

**COLLECTION OF RESEARCH PAPERS**

of the 8th International Research and Practical Conference

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

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

VIII 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 8th International Research and Practical Conference

### CHEMICAL TECHNOLOGY: SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION



## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

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

(м. Шостка, 27-29 листопада 2024 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2024

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., завідувач 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:

Кравець В.Г. – професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, д.т.н., професор;

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

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

Тимофіїв 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 VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 27 - 29 листопада 2024 року. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 242 с.

ISSN 2786-4898.

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

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

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

Наукові праці учасників конференції подаються в авторській редакції.

© Шосткинський інститут  
Сумського державного університету, 2024  
© Сумський державний університет, 2024

## ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ THE ORGANIZERS OF THE CONFERENCE



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**



**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**SUMY STATE UNIVERSITY**



**ПОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**SHOSTKA INSTITUTE OF SUMY STATE UNIVERSITY**



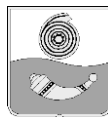
**ЦЕНТРАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**  
**CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF WEAPONS  
AND MILITARY EQUIPMENT OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE**



**ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ФАРМАК»**  
**JOINT STOCK COMPANY "FARMAC"**



**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 Міністра 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 хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, член-кореспондент Академії гірничих наук України, д.т.н., професор
Банішевський Віктор Васильович	заступник директора науково-дослідного інституту ДП НВО Павлоградський хімічний завод, к.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

Маранда Анджей	заступник директора з наукової роботи Інституту промислової органічної хімії, Варшава, Польща, PhD
Салачіньський Томаш	технічний редактор Центральноєвропейського журналу енергетичних матеріалів 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 «BIOB», Рига, Латвія; Dr.chem

#### **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Тугай Наталія Олександрівна	директор Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.ф.н.
Мануйлович Юрій Миколайович	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.
Худолей Георгій Михайлович	завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Тур Олександр Миколайович	доцент кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.е.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»
Веренич Олександр Олександрович	заступник генерального директора ТОВ Фармхім

## 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., доцент

Члени оргкомітету:

Павленко Оксана В'ячеславівна заступник голови оргкомітету конференції: завідувач 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, викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету

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 асистент 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

Сердюк Анастасія Олександрівна провідний фахівець 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 Minister 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 Vaskivskiyi	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 Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University, Corresponding member of the Academy of Mining Sciences of Ukraine
Viktor Banishevsky	PhD, Deputy Director of the Research Institute of the State Enterprise Scientific And Production Association «Pavlograd Chemical Plant»
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”
Andrzej Maranda	PhD, Deputy Director for Research and Development of Institute of Industrial Organic Chemistry, Warsaw, Poland



Tomasz Sałaciński	PhD, Technical Editor of Central European Journal of Energetic Materials, 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
Yuri Manuylovych	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”
Heorhii Khudolei	PhD, Head of System Engineering and Information Technology Department of Shostka Institute of Sumy State University
Alexander Tour	PhD, Associate Professor of Economics and Management 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”
Oleksandr Verenykh	Deputy General Director of Pharmchem LLC

## ORGANIZING COMMITTEE OF THE CONFERENCE

### Chairman:

Roman Zakusylo PhD, Associate Professor, Deputy Director for Research, Shostka Institute, Sumy State University

### Members of Organizing Committee:

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

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, Assistant 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 System Engineering and Information  
Technology Department of Shostka Institute of Sumy State  
University

Anastasia Serdyuk Leading Specialist of Chemical Technology of Macromolecular  
Compounds Department of Shostka Institute of 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**

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ РОСІЙСЬКОГО СИГНАЛІЗАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРУ «РАДІОБАР'ЄР»

**Мошковський М.С., Мельник Б.О., Гаврилюк А.О.**

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової  
техніки Збройних Сил України  
csriame@mil.gov.ua

В теперішній період сучасного збройного протистояння України і країни-агресора РФ до Збройних Сил України різними шляхами надходять трофейні зразки озброєння та військової техніки (ОВТ). Для вивчення технічних рішень, що були застосовані під час їх створення, проводяться дослідження, які також поширюються на уламки і фрагменти зразків ОВТ ЗС РФ. Цьому питанню наразі приділяється значна увага [1, 2]. Це представляє інтерес і для систем технічних засобів охорони, що використовуються для захисту периметру спеціальних об'єктів в Збройних Силах України так і для об'єктів критичної інфраструктури.

В цьому аспекті представляло інтерес дослідити одержаний трофейний зразок сейсмічних радіосигналізаторів типу РС-У та нерозбірної батареї живлення ВІП-1013 зі складу сигналізаційного комплексу (СК) «Радіобар'єр» виробництва РФ (рис. 1, рис. 2). Сигналізаційний комплекс «Радіобар'єр» - автономна бездротова малогабаритна охоронна система, що швидко розгортається, призначена для виявлення порушника, що проник на контрольовану ділянку місцевості. Основні переваги комплексу:

мобільність - малі масо-габаритні характеристики, що дозволяють розгорнути 1 км ділянку місцевості 2 фахівцями менш ніж за 1 годину;

автономність – не потрібно прокладання кабельних ліній, живлення елементів комплексу здійснюється від батареї та акумуляторів, час автономної роботи – до 5 років.

Було здійснено аналіз фактичного улаштування і конструктивних особливостей трофейних елементів, зокрема, хімічного джерела струму (далі – ХДС), що застосовуються для живлення складових виробу комплексу охорони периметру «Радіобар'єр» виробництва країни-агресора РФ, що неодноразово використовувалися під час бойових дій.

Радіосигналізатор універсальний РС-У виконує функції датчика сейсмічного та обриву, сервісних повідомлень та пристрої для зв'язку з пультом оператора. Сигналізатори РС-У разом із джерелами живлення встановлюються в ґрунт на глибину 20-30 см. На поверхні знаходиться лише антена у вигляді тонкого дроту. Візуально знайти місце установки РС-У практично неможливо. Особливості: приховано встановлюється у ґрунт. Основу конструкції радіосигналізатора універсального РС-У складає вбудований геофон та процесор російського виробництва.

Містить два засоби виявлення:

сейсмічне: радіус виявлення людини – до 100 м, автомобіля – до 200 м (чутливість регулюється по радіоканалу).

Радіосигналізатор РС-У встановлюється в ґрунт на глибину 20-30 см і вловлює сейсмічні коливання ґрунту, що створюються людиною, що рухається, або автотранспортом. Час встановлення одного радіосигналізатора становить близько 5-10 хвилин. Після підключення до РС-У живлення вбудований мікропроцесор

безперервно обробляє сейсмічний сигнал і формує сигнали тривоги тільки в тому випадку, якщо сигнал подібний до кроків людини або руху автомобіля.

Ідентифікація зразка (фрагменту).

Радіосигналізатор універсальний РС-У (рис. 1) та нерозбірна літєва батарея ВИП-1013 (рис. 2) зі складу сигналізаційного комплексу (СК) «Радіобар'єр».

Зразок 1 – Сейсмічний радіосигналізатор:

шифр – ПМЕК.424242.2000, індекс – РС-У

Зразок 2 – Нерозбірна літєва батарея:

шифр – б/н, індекс – ВИП-1013, заводський номер – 1002В234.

Розробник зразка: ООО «ПОЛЮС-СТ», РФ.

ООО «ПОЛЮС-СТ» є одним з лідерів ринку технічних засобів охорони особливо важливих об'єктів у РФ та країнах СНД.



Рисунок 1. Сейсмічний радіосигналізатор РС-У (зразок 1)



Рисунок 2. Блок живлення - нерозбірна літєва батарея ВИП-1013 (зразок 2)

Зразок ХДС представляє собою гумований паралелепіпед розмірами 125x45x75 мм із проводом-конектором.

Напис на батареї ВИП-1013 свідчить про наступні характеристики джерела струму: номінальна напруга – 11 В, ємність джерела живлення 13 А\*год, вага – 780 г (без конектора – 646 г).

Для встановлення будови даного джерела живлення проведено розрізання корпусу і вивчення внутрішньої структури джерела струму.

Під тонким металічним корпусом знаходиться чорна електродна маса нанесена на металеву сітку, що згорнута у рулон. Поміж електродами знаходиться діафрагма.

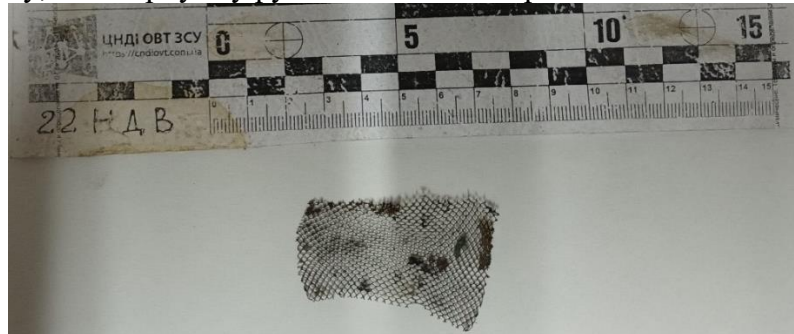


Рисунок 3 Сітчаста структура електрода

При продовженні розбирання корпусу виявлено цілий елемент батареї циліндричної форми у блискучому металевому корпусі.



Рисунок 4 Цілий елемент батареї

При розрізанні металічного корпусу елемента відбувається виділення задушливого газу кислотного характеру (а також зміна кольору лакмусового папірця).

Наявність прорезиненого корпусу і клапана свідчить про те, що компоненти джерела струму газоподібні і знаходяться під тиском.

На корпусі наявні позначення T48H2P, L2 A.

У нижній частині батареї нанесено напис Li-SOCl<sub>2</sub>, який вказує на тип хімічного джерела струму – літій-тіонілхлорид.

Дослідження показали, що в батареї використано три елементи SAFT LSH20CNR із номінальною напругою 3,6 В, ємністю 13 А\*год, виробник компанія Saft, Франція (рис. 5).



Рисунок 5 Вигляд відділеного елемента збоку

Пошук в спеціальній літературі за зображенням і маркуванням дає елемент з наступними технічними характеристиками.

Тип електрохімічної системи

Літієва батарея SAFT LSH20.....D.Size 3,6 В, 13 А\*год, Li-SOCl<sub>2</sub>

Макс. струм розряду, А.....1,8

Макс. імпульсний струм розряду, А.....4,0

Термін зберігання, роки.....більше 10

Діаметр, мм.....33,4

Висота, мм.....61,6

Вага, г .....96,0

Виробник .....SAFT

Країна.....Франція

Для встановлення елементного складу внутрішніх частин досліджуваного елемента було проведено рентгенофлуорисцентний аналіз відділених складових на спектрометрі Expert 3L.

Основними складниками є хлор і сірка, що підтверджує версію про використання системи літій-тіонілхлорид.

#### ВИСНОВКИ

1. Виходячи із одержаних даних про будову і елементний склад внутрішніх частин дослідженого елемента живлення від РС-У РСК «Радиобар'єр-МФ» (виробництво РФ) за результатами дослідження технологічних рішень побудови батареї, хімічно-аналітичних досліджень, які проведені в науковій профільній установі, аналізу літератури та ознаками використаних матеріалів свідчить про те, що окремі елементи джерела живлення – стандартні елементи літій-тіонілхлоридні виробництва компанії Saft (Франція), а кінцева батарея, яка складена з трьох елементів з'єднаних послідовно (11В = 3,6\*3 = 10,8 В) – виробництва РФ, причому вся конструкція захищена додатково гумовим герметичним корпусом.

Під час дослідження елемента живлення отримані відповіді на наступні питання:

1) Яка електрохімічна система елемента живлення?

(-) Li | SOCl<sub>2</sub> | C (+).

2) Який склад катодної електродної маси?

Катод – вуглець просочений SOCl<sub>2</sub>.

3) Який склад анодної електродної маси?

Анод – літій.

- 4) Який спосіб нанесення активної маси електродів?  
Нанесення і напресування пасти на інертну сітку.
- 5) Який матеріал сепараторів?  
Сепаратори – паперові.
- 6) Склад електроліту досліджуваних ХДС?  
Тіонілхлорид.
- 7) Який тип батареї?  
Первинне літієве джерело струму високої потужності і з терміном збереження заряду 10 і більше років.
- 8) Яка сумарна напруга досліджуваного ХДС?  
Сумарна напруга – 11 В.
- 9) Яка сумарна ємність ХДС?  
Ємність елемента живлення складає 13 А\*год, за номінальної напруги батареї 11 В.
- 10) Яка потужність батареї ХДС?  
Потужність елементів і батарей даного типу близько 200 Вт/кг.
- 11) Який час роботи наданих зразків?  
Час роботи визначається струмом споживання і може складати від трьох місяців до 10 років.

2. Дослідження трофейних зразків і уламків ОВТ в умовах воєнного стану є важливим науковим та практичним завданням. Узагальнення отриманої інформації у вигляді довідкового каталогу надає можливість ретроспективного обґрунтованого підтвердження використовуваних спеціальних джерел струму для живлення електронної апаратури різних систем охорони російського виробництва і представляє інтерес для підприємств вітчизняного ОПК при створенні і налагодженні виробництва аналогічного сучасного озброєння.

3. З метою обмеження можливостей країни-агресора доцільно здійснювати міжнародні санкції на поставку визначених матеріалів та комплектуючих для створення зразків ОВТ РФ.

#### **Список літературних джерел:**

1. Князький О.В., Мошковський М.С., Гаврилюк А.О., Лінючова О.В., Бик М.Ф., Аналіз хімічних джерел струму в російських зразках ракетно-артилерійського озброєння. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 23-25 листопада 2022 року. – Суми: Сум. ДУ, 2022, С. 64-74.

2. Технічна електрохімія. Частина 2. Хімічні джерела струму [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / Бик М.В., Фроленкова С.В., Букет О.І., Васильєв Г.С.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 – 321 с.



## PRZEGLĄD METOD BADAWCZYCH WYKORZYSTYWANYCH DO OZNACZANIA WRAŻLIWOŚCI MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH NA FALE UDERZENIOWĄ

**J. Borda<sup>1</sup>, J. Targosz<sup>1</sup>, S. Wojak<sup>1</sup>, K. Szydło<sup>1,2</sup>, S. Waśkiewicz<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz-Institut Przemysłu Organicznego, Grupa Badawcza  
Technik Wybuchowych, Warsaw, Poland

E-mail: julibor996@student.polsl.pl

### Spis skrótów

2,4-DNI - 2,4-dinitroimidazol

ELSGT – Rozszerzona Próba Szczelinowa na Dużą Skalę (ang. *Expanded Large Scale Gap Test*)

IHE - Niewrażliwy materiał wysokoenergetyczny (ang. *Insensitive High Explosive*)

Kompozycja B - Materiał wybuchowy, mieszanina 64% RDX i 36% TNT

LAX112 - 1,4-ditlenek-2,6-diamino-1,2,4,5-tetrazyny

LSGT - Próba Szczelinowa na Dużą Skalę (ang. *Large Scale Gap Test*)

MW - Materiały wybuchowe

NOL - Laboratorium Zbrojeniowe Marynarki Wojennej (ang. *Naval Ordnance Laboratory*)

HMX - 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazacyklooktan (oktogen)

NTO - 3-nitro-1,2,4-triazol-5-on

PBX-9205 - Plastyczny materiał wybuchowy, mieszanina 92% RDX i 8% spoiwa polistyrenowego

PBX-9404 - Plastyczny materiał wybuchowy, mieszanina 94% HMX, 3% nitrocelulozy i 3% spoiwa

PBX-9502 - Plastyczny materiał wybuchowy, mieszanina 95% TATB i 5% spoiwa

PBXN-109 - Plastyczny materiał wybuchowy, mieszanina 64% RDX, 20% aluminium i 16% spoiwa

PBXW-126 - Plastyczny materiał wybuchowy, mieszanina 20% RDX, 20% chloran(VII) amonu, 26% aluminium, 22% NTO, 12% poliuretanu

Pentolit - Materiał wybuchowy, mieszanina 50% tetraazotanu pentaerytrytolu i 50% 2,4,6-trinitrotoluenu

PE8 - Plastyczny materiał wybuchowy, mieszanina 88% RDX i 12% spoiwa

PMMA - Poli(metakrylan metylu)

RDX - 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazacykloheksan (heksogen)

ROWANEX 3601 - Materiał wybuchowy, mieszanina 60% TATB, 35% RDX, 5% wosk

SDT - Przejście od inicjowania uderzeniowego do detonacji (ang. *Shock to detonation transition*)

SLSGT - Próba Szczelinowa na Bardzo Dużą Skalę (ang. *Super Large Scale Gap Test*)

SSGT – Próba Szczelinowa na Małą Skalę (ang. *Small Scale Gap Test*)

TATB - 2,4,6-triamino-1,3,5-trinitrobenzen

TMD - Teoretyczna maksymalna gęstość (ang. *Theoretical maximum density*)

TNAZ - 1,3,3-trinitroazetydina

TNT - 2,4,6-trinitrotoluen (trotyl)

## 1. Wstęp

Fala uderzeniowa powstająca w wyniku wybuchu jest zaburzeniem ośrodka, w postaci warstwy powietrza, przemieszczającej się od granicy ładunku z prędkością naddźwiękową. Wywołuje ona lokalne zmiany ciśnienia, temperatury, gęstości i prędkości cząstek. Tak gwałtowne zmiany mogą prowadzić do inicjacji kolejnych ładunków wybuchowych, znajdujących się w danym ośrodku [1,2].

Wrażliwość materiałów wybuchowych (MW) na falę uderzeniową jest jednym z ważniejszych parametrów charakteryzujących materiał ze względu na bezpieczeństwo pracy z nim [3]. Wiedza na ten temat pozwala na opracowywanie nowych bezpieczniejszych kompozycji MW, jak również zwiększa przewidywalność ich reakcji pod wpływem działania tego bodźca. Wrażliwość MW na falę uderzeniową stanowi również istotny aspekt w kontekście ich inicjacji uderzeniowej do detonacji (SDT z ang. Shock to Detonation Transition). W wyniku działania fali uderzeniowej w MW powstają gorące punkty (tzw. hot spots), czyli lokalne obszary wysokiej temperatury, które inicjują reakcję chemiczną. Pojawienie się gorących punktów powoduje powstawanie fal ciśnienia, które nakładają się, tworząc dużą pulsację ciśnienia, co w konsekwencji wywołuje eksplozję termiczną po krótkim czasie indukcji [4].

Wymagania dotyczące badania wrażliwości MW na falę uderzeniową oraz ich normy określone są w dokumentach prawnych, takich jak STANAG 4488 - Ed: 2, który dotyczy krajów NATO [5], Dekret 591 stanowiący podstawę zarządzania materiałami niebezpiecznymi w Chinach [6], czy też MIL-STD-1751A wydany przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych [7]. Znanych jest kilka metod wyznaczania tego parametru - próba szczelinowa, test klinowy, czy też metody obliczeniowe, w tym symulacje komputerowe i metody numeryczne.

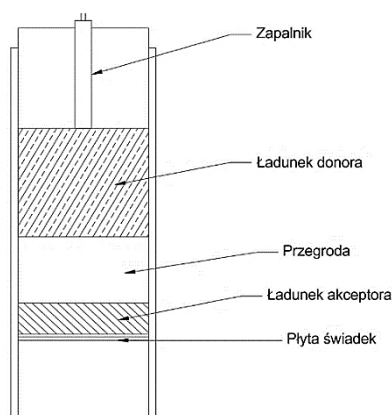
W niniejszej pracy opisano metody pomiaru wrażliwości materiałów wybuchowych na falę uderzeniową, obejmujące zmianę skali, czy też aparatury wykorzystywanej do przeprowadzenia pomiarów. Wprowadzane zmiany mają na celu zwiększenie dokładności i powtarzalności badań oraz umożliwienie ich przeprowadzania na wszelkiego rodzaju nowych MW i ich kompozycji.

## 2. Metody eksperymentalne wyznaczania wrażliwości MW na falę uderzeniową

### 2.1. Próba szczelinowa

Metoda ta polega na generowaniu fali uderzeniowej poprzez detonację ładunku MW (donoru), gdzie następuje stłumienie wytworzonej fali przez przegrodę/szczelinę, która wykonana jest z obojętnego materiału, takiego jak aluminium czy poli(metakrylanu metylu) (PMMA). Następnie dochodzi lub nie do zainicjowania ładunku akceptora (badanego materiału). Próbę uznaje się za pozytywną jeżeli akceptor uległ detonacji. Do potwierdzenia zajścia detonacji wykorzystuje się płytę świadka.

Ciśnienie fali uderzeniowej jest regulowane poprzez zmianę grubości (szerokości) przegrody, a ta zależna jest od stosowanego materiału, z którego wykonana jest przegroda. Test powtarza się wielokrotnie, stosując różne grubości przegrody, aż do momentu uzyskania krytycznej grubości dla próbki akceptora, czyli takiej przy której prawdopodobieństwo detonacji wynosi 50%. Krytyczna grubość przegrody jest mierzona, gdy detonacja akceptora zachodzi przy jego ciśnieniu inicjującym [8,9]. Wyniki testu prezentowane są jako zależność między grubością przegrody, a prawdopodobieństwem detonacji, co pozwala na ocenę wrażliwości MW na falę uderzeniową. Schemat aparatury do próby szczelinowej został przedstawiony na Rysunku 1.

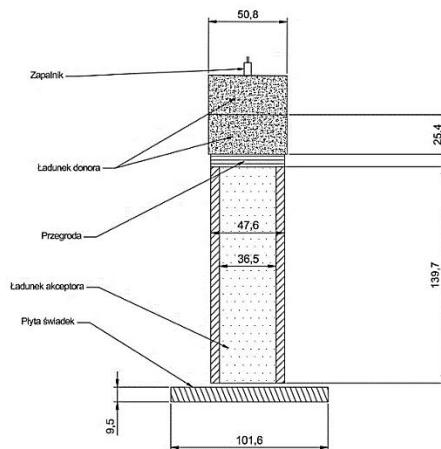


Rysunek 1. Schemat aparatury próby szczelinowej. Opracowany na podstawie [9].

### 2.1.1 Large Scale Gap Test (LSGT)

Jest to wariant próby szczelinowej nadający się do MW o średnicy krytycznej poniżej 36 mm. Uważany jest on za podstawę, na bazie której opracowano inne metody badania wrażliwości na falę uderzeniową. Do testu używa się standardowego zapalnika #8 lub jego równoważnika, który inicjuje detonację ładunku donora. W wyniku detonacji dochodzi do powstania fali uderzeniowej, która przekazywana jest przez przegrodę do ładunku akceptora, czyli próbki testowej. U podstawy testowanego ładunku znajduje się stalowa płyta świadka, którą wykorzystuje się jako wskaźnik do oceny czy akceptor detonuje podczas testu. Schemat aparatury do przeprowadzenia testu LSGT znajduje się na Rysunku 2.

Cały zestaw testowy montowany jest w kartonowej obudowie, a wszystkie komponenty są umieszczane w odpowiedniej pozycji. Do wycentrowania akceptora służy kartonowy dystans. Do zainicjowania ładunku testowego stosuje się ładunek wykonany z pentolitu. Ładunek dawcy składa się z dwóch sprasowanych cylindrów o gęstości  $1,56 \text{ g/cm}^3$ . Masa każdego wynosi około 80,3 g. Przegroda między akceptorem, a donorem jest wykonana z zestawów przekładek z PMMA lub octanu celulozy o zmiennej grubości. Standardowe grubości przegrody w LSGT wynoszą: 0,25 mm, 1,27 mm, 2,54 mm, 6,35 mm, 12,7 mm, 19,05 mm, 25,4 mm oraz 38,1 mm. Ładunek testowy może być odlewany, prasowany lub wykonany w taki sposób, aby pasował do bezszwowej rury ze stali miękkiej. Pod akceptorem umieszczana jest stalowa płyta świadka.



Rysunek 2. Schemat aparatury LSGT. Opracowany na podstawie [10].

Najczęstszym sposobem przedstawiania wyników jest zestawienie ciśnienia wywartego na przegrodzie z grubością przegrody, gęstością ładunku lub wartością TMD badanego ładunku akceptora [11,12]. Przykładowe wyniki testów dla różnych MW znajdują się w Tabeli 1.

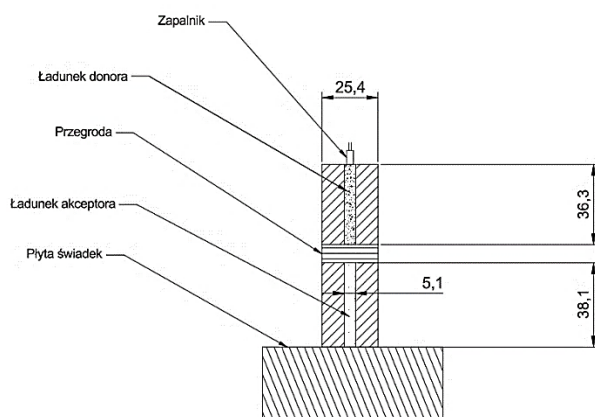
Powyższe informacje dotyczą LSGT opracowanego przez Naval Ordnance Laboratory, jednak test ten jest często modyfikowany tak, aby spełniał wymagania danej grupy badawczej. Przykładem takiej modyfikacji może być zmiana donora fali uderzeniowej na ROWANEX 3601 [13] lub tetryl [14]. Istnieją także inne testy szczelinowe, jak na przykład opracowany w Los Alamos National Laboratory, w którym materiałem donora jest PBX-9205, a w roli przegrody wykorzystano duraluminium [15].

Tabela 1: Przykładowe wyniki dla testów wykonanych przy użyciu metody LSGT.

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Procent TMD %	Ciśnienie inicjacji w 50% przypadków GPa	Grubość przegrody mm	Źródło
RDX	1,64	91,0	0,74	82,04	[7]
TATB	1,82	94,6	6,40	19,81	[11]
TNT	1,61	97,3	4,40	33,78	[11]

### 2.1.2 Small Scale Gap Test (SSGT)

Przeprowadzany jest na materiałach wysokoenergetycznych o średnicy krytycznej wynoszącej poniżej 5 mm. Ładunek donora, jak i materiał badany są zamknięte w mosiężnym cylindrze o grubości ściany 10 mm. Metoda pozwala na wykonanie testu przy użyciu niewielkiej ilości ładunku donora, którym jest RDX sprasowany do gęstości 1,56 g/cm<sup>3</sup>, w postaci siedmiu porcji, każda o masie 165 mg. Materiał badany jest prasowany do komory akceptora. Do inicjacji ładunku dawcy stosuje się zapalnik #6 lub jego równoważnik. Jako materiał przegrody używane jest PMMA, w tej samej formie jak w teście LSGT, a jej przykładowe grubości wynoszą: 2,54 mm, 3,61 mm, 5,08 mm, 7,62 mm, 10,16 mm, 15,24 mm, 20,32 mm, 25,40 mm. Schemat aparatury do wykonania testu SSGT przedstawiony został na Rysunku 3.



Rysunek 3: Schemat aparatury SSGT. Opracowany na podstawie [16].

