин.** На рис. 1. представлено хімічні формули та відносні молекулярні маси регуляторів росту рослин, створених на основі похідних N-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої солі (Метіур), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину калієвої солі (Каметур).

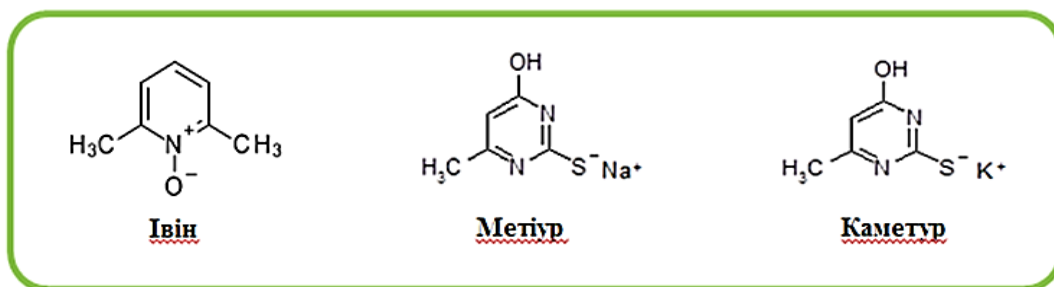


Рисунок 1 Хімічні формули та відносні молекулярні маси регуляторів росту рослин Івіну (ММ=125,17), Метіуру (ММ=165,17) та Каметуру (ММ=181,28)

**Вирощування рослин пшениці у польових умовах.** Протягом 2023 р. проведено дослідження впливу синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру на урожайність пшениці твердої ярої сорту Деміра, вирощеної у польових умовах. З цією метою насіння рослин пшениці обприскували водними розчинами регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру, застосованих у діапазоні концентрацій  $10^{-4}$ М -  $10^{-7}$ М (дослід), або водою (контроль). Після цієї процедури оброблене насіння просушували і висаджували в ґрунт. Польові дослідження проводились згідно методів, наведених у керівництві [17]. Аналіз кількісних показників урожайності рослин пшениці (середня маса 10-ти колосків (г), середня довжина колосу (мм), урожайність зерна (кг/0,1га)), вирощених у польових умовах, проводили згідно методів [17, 18]. Статистичну обробку даних дослідів, проведених у трьох повторностях, проводили за дисперсійним критерієм Стюдента з рівнем значущості  $P \leq 0,05$ ; значення є середніми  $\pm$  SD.

**Результати.** Проведені дослідження показали, що за умов передпосівної обробки насіння пшениці твердої ярої сорту Деміра водними розчинами регуляторів росту рослин Метіур, Каметуру та Івіну, застосованих у діапазоні концентрацій  $10^{-4}\text{M}$  -  $10^{-7}\text{M}$ , підвищуються кількісні показники урожайності: середня маса 10-ти колосків (г) підвищується на 41,30 – 94,05 % (рис. 2, Табл. 1), середня довжина колосу (мм) підвищується на 21,33 – 66,28 % (рис. 3, Табл. 2), урожайність зерна (кг/0,1га) підвищується на 5,87 – 20, 24 % (рис. 4, рис. 5, Табл. 3).

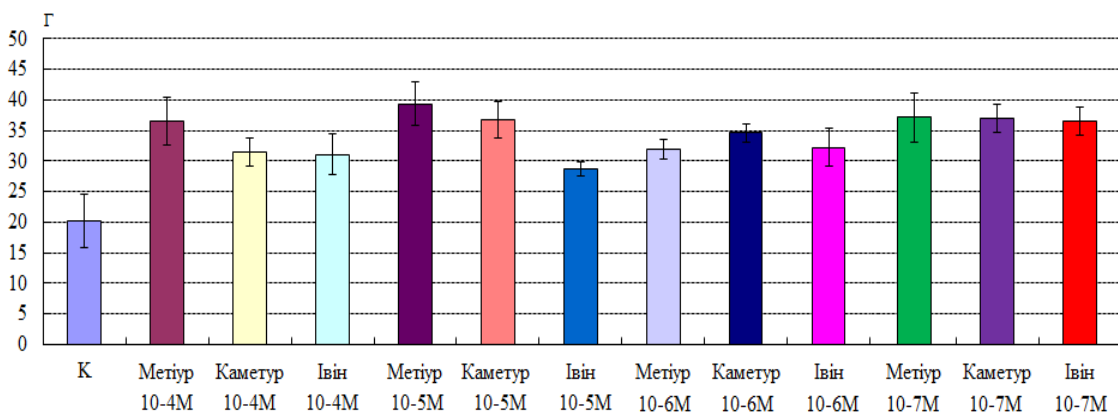


Рисунок 2 Середня маса 10-ти колосків (г) пшениці твердої ярої сорту Деміра

Таблиця 1 Середня маса 10-ти колосків (%) пшениці ярої твердої сорту Деміра

Концентрація сполук	Контроль	Метіур	Каметур	Івін
$10^{-4}\text{M}$	100	179,72	154,93	153,21
$10^{-5}\text{M}$	100	194,05	180,87	141,30
$10^{-6}\text{M}$	100	157,39	170,67	158,72
$10^{-7}\text{M}$	100	182,97	182,27	180,18

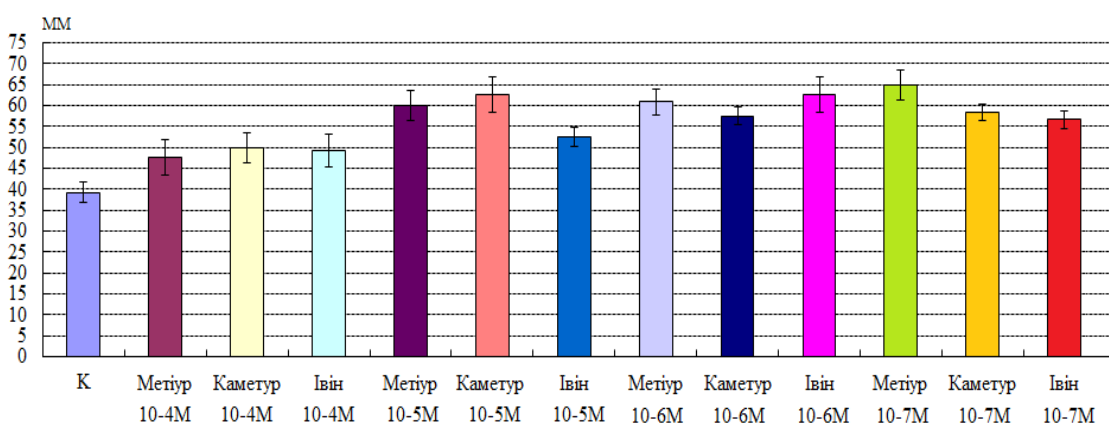


Рисунок 3 Середня довжина колосу (мм) пшениці твердої ярої сорту Деміра

Таблиця 2 Середня довжина колосу (%) пшениці ярої твердої сорту Деміра

Концентрація сполук	Контроль	Метіур	Каметур	Івін
$10^{-4}$ М	100	121,33	127,72	125,59
$10^{-5}$ М	100	153,26	159,64	134,19
$10^{-6}$ М	100	155,39	146,87	159,64
$10^{-7}$ М	100	166,28	149,19	144,74



Рисунок 4 Колоски пшениці твердої ярої сорту Деміра, вирощеної з насіння, необробленого регуляторами росту (контроль) та обробленого регуляторами росту рослин Метіуром, Каметуром та Івіном у концентраціях  $10^{-4}$ М,  $10^{-5}$ М,  $10^{-6}$ М та  $10^{-7}$ М, відповідно.



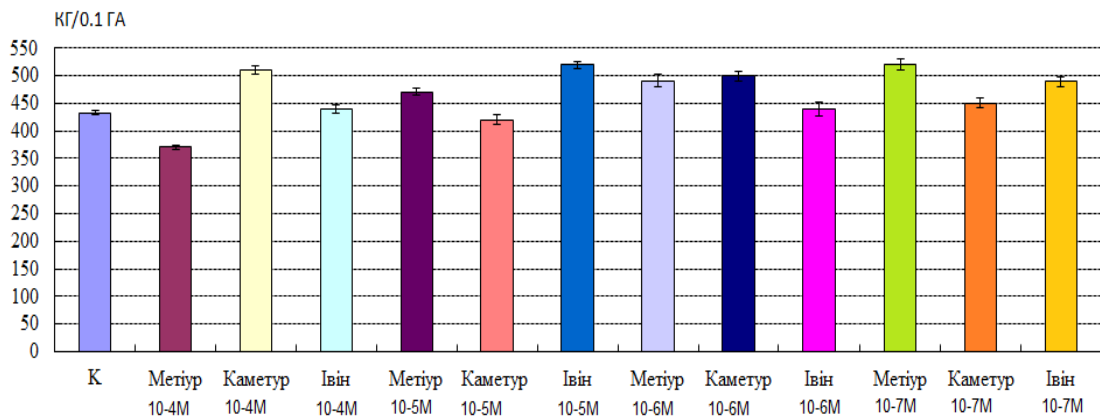


Рисунок 5 Урожайність зерна (кг/0,1га) пшениці твердої ярої сорту Деміра

Таблиця 3 Урожайність зерна пшениці ярої твердої сорту Деміра (%)

Концентрація сполук	Контроль	Метіур	Каметур	Івін
10 <sup>-4</sup> М	100	86,32	118,28	102,16
10 <sup>-5</sup> М	100	109,51	97, 61	118,47
10 <sup>-6</sup> М	100	113,68	116,15	102,25
10 <sup>-7</sup> М	100	120,24	105,87	113,45



Рисунок 6 Збір зразків пшениці твердої ярої сорту Деміра канд. хім. наук, ст. наук. співр., ст. наук. досл. Пільо С.Г. та канд. хім. наук, ст. наук. співр. Головченко О.В. на полі СТОВ "Перемога", яке розташоване в селі Малополовецьке, Фастівського району, Київської області.