Wyniki badań uzyskane w SSGT mogą być porównywane z LSGT poprzez zestawienie ciśnień przy inicjacji w 50% przypadków, jednak należy pamiętać, że korelacja ta nie jest silna i jest ściśle powiązana z wartością TMD, gdzie przestaje być zauważalna przy wartościach ponad 94% dla większości kruszących materiałów wybuchowych oraz ponad 90% dla materiałów uplastycznionych [12, 16]. Modyfikowane wersje tej metody pozwalają na podniesienie limitu średnicy krytycznej do nawet 12,7 mm [17]. Przykładowe wyniki z SSGT przedstawione są w Tabeli 2.

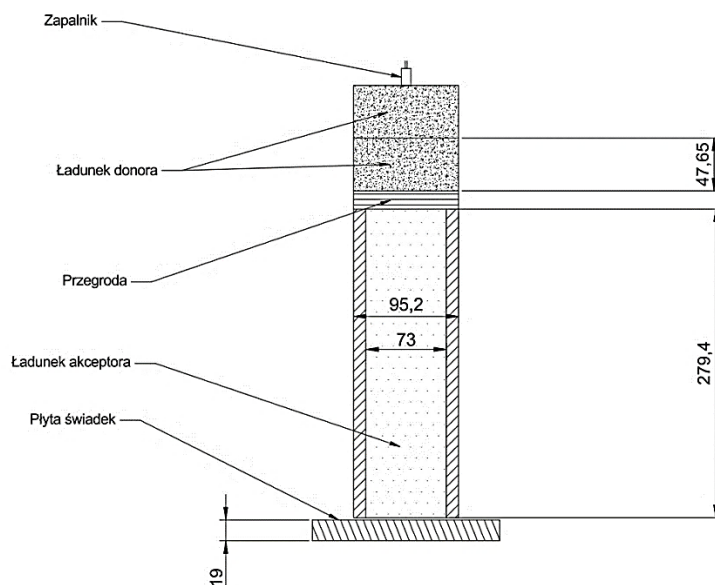
Tabela 2: Przykładowe wyniki dla testów wykonanych przy użyciu metody SSGT.

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Procent TMD %	Ciśnienie inicjacji w 50% przypadków GPa	Źródło
RDX	1,63	90,5	1,12	[16]
TATB	1,84	95,1	11,60	[16]
TNT	1,62	98,1	2,90	[16]

Podobnie jak w przypadku LSGT, w tej próbie również stosowane są modyfikacje. Przykładowo, opracowano SSGT z ładunkiem donora, gdzie zastosowano PE8 lub ROWANEX 3601 [17]. Natomiast w chińskich normach używane jest aluminium jako materiał przegrody [18].

### 2.1.3 Expanded Large Scale Gap Test (ELSGT)

Opracowany został na potrzebę przeprowadzania prób na MW wysoce niewrażliwych na falę uderzeniową. Główną zmianą względem LSGT było zwiększenie wymiarów akceptora dwukrotnie, a donoru mnożąc jego wymiary przez 1,875. Pogrubiono także dwukrotnie płytę świadka. Dzięki temu udało się zwiększyć limit średnicy krytycznej badanego MW do 73 mm. Schemat przedstawiający aparaturę pomiarową ELSGT znajduje się na Rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat aparatury ELSGT. Opracowany na podstawie [19].

MW stosowane do wykonania donora i materiał przegrody nie zostały zmienione względem LSGT. W teście ELSGT wykorzystywany jest ładunek donora o masie 1059,3

g, który podzielony jest na dwa cylindry. Przykładowe grubości przegrody dla tego testu wynoszą: 0,254 mm, 0,635 mm, 1,27 mm, 2,54 mm, 5,08 mm, 6,35 mm, 12,7 mm, 25,4 mm, 50,8 mm, 101,6 mm.

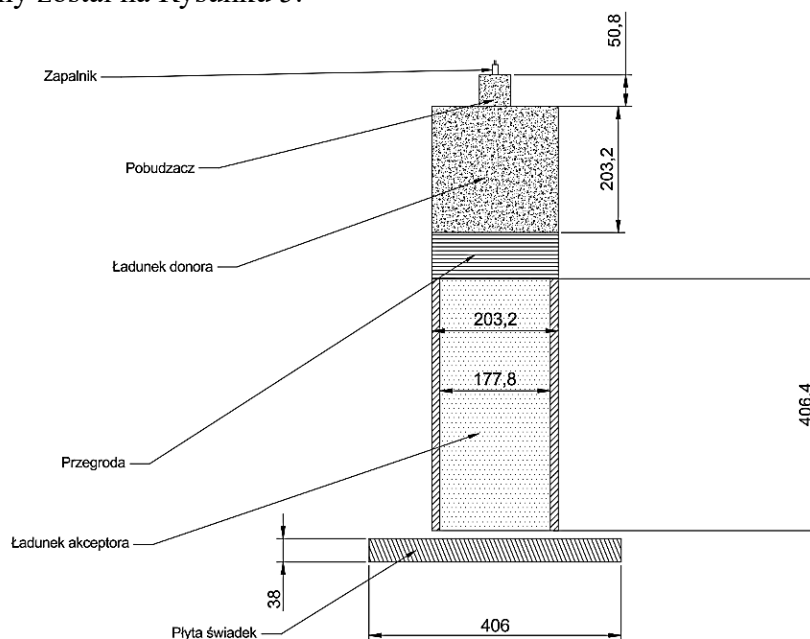
Do inicjacji ładunku dawcy wykorzystywany jest zapalnik J-2 lub jego równoważnik. Dane z tego testu mogą być porównywane względem wyników z LSGT poprzez zestawienie grubości przegrody, przy której nastąpiła inicjacja ładunku w 50% przypadków, ponieważ wykazują one zależność liniową. [7,19]. Przykładowe wyniki pomiarowe testu umieszczone zostały w Tabeli 3.

Tabela 3: Przykładowe wyniki dla testów wykonanych przy użyciu metody ELSGT.

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Procent TMD %	Ciśnienie inicjacji w 50% przypadków GPa	Grubość przegrody mm	Źródło
PBXN-109	1,64	98,0	1,20 do 1,47	102,87 do 115,82	[7]
Kompozycja B	1,69	99,3	1,00	124,21	[7]
PBXW-126	1,79	-	5,81	41,66	[7]

#### 2.1.4 Super Large Scale Gap Test (SLSGT)

Umożliwia pomiar próbek MW, których średnica krytyczna sięga do 177,8 mm. Udało się to osiągnąć poprzez zastosowanie konstrukcji zestawu pomiarowego w stalowej rurze o średnicy zewnętrznej 203,2 mm i grubości ściany 8,89 mm. Schemat aparatury przedstawiony został na Rysunku 5.



Rysunek 5: Schemat aparatury SLSGT. Opracowany na podstawie [20].

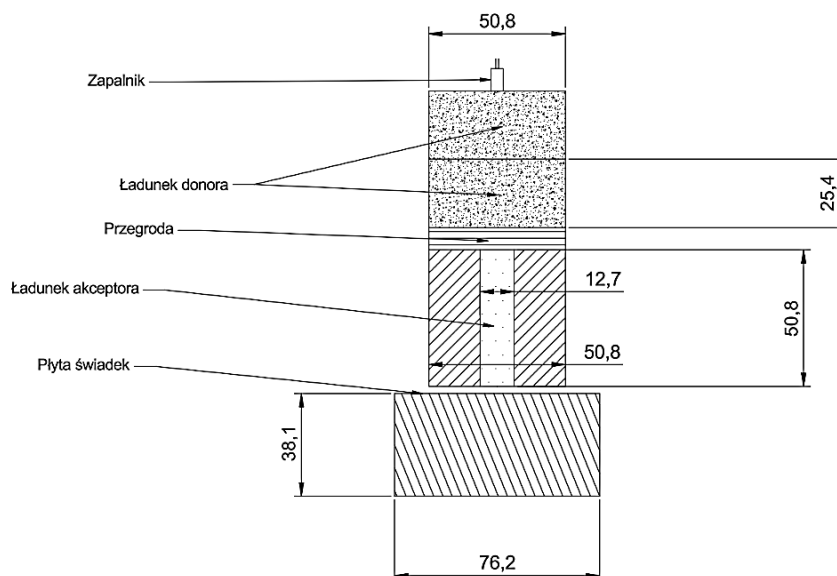
Zmieniony został także ładunek donora, wykorzystując w tej roli Kompozycję B. Właściwy ładunek dawcy, o masie 11,07 kg, inicjowany jest przez pobudzacze o masie 173 g. Do inicjacji pobudzacza stosowany jest zapalnik RP-2 lub jego równoważnik. Grubość przegrody może być regulowana w zakresie od 0,254 mm do 413,766 mm [20]. Przykładowe wyniki z testu SLSGT przedstawione zostały w Tabeli 4.

Tabela 4. Przykładowe wyniki dla testów wykonanych przy użyciu metody SLSGT.

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Procent TMD %	Ciśnienie inicjacji w 50% przypadków GPa	Grubość przegrody mm	Źródło
PBXN-109	1,64	98,0	1,31	238,76	[7]
TNT	1,58	95,7	0,75	304,80	[7]
PBXW-126	1,78	-	5,81	104,14	[7]

### 2.1.5 Insensitive High Explosive (IHE) Gap Test

Stworzony został w celu uzyskania danych pomiarowych o materiałach nadzwyczaj niewrażliwych na falę uderzeniową. Pozwala na pomiary kompozycji MW o średnicy krytycznej do 19 mm. Schemat aparatury znajduje się na poniższym Rysunku 6.



Rysunek 6. Schemat aparatury IHE Gap Test. Opracowany na podstawie [7].

Jako ładunek donora używa się pentolitu, o gęstości 1,56 g/cm<sup>3</sup> i w postaci dwóch sprasowanych cylindrów o łącznej masie 160,6 g. W trakcie testu próbka jest poddawana ciśnieniom do 8 GPa w pulsie trwającym kilka mikrosekund. Przykładowe grubości przegrody wynoszą: 0,25 mm, 1,27 mm, 2,54 mm, 6,35 mm, 12,7 mm, 19,05 mm, 25,4 mm, 38,1 mm.

Wykazano liniową korelację wyników z IHE Gap Test względem danych z LSGT poprzez porównanie grubości przegrody. Oba testy umożliwiają uzyskanie takich samych wartości ciśnienia fali uderzeniowej, jednak LSGT zużywa blisko dwudziestokrotnie więcej materiału badanego [7,21]. Przykładowe zestawienie wyników z testu przedstawiono w Tabeli 5.

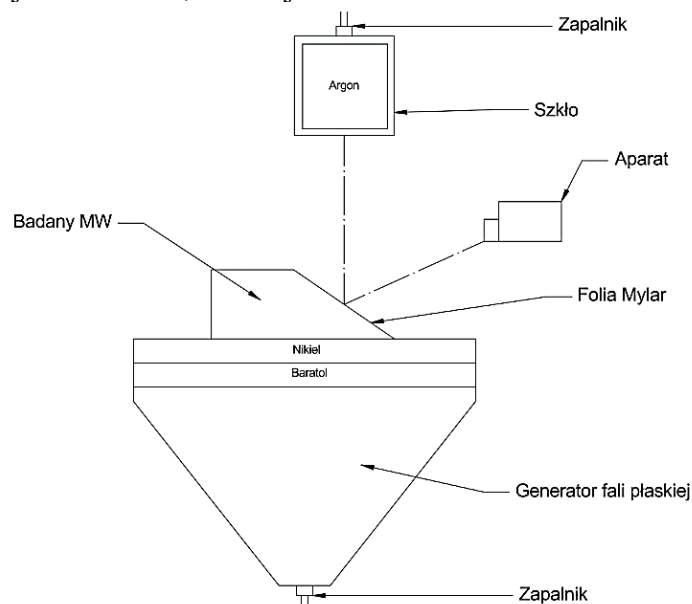
Tabela 5. Przykładowe wyniki dla testów wykonanych przy użyciu metody IHE Gap Test.

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Procent TMD %	Ciśnienie inicjacji w 50% przypadków GPa	Grubość przegrody mm	Źródło
HMX	1,81	95,1	1,64	56,64	[7]
TATB	1,84	94,9	6,31	21,59	[7]
TNT	1,55	93,8	2,01	51,56	[7]

## 2.2. Test klinowy

Test klinowy został przedstawiony w 1961 r. przez Campbella i innych [22]. Zaproponowany przez nich mechanizmu testu stał się podstawą do dalszego rozwoju tej techniki. Celem testu klinowego jest określenie punktu, w którym fala detonacyjna wyprzedza falę uderzeniową w badanym MW. Punkt ten można scharakteryzować poprzez odległość i czas do detonacji.

Test klinowy polega na wprowadzeniu płaskiej fali uderzeniowej za pomocą generatora fali płaskiej do badanego materiału wybuchowego, uformowanego w postaci klinu o charakterystycznym, skośnym kształcie. Najczęściej kliny są przygotowywane poprzez odlewanie badanego materiału wybuchowego do formy wykonanej z PMMA. Przed przystąpieniem do badań kliny powinny zostać prześwietlone, aby sprawdzić ich jednorodność. Wygenerowana fala uderzeniowa przechodzi początkowo przez pobudzac, co powoduje jego inicjację, a następnie przez warstwę tłumiącą, po czym trafia do klinu z badanego MW (Rysunek 7). Jako pobudzacze stosuje się materiały takie jak: Kompozycja B, Baratol lub emulsyjne materiały wybuchowe. Z kolei układ tłumiący wykonuje się z różnych kombinacji materiałów, takich jak PMMA i stal nierdzewna.



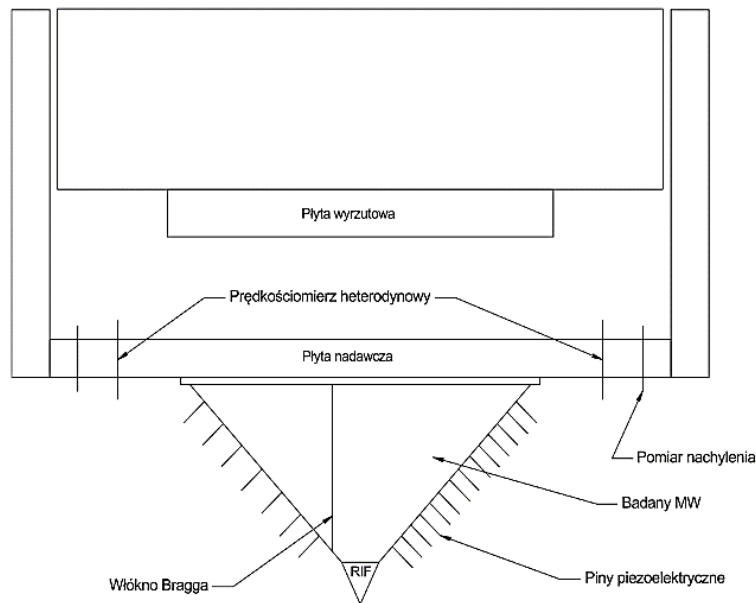
Rysunek 7. Schemat aparatury do testu klinowego. Opracowany na podstawie [22].

Skośna powierzchnia klinu pokryta jest cienką folią Mylar (folia wykonana z poli(tereftalanu etylenu) i pokryta aluminium), która odbija padające na nią światło do



kamery rejestrującej. Ruch wywołany przez dotarcie fali uderzeniowej do MW powoduje przemieszczenie się folii, a tym samym zanik odbijanego przez nią światła. Rejestracja badania za pomocą kamery smugowej pozwala na rejestrowanie kąta odbicia światła z powierzchni klina w momencie, gdy fala detonacyjna osiąga jej powierzchnię. Natomiast zastosowanie kamery kadrującej umożliwia otrzymanie obrazów zachodzących procesów w sekwencji czasowej. Na podstawie uzyskanych danych określa się punkt detekcji detonacji oraz odległość i czas potrzebny do detonacji badanego MW [22].

Jedne z pierwszych modyfikacji testu klinowego polegały na zastąpieniu tłumika wykonanego z metalu, płytką z PMMA i dodatkową warstwą stali nierdzewnej tzw. short-shock test [23] lub wprowadzeniu dodatkowej warstwy tłumiącej z obojętnego materiału np. z PMMA pokrytej aluminium [24]. Kolejne modyfikacje wprowadzały stosowanie klinu MW o innym kształcie, przykładowo w postaci graniastosłupa [25]. Zastosowanie takiego układu pozwalało na rozprzestrzenianie się fali uderzeniowej w materiale o niezmienniej grubości. Współczesne konstrukcje aparatów badawczych opartych na testach klinowych cechują się rosnącym zaawansowaniem technologicznym, obejmującym modyfikacje geometryczne klinów, zastosowanie zróżnicowanych generatorów fal oraz złożone układy rejestracji parametrów pomiarowych [26]. Schemat zmodyfikowanej aparatury do testu klinowego przedstawiono na poniższym Rysunku 8.



Rysunek 8. Schemat zmodyfikowanej aparatury do testu klinowego. Opracowany na podstawie [26].

Wyniki testów klinowych przedstawiane są najczęściej w postaci wykresów, które ukazują zależność między ciśnieniem wejściowym, a odległością do detonacji, dzięki czemu możliwe jest porównanie wrażliwości badanych materiałów. Materiał wybuchowy, który wymaga niższej wartości ciśnienia fali uderzeniowej, by osiągnąć detonację na tej samej odległości, jest bardziej wrażliwy [27]. Dane z pomiarów pozwalają na wyznaczenie grubości krytycznej MW, czyli minimalnej grubości warstwy MW, przy której możliwe jest podtrzymanie detonacji [28], i krzywej Hugoniota, która charakteryzuje miejsca stanów końcowych osiągniętych przez fale uderzeniową z danego stanu początkowego [24]. W poniższych tabelach 6 i 7 przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane w teście klinowym.

Tabela 6. Przykładowe wyniki testów klinowych.

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Ciśnienie początkowe GPa	Odległość do detonacji mm	Źródło
2,4-DNI	1,692	9,6	3,63	[27]
LAX112	1,794	9,9	5,06	[27]
TNAZ	1,828	7,8	1,21	[27]
PBX-9404	1,845	3,3	6,6/7,6*	[24]
PBX-9502 (z dodatkami kleju Aralhex)	1,894	9,3	17,4/21,9*	[24]
TNT (sprasowany)	1,636	8,5	5,0/3,2*	[24]

\*wyniki różnią się ze względu na zastosowaną metodę obliczeniową

Tabela 7. Przykładowe wyniki testów klinowych w postaci równania krzywej [29].

Badany materiał	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Zakres ciśnienia GPa	Odległość do detonacji (x) mm
Baratol	2,610	6,9 < P < 11,8	$\log P = (1,2 \pm 0,03) - (0,30 \pm 0,03) \log x$
HMX1	1,891	4,41 < P < 9,55	$\log P = (1,18 \pm 0,02) - (0,59 \pm 0,03) \log x$
Nitroguanidyna	1,659	13,35 < P < 26,28	$\log P = (1,44 \pm 0,07) - (0,15 \pm 0,08) \log x$

### 3. Metody obliczeniowe stosowane do oznaczania wrażliwości MW na falę uderzeniową

Metody obliczeniowe wykorzystywane do oznaczania wrażliwości MW na falę uderzeniową obejmują zarówno symulacje komputerowe, jak i modelowanie numeryczne na podstawie danych uzyskanych z badań eksperymentalnych [30].

W teście SSGT wyznacza się ciśnienie potrzebne do zainicjowania detonacji badanego MW. Wyniki z tych badań stanowią podstawę do przewidywania wrażliwości materiałów na falę uderzeniową. Keshavarz i inni opracowali [31] równania empiryczne, które wykorzystują trzy parametry strukturalne materiałów wysokoenergetycznych, takie jak różnica między ilością grup aminowych oraz nitrowych przyłączonych do pierścienia

aromatycznego występujących w związkach aminoaromatycznych, rozkład tlenu pomiędzy węglem oraz wodorem, co prowadzi do tworzenia tlenku węgla i wody, czy obecność grup nitroaminowych lub wiązań  $\alpha$ -C-H w związkach nitroaromatycznych. Równanie 1 opisuje zależność, dzięki której można wyliczyć ciśnienie wymagane do inicjacji materiału wybuchowego. Warto zaznaczyć jednak, że można je stosować do materiałów wysokoenergetycznych o wzorze ogólnym  $C_aH_bN_cO_d$ .

$$P_{x\%TMD} = x_1 + x_2 \left( a + \frac{b}{2} - d \right) + x_3 \frac{E_{\alpha CH}^0}{NN_{O_2}} + x_4 (An_{NH_2} - n_{NO_2})_{czysty} \quad (1)$$

gdzie:  $P_{x\%TMD}$  - oznacza ciśnienie wyrażane w kbar potrzebne do inicjacji sprasowanego materiału do x% TMD, parametr  $(a+b/2-d)$  wyraża rozkład tlenu pomiędzy węglem i wodorem, wyrażenie  $E_{\alpha CH/NO_2}^0$  wskazuje na istnienie wiązań  $\alpha$ -C-H w związkach nitroaromatycznych lub grup funkcyjnej N-NO<sub>2</sub>,  $(An_{NH_2} - n_{NO_2})_{czysty}$  to różnica liczby grup aminowych i nitrowych w związkach aminoaromatycznych, natomiast parametr  $x_1 - x_4$  jest dostosowywany na podstawie danych eksperymentalnych z próby szczelinowej [31].

Inna metoda opiera się na korelacji między energią dysocjacji najsłabszego wiązania związków nitrowych, a ich entalpią rozkładu na wiązania kowalencyjne. Model ten zakłada, że wrażliwość na falę uderzeniową jest głównie określana przez zdolność MW do zainicjowania i propagacji reakcji autokatalitycznej w wyniku jego rozkładu. Wrażliwość na falę uderzeniową określa się za pomocą równanie 2:

$$k_p = A e^{\left( \frac{-E^\ddagger}{k_B T} \right)} \quad (2)$$

gdzie  $E^\ddagger$  jest energią aktywacji rozkładu,  $k_B$  jest stałą Boltzmanna, T jest lokalną temperaturą indukowaną w pobliżu reagujących cząsteczek, natomiast A jest współczynnikiem przedwykładniczym. To równanie podkreśla stosunek  $E^\ddagger/k_B T$  jako kluczowy wyznacznik wrażliwości na falę uderzeniową [32].

Do wyznaczania wrażliwości materiałów wybuchowych na falę uderzeniową wykorzystuje się również różnego rodzaju symulacje komputerowe, przykładem czego może być kod CFD, RossSDT, który wykorzystywany jest do modelowania rozprzestrzeniającej się fali uderzeniowej o różnej wartości przez układ. Składa się on z kodu RocSDT, który jest dwuwymiarowy solverem wykorzystywany do generowania danej morfologii badanego związku oraz kodu Eulera, który wykorzystywany jest do modelowania fali uderzeniowej [33].

W praktyce wykorzystuje się wiele oprogramowań w celu walidacji wyników wrażliwości na falę uderzeniową uzyskanych eksperymentalnie. Przykładem takich systemów są między innymi hydrodynamiczny kod wykorzystujący metodę elementów skończonych LS-DYNA [34], kod AUTODYN [35], czy LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) [36].

Model inicjacji i propagacji I&G (z ang. Ignition and Growth) w oprogramowaniu LS-DYNA wykorzystuje się do symulacji testu szczelinowego LSGT, gdzie średnica krytyczna odpowiada ciśnieniu 4,5 GPa w środku górnej części badanej próbki (PBXN-109). Ładunek donorowy Pentolit 50/50 miał średnicę 50,8 mm i gęstość około 1,65 g/cm<sup>3</sup>. Oszacowane ciśnienia na granicy przegroda/akceptor na podstawie symulacji LS-DYNA, funkcji wykładniczych ciśnienia (równanie 3 i 4) dla PMMA i Pentolitu 50/50 jako donoru dopasowanych do badań eksperymentalnych, a także wyników pochodzących z MSIAC (Munitions Safety Information Analysis Centre) przedstawiono w tabeli 8 [34].

$$P = 0,182e^{-0,406gt} \quad (3)$$

$$P = 0,175e^{-0,394gt} \quad (4)$$

Tabela 8: Wyniki ciśnienia na granicy przegroda/akceptor dla układu z PMMA i pentolitu [34].

Grubość szczeliny [mm]	Ciśnienie na podstawie LS-DYNA [GPa]	Ciśnienie na podstawie równania 3 [GPa]	Ciśnienie na podstawie równania 4 [GPa]	Ciśnienie na podstawie MSIAC
36	4,363	4,2	4,237	4,33
38	3,993	3,89	3,916	3,89

#### 4. Podsumowanie

Niniejszy przegląd przedstawia ogólnie omówione metody stosowane do oznaczania wrażliwości MW na falę uderzeniową. W pracy przedstawiono zarówno eksperymentalne, jak i numeryczne metody badawcze, takich jak: próba szczelinowa, test klinowy oraz metody numeryczne czy symulacje komputerowe.

Próba szczelinowa jest powszechnie wykorzystywana do pomiaru wrażliwości na falę uderzeniową. Obejmuje ona wiele wariantów, takich jak LSGT, SSGT, ELSGT, SLSGT lub IHE, gdzie każda próba wykorzystuje inne średnice krytyczne MW i średnice przegrody, a także mogą być przeprowadzane na materiałach wysokoenergetycznych o zróżnicowanej wrażliwości na falę uderzeniową. Zaletą techniki SSGT w porównaniu do LSGT, ELSGT i SLSGT jest potrzeba mniejszej ilości badanego materiału. Dodatkowo w teście SSGT możliwe jest uzyskanie stabilnej propagacji fali detonacyjnej, a w porównaniu z testem klinowym SSGT jest tańsza.

Testy klinowe umożliwiają uzyskanie wielu istotnych wyników związanych z przebiegiem detonacji MW wywołanej falą uderzeniową oraz pozwalają na fotograficzne zobrazowanie tego zjawiska, co ma znaczenie dla całościowej oceny badanego MW.

Jednakże w zestawieniu z wyżej wymienionymi technikami wadą testu klinowego jest skomplikowana, wieloelementowa budowa aparatury stosowanej do badań oraz wymóg formowania MW w określony kształt klinu, co może wiązać się ze zużyciem większej ilości materiału i być problematyczne w przypadku niektórych z nich. Ponadto metoda jest ograniczona pod względem dostarczanych danych, ponieważ zbierane są informacje związane wyłącznie z czołem fali uderzeniowej.

#### Literatura

1. Juan Pablo Casas-Rodriguez, Juan Camilo Calle, Vicent Robinson, and Alejandro Maranon. Cellular sandwich composites under blast loads. In *Dynamic Deformation, Damage and Fracture in Composite Materials and Structures*, pages 391–422. Elsevier, 2016.
2. Peter OK Krehl. *History of shock waves, explosions and impact: a chronological and biographical reference*. Springer Science & Business Media, 2008.
3. JW Forbes, CM Tarver, Garcia Urtiew, et al. The effects of confinement and temperature on the shock sensitivity of solid explosives. Technical report, Citeseer, 1998.

4. William G Proud. Ignition and detonation in energetic materials: An introduction. In *Energetics Science and Technology: An integrated approach*, pages 7–1. IOP Publishing Bristol, UK, 2022.
5. NATO. Stanag 4488 jais (edition 2) – explosive, shock sensitivity tests, nsa/0448(2009)- jais/4488 27 april 2009, 2009.
6. Decree 591 of the state council of china: Regulations on the safe management of hazardous chemicals in china, 1 December 2011.
7. Department of Defense. Safety and performance tests for the qualification of explosives (high explosives, propellants, and pyrotechnics), 2001.
8. Bohoon Kim, Jungsu Park, and Jack J Yoh. Analysis on shock attenuation in gap test configuration for characterizing energetic materials. *Journal of Applied Physics*, 119(14), 2016.
9. SJ Burley, NK Bourne, V Fung, R Hollands, JCF Millett, AM Milne, and A Wood. Advances in the understanding of the large-scale gap test. In *AIP Conference Proceedings*, volume 845, pages 944–947. American Institute of Physics, 2006.
10. DONNA PRICE and IRVING JAFFE. Large scale gap test: interpretation of results for propellants. *ARS Journal*, 31(5):595–599, 1961.
11. Donna Price, AR Clairmont Jr, and JO Erkman. The nol large scale gap test. iii. compilation of unclassified data and supplementary information for interpretation of results. *AD-780429*, 1974.
12. Ernest L Baker, V Pouliquen, M Voisin, and M Andrews. Gap test calculations and correlations. *Insensitive Munitions Energetic Materials Technology Symposium Portland, OR*, 2018.
13. Neil K Bourne, Gary A Cooper, Stephen J Burley, Virgil Fung, and Ron Hollands. Re-calibration of the uk large scale gap test. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials*, 30(3):196–198, 2005.
14. JOHN TOSCANO, IRVING JAFFE, and GEORGE ROBERSON. Large-scale gap test-comparison of tetryl and pentolite donors. *AIAA Journal*, 1(4):964– 965, 1963.
15. Allen L Bowman, S Sommer, and Jerry H Fu. Calibration curves for four standard gap tests. Technical report, Los Alamos National Lab.(LANL), Los Alamos, NM (United States), 1990.
16. Donna Price and TP Liddiard Jr. The small scale gap test: calibration and comparison with the large scale gap test. *Naval Ordnance Laboratory, NOLTR*, pages 99–87, 1966.
17. Malcolm D Cook, Andrew Wood, and Christopher Stennett. Development of a new modified small-scale gap test. In *AIP Conference Proceedings*, volume 2844. AIP Publishing, 2023.
18. Bisheng Tan, Xiping Long, Rufang Peng, Hongbo Li, Bo Jin, and Shijin Chu. On the shock sensitivity of explosive compounds with small-scale gap test. *The Journal of Physical Chemistry A*, 115(38):10610–10616, 2011.
19. TP Liddiard and D Price. *The expanded large scale gap test*. Naval Surface Weapons Center, 1987.
20. JG Glenn, Stephen A Aubert, and Michael E Gunger. Development and calibration of a super large scale gap test (slsgt). Technical report, WL-TR-96, 1996.
21. Donna Price. Gap tests and how they grow. *NSWC, AD-P005*, 315, 1986.
22. AW Campbell, WC Davis, JB Ramsay, and JR Travis. Shock initiation of solid explosives. *The physics of fluids*, 4(4):511–521, 1961.

23. James R Asay, Robert Albert Graham, and GK Struab. *Shock waves in condensed matter-1983*. Elsevier, 2012.
24. Jerry J Dick, CA Forest, JB Ramsay, and WL Seitz. The hugoniot and shock sensitivity of a plastic-bonded tatb explosive pbx 9502. *Journal of applied physics*, 63(10):4881–4888, 1988.
25. John B Ramsay. Effect of confinement on failure in 95 tatb/5 kel-f. Technical report, Los Alamos National Laboratory (LANL), Los Alamos, NM (United States), 1985.
27. Thomas Elia, Vincent Chuzeville, Gérard Baudin, Marc Genetier, Alexandre Lefrançois, Antoine Osmont, and Rémi Boulanger. Review of the wedge test and single curve initiation principle applied to aluminized high explosives. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 45(10):1541–1553, 2020.
28. LG Hill, WL Seitz, JF Kramer, DM Murk, and RS Medina. Wedge test data for three new explosives: Lax112, 2, 4-dni, and tnaz. In *AIP Conference Proceedings*, volume 370, pages 803–806. American Institute of Physics, 1996.
29. Oren E Petel, David Mack, Andrew J Higgins, Richard Turcotte, and Sek K Chan. Comparison of the detonation failure mechanism in homogeneous and heterogeneous explosives. In *Proc. 13th Symp. Int. on Detonation*, pages 2–11, 2006.
30. Terry R Gibbs and Alphonse Popolato. *LASL explosive property data*, volume 4. Univ of California Press, 2023.
31. Lucia Figuli, Damjan Cekerevac, Chiara Bedon, and Bohuš Leitner. Numerical analysis of the blast wave propagation due to various explosive charges. *Advances in Civil Engineering*, 2020(1):8871412, 2020.
32. Mohammad Hossein Keshavarz, Hadi Motamedoshariati, Hamid Reza Pouredal, Masoud Kavosh Tehrani, and Abolfazl Semnani. Prediction of shock sensitivity of explosives based on small-scale gap test. *Journal of hazardous materials*, 145(1-2):109–112, 2007.
33. D Mathieu. Theoretical shock sensitivity index for explosives. *The Journal of Physical Chemistry A*, 116(7):1794–1800, 2012.
34. Ju Zhang, Thomas L Jackson, John D Buckmaster, and Jonathan B Freund. Numerical modeling of shock-to-detonation transition in energetic materials. *Combustion and Flame*, 159(4):1769–1778, 2012.
35. Jing Ping Lu, Ian J Lochert, Merran A Daniel, and Mark D Franson. Shock sensitivity studies for pbxn-109. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 41(3):562–571, 2016.
36. Young-Hun Ko, Seung-Jun Kim, and Hyung-Sik Yang. Assessment for the sympathetic detonation characteristics of underwater shaped charge. *Geosystem Engineering*, 20(5):286–293, 2017.
37. Xiaona Huang, Feng Guo, Kuiguang Yao, Zhipeng Lu, Yu Ma, Yushi Wen, Xiaogan Dai, Ming Li, and Xinping Long. Anisotropic hydrogen bond structures and orientation dependence of shock sensitivity in crystalline 1, 3, 5-triamino-2, 4, 6-trinitrobenzene (tatb). *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(21):11956–11966, 2020.

## **ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНКИ ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ НІТРАТІВ ЦЕЛЮЛОЗИ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВІМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ**

**С.Д. Тищенко, В.А. Роботько**

Товариство з обмеженою відповідальністю  
«Науково-виробниче підприємство хімічних продуктів»  
ndikhp@ukroboronprom.com

Нітрати целюлози нині залишаються майже безальтернативною полімерною основою та енергетичним компонентом для великої кількості сучасних піроксилінових та баліститних порохів [1]. Нітрати целюлози, аналогічно до багатьох вибухових речовин нітратів є нестійкими сполуками [1-3], у порівнянні, наприклад, із нітросполуками ароматичного ряду (тринітротолуол, тринітробензол) та схильні до самовільного розкладання під час тривалого зберігання. Це пов'язано із наявністю в них домішок у вигляді залишків нітрувального середовища та продуктів побічних реакцій, що протікають під час нітрування целюлози [2,3] та є каталізаторами їх розкладання. Слід також враховувати низьку термічну стабільність нітроестерних зв'язків C-O-NO<sub>2</sub> та їх схильність до самовільного розпаду. До того ж хімічне розкладання нітратів целюлози має подвійну природу – вказану нітроестерну та полімерну, що пов'язана зі старінням їх полімерної основи, яке виражається через зменшення молекулярної маси та зміну молекулярно-масового розподілення полімеру [4,5].

Для визначення хімічної стійкості нітратів целюлози можна використовувати візуальні, візуально-індикаторні, гравіметричні та манометричні методи аналізу. Недоліками візуальних та візуально-індикаторних методів є неможливість відтворення результатів у зв'язку з суб'єктивними факторами та залежністю результату від досвіду виконавця. До них відносяться проба Абеля, В'єля та інші [6]. На адекватність даних одержаних гравіметричними методами значно впливає наявність вологи та легких речовин у зразку. Манометричні методи є найбільш точними, характеризуються відносною простотою, а до того ж є дуже інформативними, дозволяють відслідковувати процес розкладання в реальному часі. Сучасні інструментальні манометричні методи дослідження хімічної стійкості нітратів целюлози базуються на термічному розкладанні в інертному середовищі (вакуум) та в окисному середовищі (повітря). До останніх методів відносяться такі відомі й застосовувані методи як вакуум тест на стабільність [7] та манометричний метод визначення на вимірювально-обчислювальному комплексі «Вулкан» [8]. Недоліком цих методів є потреба у досить рідкісному та дорогому обладнанні, а також довготривалість проведення аналізу.

Зважаючи на викладене вище для розробки експрес-методу аналізу було використано метод термогравіметрії. Для цього проводили визначення хімічної стійкості партій нітратів целюлози за втратою маси та порівнювали їх із значеннями хімічної стійкості тих самих зразків за пробою Бергмана-Юнка. Швидкість процесу розкладання залежить від двох факторів: хімічної чистоти нітрату целюлози (вмісту малостійких домішок) та вмісту нітрогену. Отже на втрату маси зразків з приблизно однаковим вмістом нітрогену буде визначати лише кількість малостійких домішок та кислот і таким чином можна порівнювати їх хімічну стійкість.

За основу для розробки експрес-методу було взято методику визначення хімічної стійкості порохів за втратою маси за температури 90 °C впродовж 18 діб [9]. Критерієм хімічної стійкості за даним методом є втрата маси під час витримки не

більше 3 %, а також відсутність появи бурих парів оксидів нітрогену. Для аналізу допускається використовувати й інші температури, час витримки під час цього буде змінюватись.

#### Методика дослідження

Для дослідження хімічної стійкості використовували зразки штатних нітратів целюлози із вмістом нітрогену  $13,1 \pm 0,1\%$  та зразки експериментальних партій нітратів целюлози з низькою хімічною стійкістю.

Відомості про хімічну стійкість досліджених штатних зразків нітратів целюлози за пробою Бергмана-Юнка, взяті з їх сертифікатів відповідності наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічна стійкість штатних зразків нітратів целюлози

Назва зразка (номер партії)	Об'єм NO, мл/г
2024_0726/01 (зразок 1)	1,94
2024_0512/03 (зразок 2)	1,92
2024_0322/01 (зразок 3)	1,94
Норма	Не більше 2,2

Оцінку хімічної стійкості нітратів целюлози проводили шляхом визначення відсотку втрати маси зразка на синхронному термічному аналізаторі (дериватографі) Hitachi STA200. Аналіз проводили за постійної температури  $145,0 \pm 0,5$  °C (відповідає витримці 18 діб за температури 90 °C) за відсутності подачі газу для продувки зразка. Маса зразка нітроцелюлози складала 30 – 50 мг. Аналіз проводили в алюмінієвих тиглях діаметром 5,2 мм та висотою 5 мм.

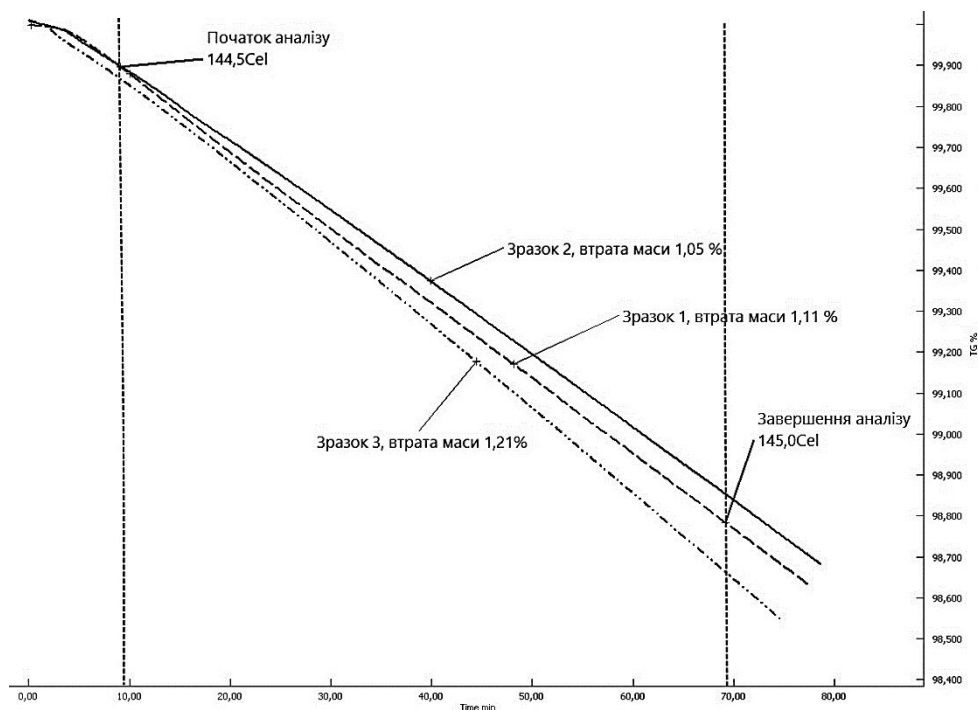


Рисунок 1 – Результати аналізу зразків штатних нітратів целюлози

Підготовка зразків полягала у їх пресуванні в таблетки, розрізанні на диски діаметром 5 мм, які потім зважували у тиглі, витримки за температури 110 °C до



стабілізації показника маси у печі дериватографа, що свідчило про видалення вологи. За початок аналізу вважали момент досягнення зразком температури 144,5 °С, тривалість аналізу 60 хвилин. Критерієм хімічної стійкості запропонована втрата маси під час витримки не більше 1,4 %.

### Результати дослідження

Результати оцінки хімічної стійкості зразків штатних партій нітратів целюлози (рис. 1) демонструють втрату маси в діапазоні від 1,05 до 1,21% за 60 хвилин. Всі проаналізовані зразки є хімічно стійкими із значним запасом стійкості відносно запропонованого показника. Втрата їх маси відбувається із майже постійною швидкістю навіть під час витримки протягом більше 2-х годин (автокаталіз відсутній), що свідчить про високий рівень їх очистки.

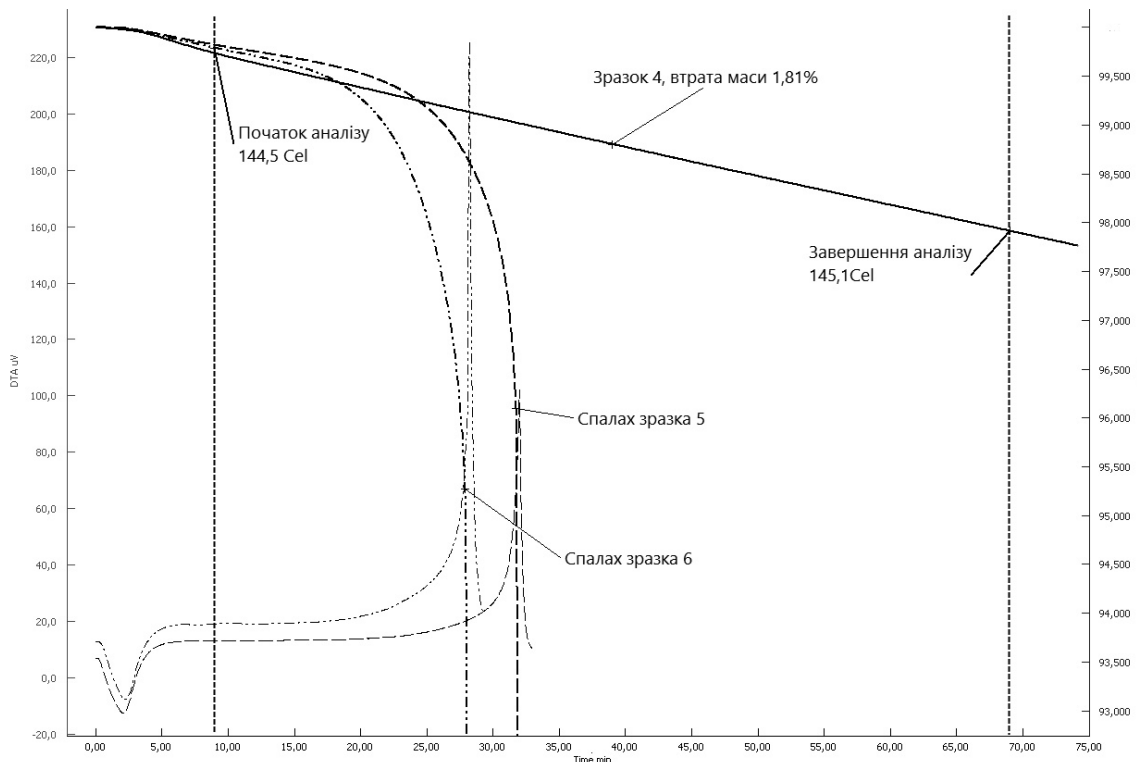


Рисунок 2 – Результати аналізу зразків експериментальних партій нітратів целюлози (тонкими лініями позначені ДТА криві відповідних зразків)

Результати оцінки хімічної стійкості експериментальних зразків нітратів целюлози за втратою маси протягом 60 хв (рис. 2) демонструють, що вони є значно менш хімічно стійкими у порівнянні зі штатними зразками. Найкращий з них показав втрату маси 1,81% (зразок 4) без автокаталітичного ефекту. Два останні зразки є найбільш небезпечними, їх розкладання супроводжувалося автокаталізом та переходило у спалах без значної залежності від маси наважки. Зразок 5 спалахнув через 19 хвилин після початку аналізу причому за повторення аналізу з меншою наважкою (30 мг) він також спалахує за 21,4 хв. Останній зразок (зразок 6) спалахує через 23 хвилини за наважки 50 мг, а за наважки 30 мг спалах відбувається через 24,5 хвилин після початку аналізу. Отримані результати показують, що маса наважки зразка в обраному діапазоні не впливає на результати аналізу та не значно впливає на час до моменту спалаху нестійких зразків.

## Висновки

Результати проведеного дослідження демонструють, що запропонована авторами методика дозволяє встановлювати хімічну стійкість нітратів целюлози. Представлена методика має високу точність, простоту використання, потребує мінімальну підготовку зразків та високу швидкість аналізу. В подальшому, автори вважають за потрібне провести порівняння отриманих результатів визначення хімічної стійкості нітратів целюлози з манометричним методом.

## Список літературних джерел

1. Cherif, M. F., Trache, D., Benaliouche, F., Tarchoun, A. F., Chelouche, S., Mezroua, A. Organosolv lignins as new stabilizers for cellulose nitrate: Thermal behavior and stability assessment // *International journal of biological macromolecules*. – 2020. – Vol 164. – P. 794-807.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.024>
2. Gańczyk-Specjalska, K. Conventional and alternative nitrocellulose stabilisers used in gun propellants // *Materiały Wysokoenergetyczne / High Energy Materials*. – 2019. – Vol 11, № (2). – P. 73-82.  
<https://doi.org/10.22211/matwys/0175>
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. Harmon, D. J., Jacobs, H. L. Degradation of natural rubber during mill mastication // *Journal of Applied Polymer Science*. – 1966. – Vol.10, № (2). – P. 253–257.
5. Доманцевич, Н. І., Яцишин, Б. П. Теоретичні аспекти процесів старіння полімерних матеріалів // *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. – 2022. – № 30. – С. 5–13.  
<https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-30-01>
6. Bohn M. A. Comparison of Surveillance Methods for Gun Propellants. Performances and Limitations // *Proceedings of the FINNEX 2002 seminar, 9 – 11 September 2002, Kittilä, Levi, Lapland, Finland*. – P. 104–143.
7. Fidanovski, B., Dimić, M., Milojković, A., & Rodić, V. Determination of chemical stability of propellants using the vacuum stability test method // *Scientific Technical Review*. – Vol. 66, № 1. – P. 18-22.
8. Мошковський М.С., Мосійчук С.Я., Князьський О.В. Сучасний стан та проблемні питання контролю якості артилерійських пострілів після тривалого зберігання і тих, що придбані за імпортом // V Міжнародна науково-практична конференція «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», 20-22 жовтня 2021 р., Шостка. – С. 30–39.
9. Bohn M.A. NC-based energetic materials – stability, decomposition, and ageing // *Presentation on the Meeting: “Nitrocellulose – Supply, Ageing and Characterization”*. – April 24 to 25, 2007. – AWE, Aldermaston, England. – 129 p.

## BADANIE WPŁYWU TLENKÓW METALI NA WŁAŚCIWOŚCI STAŁYCH PALIW RAKIETOWYCH

J. Targosz<sup>1</sup>, A. Ignaszewska<sup>1</sup>, K. Janowska<sup>2</sup>, T. Jarosz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, wydział Chemiczny

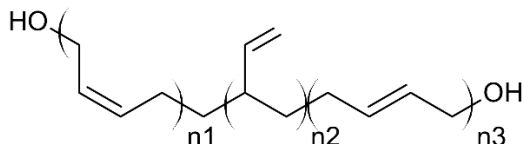
<sup>2</sup>Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów, Politechnika Śląska

[Julitar208@student.polsl.pl](mailto:Julitar208@student.polsl.pl)

### 1. Wstęp

Stałe heterogeniczne paliwa raketowe stanowią jeden z kluczowych obszarów badań w technologii napędów raketowych oraz w przemyśle zbrojeniowym już od prawie 100 lat [1]. Współcześnie dużą uwagę przykładają się do rozwoju „zielonych” paliw raketowych, mających na celu ograniczenie emisji szkodliwych substancji do środowiska [2]. W związku z tym zwrócono większą uwagę na toksyczność chloranu(VII) amonu, który powszechnie wykorzystuje się jako utleniacz stałych heterogenicznych paliw raketowych. Materiały wybuchowe w których skład wchodzi w wyniku spalania uwalniają różnego rodzaju związki chloru do otoczenia, takie jak chlor, tlenki chloru oraz chlorowodór, są to substancje które negatywnie wpływają na środowisko między innymi przyczyniają się do powiększania dziury ozonowej czy występowania kwaśnych deszczy [3]. Jako zamiennik chloranu(VII) amonu często wskazywany jest azotan(V) amonu. Produkty jego spalania nie zawierają związków chloru, co więcej sam azotan(V) amonu jest stosunkowo tani i łatwo dostępny. Prawdą jest jednak, że osiągi paliw raketowych w których skład wchodzi są znacznie mniejsze niż w przypadku paliw raketowych zawierających chloran(VII) amonu. Dodatkowo azotan(V) amonu jest związkiem higroskopijnym oraz wykazuje przemiany fazowe. Niemniej jednak azotan(V) amonu jest obecnie najbardziej obiecującym zamiennikiem chloranu(VII) amonu. W związku z czym prowadzi się badania nad modyfikacją składu poprzez zastosowanie substancji dodatkowych w celu polepszenia parametrów „zielonych” paliw raketowych [3 - 5].

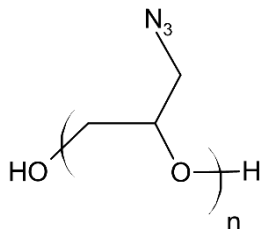
Stałe heterogeniczne paliwa raketowe składają się głównie z utleniacza oraz lepiszcza, które jest substancją wiążącą wszystkie składniki paliwa, a także substancją palną w kompozycji. W skład stałego paliwa raketowego wchodzi również różnego rodzaju substancje dodatkowe, takie jak paliwa metaliczne, środki sieciujące, plastyfikatory oraz modyfikatory spalania. Jak już wcześniej wspomniane paliwa zawierające azotan(V) amonu mają gorsze parametry z punktu widzenia paliw raketowych w porównaniu do chloranu(VII) amonu, w związku z czym w kompozycjach paliw zawierających azotan(V) amonu wykorzystuje się różnego rodzaju substancje dodatkowe w celu poprawy parametrów spalania kompozycji paliw [4, 5]. Jednym z przykładów takiej modyfikacji jest zamiana polibutadienu zakończonego grupami hydroksylowymi (HTPB), powszechnie wykorzystywanego jako lepiszcze, polimerem wysokoenergetycznym [6]. HTPB, którego łańcuch główny zbudowany jest wyłącznie z atomów węgla i wodoru, przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Struktura HTPB

Polimery wysokoenergetyczne są to polimery, które w swojej strukturze oprócz węgla i wodoru zawierają grupy chemiczne, wśród których można wyróżnić grupę azydową (-

N<sub>3</sub>), azotynową (-ONO<sub>2</sub>) czy nitroaminową (-NHNO<sub>2</sub>). Zastosowanie tego rodzaju polimerów w kompozycjach paliw rakietowych jest korzystne, między innymi dlatego, że zwiększa się ciepło spalania, a także na powstawanie większej ilości produktów gazowych. W związku z czym kompozycje paliw zawierające polimery wysokoenergetyczne wymagają mniejszego obciążenia matrycy cząstkami stałymi np. paliwami metalicznymi, w porównaniu do paliw zawierających HTPB. Przykładem takiego związku może być polimer azydku glicydy (GAP) (Rys. 2) [7].



Rysunek 2. Struktura GAP

## 2. Substancje poprawiające parametry spalania.

Aby poprawić parametry spalania paliw bazujących na azotanie(V) amonu dodaje się również tlenki metali, które przyspieszają rozkład termiczny utleniacza, poprzez zmniejszanie energii aktywacji tego procesu. Rozkład termiczny utleniacza ma duży wpływ na proces spalania paliw, ponieważ utleniacz stanowi największy procent masy w kompozycji paliwa oraz jest źródłem tlenu w reakcji spalania. Na szczególną uwagę w tej kwestii zasługują tlenki o wymiarach nanometrycznych, które dzięki swojej zwiększonej powierzchni właściwej pozwalają na wzrost ilości zderzeń efektywnych zachodzących pomiędzy cząsteczkami tlenu [8]. Użycie tlenków metali pozwala na znaczące obniżenie temperatury rozkładu zarówno lepiszcza jak i utleniacza nawet o 106,1°C, jak ma to miejsce przy zastosowaniu tlenku miedzi(II) [8]. Podobnie tlenek tytanu(IV) także między innymi odpowiada za katalizę rozkładu termicznego utleniacza [9].

Kolejną zauważalną zmianą jest zwiększenie prędkości spalania, sięgające wzrostowi nawet o ponad 6 mm/s w wypadku tlenku żelaza(III) [10]. Zmniejszenie czasu opóźnienia zapłonu, czyli inaczej przyspieszenie procesu spalania, obserwuje się między innymi przy wykorzystaniu tlenku manganu(III), tlenku miedzi(II) czy tlenku żelaza(III) [11]. Dodanie tlenków metali oprócz poprawy parametrów spalania ma znaczenie także dla bezpieczeństwa użytkownika, jako że użycie niektórych tlenków, na przykład tlenek miedzi(II), obniża wrażliwość na uderzenia i stabilizuje fazowo azotan(V) amonu [12].