На рис. 6 та 7 продемонстровано збір науковцями зразків вирощеної на полі пшениці твердої ярої сорту Деміра та їх виставка в ІБОНХ ім. В.П. Кухаря НАН України.



Рисунок 7 Організатори виставки в ІБОНХ ім. В.П. Кухаря НАН України зразків пшениці твердої ярої сорту Деміра: докт. біол. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр. Циганкова В.А. та канд. біол. наук, мл. наук. співр. Копіч В.М.

**Висновки.** Грунтуючись на результатах польових випробувань, запропоновано використання синтетичних регуляторів росту рослин для підвищення урожайності пшениці твердої ярої сорту Деміра у найбільш ефективних концентраціях: Метіуру –  $10^{-5}$ М,  $10^{-6}$ М та  $10^{-7}$ М, Каметуру –  $10^{-4}$ М,  $10^{-6}$ М та  $10^{-7}$ М, Івіну –  $10^{-5}$ М та  $10^{-7}$ М.

### Список літературних джерел

- 1 Shiferaw B., Smale M., Braun H.J., Duveiller E., Reynolds M., Muricho G. (2013). Crops that feed the world. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Sec.* 5(3): 291-317. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y>
- 2 Faltermaier A., Waters D., Becker T., Arendt E. and Gastl M. (2014). Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal – a review. *J. Inst. Brew.* 120: 1-15. DOI: 10.1002/jib.107
- 3 Fahad S., Bajwa A.A., Nazir U., Anjum S. A., Farooq A., Zohaib A., Sadia S., Nasim W., Adkins S., Saud S., Ihsan M. Z., Alharby H., Wu C., Wang D., & Huang J. (2017). Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Frontiers in plant science.* 8: 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- 4 Dresselhaus, T., and Hückelhoven R. (2018). Biotic and Abiotic Stress Responses in Crop Plants. *Agronomy.* 8(11): 267. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110267>
- 5 Bayer P.E., and Edwards D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current opinion in plant biology.* 56: 197-202.
- 6 Basra A.S. (Ed). (2000). *Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture: Their Role and Commercial Uses.* Haworth Press, Inc., New York, London, Oxford, 264 p. <https://www.nhbs.com/plant-growth-regulators-in-agriculture-and-horticulture-book>
- 7 Rademacher W. (2015). Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. *J Plant Growth Regul.* 34(4): 845 - 872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- 8 Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.* 383(1-2): 3–41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8
- 9 Tsygankova V.A., Blyuss K.B., Shysha E.N., Biliavska L.O., Iutynska G.O., Andrusovich Y.V., Ponomarenko S.P., Yemets A.I., Blume Y.B. (2020). Using Microbial Biostimulants to Deliver RNA Interference in Plants as an Effective Tool for Biocontrol of Pathogenic Fungi, Parasitic Nematodes and Insects. Chapter 6. Pp. 205 - 319. In: “Research Advances in Plant biotechnology”. Series: Plant Science Research and Practices, Ya.B. Blume (Ed.). USA: Nova Science Publishers, Inc., 270 p. <https://novapublishers.com/shop/research-advances-in-plant-biotechnology/>
- 10 Kawarada A., Nakayama M., Ota Ya., Takeuchi S. (1974). Use of pyridine derivatives as plant growth regulators and plant growth regulating agents. Patent DE2349745A1, 25 April 1974. <https://patents.google.com/patent/DE2349745A1/en>
- 11 Minn K., Dietrich H., Dittgen J., Feucht D., Häuser-Hahn I., Rosinger C.H. (2013). Pyrimidine Derivatives and Their Use for Controlling Undesired Plant Growth. Patent US008445408B2, 21 May 2013. <https://patentimages.storage.googleapis.com/d1/52/26/d05b90090de7ff/US8445408.pdf>
- 12 Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Klyuchko S.V., Pilyo S.G., Brovarets V.S., Kovalenko O.A. (2022). The effect of pyrimidine and pyridine derivatives on the growth and productivity of sorghum. *International Journal of Botany Studies.* 7(5): 19–31.
- 13 Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Kopich V.M., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. (2023). Studying the effect of plant growth regulators Ivin,

Methur and Kamethur on growth and productivity of sunflower. *Journal of Advances in Agriculture*. 14: 17–24. DOI: <https://doi.org/10.24297/jaa.v14i.9453>.

14 Pidlisnyuk V., Mamirova A., Newton R.A., Stefanovska T., Zhukov O., Tsygankova V., and Shapoval P. (2022). The role of plant growth regulators in *Miscanthus × giganteus* utilisation on soils contaminated with trace elements. *Agronomy*. 12(12): 2999. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12122999>

15 Nicolopoulou-Stamati P., Maipas S., Kotampasi C., Stamatis P., Hens L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Front Public Health*, 4: Article 148. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2016.00148/full>

16 Goswami S.K., Singh V., Chakdar H. and Choudhary P. (2018). Harmful Effects of Fungicides-Current Status. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology (IJAEB)*. Special Issue 2018: 1025 - 1033. [https://www.academia.edu/74045392/Harmful\\_Effects\\_of\\_Fungicides\\_Current\\_Status](https://www.academia.edu/74045392/Harmful_Effects_of_Fungicides_Current_Status)

17 Dospheov B.A. (1985). *Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. M.: Agropromizdat, 351 p.

18 Voytsehovska O.V., Kapustyan A.V., Kosik O.I. (2010). *Plant Physiology: Praktikum*, Parshikova T.V. (Ed.), Lutsk: Teren, 420 p.

## СЕКЦІЯ 7

Філософсько-методологічні та  
соціальні аспекти виробництва  
виробництва в умовах війни

## SECTION 7

Philosophical and methodological  
and sociological aspects  
of production in the war conditions

## **МЕХАНІЗМИ СТИМУЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА, СПРОЩЕННЯ ПРОЦЕДУР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ, ОЗБРОЄННЯ, БОЄПРИПАСІВ ТА КОМПЛЕКТУВАЛЬНИХ ВИРОБІВ НА ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ**

**Є. О. Курбет.**

Департамент державного гарантування якості  
Міністерства оборони України  
e.kurbet@post.mil.gov.ua

Обороздатність держави, боездатність та боеготовність Збройних Сил України та інших складових сил оборони значною мірою залежать від якості виробів озброєння та військової техніки (ОВТ). Широкомасштабна збройна агресія росії проти України з особливою силою проявила недоліки в національній системі виробництва, закупівель ОВТ, та контролю їх якості зокрема.

Система якості, заснована на інституті представників замовника (військових представників), що повинна забезпечувати високу якість продукції, часто не робить цього. Така система вже не може забезпечити ефективність в сучасних умовах без істотної трансформації згідно з вимогами часу та ринку, працює на принципах, які не гармонізовані з сучасними методами управління якістю та, загалом, є гальмом в умовах високоефективних, гнучких, інноваційних виробництв. Новим виробникам складно вийти на ринок озброєнь, адже необхідні значні ресурси та час, щоб допустити зразок ОВТ до експлуатації, зокрема, необхідно здійснити багато юридичних процедур: зібрати документи, отримати ліцензії та пройти перевірки. Отож, існує нагальна необхідність реформування системи управління якістю у сфері ОВТ, переходу до сучасної західної системи управління якістю відповідно до підходів і стандартів НАТО.

Відповідно до політики НАТО щодо інтегрованого системного підходу до якості упродовж життєвого циклу (AQAP 2000) менеджмент якості має здійснюватися на всіх стадіях життєвого циклу оборонної продукції усіма учасниками процесів життєвого циклу, діяльність яких впливає або може вплинути на якість такої продукції. Оскільки до різних стадій життєвого циклу причетні різні категорії заінтересованих сторін – користувачі, замовники, покупці, розробники, проектувальники, виробники, постачальники, органи з сертифікації, сервісні організації та інші, всі вони повинні здійснювати менеджмент якості на тих стадіях життєвого циклу оборонної продукції, до яких вони причетні, тобто повинні впроваджувати відповідні моделі менеджменту якості з використанням необхідних методів та інструментів забезпечення якості: система менеджменту якості (СМЯ), управління ризиками, управління вимогами, управління конфігурацією, управління проектами, управління знаннями, плани якості, статистичні методи, управління надійністю, функціонально-вартісний аналіз, тощо.

Впровадження СМЯ є ключовим інструментом забезпечення якості оборонної продукції, оскільки дозволяє найбільш ефективно і комплексно застосовувати різні методи й інструменти на основі ризик-орієнтованого підходу.

Вимоги до якості оборонної продукції, вимоги до забезпечення/ гарантування її якості, способів підтвердження її відповідності та відповідності систем менеджменту якості відповідних організацій мають встановлюватись та дотримуватись на відповідних стадіях життєвого циклу з метою забезпечити належну якість та впевненість споживачів (замовників, користувачів тощо), інших



заінтересованих сторін у тому, що вимоги до якості виконуються або будуть виконані належним чином упродовж усього життєвого циклу.

Відповідні вимоги, методи, процеси та інструменти мають бути встановлені у відповідній документації (контрактах, інструкціях, настановах, документації системи менеджменту, процедурах тощо) та можуть ґрунтуватись на відповідних стандартах, бути специфічними, або доповнювати стандартні вимоги. Вимоги, методи та процеси мають встановлюватись на основі ризик-орієнтованого підходу.