Sama obecność tlenków metali w kompozycji paliwa może być wynikiem reakcji in situ rozkładu termicznego chloranu(VII) amonu, gdzie wykorzystuje się uwodnione szczawiany metali takie jak dihydrat szczawianumiedzi(II) i dihydrat szczawianu cynku(II) [13].

## 3. Praca eksperymentalna

W ramach pracy rozeznano wpływ tlenków metali na właściwości balistyczne stałych heterogenicznych paliw rakietowych bazujących na azotanie(V) amonu oraz polimerze azydku glicydy (GAP). W ramach badań analizowano wpływ takich tlenków metali jak tlenek żelaza(III), tlenek miedzi(II), tlenek miedzi(I) oraz tlenek cynku, ponieważ tlenki te są szeroko opisane w literaturze jako substancje poprawiające właściwości paliw. Przygotowane próbki zbadano pod kątem oceny temperatury zapłonu, liniowej prędkości spalania oraz wrażliwości na tarcie. W tabeli 1 przedstawiono skład procentowy otrzymanych kompozycji paliw.

Tabela 1. Skład procentowy próbek paliw

Składnik [%]	SPR - 0	SPR - 1	SPR - 2	SPR - 3	SPR - 4
Azotan(V) amonu	25	25	25	25	25
GAP	52	52	52	52	52
Pył Mg	18	16	16	16	16
MDI*	3	3	3	3	3
Nitroguanidyna	2	2	2	2	2
Tlenek miedzi(I)	-	2	-	-	-
Tlenek miedzi(II)	-	-	2	-	-
Tlenek żelaza(III)	-	-	-	2	-
Tlenek cynku	-	-	-	-	2

\*MDI - Bis(4 izocyjanianofenylo) metan

Dla każdej zaproponowanej próbki wyznaczono liniową prędkość spalania, temperaturę zapłonu oraz wrażliwość na tarcie.

- Liniowa prędkość spalania

Liniową prędkość spalania wyznaczono metodą zwarciovą, a wyniki zestawiono w tabeli 2. Metoda ta polega na umieszczeniu próbki materiału w rurce celulozowej w której rozmieszczone są co 2 cm sondy pomiarowe (niepowlekane miedziane druty o średnicy 1 mm). Następnie tak przygotowane próbki umieszcza się w układzie pomiarowym, który mierzy czas z dokładnością do milisekund pomiędzy zmianami stanu z przewodzącego na nieprzewodzący. Zmiany te następują wskutek przemieszczającego się frontu płomienia prostopadle do próbki i przepalaniu następnych sond pomiarowych.

Tabela 2. Wyniki pomiaru liniowej prędkości spalania.

Próbka	Liniowa prędkość spalania [cm/s]
SPR – 0	1,34
SPR – 1	1,54
SPR - 2	2,05
SPR – 3	2,67
SPR - 4	1,65

W porównaniu do próbki referencyjnej SPR-0 każda próbka odznacza się większą liniową prędkością spalania. Największą prędkość osiągnęła próbka z dodatkiem tlenku żelaza(III), a różnica między nią a próbką referencyjną wyniosła aż 1,33 cm/s.

- Wrażliwość na tarcie

Badanie wrażliwości na tarcie wykonano zgodnie z normą PN-EN 13631-3 za pomocą aparatu Petersa. Metoda ta polega na umieszczeniu niewielkiej ilości materiału na ceramicznej płytce, znajdującej się na ruchomym stole. Następnie poddaje się ją odpowiedniemu naciskowi przez porcelanowy stempel, płytka przesuwa się w celu

wytworzenia tarcia. Jeśli próbka nie zostanie zainicjowana próby powtarza się sześciokrotnie. Podczas badania wyznaczono górną granicę niewrażliwości, a wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki wrażliwości na tarcie.

Próbka	Górną granicę niewrażliwości [N]
SPR – 0	120
SPR – 1	160
SPR - 2	96
SPR – 3	80
SPR - 4	84

Próbka SPR-1 jako jedyna wykazała wyższą górną granicę niewrażliwości o 40 N w porównaniu do próbki referencyjnej. Dla pozostałych próbek wyniki były niższe niż dla próbki SPR-0.

- Temperatura zapłonu

Temperaturę zapłonu wyznaczono za pomocą aparatu AET 402 (OZM Research, Bliznovice, Republika Czeska). Badano próbki o masie  $50 \pm 1$  mg w zakresie temperatur 100 – 400°C, ze stałą szybkością ogrzewania 5°C/min. Temperatury zapłonu wyznaczono na podstawie wykresów zależności różnicy temperatur powietrza nad próbką oraz nad próbką odniesienia od temperatury medium grzewczego, wykorzystując metodę stycznych. Wyniki zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki pomiaru temperatury zapłonu

Próbka	Temperatura zapłonu [°C]
SPR – 0	236
SPR – 1	230
SPR - 2	230
SPR – 3	237
SPR - 4	237

W porównaniu do próbki referencyjnej zauważono niższą temperaturę zapłonu dla próbek z dodatkiem tlenku miedzi(I) i tlenku miedzi(II), przy czym różnica między tymi dwiema próbkami była nieznaczna. Pozostałe próbki wykazały temperaturę zapłonu niewiele większą od próbki referencyjnej.

#### 4. Wnioski

Wyniki badań wykazały, że wszystkie zastosowane tlenki metali zwiększyły liniową prędkość spalania stałego heterogenicznego paliwa raketowego bazującego na azotanie(V) amonu w porównaniu do próbki referencyjnej. Największy wzrost liniowej prędkości spalania zaobserwowano w próbkach SPR-3 i SPR-2, które zawierały odpowiednio dodatek tlenku żelaza(III) i tlenku miedzi(II). Oba te tlenki mają katalityczny wpływ nie tylko na rozkład termiczny utleniacza, ale również na termiczny rozkład grup azydkowych obecnych w strukturze zastosowanego lepszca [14]. We wszystkich przypadkach dodatek tlenku metalu wpłynął nieznacznie na zmianę temperatury zapłonu w porównaniu do próbki porównawczej. Uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność tlenków metali w promowaniu rozkładu paliwa raketowego. Badanie wrażliwości na tarcie wykazało, że dodatek tlenku metalu wpływa na zmniejszenie górnej granicy

niewrażliwości materiału na tarcie. Za wyjątkiem próbki SPR-1, która zawierała tlenek miedzi(II), czego przyczyną może być jego wpływ na stabilizację fazową azotanu(V) amonu [12]. Wynik ten korzystnie wpływa na charakterystykę paliwa z dodatkiem tlenku miedzi(II) pod kątem bezpieczeństwa pracy oraz jego przechowywania.

Literatura:

1. DeLuca, L. T. (2017). Highlights of solid rocket propulsion history. *Chemical Rocket Propulsion: A Comprehensive Survey of Energetic Materials*, 1015-1032.
2. Kumar, P., Joshi, P. C., Kumar, R., & Biswas, S. (2018). Catalytic effects of Cu-Co\* on the thermal decomposition of AN and AN/KDN based green oxidizer and propellant samples. *Defence technology*, 14(3), 250-260.
3. Thao T Vo, Damon A Parrish, and Jean'ne M Shreeve. Tetranitroacetimidic acid: a high oxygen oxidizer and potential replacement for ammonium perchlorate. *Journal of the American Chemical Society*, 136(34):11934–11937, 2014.
4. Pratim Kumar, Puran Chandra Joshi, Rajiv Kumar, and Shelly Biswas. Catalytic effects of cu-co\* on the thermal decomposition of an and an/kdn based green oxidizer and propellant samples. *Defence technology*, 14(3):250–260, 2018.
5. Chaturvedi, S., & Dave, P. N. (2019). Solid propellants: AP/HTPB composite propellants. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 2061-2068.
6. Shankar, R. M., Roy, T. K., & Jana, T. (2009). Terminal functionalized hydroxyl-terminated polybutadiene: An energetic binder for propellant. *Journal of applied polymer science*, 114(2), 732-741.
7. Lysien, K., Waśkiewicz, S., Stolarczyk, A., Mielańczyk, A., Zakusyło, R., & Jarosz, T. (2023). Traditional vs. Energetic and perchlorate vs. “green”: a comparative study of the choice of binders and oxidising agents. *Molecules*, 28(15), 5787.
8. Mostafa Mahinroosta. Catalytic effect of commercial nano-cuo and nano-fe2o3 on thermal decomposition of ammonium perchlorate. *Journal of Nanostructure in chemistry*, 3(1):47, 2013.
9. Vargeese, A. A., Muralidharan, K., & Krishnamurthy, V. N. (2015). Kinetics of nano titanium dioxide catalyzed thermal decomposition of ammonium nitrate and ammonium nitrate-based composite solid propellant. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 40(2), 260-266.
10. AS Budhwar, Aashish Gautam, Priyesh V More, Chandra Shekhar Pant, Shaibal Banerjee, and Pawan K Khanna. Modified iron oxide nanoparticles as burn rate enhancer in composite solid propellants. *Vacuum*, 156:483–491, 2018
11. Innder Pal Singh Kapoor, Pratibha Srivastava, and Gurdip Singh. Nanocrystalline transition metal oxides as catalysts in the thermal decomposition of ammonium perchlorate. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials*, 34(4):351–356, 2009
12. Sudhakar, A. R., & Mathew, S. (2006). Thermal behaviour of CuO doped phase-stabilised ammonium nitrate. *Thermochimica acta*, 451(1-2), 5-9.
13. Mohammad Mahdavi, Hossein Farrokhpour, and Marjan Tahriri. Investigation of simultaneous formation of nano-sized cuo and zno on the thermal decomposition of ammonium perchlorate for composite solid propellants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 132:879–893, 2018.
14. Chao Sang and Yunjun Luo. Effect of metastable intermolecular composites on the thermal decomposition of glycidyl azide polymer energetic thermoplastic elastomer. *Polymers*, 16(15):2107, 2024.

## ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСУ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Е.С. Остапчук, Л.Л. Морозовський, М.А. Мустафін, А.І. Заплішна

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України

[crime@post.mil.gov.ua](mailto:crime@post.mil.gov.ua)

Для досягнень високих західних стандартів та високого рівня ефективності у Центральному науково-дослідному інституті озброєння та військової техніки ЗС України було створено вимірювальний комплекс на базі високошвидкісної відеокамери. Даний комплекс дозволяє з високою чіткістю фіксувати швидкоплинні процеси, як наприклад політ боєприпасу або підрив вибухових речовин та їх сумішей. Також для цього комплексу в Інституті розробили методики перевірки параметрів повітряної ударної хвилі, що за допомогою датчиків надлишкового тиску дозволяє визначити не лише швидкість розповсюдження повітряної ударної хвилі, але й визначити точне значення величини тиску у її.

Загалом зазначений вимірювальний комплекс (Рис. 1) можна поділити на окремі незалежні частини:

- високошвидкісна відеокамера;
- датчики надлишкового тиску;
- дрон-квадрокоптер.

Усі ці частини здатні працювати автономно та незалежно, проте максимальна ефективність досягається при використанні їх саме у складі комплексу.

Для роботи устаткування потрібно від 3 (мінімально) до 6 (ефективно) осіб обслуговуючого персоналу.

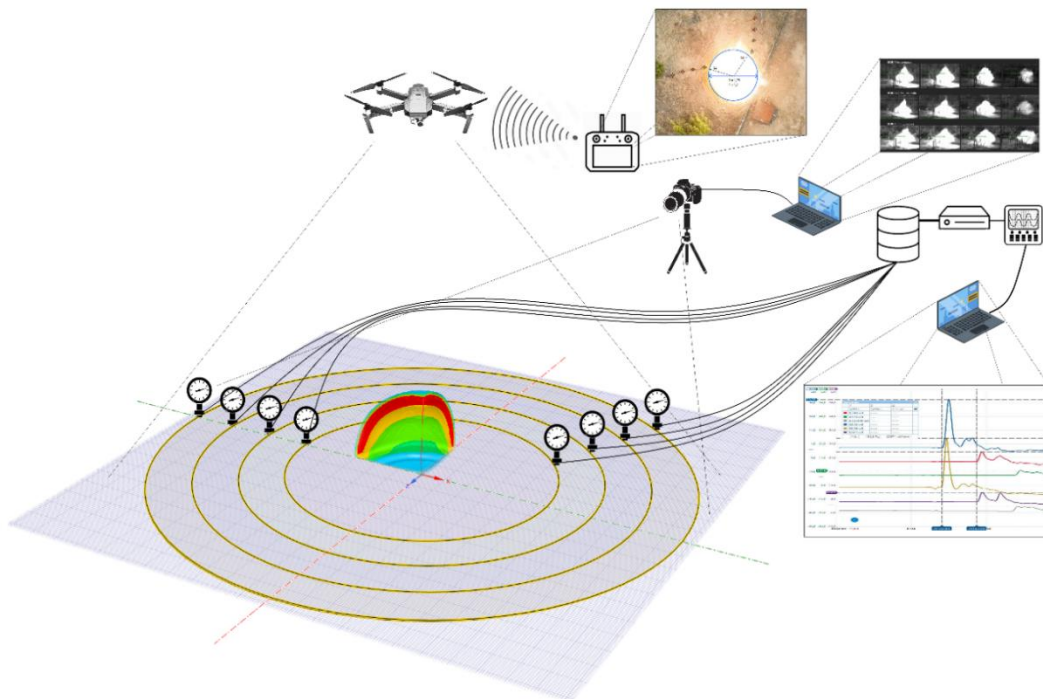


Рисунок 1 – Вимірювальний комплекс з дослідження швидкоплинних вибухових процесів.



Високошвидкісна відеокамера (Рис. 2) працює на власному програмному забезпеченні та керується дистанційно за допомогою передачі сигналу у реальному часі на ноутбук, яким керує оператор. Високошвидкісна камера має обмеження часу запису до 3,14 секунд. Це зумовлене великою щільністю запису (12 800 кадрів на секунду) та як результат великим розміром вихідного файлу. Через обмеження часу запису саме оператор високошвидкісної камери подає загальну команду для взаємодії усього комплексу.

Високошвидкісна відеокамера встановлюється на відстані, безпечній для відеофіксації вибуху відповідно до кількості вибухової речовини (суміші) або перпендикулярно до зрізу ствола (у випадках, коли ми спостерігаємо вихід снаряду із каналу ствола).

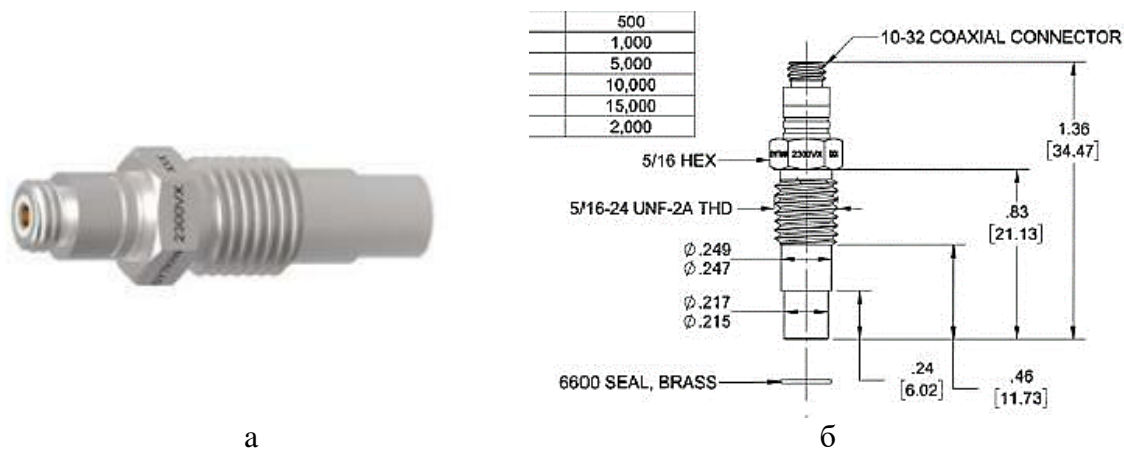


Рисунок 2 – Високошвидкісна відеокамера Photron nova S12.

Під час аналізу відео-запису визначаються наступні показники:

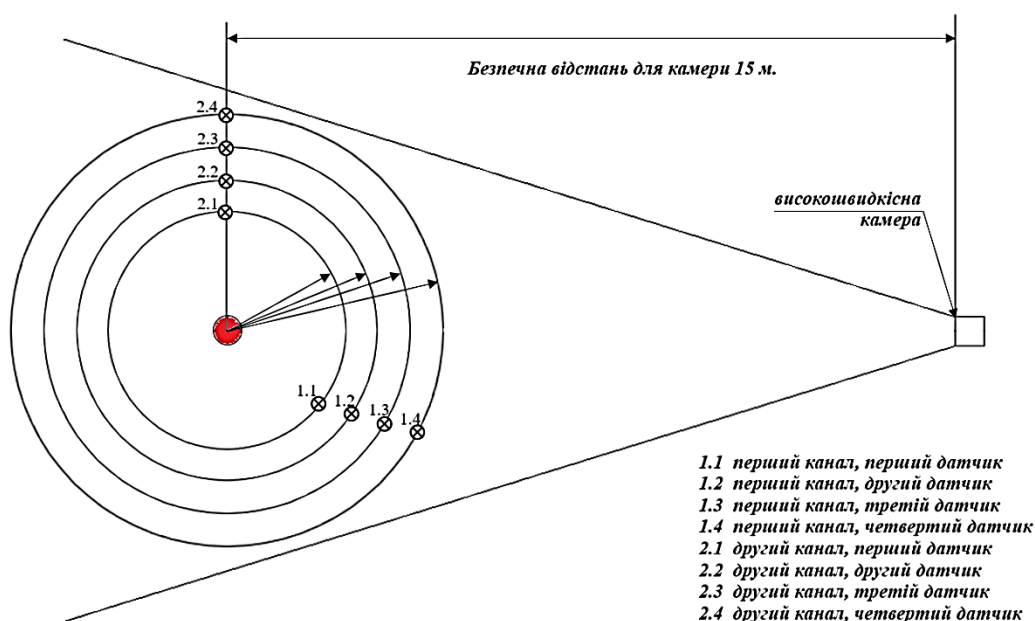
- час початку підриву;
- діаметр епіцентру зони спалаху;
- висоту епіцентру зони спалаху;
- час проходження повітряної ударної хвилі через маркери;
- швидкість повітряної ударної хвилі;
- час затухання підриву;
- повноту підриву;
- осколковість (візуально);
- оцінка фугасності (візуально).

Тиск та швидкість повітряної ударної хвилі є якісними показниками характеру процесу вибухового перетворення при надійному його ініціюванні за рахунок дії запалу. Для зчитування сили тиску вимірювальний комплекс використовує датчики надлишкового тиску (Рис. 3), джерело вихідного сигналу та осцилограф. Для зменшення похибки та більш ефективного аналізу, у вимірювальному комплексі використовується 2 канали по 4 датчики в кожному на однаковій відстані але у різних напрямках. Таким чином ми маємо можливість зробити самоперевірку або виключити ефект потрапляння частинок на датчик та отримання спотвореного результату. Розташування датчиків здійснюється за схемою 1.



а б  
 Рисунок 3. Датчик тиску: фотографія (а) та схема (б).

Схема 1



Під час аналізу файлу-запису визначаються наступні показники:

- час взаємодії повітряної ударної хвилі з кожним із датчиків тиску;
- тиск, який повітряна ударна хвиля створює на датчиках;
- швидкість повітряної ударної хвилі;

Оцінка працездатності вибухових сумішей проводиться за допомогою вимірювання зони спалаху та часу існування зони спалаху. Також дрон допомагає візуально зафіксувати наслідки підриву (займання, розліт уламків, загальний ефект після підриву). Фугасність, є якісним показником характеру процесу вибухового перетворення при надійному його ініціювання за рахунок дії запалу.

Через обмеження на використання дронів над певними територіями під час військового стану, перед використанням дрону слід отримати дозвіл на роботу над місцем вибуху у відповідних уповноважених органах контролю над повітряним простором.

Для зручності аналізу запису підриву, використовується режим сповільненої зйомки. Опори кріплення датчиків надлишкового тиску виступають у ролі маркерів еталонних дистанцій, так як встановлюються на чіткій відстані від місця установки заряду.

Для запобігання утворення похибки, пілот-оператор дрона переміщує квадрокоптер чітко над місцем підриву, на висоту, зручну для спостереження, але не вищу за встановлені місцеві обмеження повітряних польотів.

Під час аналізу файлу-запису визначаються наступні показники:

- час підриву;
- тривалість вибуху;
- геометричні параметри зони спалаху;

Також використання квадрокоптера допомагає убезпечити операторів від нестандартних та надзвичайних ситуацій, таких як займання уламками поза зоною підриву, задимлення території та інші непередбачені обставини.

Таким чином за допомогою вимірювального комплексу на основі високошвидкісної відеокамери, датчиків надлишкового тиску та дрона ми маємо можливість отримати низку параметрів, які вносяться до зведеної таблиці (приклад – Таблиця 1), і використовуються для подальшого аналізу.

Таблиця 1 Зведені параметри

ВР	ПР	t1, с	t2, с	Δt, с	s, м	V, м/с	t0, с	t3, с	Trop, с	Deni, м	H, м	L1	L2	
1	100 гр. C4	-	3,3071875	3,310546875	0,003359375	1,5	446,51	3,305390625	3,4170625	0,111671875	2,040	1,861	1,02	1,03
2	100 гр. C4	+10 гр. гідрид титана	1,023125	1,026484375	0,003359375	1,5	446,51	1,02125	1,16203125	0,14078125	2,464	2,258	1,231	1,232
3	100 гр. C4	+10 гр. нанопор. Al	0,81955125	0,822892625	0,003341375	1,5	448,92	0,817578125	0,964140625	0,1465625	2,527	2,014	1,263	1,264
4	100 гр. C4	+10 гр. нанопор. Zn	1,176169875	1,17953325	0,003363375	1,5	445,98	1,174140625	1,365	0,190859375	2,730	2,713	1,36	1,365
5	100 гр. C4	+10 гр. карбід В4С	1,640420625	1,643828125	0,0034075	1,5	440,21	1,6384375	1,79609375	0,15765625	2,680	2,156	1,335	1,34
6	100 гр. Pirunit	-	1,2284375	1,23109375	0,00265625	1	376,47	1,22609375	1,2278125	0,00171875	0,900	0,890	0,45	0,45
7	100 гр. Pirunit	+10 гр. гідрид титана	1,511640625	1,514296875	0,00265625	1	376,47	1,509375	1,60578125	0,09640625	1,382	0,858	0,69	0,692
8	100 гр. Pirunit	+10 гр. нанопор. Al	1,61125	1,615	0,00375	1,5	400,00	1,60890625	1,747734375	0,138828125	2,673	1,185	1,335	1,337
9	100 гр. Pirunit	+10 гр. нанопор. Zn	1,281875	1,284375	0,0025	1	400,00	1,2796875	1,398125	0,1184375	1,572	1,370	0,785	0,786
10	100 гр. Pirunit	+10 гр. карбід В4С	1,33421875	1,336758875	0,002540125	1	393,68	1,331640625	1,3340625	0,002421875	1,213	0,885	0,606	0,607
11	100 гр. Kemix B	-	1,52109375	1,523671875	0,002578125	1	387,88	1,51875	1,51984375	0,00109375	1,742	1,209	0,87	0,871
12	100 гр. Kemix B	+10 гр. гідрид титана	1,159375	1,161953125	0,002578125	1	387,88	1,156640625	1,157421875	0,00078125	1,902	1,374	0,95	0,951
13	100 гр. Kemix B	+10 гр. нанопор. Al	1,49201875	1,494765625	0,002746875	1	364,05	1,489140625	1,491484375	0,00234375	1,913	1,239	0,956	0,9565
14	100 гр. Kemix B	+10 гр. нанопор. Zn	1,216875	1,218359375	0,001484375	0,5	336,84	1,214375	1,2528125	0,0384375	3+	3+	3+	1,565
15	100 гр. Kemix B	+10 гр. карбід В4С	1,451328125	1,453984375	0,00265625	1	376,47	1,448671875	1,44984375	0,001171875	1,622	1,050	0,8	0,811
16	100 гр. ВРГДП	-	1,47125	1,473984375	0,002734375	1	365,71	1,46859375	1,47046875	0,001875	1,761	1,399	0,88	0,8805
17	100 гр. ВРГДП	+10 гр. гідрид титана	0,295703125	0,29707125	0,001368125	0,5	365,46	0,29296875	0,295859375	0,002890625	1,907	1,297	0,954	0,953
18	100 гр. ВРГДП	+10 гр. нанопор. Al	1,363125	1,364456875	0,001331875	0,5	375,41	1,359921	1,369140625	0,009219625	1,113	0,890	0,56	0,565
19	100 гр. ВРГДП	+10 гр. нанопор. Zn	1,248671875	1,25001375	0,001341875	0,5	372,61	1,246328125	1,290703125	0,044375	3+	3+	3+	3+
20	100 гр. ВРГДП	+10 гр. карбід В4С	1,2840625	1,285403125	0,001340625	0,5	372,96	1,2815625	1,290703125	0,009140625	1,679	1,251	0,84	0,839

Висновок: Розроблений вимірювальний комплекс значно спрощує перевірку і аналіз дії вибухових речовин (сумішей) та надає конкретні фактичні дані, щодо характеристик повітряної ударної хвилі, а також застосовується під час різних балістичних випробувань задля контролю та аналізу пострілів, дії порохових газів та поведінки снарядів при виході із каналу ствола для різних видів зброї.

## ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВОГО ПОЛЯ ВИБУХУ СИСТЕМИ СУМІЖНИХ ЗАРЯДІВ

В. Кравець<sup>1</sup>, Р. Закусило<sup>1</sup>, А. Шукуров<sup>2</sup>, Д. Закусило<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Шосткинський інститут Сумського державного університету

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

**Анотація** В роботі розглянуто особливості аналітичного описання закономірностей формування силового поля в умовах вибуху суміжних подовжених зарядів обмеженої довжини. Виконано експериментальну оцінку доцільності застосування апарату теорії пружності для моделювання зарядів осьової симетрії системою елементарних зарядів центральної симетрії з поширенням завдання на представлення заряду площинної симетрії системою паралельних осесиметричних зарядів. Встановлено рівні придатності аналітичних побудов при моделюванні систем зарядів.

**Key words.** Mechanical effect, system of charges, symmetry, force field, string, piezoelectric transducer, components of stresses, waveform

**Ключові слова.** Механічний ефект, система зарядів, симетрія, силове поле, гірлянда, п'єзодатчик, компоненти напружень, епюра.