Методи та інструменти забезпечення якості оборонної продукції можуть використовуватись комплексно з метою досягнення запланованих результатів та забезпечення ефективності (оптимізації результатів і витрат) з урахуванням відповідних ризиків. Ці методи та інструменти можуть включати але не обмежуються:

- впровадження та підтримка систем менеджменту якості;
- впровадження та підтримка процесів менеджменту якості;
- управління відповідними ресурсами (персонал, інфраструктура, зовнішнє та внутрішнє середовища);
- забезпечення компетентності персоналу;
- контроль продукції та процесів (у т.ч. приймальний контроль);
- статистичні методи (контролю та приймання продукції, управління процесами);
- атестація процесів та/або виробництва в цілому;
- нагляд за процесами та виробництвом;
- випробування;
- оцінювання відповідності продукції;
- оцінювання відповідності систем менеджменту якості;
- нагляд за системою менеджменту якості;
- технічне регулювання;
- впровадження інновацій;

**Розглянемо деякі інструменти забезпечення якості продукції в закупівельному процесі та особливості їх застосування.**

**Державне гарантування якості [1]** - встановлення відповідності процесів забезпечення продукції оборонного призначення вимогам державних контрактів (договорів). Здійснює Уповноважений орган з державного гарантування якості оборонної продукції. Застосовується на вимогу замовника або організації НАТО (контрактні вимоги) за умови обґрунтування неприйнятно високого рівня ризиків. Може здійснюватися відносно будь-яких ланок ланцюга постачання. Аудит системи менеджменту кінцевого виробника є обов'язковим. Постачальник отримує Сертифікат відповідності системи менеджменту якості вимогам AQAP, Сертифікат відповідності Постачальника (в частині 2 - Заява Представника державного гарантування якості про Державне гарантування якості).

**Сертифікація систем менеджменту якості** – це процедура, за допомогою якої незалежний, уповноважений у встановленому порядку орган дає документальне підтвердження відповідності системи менеджменту якості встановленим законодавчим вимогам. Здійснюють акредитовані та/або уповноважені органи з оцінки відповідності систем менеджменту. Аудит системи менеджменту може включати перевірку будь-яких ланок ланцюга постачання. За



результатами сертифікації систем менеджменту якості постачальник отримує Сертифікат відповідності систем менеджменту.

**Сертифікація продукції** - це процедура, за допомогою якої незалежний, уповноважений у встановленому порядку орган дає документальне підтвердження відповідності продукції чи послуги встановленим законодавчим вимогам. Здійснюють акредитовані та/або уповноважені органи з оцінки відповідності продукції. В законодавчо врегульованій сфері сертифікація продукції є обов'язковою. В законодавчо не врегульованій сфері – відповідно до кваліфікаційних та контрактних вимог. За результатами сертифікації продукції постачальник отримує Сертифікат відповідності продукції.

**Контроль якості продукції в процесі виробництва** здійснюють представництва державних замовників, або інші уповноважені замовниками органи. Здійснюється на всіх етапах виробництва та постачання продукції. Може включати випробування в акредитованих лабораторіях. За результатами контролю постачальник та замовник отримують протоколи, акти, інші документи. В перспективі цей вид контролю має бути замінений на атестацію виробництв і виробничих процесів, систем менеджменту якості.

**Приймання продукції (за якістю)** здійснюють представництва державних замовників, бо інші уповноважені замовниками органи. Також може включати випробування в акредитованих лабораторіях. За результатами постачальник та замовник отримують протоколи, акти, сертифікати.

В умовах воєнного стану існує нагальна необхідність спрощення механізмів, процесів і процедур забезпечення якості ОВТ. Урядом за ініціативи заінтересованих сторін здійснюються відповідні заходи та запроваджуються ряд проектів щодо стимулювання виробництва окремих видів ОВТ.

**Про особливості організації випробувань озброєння та військової техніки у воєнний час.**

На особливості організації випробувань ОВТ впливають чинники:

положення законодавчих та нормативно-правових актів щодо прийняття на озброєння (постачання) Збройних Сил України створених (модернізованих) зразків ОВТ;

особливості розроблення та виробництва ОВТ для Збройних Сил України в умовах воєнного стану;

постачання іноземних зразків ОВТ для Збройних Сил України;

впровадження методології досліджень характеристик ОВТ за результатами експериментів, проведених у бойових умовах.

Проведення випробувань ОВТ у мирний час регламентовано рядом законодавчих та нормативних документів [3, 4, 5, 9], та передбачають проведення цілого ряду випробувань, та завершального виду випробувань перед прийняттям зразка ОВТ на озброєння - державних випробувань.

**Державні випробування** - випробування зразків, що проводяться державною комісією із залученням спеціалізованої випробувальної організації.

**Для умов особливого періоду та воєнного стану** Урядом передбачено ряд суттєвих змін порядку, процесів та процедур проведення випробувань, контролю якості та прийняття на озброєння зразків ОВТ.

**В умовах особливого періоду [2].**

Потреба в забезпеченні зразками ОВТ визначається державним замовником. Замовник вивчає заявлені розробником тактико- технічні характеристики зразка

ОВТ, перевіряє робочу конструкторську документацію та ознайомлюється з результатами попередніх випробувань.

**Здійснюється постачання зразків ОВТ**, що розроблені підприємствами України за власні кошти або кошти іноземної держави, серійне виробництво яких здійснюється для постачання на експорт; що розроблені підприємствами України за власні кошти або кошти іноземної держави, серійне виробництво яких не здійснюється; іноземного виробництва.

**Розроблення та виробництва ОВТ для ЗС України може здійснюватися** підприємствами вітчизняного оборонно-промислового комплексу на території України; підприємствами вітчизняного оборонно-промислового комплексу на території країн-партнерів; підприємствами оборонно-промислового комплексу країн-партнерів.

Прийняття на озброєння (постачання) зразків ОВТ передбачає проведення **визначальних відомчих випробувань**.

Державний замовник організовує проведення визначальних відомчих випробувань зразка ОВТ за програмою проведення перевірки заявлених розробником основних тактико-технічних характеристик та наявної робочої конструкторської документації. За умови отримання позитивних результатів випробувань Державний замовник видає наказ про допуск до експлуатації, та подає головному органу у сфері планування оборонних закупівель пропозиції щодо його закупівлі. Замовник організовує проведення підконтрольної експлуатації у військах.

**Визначальні відомчі випробування** – це випробування, що проводяться комісією державного замовника для визначення значень характеристик зразка ОВТ із встановленими значеннями показників точності та (або) достовірності.

**Під час воєнного стану [6].**

Рішення про прийняття зразка ОВТ на озброєння, допуск до експлуатації зразка ОВТ може бути прийнято державним замовником:

- за результатами проведення підконтрольної експлуатації;
- за результатами вивчення заявлених розробником тактико-технічних характеристик зразка, ознайомлення з результатами випробувань, проведених розробником;
- у разі розроблення зразка за тактико-технічним завданням державного замовника, відповідності такого зразка основним вимогам тактико-технічного завдання на виконання дослідно-конструкторської роботи та після отримання позитивних результатів його попередніх випробувань;
- після надходження зразка ОВТ, який перебуває на озброєнні (в експлуатації) збройних сил країни-виробника або експортується в інші країни (зокрема такого, що надійшов як матеріально-технічна допомога, включаючи міжнародну);
- зразка ОВТ іноземного виробництва, що знятий з озброєння/постачання (виведений з експлуатації) країною-виробником у зв'язку з переозброєнням, за умови, що у такого зразка наявний залишковий ресурс та не перевищений строк зберігання;
- зразка ОВТ іноземного виробництва, який не прийнятий на озброєння/постачання (не допущений до експлуатації) або не експортувався в інші країни, приймається на озброєння після отримання позитивних результатів **функційних випробувань** (зокрема, в країні-постачальниці).

**Функційні випробування** - випробування, що проводяться комісією державного замовника з метою встановлення значень показників призначення зразка іноземного виробництва.

Урядом, за ініціативи заінтересованих сторін, запроваджено ряд експериментальних проектів щодо стимулювання виробництва окремих видів ОВТ.

**Експериментальний проект щодо здійснення оборонних закупівель безпілотних систем (безпілотних авіаційних комплексів, безпілотних літальних апаратів, безпілотних наземних (роботизованих) комплексів, безпілотних водних (плаваючих) комплексів) вітчизняного виробництва [7].**

Метою цього експериментального проекту є сприяння розвитку виробництва вітчизняних безпілотних систем шляхом встановлення особливого порядку здійснення оборонних закупівель таких безпілотних систем.

Проект спрямований на спрощення усіх бюрократичних процедур та створення сприятливих умов для вітчизняних виробників БпЛА для налагодження масового виробництва. Надає виробникам змогу розвиватися і конкурувати з іноземними компаніями. Забезпечить можливість технологічно посилити спроможності Збройних Сил України, а також активно розвивати власне виробництво безпілотників. Також спрощено процесів укладання контрактів, прийомки товару, допуск до експлуатації й постачання на фронт.

На практиці це значить, що:

- виробники зможуть розвиватися і конкурувати з іноземними компаніями;
- спрощено укладання контрактів, приймання продукції, допуск до експлуатації й постачання на фронт;
- створено умови для стимулювання бізнесу в сфері виробництва БпЛА і залучення до процесу якомога більше компаній.

**В стадії опрацювання зміни до вказаного проекту**, згідно з якими буде спрощено процедуру допуску до експлуатації та закупівлі засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) за більш легкою процедурою, яка на сьогодні діє для дронів.

Зокрема, буде доповнено новими положеннями про:

- розробки Генеральним штабом Збройних Сил України за кожним видом БпЛА чи засобу РЕБ стандартних технічних вимог, яким має відповідати відповідна продукція для допуску їх до експлуатації;
- надання можливості здійснювати допуск до експлуатації зразків БпЛА та засобів РЕБ на підставі акту спільних відомчих випробувань, складеного одним із державних замовників у сфері оборони, без необхідності проведення повторних випробувань і засідання комісії Міноборони;
- спрощення та скорочення до 10 днів процедури допуску до експлуатації зразків БпЛА та РЕБ на підставі проведених Міноборони демонстраційних випробувань, за програмою та методикою, розробленою виробником;
- можливість здійснення допуску до експлуатації зразків БпЛА та РЕБ та їх кодифікації на підставі технічних умов, затверджених виробником та зареєстрованих Мінекономіки, без необхідності додаткового погодження Міноборони;
- можливість здійснення закупівлі на підставі акту спільних відомчих випробувань, складеного одним із державних замовників у сфері оборони, до

завершення процедури допуску до експлуатації та присвоєння номенклатурного номеру;

- встановлення форми документу для потреби (для рекомендації допустити до експлуатації), потреби (в закупівлі), технічних вимог на тип БпЛА та засобу РЕБ, інформації про тактико-технічні характеристики засобу РЕБ та БпЛА.

Реалізація постанови спростить і пришвидшить процес допуску до експлуатації та закупівлі БпЛА та засобів РЕБ для забезпечення потреб Збройних Сил України, інших складових сил безпеки і оборони та сприятиме посиленню обороноздатності України.

**Експериментальний проект щодо виробництва, закупівлі та постачання боєприпасів до безпілотних систем та бойових частин безпілотних систем та бойових частин безпілотних систем [8]** для сил безпеки та оборони України в частині встановлення організаційних, технологічних та інших вимог до провадження господарської діяльності у відповідній сфері.

Метою експериментального проекту є сприяння розробленню, виробництву, закупівлі та постачанню боєприпасів до безпілотних систем та бойових частин безпілотних систем шляхом встановлення на період реалізації експериментального проекту особливого порядку розроблення та виробництва. Реалізація експериментального проекту дасть поштовх для формування ринку та масового виробництва боєприпасів в Україні. Проект передбачає спрощення ряду бюрократичних процедур щодо виробництва в Україні боєприпасів та бойових частин для безпілотників, створення максимально сприятливих умов та стимулів для українських виробників боєприпасів для БпЛА до розширення власних потужностей з метою ефективного задоволення відповідних потреб сил безпеки та оборони держави.

Загалом реалізація згаданого експериментального проекту передбачає:

- встановлення порядку набуття статусу виробника боєприпасів до безпілотних систем;
- встановлення чітких вимог до таких виробників (щодо персоналу, виробничих потужностей, порядку зберігання);
- можливість здійснювати таке виробництво без висновку з оцінки впливу на довкілля;
- встановлення вимог до постачання виготовлених боєприпасів;
- можливість розроблення боєприпасів та бойових частин до безпілотників як за державним замовленням, так і з власної ініціативи;
- встановлення порядку проведення випробувань розробленого зразка та спрощеного порядку поставки його на озброєння,
- здійснення контролю якості на етапі виробництва;
- можливість здійснення закупівель та постачання боєприпасів для потреб сил безпеки та оборони України юридичними особами.

**Здійснюється робота щодо спрощення на період воєнного стану процедур проведення випробувань, прийняття на озброєння, допуску до експлуатації, виготовлення, ремонту та відновлення військової техніки, озброєння, боєприпасів та комплектувальних виробів.**

Міністерством Оборони України спільно з Міністерством з питань стратегічних галузей промисловості України та іншими зацікавленими сторонами розроблено та реалізуються пропозиції щодо спрощення на період воєнного стану процедур проведення випробувань, прийняття на озброєння, допуску до

експлуатації, виготовлення, ремонту та відновлення військової техніки, озброєння, боєприпасів та комплектувальних виробів до них вітчизняного виробництва, а також удосконалення технічного регулювання у військової сфері.

Пропозиції стосуються, зокрема:

Впровадження у системі випробувань військової техніки, озброєння, боєприпасів та комплектувальних виробів механізмів практики об'єднання окремих видів випробувань та виключення випробувань, не пов'язаних з підтвердженням їх боєздатності. Цей механізм повинен передбачати проведення спільних відомчих випробувань, які організуються державними змовниками разом з виробниками. До проведення таких випробувань можуть залучатися інші зацікавлені державні замовники та органи військового управління Збройних Сил України за видами забезпечення ОВТ.

Під час прийняття на озброєння та видання наказу про допуск до експлуатації зразка ОВТ встановлення чіткої часової регламентації процесу видання наказу про допуск до експлуатації такого зразка ОВТ.

Внесення змін виробниками до технологічних процесів виробництва зразків ОВТ в частині контрольних операцій з метою зменшення обсягів, що не призведе до шкоди для якості та не впливають на боєздатність ОВТ.

Суміщення етапів підготовки та освоєння виробництва та виготовленням установчої партії зразка ОВТ.

Здійснення ремонту та відновлення ОВТ за технічним станом та в обсязі, необхідному для відновлення боєздатності зразка ОВТ.

Спрощення механізмів постачання зразків ОВТ до Збройних Сил України (сил безпеки та оборони) шляхом розроблення доповнень до робочої конструкторської документації на особливий період, відповідно до ДСТУ В 15.203:2023 "Система керування життєвим циклом ОВТ.

Підприємства-утримувачі ТУ на ОВТ розробляють відповідні зміни (доповнення) до ТУ на особливий період на предмет розширення допустимих відхилень від конструкторської документації, виключення окремих видів випробувань спрощення, спрощення процесів пакування та інших робіт (заходів) які не впливають на боєздатність ОВТ. Зазначені зміни мають бути розроблені відповідно до національного стандарту ДСТУ В 15.902:2023 "Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Керування документацією. Основні положення."

Забезпечення впровадження національних стандартів «Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки» на підприємствах ОПК.

### **Висновки**

Незважаючи на безпрецедентні спроби росії подавити національну інфраструктуру, знищити Збройні Сили України, постійні ракетні, артилерійські обстріли, авіаційні удари оборонно-промисловий комплекс нашої держави зберіг свій потенціал та постійно нарощує можливості щодо забезпечення сил оборони країни сучасними зразками озброєння. Спільно з міжнародними партнерами підприємства України постачають сотні номенклатур товарів оборонного призначення. Разом з тим, вдосконалюються механізми забезпечення якості, проведення випробувань та оцінювання відповідності характеристик ОВТ наявним потребам оборони.

Забезпечення якості продукції оборонного призначення є безумовним пріоритетом як для Уряду, так і для суспільства в цілому.



Іншим пріоритетом має стати реформування системи управління якістю у сфері ОБТ та управління оборонним ресурсом, та переходу до сучасної західної системи управління якістю відповідно до підходів і стандартів НАТО.

#### Список літературних джерел

1 Закон України “Про оборонні закупівлі”.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20#Text>

2 Постанова КМУ від 25.02.2015 № 345 із змінами “Порядок постачання озброєння, військової та спеціальної техніки та боєприпасів під час особливого періоду, введення надзвичайного стану, проведення заходів із забезпечення національної безпеки і оборони, відсічі і стримування збройної агресії та у період проведення антитерористичної операції”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/345-2015-%D0%BF#Text>

3 Постанова КМУ від 17.02.2021 № 159 “Порядок проведення випробувань зразків озброєння та військової техніки”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/159-2021-%D0%BF#Text>

4 Постанова КМУ від 17.02.2021 № 160 “Порядок проведення випробувань та прийняття на озброєння (постачання) зразків озброєння, військової та спеціальної техніки, засобів і обладнання іноземного виробництва”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/160-2021-%D0%BF#Text>

5 Постанова КМУ від 03.03.2021 № 234 “Порядок розроблення, освоєння та випуску нових видів продуктів оборонного призначення, а також припинення випуску існуючих видів такої продукції”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/234-2021-%D0%BF#Text>

6 Постанова КМУ від 30.09.2022 № 1097 “Про внесення змін до Порядку постачання озброєння, військової і спеціальної техніки та боєприпасів під час особливого періоду, введення надзвичайного стану, проведення заходів із забезпечення національної безпеки і оборони, відсічі і стримування збройної агресії та у період проведення антитерористичної операції”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1097-2022-%D0%BF#Text>

7 Постанова КМУ від 24.03.2023 р. № 256 “Про реалізацію експериментального проекту щодо здійснення оборонних закупівель безпілотних систем вітчизняного виробництва”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/256-2023-%D0%BF#n18>

8 Постанова КМУ від 21.07.2023 р. № 763 “Про реалізацію експериментального проекту щодо виробництва, закупівлі та постачання боєприпасів до безпілотних систем та бойових частин безпілотних систем”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/763-2023-%D0%BF#Text>

9 ДСТУ В 15.210-2023 ”Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Випробування озброєння та військової техніки. Основні положення. Класифікація.”



## ДОСВІД ДИСТАНЦІЙНОГО ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ТА ВОДООЧИЩЕННЯ»

**О.В. Сангінова, Т.І. Обушенко, Н.М. Толстопалова**

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

sanginova.olga@lil.kpi.ua

Забезпечення належної якості освітніх послуг в умовах воєнного стану в Україні є надзвичайно важливою проблемою для всіх заінтересованих сторін: здобувачів, науково-педагогічних працівників, адміністрації закладів вищої освіти та роботодавців. Ускладнення навчання та викладання через різні можливості доступу учасників освітнього процесу до навчальних ресурсів стало викликом для науково-педагогічних працівників університетів і обумовило удосконалення методів викладання, адаптацію вже розроблених дистанційних курсів, розширення цифрових інструментів навчання.

Завдяки програмі «Цифрові інструменти Google для освіти» [1], започаткованій у липні 2022 року Міністерством освіти і науки України разом із Google Україна, автори мали можливість долучитись до навчання і застосувати нові знання та досвід у навчальному процесі. Тестування цифрових інструментів Google здійснювалось на платформі дистанційного навчання «Сікорський» [2], яка створена у КПІ ім. Ігоря Сікорського, і є потужним майданчиком для взаємодії викладачів зі студентами.