**Вступ.** Вивчення закономірностей формування в просторі і часі поля напружень при дослідженні механічного ефекту вибуху системи зарядів в породному масиві потребує складних теоретичних побудов для описання спільної роботи суміжних полів напружень. Керування інтенсивністю та послідовністю прикладання взаємодіючих імпульсних навантажень в умовах масового вибуху на відкритих гірничих роботах покладено в основу сучасних технологічних рішень, метою яких є розробка одночасно значних об'ємів гірської маси та одночасно дотримання встановленої проектом якості подрібнення гірської маси. Сучасна техніка масового висаджування реалізується через застосування систем свердловинних зарядів, що розміщуються в руйнованому породному блоці за певною раціональною мережею і підриваються в заданій послідовності. Через складність теоретичних побудов відстані між зарядами і послідовність їх підривання переважно встановлюються емпірично з урахуванням поряд з їх геометричними параметрами та конструктивними особливостями також фізико-механічних і технологічних параметрів руйнованого середовища. Одночасно продовжуються пошуки можливостей аналітичного описання динамічних явищ, породжених системою зарядів. В рамках цих пошуків наводяться результати дослідження закономірностей формування поля напружень в системі суміжних циліндричних зарядів, виконані шляхом аналітичних розрахунків, що ґрунтуються на заміні лінійного заряду системою елементарних зосереджених зарядів.

**Огляд літератури і постановка задачі.** Звертаючись до наукового обґрунтування технологічних параметрів, науковці свої дослідження базують переважно на вивченні напружено-деформованого стану масиву, генерованого окремим свердловинним зарядом необмеженої довжини. Така постановка дозволяє застосування математичних побудов в осьовій симетрії, поширюючи ці дані розрахунків на груповий (масовий) вибух. Однак завдання суттєво ускладнюється через прояви специфічних явищ, пов'язаних з обмеженістю довжини реального свердловинного заряду, а саме - з крайовими ефектами, які виражаються в деградації силового поля в його торцевих частинах [1...3,,5]. Лише центральна частина свердловинного заряду випромінює осесиметричне силове поле і лише до певної

відстані від осі заряду. За межами цієї частини заряду він поступово уподібнюється зарядові з центральною симетрією [2,4]. В зв'язку з цим природньо в математичних побудовах моделювати короткий циліндричний заряд системою (гірляндою) центральносиметричних, тобто сферичних зарядів, певним чином розосереджених вздовж осі реального циліндричного заряду. В подальшому таке припущення дозволяє розробити апарат для вивчення нелінійних явищ, пов'язаних з динамічною взаємодією силових полів в системі подовжених зарядів обмеженої довжини. *Мета даної роботи* – уточнити рівень впливу параметрів розосередження елементарних зарядів високої симетрії, що моделюють систему більш низької симетрії, на механізм формування в системі поля напружень в часі і просторі.

**Матеріали досліджень.** Для встановлення ряду характерних закономірностей розвитку поля напружень в масиві у випадку подовженого заряду кінцевих розмірів і для спрощення рішень подовжений заряд моделюється гірляндою зосереджених зарядів з загальною масою, що дорівнює масі лінійного заряду. Складено відповідну програму розрахунку, основу на припущенні, що процес розглядається у віддалених шарах, де рівень максимальних напружень згідно з даними цього розділу допускає розв'язок задачі в пружній постановці. Алгоритм розв'язання задачі [2] полягає у розрахунку напруженого стану в певній точці масиву в зоні дії вибуху циліндричного заряду, імітованого гірляндою зосереджених зарядів. Для визначення напруженого стану в зоні дії вибуху системи зосереджених зарядів положення кожної точки масиву визначається її радіусом-вектором  $\vec{r}$  з компонентами  $x_1 = x$ ,  $x_2 = y$ ,  $x_3 = z$  в деякій системі координат (рис. 1). Заряди розташовуються так, щоб їх вісь збігалась з напрямком осі  $z$ . Визначення напруженого стану в обраній точці середовища  $M$  виконується за компонентами напружень на майданчиках, нормальних до осей  $X, Y, Z$  - нормальні напруження  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$  і дотичні  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$ .

$$\sigma_{xy} = \sigma_{yx}, \sigma_{xz} = \sigma_{zx}, \sigma_{yz} = \sigma_{zy}. \quad (1)$$

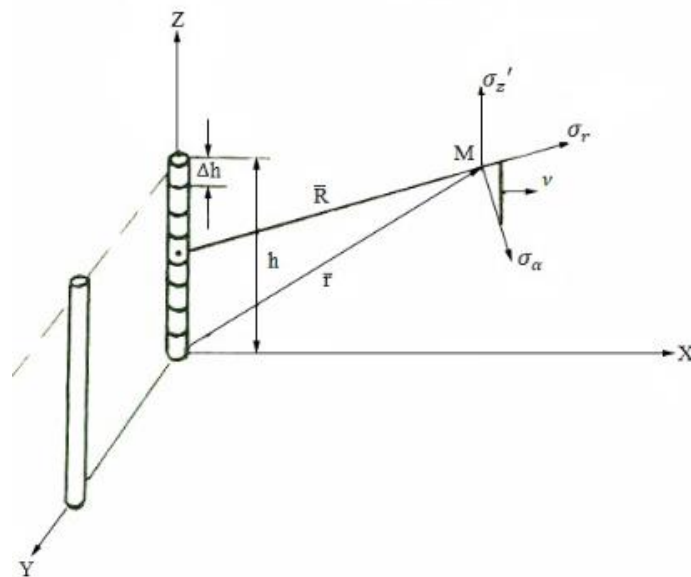


Рисунок 1. Схема до розрахунку поля напружень від вибуху лінійного заряду за принципом суперпозиції:

Радіальне напруження від вибуху заряду:

$$\sigma_R(R, t) = \sigma_{R_{max}}(r) * \frac{t * t_k}{t_{max} - t_k}; \quad t_k = \begin{cases} t_{oi} & t_{oi} \leq t \leq t_{max} \\ t_{\tau} & t_{max} \leq t \leq \tau \end{cases} \quad (2)$$

де - відстань між точкою М з координатами  $x, y, z$  та елементарним зарядом з координатами  $x_0, y_0, z_0$ ,

$t$  - поточний час,

$t_{max}$  – час наростання максимуму напруження,

$t_{\tau}$  – тривалість імпульсу,

$t_{oi}$  – час приходу імпульсу.

$$R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (3)$$

Для визначення максимальних напружень  $R$  користуємось експериментальною залежністю:

$$\sigma_{max} = K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{\mu}, \quad (4)$$

де  $Q$  – маса елементарного заряду, кг,  $K = 4,5 \cdot 10^5$ .

Тангенціальна складова, нормальна дотичній  $v$ :

$$\sigma_{\alpha}(R, t) = K_{\tau} \sigma(R, t), \quad (5)$$

Результуюче напруження в точці М від  $n$  елементарних зарядів може бути знайдене шляхом підсумовування проєкції напружень  $\sigma_r, \sigma_{\alpha}, \sigma_z$  на осі  $x, y, z$  [2].

Припущення щодо можливості застосування аналітичної моделі подовженого заряду обмеженої довжини гірляндою зосереджених зарядів або плоского заряду - системою циліндричних зарядів, потребує паралельної експериментальної перевірки. Для цього виконано полігонні дослідження напруженого стану ґрунтового масиву в умовах вибуху системи двох суміжних циліндричних зарядів обмеженої довжини. Як слідує з наведеної розрахункової схеми, для визначення силових параметрів від дії системи циліндричних зарядів, поставлено завдання отримати не лише закон зміни напружень в просторі і часі від вибуху окремого циліндричного заряду, але й встановити, наскільки розосередження в системі таких зарядів вплине на інтенсивність результуючого силового поля в області дії цих зарядів. Експериментальні дослідження виконувались в супіщаному ґрунті порушеної структури з щільністю  $\rho = 1,73 \text{ т/м}^3$  і вологістю  $W=14\%$ . Дослідження силового поля за двома схемами (поодинокий циліндричний заряд з 4-х ниток ДШ і система таких зарядів в одній площині) виконувались п'єзодатчиками напружень, які встановлювались попарно в насипних шарах котловану розміром  $2,2 \times 2,2 \times 1,5$  м на відстані  $0,18 \text{ м} \dots 0,42 \text{ м}$  від системи зарядів. Площини корпусу датчиків попарно орієнтувались мембранами на окремий заряд (1-ша схема) або на площину з системи циліндричних зарядів (2-а схема) і по нормалі відповідно для вимірювання радіальної і тангенціальної компонент поля напружень з фіксацією силових і часових

параметрів вибухових імпульсів. За другою схемою датчики були встановлені двома групами - в середньому профілі в системі між зарядами і проти заряду (рис. 2).

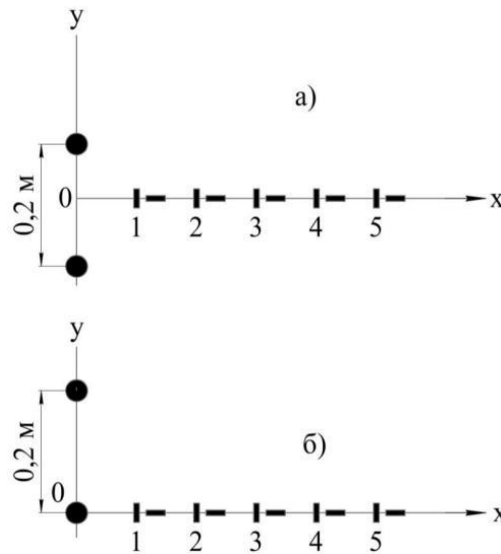


Рисунок 2 Схема вимірювання радіальних напружень від вибуху суміжних зарядів: між зарядами (а) і «на заряд» (б)

Як видно з рис. 3, на досліджуваних відстанях максимальні значення радіальних напружень  $\sigma_r$  в імпульсі спадають від  $12,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $2,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, тангенціальні -  $\sigma_\alpha$  - від  $4,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $1,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

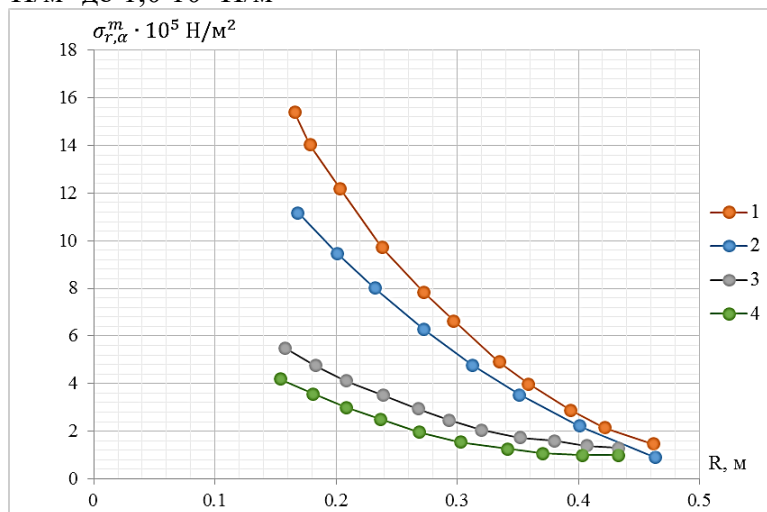


Рисунок 3 Просторовий розподіл максимальних радіальних і бічних напружень при вибуху циліндричного заряду: радіальний компонент  $\sigma_r$  (1- експеримент, 2 - розрахунок) і тангенціальний компонент  $\sigma_\alpha$  (3 - експеримент, 4 - розрахунок)

Експериментальні параметри хвиль напружень при підірванні поодинокого циліндричного заряду дозволяють застосувати розрахункову схему для визначення параметрів поля напружень від дії системи циліндричних зарядів.

Відповідно рис. 2 для першої схеми розрахункові напруження в напрямку осей X та Y становитимуть:

$$\sigma_x = 2\sigma_r \cos\alpha; \quad \sigma_y = 2\sigma_\alpha \cos\alpha \quad (6)$$

Для другої схеми сумарні напруження становлять:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_{ir} + (\sigma_{2r} \text{Ctg}\alpha - \sigma_{2\alpha}) \text{Sin}\alpha \\ \sigma_y &= \sigma_{ly} + (\sigma_{2r} + \sigma_{2\alpha} \text{Ctg}\alpha) \text{Sin}\alpha\end{aligned}\quad (7)$$

За виразами (6,7) відповідно отримано значення компонентів тензора напружень у визначених точках масиву з використанням встановлених параметрів вибухових хвиль від вибуху окремого заряду. Як очікувано, розрахункові напруження по обох схемах відрізняються на близьких відстанях від зарядів, а на відстані порядку 0.3м зближуються. (рис.4).

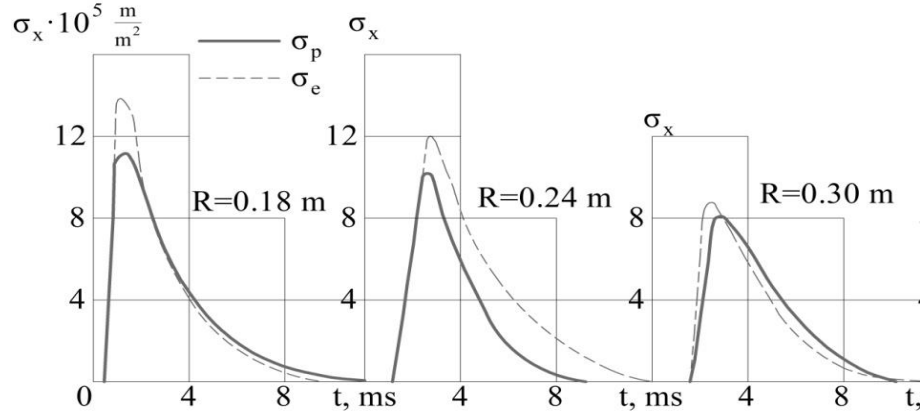


Рисунок 4. Епюри хвиль напружень за першою схемою: розраховані ( $\sigma_p$ ) та експериментальні ( $\sigma_e$ )

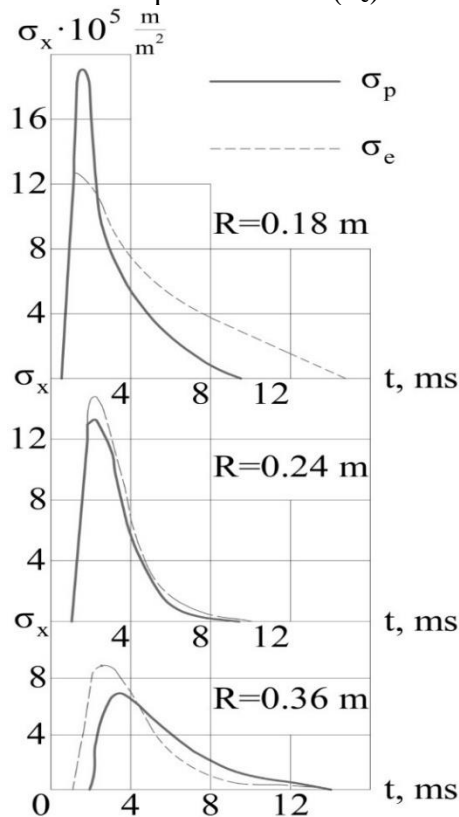


Рисунок 5 Епюри хвиль напружень за другою схемою: розраховані ( $\sigma_p$ ) та експериментальні ( $\sigma_e$ )



Це свідчить про можливість застосування наведених аналітичних залежностей в зоні, де напруження не перевищують діапазону 0,3...0,4 МПа. Ці значення дещо перевищують величину міцності дослідного ґрунту на всебічне стиснення.

**Висновок.** Співставлення даних полігонних досліджень просторово-часових параметрів вибухового імпульсу в системі суміжних подовжених зарядів з розрахунками, основаними на положеннях теорії пружності свідчить, що в більшості точок вимірювань рівня напружень їх експериментальні значення вищі від розрахункових, тобто розрахунки, основані на положеннях теорії пружності, на 10...15% занижують прогноз інтенсивності силового поля. Це означає, що в умовах, коли технологічний вибух призначається для руйнування, ущільнення або переміщення ґрунтового чи породного масиву, таке заниження створює при розрахунках певний резерв потенційної енергії зарядів, яка витрачається на корисні форми роботи вибуху.

#### **Список літературних джерел**

1. Орленко Л.П. Физика взрыва / Л.П. Орленко/ – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 2. – М.: Физматлит, 2004. – 656 с.
2. Шукюров А.М. Крайові ефекти в проектуванні масових вибухів на кар'єрах.К.:Інтерсервіс, 2022.-138с.
3. The numerical analysis of borehole blasting and application in coal mine roof-weaken/L.Chun-ruia, K.Li-jun, Q.Qing-xing, M.De-bing, L.Quan-ming, X.Gang./ The 6th International Conference on Mining Science & Technology. Procedia Earth and Planetary Science 1.-2009. – P.451–459.
4. Казаков Н.Н. Параметры процесса камуфлетного действия взрыва скважинного заряда конечной длины / Н.Н.Казаков/Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №1.-М.: 2013.-С.109-119..
5. Technological applications of border effects by hole charges system explosion/Viktor Kravets, Azer Shukurov, Roman Zakusylo, Andrij Kovtun/Materialy Wysokoenergetyczne. 2019.11(2)-S.21-30.

## ZASTOSOWANIE WYSOKOENERGETYCZNYCH ZWIĄZKÓW KOORDYNACYJNYCH JAKO ALTERNATYW DLA TETRAAZOTANU(V) PENTAERYTRYTOLU (PETN) W ZAPALNIKACH

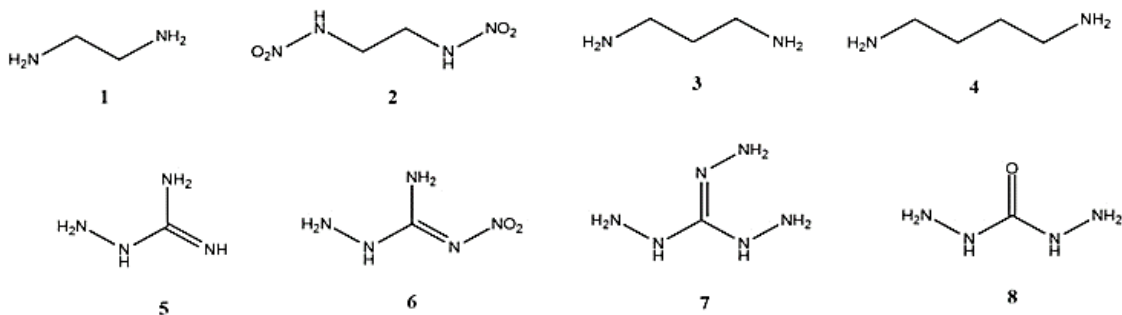
K. Pawlus, T. Jarosz, A. Stolarczyk

Silesian University of Technology, Gliwice, Poland  
Email klauudia.pawlus@polsl.pl; tomasz.jarosz@opayq.com

Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na nowe materiały wysokoenergetyczne, istnieje potrzeba znalezienia związków, które będą charakteryzowały się niższą toksycznością dla środowiska w porównaniu do tych zawierających metale ciężkie, takie jak ołów, kadm, rtęć czy antymon [1] jak np. azydek ołowiu(II) (LA), który znajduje zastosowanie głównie w zapalnikach [2]. Oprócz LA, typowe zapalniki zawierają również tetraazotan(V) pentaerytrytolu (PETN) [3]. Potencjalne zamienniki LA lub PETN powinny spełniać szereg wymagań, w tym wykazywać wysokie parametry bezpieczeństwa (niska wrażliwości na tarcie i uderzenie), wysoka stabilność termiczna i chemiczna, a także powinny charakteryzować się wysokimi parametrami fali uderzeniowej i krótkim czasem przejścia od procesu spalania do detonacji [4]. Takimi alternatywami mogą być wysokoenergetyczne związki koordynacyjne (KMW) [5,6], które są często określane jako „zielone” materiały wybuchowe [7,8].

Literatura wskazuje, że syntezę wysokoenergetycznych związków koordynacyjnych, najczęściej przeprowadza się poprzez bezpośrednie przygotowanie z soli metali i ligandów w roztworze, np. w reżimie "one-pot" [9]. Podczas syntezy jako medium reakcyjne stosuje się zazwyczaj wodę, ze względu na wysoką rozpuszczalność surowców, a także produktów syntezy i niski wpływ wody na środowisko [10]. Jest to istotne w kontekście syntezy i produkcji na skalę przemysłową, umożliwiające obniżenie ceny produktu końcowego, nie generując przy tym dużej ilości toksycznych odpadów. Ponadto, w tym kontekście istotne jest zastosowanie typowych i szeroko stosowanych surowców przemysłu chemicznego, bądź też związków chemicznych, które można otrzymać z takich surowców na drodze prostych transformacji.

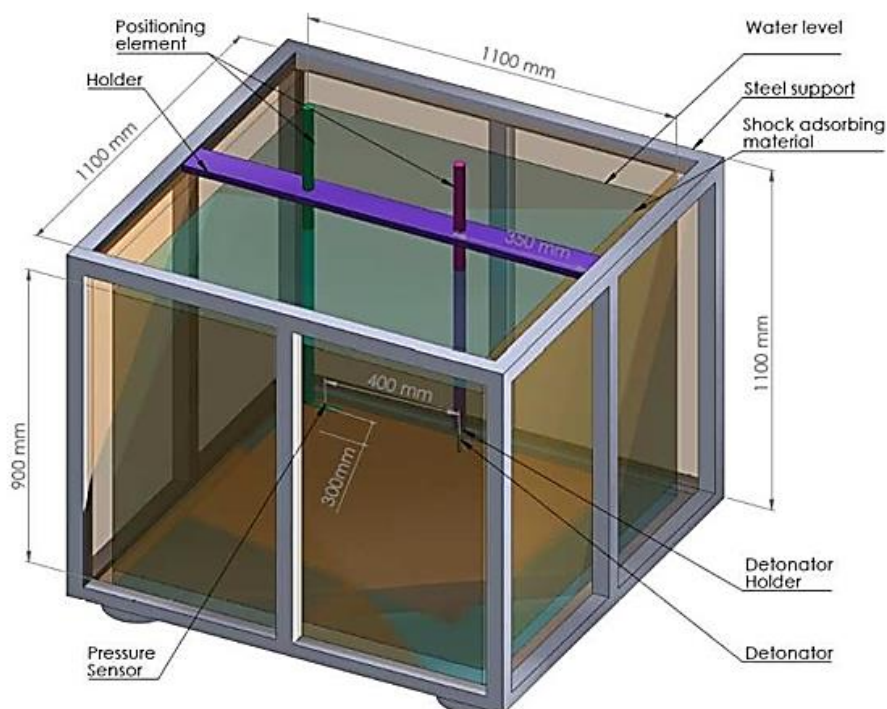
Wysokoenergetyczne związki koordynacyjne mogą zawierać proste ligandy alifatyczne, takie jak: 1,2-diaminoetan (1) [12], etylenoditramina (2), 1,3-diaminopropan (3), 1-4-diaminobutan (4), aminoguanidyna (5), 3-amino-1-nitroguanidyna (6), triaminoguanidyna (7), karbohydrazyd (8), których struktury przedstawiono na Rysunku 1. Jednakże, znaczna większość koordynacyjnych materiałów wybuchowych opisanych w literaturze to związki zawierające ligandy heterocykliczne, takie jak triazole, tetrazole, oksadiazole i ich pochodne [16], takie jak 3,5-diamino-1,2,4-triazol [17]; 1-metylo-5H-tetrazol.



Rysunek 2. Przykłady ligandów alifatycznych stosowanych w syntezie wysokoenergetycznych związków koordynacyjnych.

W ramach prowadzonych badań otrzymano szereg wysokoenergetycznych związków koordynacyjnych metali przejściowych (Fe, Ni, Cu, Zn) zawierających ligandy takie jak: 1,2-etylenodiamina (EDA); 1,3-propylenodiamina (DP); tris-(2-aminoetylo)amina (TAEA) oraz tris-(3-aminopropyl)amina (TAPA) z anionami azotanowymi(V) i chloranowymi(VII). Strukturę wszystkich otrzymanych ECC potwierdzono metodą spektroskopii w podczerwieni i spektroskopii Ramana, wskazując na obecność charakterystycznych grup funkcyjnych. Wykonano również pomiary proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej. Wyznaczono również parametry bezpieczeństwa wszystkich otrzymanych związków (wrażliwość na tarcie, uderzenie) oraz określono temperaturę zapłonu/wybuchu, na podstawie których wytypowano związki do dalszych badań, mogące stanowić alternatywę materiałową dla PETN.

Parametry energetyczne wybranych KWM w prototypowych zapalnikach określono w teście wybuchu podwodnego zgodnie z normą EN 13763-15 [14]. Schemat zbiornika użytego do badań przedstawiono na Rysunku 2.



Rysunek 3. Schemat zbiornika wodnego użytego do wykonania testów wybuchu podwodnego..

Test ten pozwolił na wyznaczenie ciśnienia fali uderzeniowej, całkowitej energii fali wybuchu a także ekwiwalentu energii fali uderzeniowej ( $E_{sw}$ ), a także ekwiwalentu energii pęcherza gazowego ( $E_{BW}$ ). Istotnym parametrem jest również czas narastania pęcherza gazowego, na podstawie którego możliwe było określenie czy dany związek deflagrował, czy też detonował. W poniższej tabeli przedstawiono uzyskane wyniki w teście wybuchu podwodnego dla zapalników referencyjnych (Tabela 1) oraz testowych zawierających KMW (Tabela 2).

Tabela 1. Wyniki testu wybuchu podwodnego dla zapalników referencyjnych.

Parametr	Masa PETN [mg]		
	600	800	1000
$P_{\max}$ [MPa]	$9.67 \pm 0.34$	$10.58 \pm 0.19$	$11.68 \pm 0.25$
E [J]	$1399 \pm 16$	$1696 \pm 35$	$1963 \pm 18$
$t_b$ [ms]	$21.21 \pm 0.11$	$22.44 \pm 0.10$	$23.43 \pm 0.21$
$E_{SW}$ [J]	$629.43 \pm 15$	$784.90 \pm 27$	$925.13 \pm 29$
$E_{BW}$ [J]	$769.82 \pm 10$	$911.33 \pm 13$	$1037.72 \pm 28$

Tabela 2. Parametry opisujące przemianę wysokoenergetyczną dla zapalników zawierających wysokoenergetyczne związki koordynacyjne w teście wybuchu podwodnego.

Parametr	Kod próbki				
	Cu-EDA-C	Cu-DP-N	Cu-DP-C	Cu-L3-N	Cu-L3-N
$P_{\max}$ [MPa]	$3.71 \pm 0.02$	$1.06 \pm 0.07$	$4.20 \pm 0.08$	$1.09 \pm 0.06$	$3.75 \pm 0.04$
E [J]	$1078 \pm 17$	$188 \pm 5$	$1167 \pm 19$	$194 \pm 5$	$1117 \pm 8$
$t_b$ [ms]	$20.86 \pm 0.04$	$12.71 \pm 0.13$	$21.16 \pm 0.15$	$12.87 \pm 0.15$	$21.51 \pm 0.04$
$E_{SW}$ [J]	$345 \pm 5$	$22.32 \pm 0.30$	$402 \pm 9$	$21.73 \pm 0.27$	$314 \pm 7$
$E_{BW}$ [J]	$733 \pm 15$	$166 \pm 5$	$765 \pm 16$	$172 \pm 5$	$803 \pm 5$

Analizując powyższe wyniki można stwierdzić, że najkorzystniejsze parametry uzyskano dla związku Cu-DP-C, dla którego całkowita energia wybuchu wynosiła 68,78 % energii zapalnika zawierającego 800 mg PETN, a maksymalne ciśnienie detonacji 39,70 % wartości  $P_{\max}$  dla PETN. Ponadto zauważono, że KMW zawierające anion azotanowy(V) ulegały deflagracji, natomiast zawierające anion chloranowy(VII) detonacji, stąd też mogą być traktowane jako potencjalne zamienniki PETN w zapalnikach.