Вебсервіси та вебпакети Google були задіяні при викладанні двох нормативних і однієї вибіркової дисциплін освітньої програми «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»: «Теоретичні основи хімії та технології води» (нормативна, 6 кредитів), «Технічний аналіз у виробництві неорганічних речовин та водоочищенні» (нормативна, 6 кредитів) та «Стандартизація, метрологія, сертифікація та управління якістю» (вибіркова, 4 кредити). Для кожної із зазначених дисциплін за допомогою сервісу *Google Клас* створено дистанційні курси. Наповнення курсів здійснювалось сумісно трьома викладачами - авторами роботи. Студенти долучались до курсу через код, наданий викладачем на початку семестру; матеріали курсу здобувачі отримували відповідно до графіку, запланованому через *Google Календар*. Дистанційний курс «Теоретичні основи хімії та технології води» отримав сертифікат відповідно до процедури сертифікації, діючої у КПІ ім. Ігоря Сікорського, два інші курси проходять апробацію у навчальному процесі і заплановані до сертифікації у 2024 році.

Структура курсу «Теоретичні основи хімії та технології води» показана на Рис. 1. Відповідно до навчального плану, для даної дисципліни передбачено 36 годин лекцій, 18 годин практичних та 36 годин лабораторних занять, модульна контрольна робота; семестровий контроль – екзамен. Лекційний контент курсу «Теоретичні основи хімії та технології води» значною мірою базується на навчальному матеріалі, створеному в рамках проєктів «Water Harmony Erasmus+» та «Water Harmony Eurasia II» [3][4].

Дистанційний курс «Технічний аналіз у виробництві неорганічних речовин та водоочищенні» забезпечує 18 годин лекцій, 18 годин практичних та 72 години лабораторних занять; має індивідуальне завдання - розрахункову роботу. Контрольним заходом є модульна контрольна робота; семестровий контроль -

залік. Курс «Стандартизація, метрологія, сертифікація та управління якістю» є вибіркоким і складається з 36 годин лекцій та 36 годин практичних занять, має індивідуальне завдання - домашню контрольну роботу; контрольні заходи – модульна контрольна робота; семестровий контроль -- залік.



Організація курсу	Силабус
	Охорона праці та техніка безпеки у хімічній лабораторії
	Алгоритм дій за сигналом цивільного захисту “Повітряна тривога”
Навчальний контент	Лекції
	Лабораторні роботи
	Практичні заняття
Контрольні заходи	МКР
	Екзамен

Рисунок 1 Структура курсу «Теоретичні основи хімії та технології води»

У КПІ ім. Ігоря Сікорського діє змішаний режим навчання, тому лекції, а також практичні заняття, консультації і контрольні заходи проводились дистанційно із застосуванням сервісу *Google Meet*. Контроль присутності на заняттях здійснювався за допомогою розширення *Список присутності в Google Meet* (Рис. 2).



Рисунок 2 Інструменти для проведення та контролю онлайн-занять

З метою отримання зворотнього зв'язку від здобувачів, наприкінці кожної лекції доцільно проводити опитування через *Завдання з тестом*, до якого автоматично підключається *Google Форма*. Студенти можуть побачити кількість набраних балів одразу після надсилання форми, а викладач - розподіл балів (Рис. 3) та проаналізувати, на які саме запитання студенти відповідають неправильно.

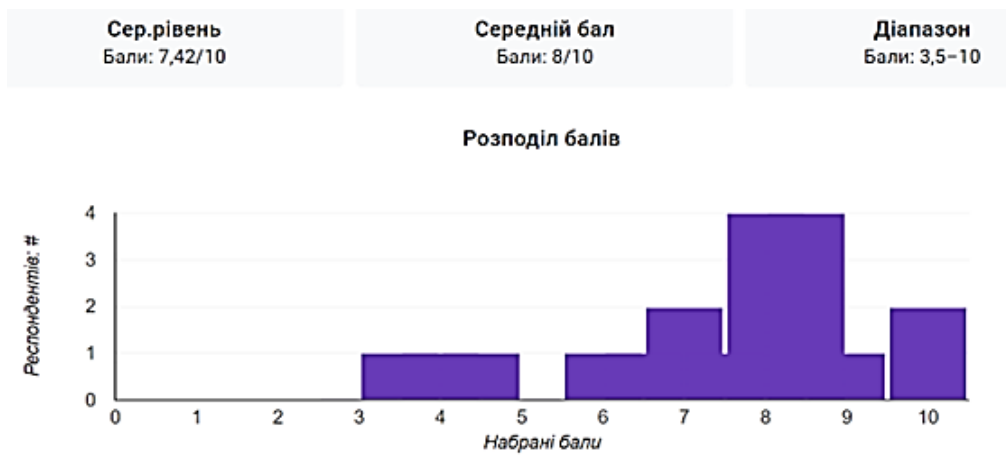


Рисунок 3 Розподіл балів за результатами опитування на лекції

Організація роботи над індивідуальним завданням здійснювалась за наступним алгоритмом: студенти отримували індивідуальні завдання і протягом відведеного часу працювали над виконанням і оформленням роботи, потім розміщували пояснювальну записку та розрахунки у відповідному розділі курсу, а після перевірки роботи викладачем захищали роботу. Розділ «Домашня контрольна робота» для курсу «Стандартизація, метрологія, сертифікація та управління якістю» представлено на Рис. 4. Захист індивідуального завдання – розрахункової чи домашньої контрольної роботи – проводилось у вигляді тестувань через заздалегідь розроблені *Google Форми*. Час тестування має бути достатнім для якісних відповідей.

## Домашня контрольна робота




-  Методичні вказівки і завдання до вико... Змінено 8 лист.
-  Розміщення пояснювальної записки д... Дата здачі: 4 груд.
-  Захист ДКР Чернетка

Рисунок 4 Розділ «Домашня контрольна робота» для курсу «Стандартизація, метрологія, сертифікація та управління якістю»

Написання модульної контрольної роботи та захист лабораторних робіт також проводились у вигляді тестувань через *Google Форми*.

Важливою проблемою дистанційного навчання для студентів, які навчаються за освітньою програмою «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення», є проведення лабораторних робіт. Заміна лабораторних робіт на відеоролики не дозволяє сформувати у майбутніх хіміків-технологів потрібних

навиків роботи на реальному обладнанні. Тому дисципліни, для яких передбачені лабораторні заняття, мають проводитись у змішаному режимі: лекції та практичні заняття – у онлайн режимі, а лабораторні заняття – в лабораторії. Відповідний розділ у *Google Класі* може бути сформований наступним чином (Рис. 5): студенти вивчають теоретичний матеріал, переглядають відеоролики та готують протоколи для запису спостережень під час роботи у лабораторії, потім виконують експерименти у лабораторії; результати спостережень, розрахунки та побудови (графіки, діаграми тощо) прикріплюють у *Google Класі*, а після перевірки результатів роботи викладачем отримують завдання на захист.

## Лабораторна робота 8. Хроматографія




	Методичні рекомендації і завдання	Змінено 8 лист.
	Результати спостережень	Дата здачі: 20 лист.
	Захист лабораторної роботи	Дата здачі: 20 лист.

Рисунок 5 Організація лабораторних робіт для курсу «Технічний аналіз у виробництві неорганічних речовин та водоочищенні»

Досвід дистанційної роботи протягом тривалого часу (COVID-19, воєнний стан в Україні), свідчить про важливість розширення переліку дистанційних курсів освітньої програми «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення», а також цифрових інструментів для навчання. Перспективними є використання Mentimeter, Kahoot для організації інтерактивної взаємодії зі здобувачами, а також Moodle для розроблення дистанційних курсів.

### Список літературних джерел

- 1 «Цифрові інструменти Google для освіти: понад 134 тис. освітян доєдналися до програми | Міністерство освіти і науки України». Дата звернення: 14, Листопад 2023. [Online]. Доступний у: <https://mon.gov.ua/ua/news/cifrovi-instrumenti-google-dlya-osviti-ponad-134-tis-osvityan-doyednalisya-do-programi>
- 2 «Платформа дистанційного навчання - Sikorsky-distance». Дата звернення: 14, Листопад 2023. [Online]. Доступний у: <https://www.sikorsky-distance.org/>
- 3 «ABOUT Water Harmony». [Online]. Доступний у: [www.waterh.net](http://www.waterh.net)
- 4 «Water Harmony Erasmus + – Harmonise teaching and pedagogical approaches in water related graduate education». Дата звернення: 14, Листопад 2023. [Online]. Доступний у: <https://waterh.eu/en/water-harmony-erasmus/>

## РЕФОРМУВАННЯ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ ТА МІСЦЕВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК

**Ю.С. Пранович, М.В. Єрмолаєв**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Навчально-науковий інститут публічного управління та державної служби  
pranovychu@gmail.com  
maksimyeremolaev83@gmail.com

Місцеве самоврядування є важливою складовою демократичного суспільства та ключовим елементом організації держави. В Україні, як і в багатьох інших країнах, місцеве самоврядування відіграє важливу роль у забезпеченні громадянських прав та розвитку територій. Процес реформування місцевого самоврядування започатковує зміни в системі управління на місцях, посилення його ефективності та демократичності.

Проте, історично місцеве самоврядування в Україні іноді стикалося з численними викликами та перешкодами.

Процес реформування місцевого самоврядування в Україні був і залишається актуальною та складною темою. З початку незалежності України наша країна пройшла через численні реформи та зміни у сфері, досягнуті успіхи існують поруч з численними викликами та завданнями, що залишаються невирішеними.

*Історія реформ місцевого самоврядування.* У новітній історії незалежної України перші кроки у створенні сучасної системи місцевого самоврядування в Україні здійснювалися в період після 1991 року. Утворення місцевих рад і виконавчих органів на демократичних засадах стало першим етапом цього процесу. Однак, згодом було виявлено численні проблеми у роботі цих органів, зокрема, в недостатній ступінь їхньої фінансової самостійності.

Один із важливих кроків у реформуванні місцевого самоврядування став прийняття Закону України "Про місцеве самоврядування в Україні" у 1997 році[4]. Цей закон заклав основи системи місцевого самоврядування, заклав основу подальших реформ та передав значну кількість повноважень на місця.

Проте, реалізація цих реформ була неоднаковою в різних регіонах України, і багато проблем і викликів залишилися невирішеними. Низька фінансова самостійність місцевих органів, а також складність процедур об'єднання громад, стали додатковими перешкодами на шляху до ефективного місцевого самоврядування.

*Сучасні виклики.* На сьогоднішній день, в період повномасштабного військового вторгнення РФ Україна стикається з численними викликами у реформуванні місцевого самоврядування.

Одним із найважливіших є подальше зміцнення *фінансової самостійності* місцевих органів влади. Більшість з них і досі залежать від центрального уряду для фінансування своєї діяльності, що обмежує їхню здатність виконувати функції та забезпечувати якісні послуги для громадян. Зміцнення фінансової самостійності органів місцевого самоврядування вимагає вдосконалення системи збору та розподілу податків і місцевих ресурсів, а також вдосконалення бюджетних механізмів.

Ще однією важливою проблемою є *оптимізація адміністративних меж*. Створення об'єднаних територіальних громад було важливим кроком у цьому напрямку, проте існують питання щодо їхньої оптимальної кількості та масштабу.



Також важливим є питання про впровадження принципів децентралізації та делегування повноважень органам місцевого самоврядування.

Важливо розуміти, що територіальна громада - це не адміністративна одиниця, а спільнота людей, які об'єдналися для вирішення спільних завдань. Це простір в якому знаходяться мешканці, формуються та діють підприємницькі структури, громадські організації, ініціативні групи, де громадяни обирають своїх представників, які призначені для виконання повноважень в інтересах всієї громади, використовуються місцеві ресурси, розвивається інфраструктура. Таким чином, місцевий економічний розвиток пов'язаний не тільки з впровадження нових технологій та підвищенням кваліфікації працівників підприємницьких структур, а і в забезпеченні ефективного публічного управління.

Місцеве самоврядування є складною системою взаємозв'язків між різними рівнями влади, включаючи центральний та регіональний рівні. Саме тут забезпечується впровадження стратегій розвитку, залучення інвестицій, створення умов для підприємницької діяльності та розвитку громадських ініціатив, вирішуються питання гендерної рівності у контексті забезпечення рівних можливостей для жінок і чоловіків у прийнятті рішень та управлінні громадами.

*Отже*, реформування місцевого самоврядування в Україні має на меті подальше зміцнення фінансової самостійності територіальних громад, оптимізацію адміністративно-територіальної структури та забезпечення ефективного управління для економічного розвитку, вдосконалення механізмів участі громадян у прийнятті рішень, забезпечення гендерної рівності та контролі за діяльністю місцевих органів влади, в кінцевому рахунку покращити життєвий рівень мешканців громади.

#### **Список літературних джерел**

- 1 Закон України "Про службу в органах місцевого самоврядування."
- 2 Конституція України.
- 3 Закон України "Про добровільне об'єднання територіальних громад" від 05.02.2015 року № 157-VIII.
- 4 Закон України "Про засади місцевого самоврядування в Україні" від 21.05.1997 року № 280/97-ВР.
- 5 Закон України "Про органи виконавчої влади" від 07.07.2010 року № 2778-VI.
- 6 Закон України "Про місцеве самоврядування в Україні" від 21.05.1997 року № 280/97-ВР.
- 7 Борденюк В. І. Співвідношення місцевого самоврядування та державного управління: конституційно-правові аспекти.: дис. ... д-ра юрид. наук : спец. 12.00.02 / В. І. Борденюк; Нац. акад. держ. упр. при Президентові України. — К., 2009. — 496 с.
- 8 Кравченко В. В. Проблеми законодавчого закріплення компетенції місцевого самоврядування в контексті реформ місцевого самоврядування в Україні / В. В. Кравченко // Аспекти публ. упр. — 2014. — № 11–12 (13–14). — С. 13–21.
- 9 Пухтинський М. Концептуальні, конституційні, політико-правові засади територіальної організації публічної влади / М. Пухтинський // Право України. — 2014. — № 9. — С. 88–93.



## **ORGANISING E-LEARNING IN WAR CONDITIONS USING GOOGLE CLASSROOM**

**S. G. Bondarenko, A. M. Shakhnovsky, O. V. Sanginova, K. O. Kosenko**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
s\_g\_bondarenko@ukr.net

The priority task of the higher education system is the training of personnel who are able to creatively solve professional tasks and be ready for lifelong learning and self-development in the conditions of the changing needs of the labour market.

The modern period of the development of society is characterized by a strong influence on it of digital technologies, which penetrate into all areas of human activity, which ensures the spread of information flows in them, forming a global information space. Digital technologies' development and implementation in the world is happening faster than the implementation of any other innovative developments. The rapid spread of digital technologies requires a wide variety of new knowledge and skills, fundamentally new approaches to education and work, and a qualitatively new relationship between work and leisure.

The accelerated development of information and communication technologies presents teachers with the task of fluency and application of information and communication technologies in the educational process. Thanks to electronic learning systems and information and communication technologies, the teacher transforms and improves traditional learning models.

Strict quarantine measures, which were introduced due to the COVID-19 pandemic, forced the education industry to adapt and reorganize its work to remote mode. There are also significant problems with the use of online learning. First of all, some students from low-income families faced additional obstacles in their studies. Educational institutions also faced significant technical and methodological problems, forced to make operational changes to the infrastructure in order to facilitate distance teaching.

The war in Ukraine brought new challenges to the education sector: the destruction of educational institutions and housing, the forced relocation of both students and teaching staff to other regions of Ukraine and abroad. In a number of regions of the country, face-to-face training of education seekers has become impossible, and therefore distance learning has become the only available form of education.

The Law of Ukraine "On Education" (Article 57-1 "State guarantees in conditions of martial law, state of emergency or state of emergency") states that students who have changed their place of residence, place of study, left their workplace for a special period are guaranteed by the organization educational process in remote form or in any other form that is the safest for its participants.

According to available data, the war in Ukraine forced more than 6 million Ukrainians to seek refuge in neighboring countries. These include approximately 665,000 students, representing 16% of the total number of students, and more than 25,000 teachers, representing 6% of the total number of teachers in the country. This mass displacement has profoundly affected the provision of educational services, exacerbating the problems associated with the damage and destruction of educational institutions [1].

An important aspect of e-learning during the war is not so much the acquisition and assimilation of knowledge, but also psychological support, communication, a sense of unity, closeness, etc. for the participants of the educational process [2].

Organizing high-quality distance learning in wartime is a very difficult process. It requires systematic work on the introduction and improvement of modern distance learning technologies in the educational process, which will later help to obtain positive results.

Distance learning technologies ensure the delivery of basic educational material to students and interactive interaction between students and teachers in the learning process. Such teaching technologies have such advantages as flexibility, relevance, convenience, modularity, economic efficiency, interactivity, absence of geographical borders for obtaining education [3, 4].


Today in the world there is a significant number of e-learning platforms for the organization of e-learning, which are divided into two large categories: commercial and open source. Learning Management Systems (LMS) allow to organize the educational process and monitor the progress of students by creating online courses or virtual classes, available anytime and anywhere in the world. It is important that all educational materials are stored in one place where it is convenient to view and edit them.

Worthy of attention is the Google Classroom platform, presented by Google, developed on the basis of Google Apps. Importantly, Google Classroom is a free service for schools, non-profits, etc. The Google Classroom platform was introduced into the practice of teaching various courses in 2014 and is used by teachers and students of different countries in more than 42 languages. The platform has integration with Google services and other additional services.

The aim of this work is to analyze the functionality and features of the Google Classroom service from the point of view of its use for e-learning, to generalize the experience of using Google Classroom in teaching the discipline "Information Technologies" to students of the Chemical-Technological Faculty of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.

To start with Google Classroom, the student should have a Google account, and if the educational institution has organized a corporate information space using the Google *G Suite for Education* service (a set of free Google tools and services designed specifically for educational institutions and organizations for the online educational process), then according to the account provided. To provide e-learning for scientific and pedagogical staff and students at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute created corporate accounts of the form xxxxxx@lll.kpi.ua in G Suite for Education. According to the distance learning platform Sikorsky Distance (<https://www.sikorsky-distance.org/>), there is a significant increase in the number of registered distance courses (in particular, from March 2020 to January 2021, the number of courses registered on the platform increased from 221 to 3072; and in 2023, this indicator increased several times).

A corporate account gives users more advantages when using Google cloud services. If there is an Internet connection, access to the Google Classroom service is carried out through any browsers (new versions) or from mobile devices on Android or iOS using a corporate account.

The procedure for creating a class is quite simple. To create a new course, it is needed to log in from a personal Google account to the Classroom application from the main menu, which is opened by clicking on the Google Applications button  at the top right of the browser. After pressing the + button, the user can create a training class or join an existing one. Choosing the status of a teacher allows you to proceed to the creation and configuration of your own class (course). In the course creation window,

you should enter its name (required) and some attributes (optional) and click the Create button (Figure 1).

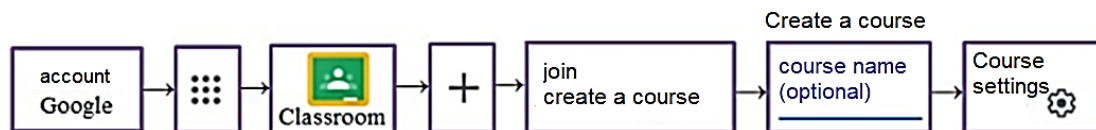


Figure 1 The sequence of creating a class (course) in Google

Approbation of the Google Classroom features was carried out when using it to teach the discipline "Information Technologies" to students of the Chemical-Technological Faculty of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. The volume of the discipline reaches 4 credits. The course includes lectures (36 hours), computer workshops (36 hours), homework, writing a modular test, and independent student work.