#### Literatura:

1. My Hang V Huynh, Michael A Hiskey, Thomas J Meyer, and Modi Wetzler. Green primaries: Environmentally friendly energetic complexes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(14):5409–5412, 2006;
2. Jesse J Sabatini and Karl D Oyler. Recent advances in the synthesis of high explosive materials. *Crystals*, 6(1):5, 2015;
3. Thomas M Klapötke. *Chemistry of high-energy materials*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2022;
4. Mikhail A Ilyushin, Igor V Tselinsky, and Irina V Shugalei. Environmentally friendly energetic materials for initiation devices. *Central European Journal of Energetic Materials*, 9(4):293–327, 2012;
5. Jianchao Liu, Hao Qiu, Jimin Han, and Li Yang. Synthesis of energetic complexes [co(en)(h2bti)2]2·en,[cu2(en)2(hbti)2]2 and catalytic study on thermal decomposition of ammonium perchlorate. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 44(7):816–820, 2019;
6. Wen-Chao Tong, Jian-Chao Liu, Qian-You Wang, Li Yang, and Tong-Lai Zhang. Ecofriendly trifoliate stable energetic zinc nitrate coordination compounds: Synthesis, structures, thermal and explosive properties. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 640(14):2991–2997, 2014;
7. Haibo Li, Yanna Wang, Zhenghe Wei, Xiaoming Yang, Linna Liang, Lianghong Xia, Maohao Long, Zhimin Li, and Tonglai Zhang. Tunable copper complexes with

functional ligands: a promising strategy for green primary explosives. *Chemical Engineering Journal*, 430:132739, 2022;

8. Qi Zhang, Dong Chen, Dong Jing, Guijuan Fan, Liu He, Hongzhen Li, Wentao Wang, and Fude Nie. Access to green primary explosives via constructing coordination polymers based on bis-tetrazole oxide and non-lead metals. *Green chemistry*, 21(8):1947–1955, 2019;

9. M-L Tong and X-M Chen. Synthesis of coordination compounds and coordination polymers. In *Modern Inorganic Synthetic Chemistry*, pages 189–217. Elsevier, 2017.

10. Geoffrey A Lawrance. *Introduction to coordination chemistry*. John Wiley & Sons, 2013;

11. Olga V Netskina, Kirill A Dmitruk, Olga I Mazina, Alexander A Paletsky, Svetlana A Mukha, Igor P Prosvirin, Alena A Pochtar, Olga A Bulavchenko, Andrey G Shmakov, Janna V Veselovskaya, et al. Co<sub>2</sub> methanation: Solvent-free synthesis of nickel-containing catalysts from complexes with ethylenediamine. *Materials*, 16(7):2616, 2023;

12. Tingou Yan, Guangbin Cheng, and Hongwei Yang. 1, 2, 4-oxadiazole-bridged polynitropyrazole energetic materials with enhanced thermal stability and low sensitivity. *Chem-PlusChem*, 84(10):1567–1577, 2019;

13. Xin Jin, Jian-Guo Zhang, Cai-Xia Xu, Xin Yin, Piao He, and Qian Qin. Eco-friendly energetic complexes based on transition metal nitrates and 3, 4-diamino-1, 2, 4-triazole (datr). *Journal of Coordination Chemistry*, 67(19):3202–3215, 2014;

14. En 13763-15:2004 explosives for civil uses - detonators and relays - part 15: Determination of equivalent initiating capability.

## **ОЛЕОХІМІЧНІ ПРОДУКТИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ КОМПОНЕНТИ СУМІШЕВИХ РАКЕТНИХ ТВЕРДИХ ПАЛИВ**

**К.Є. Варлан, О.В. Черваков, К.М. Сухий, О.А. Беляновська**

Український державний університет науки і технологій

[konstvarlan@meta.ua](mailto:konstvarlan@meta.ua)

В даний час та у найближчій перспективі головним державним пріоритетом є відбиття зовнішньої агресії, збереження суверенітету та територіальної цілісності України. Досвід бойового протистояння вказує на те, що найбільш ефективною і перспективною оборонною та наступальною зброєю є засоби дальнього ураження, до яких належить ракетна техніка. Значну кількість видів ракетної техніки як військового так і цивільного призначення оснащують двигунами на сумішевому ракетному твердому паливі (СРТП). Паливні заряди СРТП формують шляхом тверднення сумішей окиснювача, переважно перхлорату амонію (ПХА), полімерного пального-зв'язувального та певних функціональних добавок. [1, 2]. Невід'ємними функціональними добавками СРТП є поверхнево-активні речовини (ПАР), пластифікатори, регулятори швидкості горіння тощо, які забезпечують потрібний рівень технологічних та тактико-технічних характеристик. У якості пластифікаторів СРТП традиційно використовують дибутилфталат (ДБФ), діоктилфталат (ДОФ), діоктилсебацінат (ДОС), діоктиладипінат (ДОА), в окремих випадках - нітроалкани, азиди тощо. У якості ПАР використовують, зокрема, сульфосукцинати, олігоалкиленоксиди, аміновмісні похідні жирних кислот тощо [3]. Вищезначені синтетичні сполуки органічного походження складають основу сучасної компонентної бази виробництва СРТП, а сировиною для їх синтезу є переважно викопні вуглеводні [4].

В умовах зовнішньої військової агресії Україна конче потребує сучасного високотехнологічного ракетного озброєння. Досвід взаємодії з міжнародними партнерами-постачальниками озброєнь свідчить, що для збереження суверенітету, незалежності і цілісності країни варто розраховувати, перед усім, на власні спроможності. Вітчизняна промисловість має виробничі потужності та досвід створення сучасних зразків ракетної техніки і ракетних палив. Але її можливості обмежені, зокрема, відсутністю або недостатністю компонентів для СРТП, потреба в яких задовольняється переважно імпортними надходженнями. Значна кількість таких імпортних товарів належить до матеріалів подвійного призначення, що обмежує їх доступність. Виробництво аналогів такої продукції потребує відповідної власної сировинної бази, яка в Україні також є вкрай недостатньою, а сучасні технології її виробництва не завжди відповідають регуляторним вимогам щодо збереження довкілля [5]. До того ж багаторічна практика застосування та результати досліджень СРТП свідчать, що використовувані компоненти, зокрема пластифікатори, регулятори швидкості горіння, не мають бажаної спорідненості з палимим-зв'язувальним і схильні до міграції, що впливає на комплекс властивостей зарядів СРТП і конструктивних елементів твердопаливних двигунів [6].

Найбільш доцільним шляхом комплексного вирішення означених проблем виглядає розширення вітчизняної компонентної бази для виготовлення СРТП через розробку та впровадження технологій виробництва компонентів СРТП на основі доступної та відновлюваної вітчизняної сировини. Серед найбільш доступних і затребуваних на сьогодні видів відновлюваної сировини є рослинні олії (РО), одним із світових лідерів-виробників якої є Україна. РО використовують для виготовлення

великого асортименту практично значущих продуктів. Актуальність РО як хімічної сировини і як об'єкта ґрунтовних досліджень, зокрема [7-9], невпинно зростає. Доступність та широкі можливості щодо хімічних перетворень РО обумовили формування в межах органічного і полімерного синтезу самостійного напрямку – олеохімії.

З огляду на вищенаведене, авторами розроблено методики синтезу олеохімічних продуктів (ОП) [9] як перспективних складових вітчизняної компонентної бази для СРТП, та запропоновано розрахункову методику прогнозування енергетичних характеристик твердопаливних композицій на основі цих продуктів. Відомо [10, 11], що розрахункові методи використовують для прогнозування енергетичних характеристик ракетних палив, особливо на ранніх стадіях їх проектування.

ОП – передбачувані компоненти СРТП синтезовано шляхом амінування метилових естерів вищих жирних кислот доступними амінами: діетаноламіном (продукт А-1), діетилентріаміном (продукт А-2), піперазином (продукт А-3), морфоліном (продукт А-4) тощо. Синтезовані ОП – в'язкі плинні за звичайної температури прозорі рідини від жовтого до червоно-коричневого кольору (продукти А-1, А-3, А-4), або пастоподібні маси світло-жовтого кольору. Параметри розчинності синтезованих ОП, які розраховано відповідно до [12, 13], мають значення від  $18 \text{ МДж}^{0,5} \cdot \text{м}^{-1,5}$  – для продукту А-3, до  $25 \text{ МДж}^{0,5} \cdot \text{м}^{-1,5}$  – для продукту А-2, що відповідає інтервалу значень для органічних сполук – компонентів пальних-зв'язувальних штатних СРТП: рідких каучуків, епоксидних олігомерів, ізоціанатів та олігодіолів. Тому слід очікувати гарної термодинамічної спорідненості ОП з наведеними компонентами сумішевих паливних композицій.

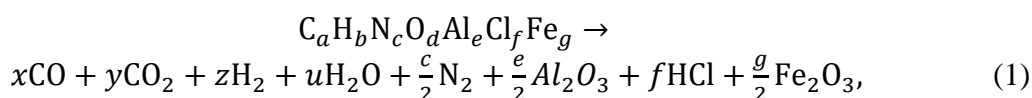
Для визначення перспективності ОП як компонентів СРТП виконано розрахунки значень енергетичних характеристик умовних сумішей і порівняно з відповідними значеннями базової рецептури. За базову вибрано усереднену рецептуру СРТП за даними [1, 3, 14], % мас.: ПХА – 65,0; АІ – 18,5; каучук НТРВ – 9,0; ДОА – 6,4; ізофорондіізоціанат – 0,5; ДАФ-2 – 0,6. Умовні рецептури отримували заміною певних функціональних компонентів в базовій на відповідні ОП. Розраховували такі енергетичні характеристики:

– теплоту згоряння палива  $Q_v$  – кількість теплоти, утвореної під час згоряння 1 кг СРТП без доступу окиснювача ззовні та за умови охолодження продуктів горіння до стандартної температури;

– температуру продуктів горіння палива  $T_1$  – температуру, яку мають кінцеві продукти горіння безпосередньо в момент їх утворення;

– питомий об'єм продуктів згоряння (ПЗ) палива  $W_1$  – об'єм газоподібних та пароподібних продуктів, утворюваних в результаті згоряння 1 кг МРСФ в інертному середовищі, наближеному до нормальних термодинамічних умов, і за умови перебування води в продуктах горіння у пароподібному стані.

За основу алгоритму розрахунків взято методику [15], запропоновану для баліститних палив, яку модифіковано з огляду на присутність в паливі металів і хлору. В цьому випадку процес згоряння 1 кг СРТП можна навести наступним узагальненим рівнянням хімічної реакції:



де  $a, b, c, d, e, f, g$  – кількість грам-атомів відповідного хімічного елементу в 1 кг MRSF.

Співвідношення перших чотирьох сполук у продуктах горіння, утворюваних за вищенаведеною реакцією, пов'язане з константою рівноваги реакції водяного газу:

$$K_{в.г} = \frac{\vartheta_{CO} \cdot \vartheta_{H_2O}}{\vartheta_{CO_2} \cdot \vartheta_{H_2}}, \quad (2)$$

де  $K_{в.г}$  – константа рівноваги реакції водяного газу;

$\vartheta$  – кількість моль відповідної сполуки, позначеної індексом, в продуктах згоряння 1 кг СРТП.

Методика розрахунків енергетичних характеристик композицій передбачає:

- складання рівняння перетворення 1 кг СРТП (1) з визначенням коефіцієнтів (кількості моль) перших чотирьох ПЗ через значення  $K_{в.г}$  (2) для  $T_1$ , близької до реальної температури горіння СРТП:

$$u = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot \Gamma}}{2 \cdot A},$$

де  $A = K_{в.г} - 1$ ;

$$B = K_{в.г} \cdot (0,5 \cdot b' + d' - a) + 2 \cdot a - d';$$

$$\Gamma = K_{в.г} \cdot 0,5 \cdot b' \cdot (d' - a);$$

$$b' = b - f$$

$$d' = d - 3 \cdot (g + e) / 2$$

$$y = d' - (a + u)$$

$$x = a - y;$$

$$z = 0,5 \cdot b' - u;$$

$$K_{в.г} = \frac{x \cdot u}{y \cdot z}.$$

- розрахунок  $Q_V$  відповідно до складеного рівняння перетворення за рівнянням:

$$Q_V = -\Delta_f H_{(ПЗ)}^0 - (-\Delta_f H_{(СРТП)}^0) - j_n R T, \quad (3)$$

де  $\Delta_f H_{(ПЗ)}^0$  – сума стандартних ентальпій утворення ПЗ 1 кг СРТП, кДж/кг;

$\Delta_f H_{(СРТП)}^0$  – сума стандартних ентальпій утворення компонентів 1 кг СРТП, кДж/кг;

$j_n$  – кількість моль газоподібних простих речовин, з яких утворені 1 кг СРТП та ПЗ;

$R$  – універсальна газова стала, кДж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;

$T$  – стандартна температура, К;

– перевірка правильності вибору передбачуваної  $T_1$  за рівнянням (4):

$$T_1 = \frac{Q_V}{\sum \vartheta_m \bar{c}_{v\mu_m}} + T_0,$$

де  $\vartheta_m$  – кількість моль  $m$ -ї сполуки в РЗ 1 кг композиції (тобто  $x, y, z, u, c/2, e/2, f, g/2$ );

$\bar{c}_{v\mu_m}$  – середня ізохорна мольна теплоємність  $m$ -ї сполуки в РЗ в інтервалі температур  $T_1 - T_0$ , де  $T_0$  – стандартна температура (298 К).



Якщо розрахункова  $T_1$  відрізняється від передбачуваної не більше ніж на  $50^\circ$ , її значення приймають за остаточне, в іншому випадку вищенаведені розрахунки повторюють для  $K_{w.g}$ , що відповідає розрахунковій температурі;

- визначення питомого об'єму продуктів згоряння палива  $W_1$ ,  $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ , за формулою

$$W_1 = 0,02241 \cdot \sum l_j,$$

де  $l_j$  – кількість моль  $j$ -ї газо- та пароподібної сполуки в РС 1 кг композиції.

Згідно з виконаними розрахунками, заміна в базовій рецептурі пластифікатора ДООА на продукти А-1, А3 і А-4 несуттєво впливає на енергетичні властивості СРТП:

СРТП	$Q_V$ , кДж·кг <sup>-1</sup>	$T_1$ , К	$W_1$ , м <sup>3</sup> ·кг <sup>-1</sup>
Базова рецептура	5860	3450	0,818
Рецептура із заміною ДООА на А-1	5725	3376	0,821
Рецептура із заміною ДООА на А-3	5615	3314	0,832
Рецептура із заміною ДООА на А-4	5605	3313	0,826

З вищенаведених даних випливає, що заміна в базовій рецептурі пластифікатора ДООА на ОП несуттєво знижує  $Q_V$  – на (2,3-4,4)% і  $T_1$  – на (2,1-4,0)%, але збільшує  $W_1$  на (0,4-1,7)%.

Розрахунки показали, що заміною в базовій рецептурі рідко-в'язкої складової на комбінації синтезованих ОП з іншими доступними пальними-зв'язувальними – поліізоціанатом (ПІЦ), епоксидними смолами типу ЕД-20, поліетиленполіаміном типу НЕРА, рициновою олією (РО), олеїновою кислотою (ОК) можна, за того ж вмісту ПХА і АІ, отримати СРТП з не гіршими, ніж у базовій рецептурі, енергетичними показниками:

Якісний склад пального-зв'язувального	$Q_V$ , кДж·кг <sup>-1</sup>	$T_1$ , К	$W_1$ , м <sup>3</sup> ·кг <sup>-1</sup>
ПІЦ; РО; А-1; А-3; аддукт солі Fe з А-2	5895	3411	0,829
ЕД-20; НЕПА, ОК, сіль Fe	5811	3469	0,786
ЕД-20; НЕПА, А-1; ОК; аддукт солі Fe з А-2	5831	3475	0,789

Отримані результати вказують на перспективи щодо розширення компонентної бази для сумішевих ракетних твердих палив за рахунок олеохімічних продуктів на основі вітчизняної сировини.

#### Список літературних джерел

1. Lysien, K.; Stolarczyk, A.; Jarosz, T. Solid Propellant Formulations: A Review of Recent Progress and Utilized Components / Materials. – 2021. – Vol. 14, No 21. – 6657. <https://doi.org/10.3390/ma14216657>

2. Mustafa Guven Gok; Omer Cihan. Energetic Materials and Metal Borides for Solid Propellant Rocket Engines / The International Journal of Materials and Engineering Technology. – 2020. – Vol. 003. – P. 109-119. URL <https://www.researchgate.net/publication/348035213>

3. Reid, D.; Fisher, M.; Dillier, C. A. M.; Demko, A. R.; Petersen E. L. (2023). Tri-Regime Composite Solid Propellant. US Patent No. 2023035372 (A1).

4. Shalini Chaturvedi; Pragnesh N. Dave. Solid propellants: AP/HTPB composite propellants / *Arabian Journal of Chemistry*. – 2019. – Vol. 12. – P. 2061-2068. URL <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
5. European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31994L0063>
6. Juliano Libardi; Sérgio P. Ravagnani; Ana Marlene F. Morais, Antonio Roque Cardoso. Study of plasticizer diffusion in a solid rocket motor's bond line. / *Journal of Aerospace Technology and Management*. – 2009. – Vol. 1, No 2. – P. 223-229. URL <https://doi.org/10.5028/jatm.2009.0102223229>
7. Qiang Yan; Brian F. Pflieger. Revisiting metabolic engineering strategies for microbial synthesis of oleochemicals / *Metabolic Engineering*. – 2020. – V. 58. – P. 35-48. URL <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2019.04.009>
8. Qinghe Fu; Yilang Long; Yingyun Gao; Yuan Ling; Hao Qian; Fang Wang; Xinbao Zhu. Synthesis and properties of castor oil-based plasticizers / *RSC Advances*. – 2019. – Vol. 9. – P.10049-10057. URL <https://doi.org/10.1039/c8ra10288k>
9. Varlan, K. Ye.; Kuzminskyi, V. Yu.; Chervakov, O. V.; Sverdlikovska, O. S. Amide and amidoester fatty acid derivatives as multifunctional components of protective alkyd urethane coatings / *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. – 2024. – No. 4. – P. 10-16. URL <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2024-155-4-10-16>
10. Thomas, James C.; Petersen, Eric L. HTPB Heat of Formation: Literature Survey, Group Additive Estimations, and Theoretical Performance Effects / *AIAA Scitech 2021 Forum*. 2021. <https://doi.org/10.2514/6.2021-1971>
11. Kositsyna, O.; Varlan, K.; Dron, M.; Kulyk, O. Determining energetic characteristics and selecting environmentally friendly components for solid rocket propellants at the early stages of design / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol.6, No 6 (114). – P. 6-14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247233>
12. Askadskii, A. A. *Computational Materials Science of Polymers*. Cambridge International Science Publishing, 2003. – 696 p. URL <https://books.google.co.vi/books?id=-8WBsBl0aUwC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> (15.09.2024)
13. Варлан К. Є., Шевцова К. Р. Співполімери малеїнового ангідриду і стиролу та іонообмінні плівочні матеріали на їх основі / *Journal of Chemistry and Technologies*. – 2022 – Vol. 30, No 4. – P. 466-474. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i4.268119>
14. Liang, J.; Nie, J.; Zhang, H.; Guo, X.; Yan, S.; Han, M. Interaction Mechanism of Composite Propellant Components under Heating Conditions. *Polymers*. – 2023, No 15, 2485. <https://doi.org/10.3390/polym15112485>
15. Варлан, К. Є. Розрахунки енергетичних характеристик спецматеріалів. Д. : Ліпа, 2022. – 38 с.

## ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Ю.І. Войтенко<sup>1</sup>, Р.В. Закусило<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Шосткинський інститут Сумського державного університету

**Вступ.** Відомі традиційні способи підвищення потужності зарядів вибухових речовин (ВР):

збільшення швидкості детонації, з якою енергія вибуху, фугасна і детонаційна теплота вибуху пов'язані кореляційними залежностями [1];

кумуляція, або спрямована дія енергії детонації ВР в потрібному напрямку [1,2];

введення в склад ВР енергетичних добавок (Al, В, Mg тощо, або їхніх сполук [3].

Перший та другий способи прямо (перший) і опосередковано пов'язані зі збільшенням швидкості детонації. Так середній тиск продуктів детонації (ПД)  $p_0$  пропорційний квадрату швидкості детонації і щільності ВР  $\rho_0$  [1]. Швидкість кумулятивного струменя для фіксованого кута при вершині конічного мідного облицювання  $2\alpha$  в першому наближенні лінійно збільшується з ростом швидкості детонації в діапазоні  $\approx 4-8,6$  км/с [4]. При цьому для кутів  $2\alpha=42^\circ-45^\circ$  і оптимальних товщин облицювань швидкість мідного струменя приблизно дорівнює швидкості детонації.

**Результати досліджень.** Що стосується третього способу підвищення енергії і потужності ВР, то тут ситуація дещо складніша [3,4]. Так згідно [3] додавання ультрадисперсного Al до октогену призводить до збільшення чутливості і зменшення швидкості детонації. В той же час спостерігаються підвищення температури поблизу фронту детонації. Воно не перевищує пік температури при детонації основної ВР (октоген і БТНЭН –  $C_4H_4O_{14}N_8$ , Бис (2,2,2 тринитроетил)нітрамін), але тривалість дії температури набагато більша, ніж при детонації індивідуальної ВР. Максимальні тиски БТНЭН і БТНЭН/Al співпадають.

В роботі [4] досліджувалася залежність повної енергії вибуху металізованої ВР з добавкою бору. Вибухова суміш складалася з гексогену (36% RDX), перхлорату амонію (20% AP), металевих порошків (35%), воску  $(CH_2)_n$  та інших добавок (9%), включаючи в'язучу речовину НТРВ. Енергія вибуху оцінювалася по енергії газового пухиря і гідроударної хвилі в результаті підводного вибуху. Теплота згоряння всіх досліджених металічних сумішей, яка вимірювалася окремо, виявилася вищою, ніж теплота згоряння алюмінізованої ВР (склад М-1). Зі збільшенням добавки бору в сумішах теплота згоряння зростає і досягає максимуму при вмісті бору 40% (склад М-5), а при подальшому підвищенні його вмісту знову падає. Ефективність згоряння бору в сумішах з алюмінієм вище, ніж у суміші, яка вміщує тільки порошок бору (склад М-7); причому чим нижчий вміст бору, тим вище ефективність згоряння. Максимум енергії вибуху спостерігався при вмісті бору 10%.

В роботі [5] розглянуто сучасний стан досліджень в області використання мікро- і нанопорошкових матеріалів в якості енергетичних добавок до вибухових речовин для збільшення тривалості і потужності теплового ефекту вибуху боєприпасів уламково-фугасної дії. Показано і на конкретному виробі експериментально підтверджено, що нанопорошки металів (Al, Ti) і неметалу (В) при розміщенні їх в боєприпасі збільшують тепловий ефект фугасного вибуху на порядок в порівнянні з теплою вибуху основної вибухової речовини (тротил). Експериментально

досліджено конструкцію герметичного контейнера із боєприпасу РФ і характеристики порошкових матеріалів в ньому. Встановлено, що основними компонентами, які значно посилюють теплову дію вибуху є порошок Al субмікронного діапазону, пасивований органічною речовиною (імовірно воском). і нанопорошки Ti, B, пасивовані ультрадисперсним порошком вуглецю (рис.). Всі вказані порошки взаємодіють з киснем повітря і деякими складовими продуктів детонації, розвиваючи високу температуру і виділяючи додаткову енергію. Ця енергія перевищує теплоту вибуху заміщеної ВР (TNT) в 7 - 9 раз



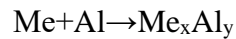
Рисунок 1 Розкритий контейнер і стакан з чорним порошком (Ti+V+C)

Можливо, що реакція взаємодії Al і B протікає з утворенням проміжного продукту  $AlB_2$  (екзотермічна реакція) з подальшим його згоранням в ПД і повітрі. Відомо, що діборид магнію  $MgB_2$  може утворюватися в режимі теплового вибуху при менших значеннях температури, ніж в умовах фугасного вибуху [6]. Масова теплота горіння Al складає приблизно 31 МДж/кг,  $AlB_2$  – 38, 1 МДж/кг. Для порівняння теплота вибуху TNT – 4,309 МДж/кг. В якомусь сенсі це підтверджують результати досліджень авторів монографії [7], де показано, що максимальна температура при горінні нанопорошку Al на повітрі складає  $\approx 1600^\circ\text{C}$ , а  $Al+15\%B$  -  $\approx 2050^\circ\text{C}$ .

Для порівняння температура запалення грубодисперсних частинок Al в атмосфері повітря істотно перевищує температуру плавлення Al ( $660^\circ\text{C}$ ) і близька до температури його кипіння ( $2520^\circ\text{C}$ ), а ступінь перетворення в продукти окислення невелика (має місце недогорання). В той же час займання нанопорошку Al з добавками бору на повітрі відбувається приблизно за температури  $800^\circ\text{K}$ .

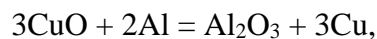
**Реакційно-активні матеріали.** Це категорія енергетичних матеріалів, які створюються з різних компонентів з певною рецептурою та здатні швидко вивільняти велику кількість енергії під дією динамічного навантаження високої інтенсивності. Це можуть бути комбінації термітів, металів, які взаємодіють між

собою з утворенням інтерметалідів ( $\text{Cu}_x\text{Al}_y$ ,  $\text{Ti}_x\text{Al}_y$ ,  $\text{Ni}_x\text{Al}_y$  тощо), металополімерних сумішей (PTFE-Me, нейлон-Me), метастабільних міжмолекулярних композитів, матричні матеріали, а також гідриди металів ( $\text{TiH}_2$ ,  $\text{MgH}_2$  тощо) [8-14]. Згідно [8] ентальпія утворення алюмінідів таких металів як Cu, Ni, Ti складає 1...18,8 МДж/кг за реакціям



Відомі дані щодо параметрів хімічної реакції в піротехнічній суміші CuO-Al за фронтом ударної хвилі при ударно-хвильовому навантаженні. У даному випадку піротехнічний склад Al-CuO є сумішшю порошків окису міді CuO та алюмінієвої пудри марки ПП-1. Ваговий вміст окису міді 80% і алюмінієвої пудри 20%. Кристалічна густина складу Al-CuO  $\rho_{\text{кр}} = 5,03 \text{ г/см}^3$ .