The distance course "Information technologies" was created using the Google Classroom service (Figure 2). Joint teaching and filling of the course was carried out by three teachers and academic groups of the faculty studying this course were attached to the course. To join, students were given a course code and open access to all course materials.

The created class should be configured. Google Classroom provides a variety of templates and classroom theme settings (Figure 2). If necessary, a photo can be uploaded as a theme.



Figure 2 Example of the "Information Technologies" course design


Each newly created class is provided with its own access code, which can be displayed in the theme or hidden. Google Meet support can be enabled, and students can get links to future meeting videos. Setting up grade categories can be done at the beginning or delayed.

Work with Google Classroom and further settings are carried out through the main panel, which shows four tabs (Figure 3): **Stream**, where all actions are displayed; **Classwork** that provides an opportunity to attach various materials and tasks, assign a period and time for their completion; **People** with information about users (students and teachers) who joined the class; **Grades** with information on the success of course students.

Stream      Classwork      People      Marks

Figure 3 Google Classroom tabs

The teacher can invite other teachers (up to 20) to join the class to co-teach the course and students to learn (Figure 4).

To join, the teacher can provide an access code or invite to join using the **People** tab button . In the window that opens, it is necessary to enter email address and click the **Invite teacher** button. The invitee will receive a letter inviting them to join the course.

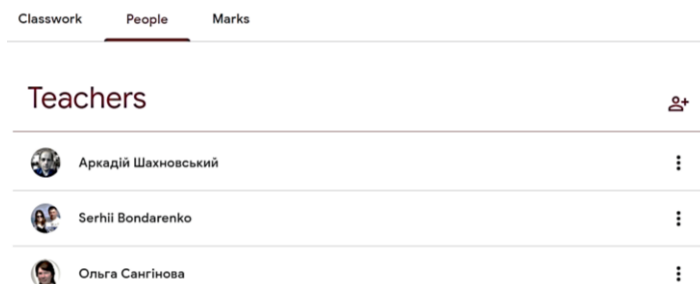


Figure 4 Course instructors on the People tab

Google Classroom enables the teachers to post course materials, create assignments, initiate thematic online discussions, assign grades, and make announcements. If necessary, teacher can add comments and edit at each stage. To create a task, question, topic, etc., teacher should go to the **Classwork** tab and, clicking the **Create** button, add materials of different categories (Figure 5). Materials can be structured by topics.

Within the presented course, the educational material is divided into logical thematic blocks. An important point is the presence in the Google class of clear instructions for mastering each block of material and criteria for evaluating the result.

When creating the distance course, topics were chosen that can be transferred to independent study by students; topics that are usually easier to learn were condensed, and those topics that require more detailed study were also identified; priority topics were determined, without which the assimilation of further materials of the educational component is impossible.

This makes it possible to flexibly use the materials of the educational component provided for in the syllabus in the conditions of war.

When creating an assignment (Figure 5), a teacher can add it to the schedule or save a draft for further work on the task. Select the **Assignment** type if a teacher need to attach the task as a file or link. If the file is attached, a teacher can choose the following options: students can view the file; can edit the file; an individual copy of the file can be created for everyone. The **Quiz assignment** automatically connects the test to Google Forms. Distance learning forces the teacher to pay special attention to the means of testing to verify knowledge. An important point is to check the independence of the works for their objective evaluation and to fulfill the requirements of academic integrity.

Google Forms is a versatile tool that allows the teachers to create multiple-choice or multiple-choice quizzes, open-ended tasks, tasks with pictures, videos, etc.

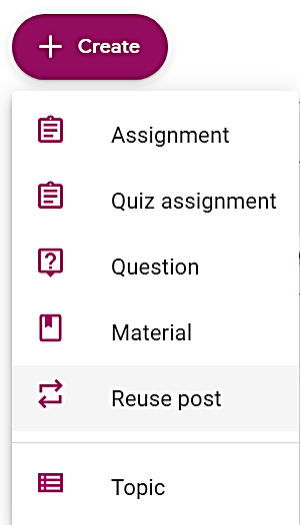


Figure 5 Types of assignments

The Question type allows a teacher to ask a question and get an answer. The response can be scheduled as a short response or one from a list. The Material type allows a teacher to attach educational materials. The Reuse post type allows a teacher to use material or assignments in another course. The Topic section is designed to create a new topic in the course. The publication time can be scheduled. The publication appears on the Stream tab and students receive information to their email address (and if the application is installed on the phone, a push message will appear).

The sequence of actions during training is simple and clear. The teacher provides materials, creates assignments, attaches files, adds his comments, and students familiarize themselves with the information, complete the assignments, and receive grades.

Students send completed work to the teacher. At the same time, the work status will change to **Handed in**. The received work is checked and graded. It is also possible to leave comments. Then the work should be returned. Teacher can switch to receiving and evaluating a task through the **Stream**, where the teacher should click on the name of the task in the ribbon, or through the **Classwork** tab, where the teacher can view the task.

The **Marks** section shows a summary of grades for each type of assignment, and it is possible to calculate the grade point average.

An important advantage of Google Classroom is the integration with other Google services: Google Disk, which provides opportunities to create a multifunctional user environment; Google Documents, which provide an opportunity for joint work on documents; Google Sheets; Google Slides, etc. The fact that all course materials are stored on Google Disk, including tasks completed by students, is a positive for classroom learning.

The **Classwork** tab has additional tabs (Figure 6) for working with Google Meet, Google Calendar, and Google Disk.



Figure 6 Tools for working with Google Disk, Google Calendar and Google Meet

Lectures and practical classes of the "Information Technologies" distance course, consultations and assessment were conducted using Google Meet. Weekly classes were planned in Google Calendar. The time of publication of educational materials was planned. Based on the provided materials, the students prepared for computer workshops and performed the assigned tasks in scheduled classes. The defense of the completed tasks was carried out according to the schedule based on pre-prepared tests developed by means of Google Forms. The time for the tests was planned to be sufficient for the preparation of a high-quality answer and limited in order to prevent nondependent work of students. The module test was carried out according to pre-prepared tests developed using Google Forms. Students placed the completed



homework test on Google Disk for teachers to check and determine the grade. The defense of works was carried out according to pre-prepared tests developed by means of Google Forms. Assessments were conducted according to the schedule. Students received grades in accordance with the rating system.

Some of the shortcomings in the work of Google Classroom should include: the difficulty of checking the constant presence of students at lectures, because after some time the cameras were turned off by students; distortion of formulas in MS Word documents as a result of opening them during the checking of student works in the Google Documents service; the impossibility of carrying out real-time laboratory works, if they are planned in the course (replacing them with videos does not allow the student to learn how to work with real equipment). It should also be noted that the basis of distance learning is the independent work of students. Therefore, one of the main factors of the successful implementation and implementation of distance learning should be considered the presence of students at a high level of self-motivation and purposefulness.

Correctly selected course materials, based on the goals and tasks of training and the characteristics of the educational process in the online environment, will ensure a positive result for students, and positive feedback for the teacher.

Education in the conditions of war faces many challenges, a significant part of which helps to overcome the distance form of education. At the same time, e-learning requires the joint efforts of students and pedagogical staff, as well as the administration of the educational institution to achieve the necessary learning results. Support from the government is also an important factor in the effective provision of educational services.

An analysis of the capabilities of the Google Classroom service showed its convenience and effectiveness for creating distance courses. As a result of an intuitive interface and powerful services, it can be considered one of the best tools for distance learning. The use of cloud services for the organization of the educational process makes it possible to increase the level of visibility of education, to differentiate the assimilation of knowledge, to establish a systematic control of the acquired knowledge to increase the effectiveness of education.

### References

1 War & Education. How a year of the full-scale invasion affected Ukrainian schools (May 2023). URL: [https://cedos.org.ua/wp-content/uploads/eng-saved\\_overview-report-2022-web.pdf](https://cedos.org.ua/wp-content/uploads/eng-saved_overview-report-2022-web.pdf). Date of access: November, 12 2023.

2 Galynska O., Bilous S. Remote learning during the war: challenges for higher education in Ukraine. *International Science Journal of Education & Linguistics*. Vol. 1, No. 5, 2022, pp. 1-6. DOI: 10.46299/j.isjel.20220105.01.

3 Umryk M. Organization of distance learning for meeting the needs of modern students. *Information Technologies and Learning Tools*. 2015. 45(1). p. 146. DOI: 10.33407/itlt.v45i1.1175

4 Distance learning at KPI: answers to important questions. 2022. URL: <https://kpi.ua/node/17973>. Date of access: November, 10 2023. (in Ukrainian).