Горіння складу Al-CuO протікає за реакцією:



із виділенням тепла  $\sim 4 \text{ кДж/г} = 4 \text{ МДж/кг}$ . Температура горіння  $T_c = 3000^\circ \text{ К}$ . Температура займання  $T_z = 1300^\circ \text{ К}$  [11].

Відомі публікації щодо впливу гідридів на термодинамічні характеристики індивідуальних ВР [13]. Результати цих досліджень показують збільшення тривалості дії ударної хвилі в оточуючому середовищі і невелике (в межах похибки експерименту) збільшення амплітуди. Автори пов'язують даний ефект з розпадом гідридів за фронтом детонаційної хвилі, горінням водню і металічних часток (Ti, Mg) при розширенні продуктів детонації по повітрю.

Є і інші пари матеріалів, які взаємодіють між собою в умовах ударно-хвильового навантаження виділяють додаткову енергію [9, 12, 14]. Проте величини цих енергій не перевищують енергію, яка виділяється при горінні нанопорошків металів з добавками бору.

**Висновки.** Побіжний аналіз показує, що найбільш ефективними речовинами для посилення потужності і енергії вибуху є нанопорошки металів і бору в певних пропорціях. Теплота згорання цих речовин і їхніх комбінацій на порядок перевищує теплоту вибуху основних індивідуальних ВР (тротил, гексоген, октоген) і сумішевих (ТГ-40, ТГ-50, октол тощо).

2. Результати такого аналізу підтверджуються наявністю цих матеріалів у боєприпасах РФ.

#### Список літературних джерел

1. Физика взрыва / Под ред. Орленко Л.П./ М.: Физматлит. Изд. 3-е, перераб. в 2 т. – Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 823 с.

2. Voitenko Y.I., Sydorenko Y. M., Zakusylo, R.V., **Boyko V. V.** Artemiev O., Bugaiets V., Zakusylo D. Influence of Liner Form and Explosive on the Velocity and Mechanical Action of a Shaped-Charge Jet// Cent. Eur. J. Energ. Mater. – 2024. - 21(3). – P. 320-327.

3. Гогоуля М.Ф., Махов М.Н., Долгобродов Ю.А. и др. Механическая чувствительность и параметры детонации алюминизированных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. – 2004. – т. 40, № 4. - С. 82 – 95

4. С. Сюй, Ю. Чень, С. Чень, Д. Ву, Д.-Б. Лю Теплоота сгорания порошка  $Al/B$  и эффективность его применения в металлизированных взрывчатых смесях при подводном взрыве // Физика горения и взрыва. – 2016. – V.52, № 3. - С. 125 – 131.
5. Бойко В.В., Войтенко Ю.І., Гімбер С.М., Чепков І.Б., Кучинський А.В Аналіз застосування енергетичних добавок на основі мікро- та нанопорошків металів і неметалів в зарядах вибухових речовин// Збірник наукових праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ. - №1(92)/2024. – С. 134-144. Інв № 6104.
6. Rosenband, V.; Gany, A. Thermal Explosion Synthesis of a Magnesium Diboride Powder. *Combust. Explos. Shock Waves* **2014**, 50(6): 653-657.
7. Громов А. А., Хабас Т. А., Ильин А. П. и др. Горение нанопорошков металлов / Под ред. А. А. Громова. – Томск. Дельтаплан, 2008. – 382 с.
8. Pismenskaya, E.V. *High-temperature Synthesis of Intermetallic Compounds in the Mode of a Dynamic Thermal Explosion. PhD Thesis.* (in Russian) Institute of Structural Macrokinetics and Material Sciences RAS, Chernogolovka, **2000**, pp. 179.
9. 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; <https://doi.org/10.22211/cejem/105598>.
10. Thadhani N, N. Shock-induced and shockassisted solid-state chemical reactions in powder mixtuers // *J. Appl. Phys.* – 1994. – V. 78, - #4. – P. 2129 – 2138.
11. Голубев В.А., Вахрушев В.В., Пантуров Е.В. и др. Поведение пиротехнического состава  $Al-CuO$  при ударноволновом нагружении. 2001. – 7с. <http://www.vniitf.ru/rig/konfer/6zst/dokl/sec5/39.pdf>.
12. Bacanov, S.S.; Gugolya, M.F.; Brazhnikov, M.A. Behavior of the Reacting System  $Sn + S$  in Shock Waves. *Combust. Explos. Shock Waves* **1994**, 30(3): 361-365.
13. А. С. Губин, Н. И. Акинин, В. Ю. Давыдов, Ф. С. Загрядцкий, В. В. Трунин Исследование детонационных характеристик зарядов, содержащих гидриды металлов// Успехи в химии и химической технологии. ТОМ XXVIII. 2014. № 2. – С. 57-60.
14. Church, P.; Claridge, R.; Ottley, P.; Lewtas, I.; Harrison, N.; Gould, P.; Braithwaite, C.; Williamson, D. Investigation of a Nickel-Aluminium Reactive Shaped Charge Liner. *J. Appl. Mech.* **2013**, 80(3): 031701-031701-13.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ 300-ПМХС РАДІОГІДРОАКУСТИЧНОГО БУЯ «РГБ-НМ-1» РОСІЙСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

**І.В. Аверичев, М.С. Мошковський, А.О. Гаврилюк, М.В. Бик**  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової  
техніки Збройних Сил України  
csriame@post.mil.gov.ua

На сьогодні виникла нагальна потреба дослідження новітніх технічних рішень і технологій, реалізованих у трофейних і знищених зразках російського озброєння. Слід зауважити що всі фірми, організації та підприємства РФ, всіляко приховують секрети технологій їх створення, склад і устрій технологічного забезпечення виробів. Подібна технічна інформація раніше до початку військової агресії з боку РФ, носила закритий характер і була малодоступна. На цей час стало можливим експериментально дослідити, вивчити і системно класифікувати зокрема хімічні джерела струму різного озброєння імпортного походження [1,2].

Фахівцями ЦНДІ ОВТ Збройних Сил України було досліджено фрагменти радіогідроакустичного морського буя «РГБ-НМ-1» виробництва рф, призначеного для виявлення підводних цілей. Необхідно було розглянути принципи побудови хімічних джерел струму живлення радіосигналізаторів цього комплексу. Виявити конструкційні особливості та встановити електро-хімічну систему і особливості роботи застосовуваного джерела струму ідентифікованого як 300-ПМХС.

Конструкція буя включає в себе: корпус, радіоантену, приймально-передавальний пристрій, гідроакустичний перетворювач-приймач акустичних сигналів, парашутну систему, хімічне джерело струму, систему підготовки до роботи (рис. 1,2)



Рисунок 1 - Ідентифікація радіогідроакустичного буя РГБ-НМ-1 та його складових частин

Тактико-технічні характеристики РГБ-НМ-1 наступні:

Дальність виявлення об'єкта, км	1,5-2
Дальність прийому радіосигналу, км	60
Глибина занурення, м	25-75

Висота скидання з парашутом,м	150-1000
Час роботи, год	6
Масо габаритні характеристики,мм	1000, 152
Маса,кг .....	13,5

Після розбирання фрагментів було проведено дослідження батареї яка розташована в середній частині буя. Батарея представляє собою металевий корпус у формі паралелепіпеда із розмірами 290\*100\*100 мм із двома штуцерами і контактною вилкою. Вага джерела струму складає 4,2 кг.



Рисунок 2 – Загальний вигляд джерела струму



Рисунок 3 – Штуцер із клапаном і штекер для електричного підключення джерела струму

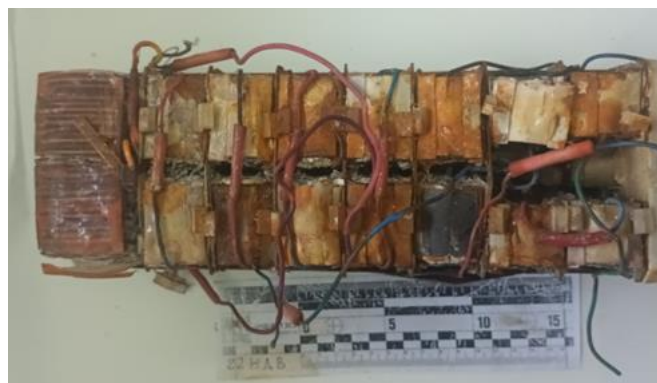


Рисунок 4 – Внутрішня будова джерела струму



Із двох торців джерела струму є штуцери із клапанами для попадання води всередину джерела струму. Всередині металевому корпусу розміщено 14 пластинчастих блоків батарей, які з'єднані між собою послідовно і одна батарея розміщена окремо.

Окремий елемент батареї представляє собою пластинчасте джерело живлення яке складається із темно сірих металічних пластин, сепаратора і білої порошкоподібної субстанції які чергуються. Вага окремого блока джерела струму виробу складає 0,52 кг.



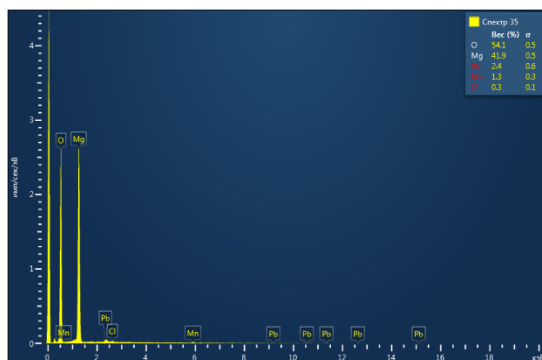
Рисунок 5 – Блок із 14 елементів джерела струму виробу (вигляд знизу) та відокремлений елемент джерела струму

Для визначення хімічного складу речовин що входять до складу електродів і сепаратора наданого джерела струму було відібрано зразки для елементного аналізу в спеціалізованій організації.

Результат елементного аналізу сірої пластини наведено на Рис. 6 та у табл.1.

Негативний електрод елемента складається із гідроксиду магнію.

Результати елементного аналізу свідчать, що негативний електрод елемента складається із гідроксиду магнію, позитивний електрод –хлорид свинцю, електролітом є солоня морська вода, сепаратор виготовлено із штучного шовку (віскози).



Спектр 35	Вес (%)	Атом. %
O	54.09	65.67
Mg	41.90	33.48
Cl	0.29	0.16
Mn	1.34	0.47
Pb	2.38	0.22
Сумма	100.00	100.00

Рисунок 6 - Елементний аналіз електрода 1 із джерела струму виробу

а даними літератури подібного типу водо-активовані магнієві батареї та їх розрядні характеристики описані в [3].

Таким чином, виходячи із сукупності отриманих даних і результатів аналізу складових даного зразка джерела струму – водо активованої батареї 300-ПМХС із морського буя РГБ-НМ-1 виробництва РФ можна зробити наступні висновки:

- 1) Електрохімічна система елемента живлення 300-ПМХС:  
(-) Mg | NaCl | PbCl<sub>2</sub> (+)
- 2) Який склад катодної електродної маси ?  
Катод – хлорид свинцю PbCl<sub>2</sub>
- 3) Який склад анодної електродної маси?  
Анод – магній.
- 4) Який спосіб нанесення активної маси електродів ?  
Нанесення і напресування пасти на інертну сітку.
- 5) Який матеріал сепараторів ?  
Сепаратори із віскози.
- 6) Склад електроліту досліджуваних ХДС?  
Хлорид натрію
- 7) Який тип батареї ?  
Первинна водо-активована батарея.
- 8) Яка сумарна напруга досліджуваного ХДС?  
Сумарна напруга 300 В (+2,4 В – окреме джерело).
- 9) Яка сумарна ємність ХДС?  
Ємність елемента живлення складає 50 А\*год, за номінальної напруги батареї 300 В.
- 10) Яка потужність батареї ХДС?  
Потужність елементів і батареї даного типу близько 200 Вт/кг.
- 11) Який час роботи наданих зразків?  
Час роботи визначається струмом споживання і може складати від декількох годин до 3 діб.

Вивчення різної номенклатури хімічних джерел струму, визначення типажу, електрохімічних систем, фактичної побудови, конструктивних особливостей, використаних матеріалів що застосовуються в озброєнні РФ представляють інтерес для вітчизняних підприємств ОПК.

Аналогічний виріб в Україні розроблено Державним підприємством «Науково-дослідний інститут гідроприладів» - радіогідроакустична система виявлення підводних рухомих об'єктів на базі пасивних ненаправлених буїв РГБ-16В (прийнято на озброєння наказом Міністерства оборони України). Але вітчизняний буй РГБ-16В поступається російським буям РГБ-НМ-1 за часом автономної роботи ( 4 години), що зменшує ефективність дій протичовнових сил у разі їх застосування.

#### Список літературних джерел:

1. Князьський О.В., Мошковський М.С., Гаврилюк А.О., Лінючова О.В., Бик М.Ф., Аналіз хімічних джерел струму в російських зразках ракетно-артилерійського озброєння. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія : наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 23-25 листопада 2022 року.-Суми: Сум.ДУ, 2022.С.64-74.

2.Технічна електрохімія. Частина 2. Хімічні джерела струму [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, С. В. Фроленкова, О. І. Букет, Г. С. Васильєв ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 321 с.

3. Справочник химика т.5., Москва, 1966, Химия. Ст. 882.

## ОЦІНКА ЧАСУ РОЗВИТКУ ТЕПЛОГО ВИБУХУ ЗАРЯДУ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ В ОБОЛОНЦІ ПРИ ІНТЕНСИВНІЙ ТЕПЛОВІЙ ДІЇ

Ю.І. Войтенко<sup>1</sup>, Р.В. Закусило<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Шосткінський філіал Сумського державного університету

E-mail [voytenkou@gmail.com](mailto:voytenkou@gmail.com)

**Вступ.** Задача про нагрівання і тепловий вибух заряду вибухової речовини (ВР) представляє науковий і практичний інтерес, особливо для таких галузей промисловості, як безпека зберігання і транспортування ВР, а також для військової справи. Досягнення сучасного матеріалознавства в галузі енергетичних матеріалів дозволяє створювати області підвищених тисків і температур в повітрі і в воді без застосування традиційних вибухових матеріалів [1-3]. Особливий практичний інтерес представляє задача оцінити можливість пошкодження оболонки заряду вибухової речовини і його теплового вибуху у разі неінтенсивної механічної та інтенсивної теплової дії зовнішнього джерела енергії. Таким джерелом енергії може бути наприклад нестаціонарне горіння з переходом у вибухове горіння хмари пилу із нано- і мікропорошків металів і повітря [2 - 4]. При цьому непросто є питання, що може викликати детонацію, або дефлаграцію ВР, якщо носій заряду проходить через хмару з палаючим, або детонуючим мікро-, або нанопорошком (Al, Mg, Ti тощо)? І чи можливо знешкодити заряд, який переноситься високоточним літальним апаратом таким способом? Чи можливо викликати детонацію міни (мін) на замінованій території при неінтенсивній, або інтенсивній тепловій дії?

**Мета роботи** – аналіз підходів до оцінки часу розвитку теплового вибуху при інтенсивній тепловій дії на заряд ВР в оболонці.

**Методика і обговорення результатів досліджень.** Згідно [4] тиски при вибухах газозависів порошоків Al не перевищують 1-1,2 МПа при концентраціях 0,1-1 кг/м<sup>3</sup>. В той же час температура полум'я при горінні мікро-, або нанопорошків Al досягає 2000-3500°K [5]. При взаємодії слабкої ударної хвилі з корпусом носія заряду деформації корпусу не перевищують межу пружності [6]. Оцінити рівень напруги  $\sigma$  в корпусі носія заряду з передньою частиною сферичної форми можна в квазістатичному наближенні [7]:

$$\sigma = \frac{pR}{2h}, \quad (1)$$

де  $p$ ,  $R$ ,  $H$  – відповідно тиск на фронті ударної хвилі,  $R$  – радіус сферичної головки носія заряду;  $h$  – товщина оболонки заряду. Розрахунок за формулою (1) для  $p=1$  МПа,  $R=0,2$  м і  $h=0,02$  м дає значення напруги  $\sigma=5$  МПа. Ця величина набагато менша межі пропорційності і плинності для сталей, титану і алюмінієвих сплавів. Тобто механічна дія такого вибуху не представляє небезпеки для літальних апаратів типу «Шахед» та інших більш потужних носіїв зарядів ВР.

Тому перш за все доцільно оцінити можливість нагрівання оболонки заряду і ВР до критичної температури теплового вибуху стандартної наважки  $T_{cr}$  за час руху носія в області високої температури. Для тротилу  $T_{cr}=287-289^\circ\text{C}$ , для гексогену  $T_{cr}=215-217^\circ\text{C}$ . Для інших ВР (октоген, ТАТБ тощо) ця величина не перевищує  $320-332^\circ\text{C}$  [8]. Для такої оцінки необхідно розв'язувати рівняння нестаціонарної теплопровідності для системи «металічний корпус (титан, або сталь) – ВР» в плоскому наближенні, або в циліндричних координатах. Звичайне параболічне рівняння теплопровідності приводить до нескінченної швидкості розповсюдження тепла [9]. Тому в формулу для потоку тепла в [9] вводили додатковий член і після ряду перетворень отримували рівняння

гіперболічного типу, яке використовували для аналізу одновимірного процесу горіння чисельними методами.

Для грубої оцінки динаміки нагрівання корпусу носія заряду скористаємось розрахунковими і експериментальними даними [10]. На рис. 1 із цієї роботи показана динаміка зростання температури в окремих точках і розповсюдження тепла по тілу клиноподібного повітрозбірника при обтіканні його тепловим газодинамічним потоком. Із фізичних міркувань швидкість розповсюдження тепла не може бути нескінченно великою. Тому потрібен певний час  $t_h$  від початку виникнення високої температури на оболонці заряду до моменту, коли температура на контакті оболонка – ВР наблизиться до критичної  $T_{cr}$ . Експериментальні точки на рис. 1 в однакові моменти часу на ділянці зростання температури (кромка і на відстані від неї 20 мм) відрізняються не більше, ніж на  $100^\circ\text{C}$ . Із фізичних міркувань збільшення зовнішньої температури повинно призводити до зменшення величини  $t_h$ . Про це свідчить положення кривих 2, 4, 5 відносно кривих 1 і 3. Час затримки нагрівання залежить від відстані до кромки повітрозбірника і змінюється від  $\approx 2$  с до 22 с залежно від рівня температури. Очевидно, що така оцінка носить відносний характер, тому що динаміка нагрівання в різних точках залежить не лише від швидкості розповсюдження тепла, але й від швидкості теплового газового потоку, що обтікає зразок.

Необхідно зазначити, що в теорії теплового вибуху ВР серед інших визначальних параметрів є час запалювання ВР  $t_{ign}$ . Наведемо формулу для цієї величини при інтенсивній тепловій дії з тепловим потоком  $q_0$  [8]. Вони отримані за умови досягнення рівності щільності теплового потоку від внутрішнього хімічного тепловиділення в ВР поверхневій щільності теплового потоку  $q_0$ , який відводиться із зони реакції вглиб ВР, що прогрівається, в момент запалювання:

$$\frac{Q\rho zRT_{ign}^2\lambda_T}{E} \exp\left\{-\frac{E}{RT_{ign}}\right\} = q_0^2 \quad (2)$$

$$t_{ign} = \frac{4}{\pi} \lambda_T \rho C \left(\frac{T_{ign} - T_{in}}{q_0}\right)^2, \quad (3)$$

де  $\lambda_T$ ,  $\rho$ ,  $C$  – відповідно теплопровідність, щільність, питома (на одиницю маси теплоємність) реагуючої речовини;  $T_{ign}$ ,  $T_{in}$  – відповідно температура запалювання і температура адіабатичного горіння, здатного викликати стійке горіння оточуючої ВР.

Таким чином, для початку вибухового горіння, або газифікації ВР, які призведуть до теплового вибуху, необхідно, щоб заряд знаходився в зоні високої температури не менше, ніж  $t_h + t_{ign}$ . При цьому розмір області високої температури повинен бути не менший, ніж  $v_m(t_h + t_{ign})$ , де  $v_m$  – швидкість руху носія заряду. Для носія заряду, наприклад із швидкістю руху  $v_m = 200$  м/с і розміру зони високої температури  $L_h = 20 \dots 200$  м величина  $t_h + t_{ign}$  повинна бути не меншою, ніж  $0,1 \dots 1$  с. При менших значеннях імовірність теплового вибуху заряду буде меншою одиниці. У разі наявності в конструкції носія теплозахисного шару в області розташування ВР величина  $t_h + t_{ign}$  буде ще більшою. Тобто розмір зони високої температури ще збільшиться. Оцінимо величину  $t_{ign}$  для наступних значень величин, які входять у формули (2), (3):

$T_{in}=150^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda_T= 0,209 \text{ Дж}/(\text{м с }^{\circ}\text{K})$  [8],  $(0,43 \text{ Дж}/(\text{м с }^{\circ}\text{K})$  [11];  $\rho= 1500 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $C= 328 \text{ Дж}/(\text{кг }^{\circ}\text{K})$  (ТНТ);  $Q=1,26 \text{ МДж}/\text{кг}$ ;  $z=2,51 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ ;  $R= 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль К})$ .

Для щільності теплового потоку  $q_0=3536 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \text{ с})$ ; 8000; 23900; 158300;  $\text{Дж}/(\text{м}^2 \text{ с})$  температура згідно формули (2) має бути  $T_{ign}=500^{\circ}\text{K}$ ;  $560^{\circ}\text{K}$ ;  $600^{\circ}\text{K}$ ;  $660^{\circ}\text{K}$ . За формулою (3) знайдемо час затримки запалювання і початку теплового вибуху:

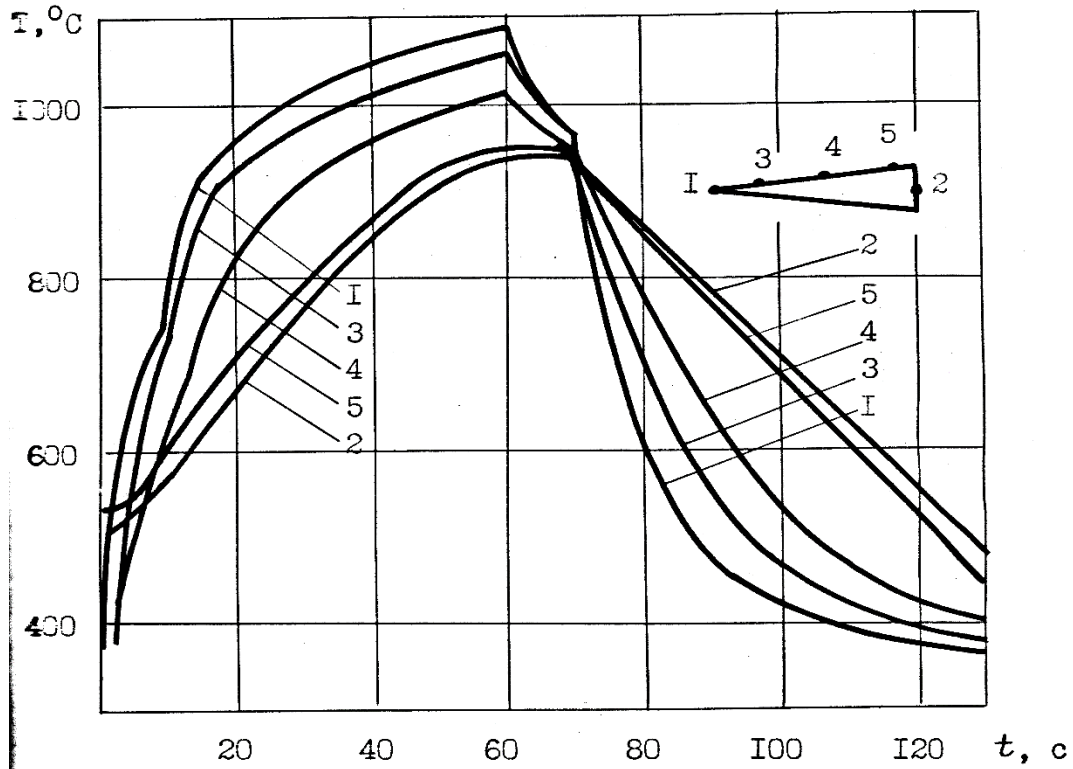


Рисунок 1 Зміна температури реперних точок клиноподібного зразка L-43 (1-5 – місця встановлення термопар) [10].

$t_{ign}=60,2 \text{ с}$ ;  $38,3 \text{ с}$ ;  $7,2 \text{ с}$ ;  $0,296 \text{ с}$ . Тобто час затримки запалювання різко зменшується із зростанням щільності теплового потоку і досягає значення приблизно 0,3 секунди у разі щільності теплового потоку рівного  $158,3 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \text{ с})$ . Це еквівалентно енергії вибуху приблизно 30 г потужної ВР (тетрил, динаміт тощо)

Висновки.

1. Час від початку дії високої температури до моменту інтенсивної газифікації і теплового вибуху ВР визначається переважно часом розповсюдження температурної хвилі по оболонці заряду і може складати декілька секунд при зовнішній температурі  $\approx 1000^{\circ}\text{C}$ . У разі наявності теплового захисту час буде ще більший.

2. Після прогрівання оболонки заряду при високих значеннях щільності теплового потоку  $\approx 150 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \text{ с})$  і температурі  $600-700^{\circ}\text{K}$  тепловий вибух ВР (ТНТ) розвивається за долі секунди. Тому корисними будуть всі засоби і заходи, направлені на підвищення температури в осередку вибуху.

### Список літературних джерел

1. Бойко В.В., Войтенко Ю.І., Гімбер С.М., Чепков І.Б., Кучинський А.В. Аналіз застосування енергетичних добавок на основі мікро- та нанопорошків металів і неметалів в зарядах вибухових речовин// Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. - №1(92)/2024. – С. 134-144. Інв № 6104.
2. Линь Б.Ц., Ли В.С., Чжу Ч. Цз. и др. Экспериментальное исследование характеристик взрыва смеси наночастиц алюминия и воздуха// Физика горения и взрыва. – 2010. – т. 46, №6. – С.73-77.
3. Опарин А.С., Буланин Ф.К., Сидоров А.Е., Полетаев Н.И., Шевчук В.Г. Взрывные характеристики алюминиевой пыли //Горение и плазмохимия. – - 2019. - №17. – С. 86-94.
4. Wei Gao, Xinyan Zhang, Dawei Zhang, Qingkui Peng, Qi Zhang, Ritsu Dobashi, Flame propagation behaviours in nano-metal dust explosions. Powder Technology (2017), doi:10.1016/j.powtec.2017.08.01
5. Д. Сандарам, В. Янг, В. Е. Зарко ГОРЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ (ОБЗОР)//Физика горения и взрыва, 2015, т. 51, № 2. – С. 37-63.
6. Yu. I. Voitenko and V. D. Kukshin PLASTIC DEFORMATION AND WEAKENING OF BARRIERS IN HIGH-SPEED PIERCING BY A WEDGE-SHAPED PUNCH // Strength of Materials, Vol. 28, No. 6, 1996. – PP. 442-445.
7. Корнілов О. А. Опір матеріалів. – К.: Логос, 2002. – 562 с.
8. Физика взрыва / Под ред. Орленко Л.П./ М.: Физматлит. Изд. 3-е, перераб. в 2 т. – Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 823 с.
9. Кудииов В.М., Вовк А.А., Даниленко В.А., Макаренко А.С. Влияние эффектов памяти на быстропротекающие процессы в распределенных кинетических системах. – Киев: Институт электросварки им. Е.О. Патона АН УССР. – 1982, 39 с.
10. Третьяченко Г.Н., Кравчук Л.В., Буйских К.П. Исследование термоциклической долговечности сплава ЖС6У при неоднородном термонапряженном состоянии// Проблемы міцності. – 1984. – №1. – С.10-17.
11. Підгородецький М.М., Куртсеітов Т.Л., Ясько В.А., Ментус І.А. Фізичне моделювання мін та інженерних боєприпасів, адекватних за показником теплової інерції //Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. - № 2(72), 2021. – С. 120 -127.