## ЗМІСТ

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ .....	3
СЕКЦІЯ 1 Спеціальна хімічна технологія, виробництво боєприпасів та вибухові роботи в промисловості .....	10
ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ БЛОКУ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПЕРЕНОСНОГО ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ «STINGER» М.С. Мошковський, А.О. Гаврилук, О.В. Князьський, <sup>1</sup> М.В. Бик <sup>2</sup> .....	11
TECHNIKI BADANIA CIĄGU KOMPOZYCJI NANOTERMITOWYCH I BAZUJĄCYCH NA NICH KOMPOZYCJI NANOTERMITOWYCH M. Maciuch <sup>1</sup> , J. Iksal <sup>1</sup> A. Gilicki <sup>1</sup> , M. Polisz <sup>2</sup> .....	18
THE RELATIONSHIP OF THE BURNING RATE OF GUN POWDER GRANULATED WITH THE VARNISH METHOD WITH THE CONTENT OF A PHLEGMATIZER IN IT V.I. Sereda, V.K. Lukashov, T.M. Shevtsova .....	26
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ЛАЙНЕРА НА МЕХАНІЧНУ ДІЮ КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДУ Ю.І. Войтенко <sup>1</sup> , С.В.Гошовський <sup>2</sup> , Р.В. Закусило <sup>3</sup> , В.П. Бугаєць <sup>4</sup> , Ю.М. Сидоренко <sup>5</sup> , А.М. Артем'єв <sup>1</sup> .....	30
PROPERTIES OF SOLID ROCKET PROPELLANTS DIFFERING IN UTILIZED BINDER Kinga Łysień <sup>1</sup> , Sylwia Waśkiewicz <sup>1</sup> , Agnieszka Stolarczyk <sup>1</sup> , Anna Mielańczyk <sup>1</sup> , Roman Zakusylo <sup>2</sup> , Tomasz Jarosz <sup>1</sup> .....	34
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЯДУ НА ОСНОВІ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ ТА НІТРОМЕТАНУ Роман Закусило <sup>1</sup> , Дарина Закусило <sup>1</sup> , Азер Шукуров <sup>2</sup> , Томаш Салачинський <sup>3</sup> .....	38
PERCHLORATES AND INORGANIC PEROXIDES AS GREEN ADDITIVES FOR ANFO M. Fabin <sup>1</sup> , W. Kołodziej <sup>1</sup> , K. Głosz <sup>1</sup> , R. Zakusylo <sup>2</sup> , T. Jarosz <sup>1</sup> .....	42
РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ БЕЗСТІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТУ КРОХМАЛЮ С.Д. Тищенко, В.К. Лукашов.....	46
СЕКЦІЯ 2 Загальна хімічна технологія, екологія проблеми утилізації та розмінування .....	50
HYDROGEN GAS SENSORS AS TOOLS FOR EXPLOSIVE ATMOSPHERE SAFETY Karolina Głosz <sup>1</sup> , Marcin Procek <sup>2</sup> , Agnieszka Stolarczyk <sup>1</sup> , Tomasz Jarosz <sup>1</sup> ..	51
FEATURES OF THE STRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES CURED UNDER THE INFLUENCE OF PHYSICAL FIELDS Yu. Bardadym .....	55
ENERGETIC COORDINATION COMPOUNDS AS POTENTIAL ALTERNATIVES TO CURRENTLY USED LEAD-CONTAINING COMPOUNDS K. Pawlus, T. Jarosz .....	61
ОСОБЛИВОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ Ю.М. Феденко, В.В. Синіцька.....	65
КІНЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ШАХТНОГО РЕАКТОРА ЗАСОБАМИ EXCEL А.Л. Концевой, С.А. Концевой, О.М. Кліменков .....	69
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ВІД ФТОРУ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ ТА ЇХ АКТИВОВАНИМИ ЗРАЗКАМИ В.С. Куриленко, Н.М. Толстопалова, О.В. Сангінова, Т.І. Обушенко .....	73
ПЕРСПЕКТИВНА ДЕРЖАВНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗМІНУВАННЯ (ЗНЕШКОДЖЕННЯ) ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ, ЯКІ МОЖУТЬ ПРЕДСТАВЛЯТИ ЗАГРОЗУ РАДІАЦІЙНОГО, ЯДЕРНОГО, ХІМІЧНОГО ТА БІОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ І.М. Швець, З.М. Швець.....	79

PARTICULARITY OF OBTAINING THE PHYSIOLOGICALLY COMPLETE DRINKING WATER BY USING MEMBRANE METHODS O.I. Shlikhter <sup>1</sup> , A.V. Tyvonenko <sup>1</sup> , T.E. Mitchenko, Z.V. Maletskyi <sup>2</sup> , I.V. Kosogina <sup>1</sup> .....	86
СЕКЦІЯ 3 Енергозбереження та альтернативні палива, запобігання енергетичній кризі. ....	90
RESEARCH INTO THE DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF LITHIUM-ION BATTERIES ON THE COMPOSITION AND CONCENTRATION OF SALTS AND ORGANIC COMPOUNDS IN THE ELECTROLYTE. Aliaksei Babraunitski <sup>1,2</sup> , Przemysław Data <sup>3</sup> , Krzysztof Karoń <sup>1,4</sup> .....	91
АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГРУНТОВИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ КЛІМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ С.М. Романько.....	95
ROZPOZNANIE MOŻLIWOŚCI OTRZYMYWANIA AZOTANÓW POLISACHARYDÓW I ICH ZASTOSOWANIA JAKO LEPISZCZ W UKŁADACH PIROTECHNICZNYCH E. Gawrysiak, K. Łysień .....	99
СЕКЦІЯ 4 Післявоєнна відбудова та управління економікою України .....	116
UKRAINE'S RECOVERY FROM THE WAR CONSEQUENCES: ECONOMIC MANAGEMENT AND DEVELOPMENT SCENARIOS T.S. Lukianenko <sup>1</sup> , I.V. Klindukh <sup>1</sup> , R.V. Zakusylo <sup>2</sup> , L.S. Petrushova <sup>1</sup> .....	117
ІННОВАЦІЙНІ ІНСТРУМЕНТАРІЇ ФІНАНСУВАННЯ В ПІДПРИЄМНИЦТВІ Ірина Вареник, Іван Кутько, Софія Імшенецька .....	121
ЕКОНОМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ЧАС Ю.М. Мануйлович.....	126
ІНСТИТУЦІЯ РАХІВНИЦТВА ЯК СКЛАДОВА ГОСПОДАРСЬКОГО МЕХАНІЗМУ КРАЇНИ Ірина Вареник, Наталія Осадча.....	131
РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СТРАТЕГІЧНИХ ПРОГРАМ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ЧАС О.М. Тур .....	136
ОСОБЛИВОСТІ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ Н.Ю. Баланюк, А.Л. Баланюк .....	140
СЕКЦІЯ 5 Інформаційні технології, моделювання та автоматизація .....	144
МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЗІ СТРУКТУРОЮ ZnO:Al/ZnMgO/CuO М.М. Іващенко <sup>1</sup> , А.С. Опанасюк <sup>2</sup> .....	145
РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, МОДЕЛЮВАННЯ І АВТОМАТИЗАЦІЇ А.Л. Баланюк, Ю.М. Мар'їнських .....	151
ПУБЛІЧНА БІБЛІОТЕКА ПО ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ ПРОТИВНИКА ДЛЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ С.Є. Євсєєв .....	154
СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ В КАМЕРНІЙ СУШАРЦІ Г.М. Худолей, Д.І. Захарченко .....	158
ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ІНТЕРАКТИВНОЇ ПЛАТФОРМИ НАВЧАННЯ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ РИЗИКІВ ВІД ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ Т.О. Левицька, Д.В. Кожан.....	166
СЕКЦІЯ 6 Хімія та фармацевтика .....	170
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СУБСТАНЦІЇ НАФАЗОЛІНУ НІТРАТУ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛИШКОВИХ РОЗЧИННИКІВ Т.М. Солонінчук <sup>1,2</sup> , В.В. Рудюк <sup>1</sup> , Л.В. Сидоренко <sup>2</sup> , В.А. Георгіянц <sup>2</sup> .....	171

НОВІ ГІДРАЗОНИ ТА СЕМІКАРБАЗОНИ – ПОХІДНІ 2-АЦИЛ-1,3-ІНДАНДІОНІВ М.В. Мельниченко <sup>1</sup> , В.В. Листван <sup>1</sup> , Г. Литвиненко <sup>2</sup> , М. Цибуларчик-Цецотка <sup>2</sup> , К.В. Листван <sup>3</sup> .....	175
АДСОРБЦІЙНА ІММОБІЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ [Ru(bpy) <sub>2</sub> (nic) <sub>2</sub> ] <sup>2+</sup> НА ПОВЕРХНІ РЕНТГЕНОЛЮМІНОФОРУ LaF <sub>3</sub> :Tb/Citr О.Д. Щеглов <sup>1,2</sup> , А.П. Кусяк <sup>1</sup> , А.Л. Петрановська <sup>1</sup> , В.В. Рудюк <sup>2</sup> , П.П. Горбик <sup>1</sup> .....	180
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН МЕТИУРУ, КАМЕТУРУ ТА ІВІНУ НА УРОЖАЙНІСТЬ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ ЯРОЇ СОРТУ ДЕМІРА В.А. Циганкова <sup>1</sup> , В.М. Копіч <sup>1</sup> , Н.М. Василенко <sup>1</sup> , С.Г. Пільо <sup>1</sup> , О.В. Головченко <sup>1</sup> , М.В. Малієнко <sup>2</sup> , В.С. Броварець <sup>1</sup> .....	184
СЕКЦІЯ 7 Філософсько-методологічні та соціальні аспекти виробництва виробництва в умовах війни .....	192
МЕХАНІЗМИ СТИМУЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА, СПРОЩЕННЯ ПРОЦЕДУР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ, ОЗБРОЄННЯ, БОЄПРИПАСІВ ТА КОМПЛЕКТУВАЛЬНИХ ВИРОБІВ НА ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ Є. О. Курбет .....	193
ДОСВІД ДИСТАНЦІЙНОГО ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ТА ВОДООЧИЩЕННЯ» О.В. Сангінова, Т.І. Обушенко, Н.М. Толстопалова .....	201
РЕФОРМУВАННЯ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ ТА МІСЦЕВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК Ю.С. Пранович, М.В. Єрмолаєв .....	205
ORGANISING E-LEARNING IN WAR CONDITIONS USING GOOGLE CLASSROOM S. G. Bondarenko, A. M. Shakhnovsky, O. V. Sanginova, K. O. Kosenko .....	207

Наукове видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**  
**VII Міжнародної науково-практичної конференції**  
**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:**  
**НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**

(м. Шостка, 22-24 листопада 2023 року)

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 11,49. Обл.-вид. арк. 23,13. Тираж 100 пр. Зам.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Миколи Сумцова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.