## СЕКЦІЯ 2

Загальна хімічна технологія, екологія  
проблеми утилізації та розмінування

## SECTION 2

General chemical technology, ecology,  
recycling and demining problems

## АНАЛІЗ ВОДИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ

М.Г., Коваль<sup>1</sup>, І.М. Куліш<sup>2</sup>, М.В. Яковенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет

<sup>2</sup>Херсонський національний технічний університет

[m.koval@chdtu.edu.ua](mailto:m.koval@chdtu.edu.ua)

Корозія завдає надзвичайно великої шкоди світовому господарству. Це виявляється у безпосередній втраті самих металів при корозійному руйнуванні, яка щорічно досягає близько 15% від кількості усього виплавленого металу та оцінюється у декілька мільярдів доларів. Спеціалісти підрахували, що в розвинених країнах збитки від корозії складають 3-4% валового національного доходу. Корозія є причиною непрямих збитків, зумовлених необхідністю дострокового ремонту чи навіть заміни зруйнованого обладнання, а також вартістю втрачених продуктів, наприклад, масла, газу, води із системи з прокородованими трубами або антифризу через зіпсований радіатор. Вихід природного газу та інших шкідливих чи агресивних речовин через отвори, утворені в результаті корозії, може призвести до пожеж, потужних вибухів з величезними матеріальними втратами і навіть до людських жертв [1].

Корозійні процеси у промисловому теплообмінному обладнанні є складними та потребують вирішення у багатьох галузях промисловості.

Для процесів консервування та пастеризації харчових продуктів використовують спеціальне обладнання – автоклав. Його дія заснована на значному підвищенні температури, що супроводжується високим тиском, за рахунок чого точка кипіння зміщується, доходючи до 125°C. Це дозволяє створювати умови для якісної обробки овочів, м'яса і будь-яких інших продуктів, розміщених всередині пристрою [2]. Під час роботи автоклава вода піддається тепловій обробці під підвищеним тиском, що негативно впливає на внутрішні стінки пристрою, піддаючи їх корозійному руйнуванню. Захист матеріалів від корозії має важливе значення. Умови навколишнього середовища, окислення, стирання, мінеральний (сольовий) склад води та інші фактори негативно впливають на термін служби установки, якість її роботи, що потребує визначення певного плану захисту, а згодом – уникнення додаткових витрат на ремонт автоклаву або заміну його окремих деталей [2].

Тому, з метою продовження терміну експлуатації та захисту обладнання, необхідно визначити протикорозійні методи захисту внутрішніх стінок автоклавів. Для цього необхідно розробити алгоритм дослідження та конкретних дій:

- аналіз вихідної води, яка використовується в автоклавах для консервування;
- аналіз відпрацьованої води (після обробки її високими тиском і температурою після процесу консервування);
- визначення методів очищення вихідної води;
- очищення вихідної води певними методами;
- аналіз очищеної води.

Мета роботи, обмежена даною публікацією – здійснити аналіз вихідної води та визначити її корозійний вплив в процесі експлуатації автоклавів при високому тиску та температурі; визначити шляхи очищення води.

Сучасними фізико-хімічними методами, які використовуються для очищення води є флокуляція, фільтрація, коагуляція, фотодеградація, мембранні процеси, фотокаталіз, зворотний осмос і хімічне окислення. Ці методи ефективні для



видалення кольору, але вони мають високу вартість, обмежене застосування та проблеми вторинного забруднення - утворення мулу, токсичних газів тощо [4]. Серед методів, які успішно застосовуються для вирішення завдання очищення води є достатньо простий та ефективний метод сорбційного очищення [5]. Активоване вугілля є широко використовуваним адсорбентом для адсорбційного процесу водоочищення. Однак комерційне активоване вугілля залишається дорогим, що викликає великий інтерес до недорогих, природних та екологічно чистих адсорбентів [6]. Перспективним кандидатом в адсорбенти в цю категорію є  $\beta$ -циклодекстрин ( $\beta$ -CD).  $\beta$ -CD – циклічний олігосахарид, що містить сім  $\alpha$ -1,4-зв'язаних D-глюкопіраноз які поділяються на три типи ( $\alpha$ -,  $\beta$ - та  $\gamma$ -CD) [7]. Протягом багатьох років  $\beta$ -CD використовується в багатьох галузях: фармацевтика, харчові продукти, косметика, хімічна продукція, водоочищення. Перевагами цього адсорбенту є одночасне видалення кольору та йонів важких металів. Як правило, метали можуть бути виведені за допомогою механізмів комплексоутворення, взаємодії або йонного обміну. Ефективність адсорбенту залежить від різних факторів, особливо від техніки приготування і оптимального рівня рН. Полімер CD має депротоновані гідроксильні групи, які міцно зв'язують метал в первинних умовах. Існують наукові праці, які доводять адсорбцію йонів важких металів (Ni(II), Cu(II) та Pb(II)) [8].

Дослідженню підлягала вихідна вода Херсонського регіону України, яка використовується в автоклавах для консервування. Здійснено аналіз трьох зразків води:

Зразок 1 – водопровідна вода (вихідна);

Зразок 2 – вода після використання в автоклаві;

Зразок 3 – водопровідна вода, очищена адсорбційним методом з використанням  $\beta$ -циклодекстрину.

Здійснено фізико-хімічний аналіз досліджених водних систем. Електропровідність визначено з використанням кондуктометричного методу за допомогою лабораторного кондуктометра MP 521. Мутність визначали мутноміром (турбідиметром) CyberScan TB1000 (Нідерланди) з використанням турбідиметричного методу. Густина досліджуваних розчинів визначали за допомогою лабораторного ареометра АОН-1 ГОСТ 18481-81 20°C (№ 8). Результати фізико-хімічного аналізу водних систем наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 Порівняльний фізико-хімічний аналіз досліджених водних систем

Показник	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Забарвлення (колір)	безбарвний	безбарвний	білуватий
Мутність, мг/дм <sup>3</sup>	1,06	0,1	6,67
Запах, бали при 20°C	0	0	3
Осад і плаваючі домішки	відсутні	пластівці бурого кольору	присутні
рН	7,42	7,64	4,55
В'язкість, кг/м <sup>3</sup>	1,003	1,000	1,001
Електропровідність, мСм/см	1180	1130	1310

Високе значення електропровідності всіх досліджених водних систем вказує на великий вміст розчинених у воді солей, що потребує очищення та подальших досліджень з метою нормалізації сольового складу та, відповідно, впливу його на корозійну стійкість внутрішніх стінок автоклаву. Використання адсорбенту  $\beta$ -циклодекстрину призводить до утворення мутності води, що потребує додаткового фільтрування, появу специфічного запаху та значного зменшення рН води.

Зразки води аналізували згідно ДСТУ EN ISO 11885:2019 Якість води. Визначення хімічних елементів здійснено методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-OES) (EN ISO 11885:2009, IDT; ISO 11885:2007, IDT) емісійним спектрометром паралельної дії з індуктивно зв'язаною плазмою Shimadzu ICPE – 9800. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 Елементний склад у досліджуваних водних системах

Хімічний елемент	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	вміст хімічного елементу, мг/л	$\pm^*$	вміст хімічного елементу, мг/л	$\pm^*$	вміст хімічного елементу, мг/л	$\pm^*$
Al	0,08	0,04	<0,07	-	0,10	0,04
B	0,58	0,20	0,19	0,08	0,29	0,11
Ca	26,70	5,21	30,90	5,90	37,70	6,98
Cd	<0,08	-	<0,08	-	<0,08	-
Co	<0,002	-	<0,002	-	0,00	0,00
Cr	<0,007	-	0,01	0,00	<0,007	-
Cu	<0,007	-	0,03	0,01	0,02	0,01
Fe	110,00	17,35	1,70	0,50	21,60	4,35
K	6,22	1,51	5,47	1,36	9,47	2,16
Mg	40,43	7,41	35,13	6,58	43,03	7,82
Mn	0,39	0,14	<0,08	-	0,08	0,04
Mo	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-
Na	146,63	22,14	140,63	21,37	162,63	24,18
Ni	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01
P	0,35	0,13	<0,16	-	1,44	0,44
Pb	0,58	0,20	0,09	0,04	0,04	0,02
S	12,30	2,70	10,20	2,30	18,10	3,75
Si	2,54	0,71	2,29	0,65	2,86	0,78
Zn	0,04	0,02	0,02	0,01	0,08	0,04

$\pm^*$  - розширена невизначеність вимірювань визначає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно знаходиться більша частина розподілу значень, які обґрунтовано можуть бути приписані вимірюваній величині [9]

Результати, наведені в таблиці 2, свідчать про високий вміст заліза та інших хімічних елементів у вихідній воді та воді, очищеній адсорбентом  $\beta$ -циклодекстрином, що значно погіршує їх технологічні та експлуатаційні властивості.

На основі виконаних лабораторних досліджень та з метою визначення шляхів зменшення корозії автоклаву в процесі його використання, можна зробити такі висновки та надати такі рекомендації:

– За результатами показників електропровідності, водопровідна вода Херсонського регіону у своєму складі містить багато розчинних солей, вміст яких негативно впливає на роботу автоклава в процесі консервування, призводячи до корозійних руйнувань його внутрішніх стінок.

– Очищення водопровідної води сорбентом  $\beta$ -циклодекстрином не усуває елементного та сольового складу води, призводить до зменшення рН, появу кольору, мутності та запаху, тому є недоцільним для використання.

– Серед основних шляхів щодо зменшення корозійного впливу води на внутрішні стінки автоклаву в процесі експлуатації, рекомендується її попереднє очищення багатопшаровими фільтрами.

– Нормалізацію сольового складу та пом'якшення води рекомендується здійснювати за допомогою іоннообмінних мембран та сорбційних фільтрів.

#### **Список літературних джерел**

1. Загальна хімія. Корозія металів. [Електронний ресурс]: режим доступу [https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:c025ee0d1cacd40c9b6db4f8ec2bad8c5184bb2c/latest/472197/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:c025ee0d1cacd40c9b6db4f8ec2bad8c5184bb2c/latest/472197/index.html)

2. Як працює автоклав: інструкція і принцип роботи [Електронний ресурс]: режим доступу <https://autoclav.com.ua/ua/blog/kak-rabotaet-avtoclav/>

3. Бакихін Є. Як вибрати правильний захист від корозії в різних середовищах [Електронний ресурс]: режим доступу <https://ask.hilti.ua/article/що-таке-корозія-і-як-захистити-від-неї/anjwq>

4. Chandanshive V., Kadam S., Rane N., Jeon B.H., Jadhav J., Govindwar S. In situ textile wastewater treatment in high rate transpiration system furrows planted with aquatic macrophytes and floating phytobeds // *Chemosphere* – 2020, 252:126513. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.126513](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126513)

5. Sulaiman N.S., Ahmad Zaini M.A., Arsad A. Evaluation of dyes removal by beta-cyclodextrin adsorbent // *Materials today: Processing*. 2021, № 39 (2). P. 907-910. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.696>

6. Zubir M.H., Zaini M.A., Arsad A. Twigs-derived activated carbons via  $H_3PO_4/ZnCl_2$  composite activation for methylene blue and congo red dyes removal // *Scientific Reports*. Vol. 10, 2020: 14050. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71034-6>

7. Huang W., Hu Y., Li Y., Zhou Y., Niu D., Lei Z., Zhang Z. Citric acid-crosslinked  $\beta$ -cyclodextrin for simultaneous removal of bisphenol A, methylene blue and copper: The roles of cavity and surface functional groups // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2018, Vol. 82, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.11.021>

8. Syeda S.E., Nowacka D., Khan M.S., Skwierawska A.M. Recent Advancements in Cyclodextrin-Based Adsorbents for the Removal of Hazardous Pollutants from Waters // *Polymers*, 2022, 14(12), 2341. <https://doi.org/10.3390/polym14122341>

9. ДСТУ ISO/TS 21749:2013 Невизначеність вимірювання в метрологічній практиці. Повторні вимірювання та ієрархічні експерименти.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕВОДНЕННЯ: ПЕРЕВАГИ РОЛИКОВИХ ПРЕСІВ ДЛЯ ОСАДІВ ІЗ НЕОРГАНІЧНИМИ ДОМІШКАМИ**

**А.О Василенко, М.А. Лук'яненко, В.Ф. Моїсєєв**

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Anton.Vasylenko@mit.khpi.edu.ua

Зневоднення осадів, що утворюються на очисних спорудах, є важливим етапом технологічного процесу очищення стічних вод і має вирішальне значення як для екологічної стійкості, так і для економічної ефективності. Особливо актуальним це питання стає для осадів з високим вмістом неорганічних речовин, таких як пісок, скло та інші абразивні частинки. Такі осади спричиняють прискорене зношування обладнання, що використовується для їхньої обробки, зокрема фільтр-пресів та центрифуг. Це призводить до зростання витрат на технічне обслуговування та зменшення експлуатаційного ресурсу техніки.

Традиційно для зневоднення осадів використовуються такі технології, як стрічкові фільтр-преси, камерні фільтр-преси та центрифуги. Однак у випадках, коли осади містять значну кількість абразивних частинок, ці технології можуть бути менш ефективними через високе зношування робочих елементів. Це створює необхідність пошуку більш надійних і енергоефективних рішень для обробки таких осадів.

Одним із перспективних рішень є використання роликів пресів, які завдяки своїй конструкції дозволяють зменшити контакт осаду з робочими компонентами та знизити енергоспоживання. Ці преси, крім того, мають компактні розміри та здатність працювати з осадами різних типів, що робить їх привабливими для промислових підприємств.

Метою даного дослідження є оцінка ефективності роликів преса для зневоднення осадів із високим вмістом неорганічних речовин у порівнянні з іншими поширеними методами, зокрема центрифугами. В рамках цього дослідження будуть проаналізовані основні параметри продуктивності, енергоефективності та зносостійкості робочих компонентів преса під час обробки осадів. Також буде проведено порівняння техніко-економічних показників роликів преса з іншими існуючими технологіями для визначення їхніх переваг та недоліків.

Зневоднення осаду стічних вод є важливим етапом технологічного процесу очищення, який відіграє ключову роль у мінімізації відходів і забезпеченні екологічної стійкості підприємств. Ефективне зневоднення зменшує обсяг осаду для подальшої утилізації, а також знижує витрати на його транспортування та зберігання. Існує кілька основних технологій зневоднення осаду, з яких найбільш поширеними є фільтр-преси, центрифуги та валкові преси. Кожна з цих технологій має свої переваги та недоліки в залежності від складу осаду та умов експлуатації [1].

Фільтр-преси широко застосовуються для осадів із високим вмістом органічних речовин, оскільки забезпечують високий ступінь зневоднення, проте це обладнання потребує значних витрат енергії та частого обслуговування. Використання фільтр-пресів є особливо проблематичним при обробці осадів, що містять абразивні частинки, такі як пісок або скло, що знижує ефективність і збільшує знос фільтрувальних елементів [1 - 6]. Центрифуги ефективні для стічних вод, що містять хімічно активні або неорганічні речовини, але через високі швидкості обертання ротора вони піддаються значному зносу при обробці осаду з високим вмістом

неорганічних речовин. Це призводить до підвищення витрат на обслуговування і може зменшити довговічність обладнання [2, 4].

Останнім часом дискові дегідратори набули популярності завдяки своїй енергоефективності та компактності. Вони знижують споживання енергії порівняно з іншими методами і можуть використовуватися для різних видів осаду, включаючи осади з високим вмістом неорганічних речовин [9]. Валкові преси є перспективною альтернативою для зневоднення осадів з великою кількістю абразивних частинок. Ці преси мають високу стійкість до зносу, оскільки їх конструкція мінімізує контакт між абразивними частинками та робочими елементами обладнання. Це дозволяє збільшити довговічність та зменшити споживання енергії порівняно з центрифугами, що робить їх економічно вигідними для підприємств [1, 7, 8].

Також слід зазначити, що якість фільтрату після зневоднення може відрізнитися залежно від використовуваної технології. Центрифуги можуть утворювати фільтрат з високим вмістом завислих твердих частинок, що потребує додаткової обробки. Валкові преси, навпаки, забезпечують кращу якість фільтрату, що знижує навантаження на подальші стадії очищення [10 - 12].

Таким чином, використання валкових пресів є перспективним рішенням для підприємств, що працюють з осадом з високим вмістом неорганічних речовин. Ця технологія забезпечує ефективне зневоднення з меншими енерговитратами, довгим терміном служби обладнання та високою якістю фільтрату.

Технологія валкових пресів досягла значного прогресу в плані конструкції, продуктивності та довговічності. Розвиток моделювання та симуляції дозволив покращити оптимізацію цих машин, а модульні принципи конструкції підвищили гнучкість та ефективність. Ці вдосконалення розширили застосування валкових пресів, забезпечуючи кращу продуктивність та довший термін служби.

Для проведення дослідження було відібрано осад стічних вод промислового підприємства, що спеціалізується на переробці ПЕТ-пляшок. Осад складався переважно з неорганічних речовин, таких як пісок, скло та інше дрібне сміття. Вміст загальних твердих часток (TSS) становив у середньому 70 000 мг/л, а концентрація сухої речовини в осаді після первинної обробки – близько 7,2% (визначено за допомогою галогенного аналізатора вологості). рН осаду становив 8.5 (виміряно електрометром).

Перед зневодненням осад накопичувався в спеціальній ємності, де постійно перемішувався для уникнення осідання твердих часток. Осад подавався до роликів преса за допомогою насоса після додавання флокулянта PRAESTOL 859BS у концентрації 0,2% (за попередньо визначеною оптимальною дозою на основі JAR-тестів). Флокулянт вводився через окрему станцію приготування полімеру, оснащену насосом для його подачі.

Технологічна схема процесу зневоднення включала кілька ключових етапів: накопичення осаду, дозування флокулянта, механічне зневоднення за допомогою роликів преса та відведення зневодненого осаду для подальшої утилізації.

Ефективність зневоднення оцінювалась за кількома параметрами. Вміст сухих речовин у кеку (визначався шляхом висушування проби осаду при температурі 105°C). Енергоспоживання роликів преса (вимірювалося за допомогою лічильника енергії). Зношування робочих елементів преса (вимірювалося візуальним оглядом і за допомогою вимірювальних інструментів).

Роликовий прес складається з двох основних частин, розташованих одна біля одної і з'єднаних живильним каналом. Одна частина преса встановлена на рамі, інша

– на ємності для збору фільтрату. Резервуар, встановлений на рамі, розділений на дві секції, резервуар для дозування, а інша – баком для флокуляції. У перегородці між секціями є V-подібний перелив. У флокуляційній ємності знаходиться змішувач з моторним приводом для змішування осаду з реагентом для утворення флокул, потім осад подається в зневоднювальну установку, розташовану над ємністю для збору фільтрату.

Піддон для прийому та зливу фільтрату розташований під зневоднювальним блоком. Осад подається на вхід дозувальної камери за допомогою насоса. Після хімічної обробки осад надходить у зневоднювальний блок.

Кожен фільтруючий валик складається з товстих дисків із смоли, маленьких тонких дисків із нержавіючої сталі та великих тонких дисків із нержавіючої сталі. Між сусідніми дисками утворюються щілини, через які стікає тільки вода. Більші диски фільтруючого валика зачіпаються з меншими дисками сусіднього фільтруючого валика, завдяки чому щілини залишаються чистими.

Фільтрувальні ролики розташовані таким чином, що відстань між верхнім і нижнім ярусами поступово звужується від боку подачі осаду до вивантаження кеку, що призводить до стиснення осаду. Крім того, фільтрувальні ролики в зоні зневоднення обертаються повільніше, ніж в зоні фільтрації, і разом з регульованою заслінкою, встановленою на виході кеку, здійснюють зневоднення. Зневоднений осад вивантажується через жолоб для осаду, який оснащений перегородкою, яка створює додатковий зворотний тиск на осад. Ця функція дозволяє регулювати вміст сухих речовин у кеку.

В ході дослідження порівнювалось існуюча центрифуга на очисних спорудах, марки SHS 310 215 продуктивністю 4...5 м<sup>3</sup>/г, та роликовий прес марки ESMIL CORP. JD500 продуктивністю 2...2,5 м<sup>3</sup>/г. При зневодненні осадів був застосований флокулянт марки PRAESTOL 859BS, який показав себе найбільш ефективним при попередніх JAR-тестах. Для порівняння продуктивності роликового преса було проведено аналогічні тести на центрифугі. Результати порівняльного аналізу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз роликового преса та центрифуги

Тип обладнання	Роликовий прес JD	Центрифуга
Модель	JD-500	SHS-310-215
Тип осаду	Осад після ламельних відстійників	
Вміст сухих речовин у осаді, %	1,5...7	
Вміст сухих речовин у кеку, %	28...50	
Вміст летких загальних твердих речовин (ЛЗР) у осаді, %	56	
Зниження об'єму осаду (вага)	7...15	
Продуктивність по осаді, м <sup>3</sup> /год	2...2,5	4...5
Продуктивність по сухих речовинах, кг СХ/год	30...175	60...350
Доза флокулянту, кг/т СХ	1,94...2,2	
Ефект енергозбереження, кВт·год/кг СХ	0,05	0,5
Коефіцієнт збору твердих речовин, %	85...90	90...95
Вміст завислих речовин (ЗР) у фільтраті, мг/л	100...200	2000...3000

Дослідження показали, що роликаний прес JD (ESMIL) продемонстрував рівень ефективності зневоднення, подібний до показників центрифуги, яка використовувалась на очисних спорудах для осаdів. Обидва типи обладнання досягли схожого рівня зменшення вологості осаду, знижуючи її з початкових значень 98,48–92,59% до 72,2–49,9%. Це дозволило зменшити масу осаду, що підлягає утилізації, у 7–15 разів. Найнижча досягнута вологість складала 49,9% при зневодненні суміші осаdів.

Під час тримісячної експлуатації центрифуги було виявлено значний знос барабана, спричинений абразивною дією неорганічних матеріалів, зокрема піску та інших твердих частинок. Це призвело до пошкодження поверхні барабану та потребувало додаткових ремонтних робіт і збільшення витрат на технічне обслуговування.

З точки зору енергоспоживання, центрифуга мала значно вищі показники. Витрати енергії роликівого преса були в 10 разів меншими порівняно з центрифугою, становлячи приблизно 50 Вт·год на кілограм сухої речовини, тоді як центрифуга споживала понад 500 Вт·год на той самий обсяг.

Кількість сухої речовини в кінцевому продукті була майже однаковою для обох типів обладнання, різниця складала лише 1–2%. Однак, співвідношення між витратами енергії та ступенем зменшення об'єму осаду виявилось нелінійним. Наприклад, при вихідному вмісті 2% сухої речовини, гвинтовий прес зменшив обсяг осаду на 88%, досягаючи вмісту сухої речовини 18%. Після центрифуги вміст сухої речовини збільшився до 20%, зменшуючи обсяг осаду на 90%, але з суттєво вищими витратами енергії для цього незначного покращення.

Якість фільтрату після центрифуги була набагато нижчою, із концентрацією завислих речовин у діапазоні 2000–2500 мг/л. У порівнянні з цим, роликаний прес забезпечив кращу якість фільтрату, з концентрацією завислих речовин на рівні 100–200 мг/л, що свідчить про вищу ефективність технології рухомих дисків у цьому контексті, а також зменшує витрати на додаткове очищення фільтрату, дозволяючи напряду зливати фільтрат в каналізацію чи використовувати його в технологічному процесі виробництва.

Отримані результати свідчать про те, що роликаний прес JD500 є більш ефективним рішенням для зневоднення осаdів із високим вмістом неорганічних речовин порівняно з центрифугою. Основні переваги роликівого преса включають нижче енергоспоживання та кращу якість фільтрату, а також значно менший рівень зношування робочих елементів обладнання. Це робить роликаний прес економічно вигідним варіантом для підприємств із великими обсягами абразивних осаdів.

Зниження маси осаду в 7-15 разів свідчить про високий рівень ефективності зневоднення, що дозволяє зменшити витрати на утилізацію осаdів. Також слід зазначити, що якість фільтрату після роликівого преса є вищою, що знижує навантаження на подальші етапи очищення стічних вод.

У ході дослідження було оцінено ефективність роликівого преса для зневоднення осаdів із високим вмістом неорганічних речовин у порівнянні з традиційними методами, такими як центрифуги. Результати експериментів підтвердили, що роликіві преси демонструють суттєві переваги в умовах обробки абразивних осаdів, забезпечуючи більш високу ефективність зневоднення та знижене енергоспоживання.

Показники зниження вологості осадів у роликовому пресі досягали з 83% до 50%, що свідчить про його здатність значно зменшувати обсяги відходів, що підлягають утилізації.

Крім того, роликовий прес виявився більш енергоефективним, споживаючи в 10 разів менше енергії порівняно з центрифугою.

Якість фільтрату, отриманого після обробки в роликовому пресі, була набагато вищою, з нижчою концентрацією завислих часток у порівнянні з центрифугою. Це зменшує навантаження на наступні етапи очищення стічних вод та покращує загальну екологічну ефективність процесу. Виявлений знос робочих елементів центрифуги підтверджує необхідність ретельного підбору обладнання для роботи з осадами, багатими на абразивні частинки.

З урахуванням отриманих результатів, можна стверджувати, що роликові преси є перспективним рішенням для підприємств, які мають справу з осадом з високим вмістом неорганічних речовин. Їх використання не лише знижує витрати на енергоспоживання та технічне обслуговування, але й забезпечує високу якість зневоднення, що є важливим аспектом у сучасному менеджменті водних ресурсів. Рекомендується подальше дослідження та оптимізація процесів, пов'язаних із використанням роликових пресів для покращення їхньої продуктивності та зносостійкості в умовах промислових стічних вод.

#### **Список літературних джерел**

1. Gutierrez, J., Smith, A., & Li, H. Wear Resistance in Industrial Dewatering Technologies. *Journal of Environmental Engineering*, 146(2), 04019108. (2020).
2. Wang, T., Zhang, L., & Liu, M. Centrifuge Performance in Wastewater Sludge Dewatering. *Water Research*, 215, 118223. (2022).
3. Smith, J. Efficiency and Energy Consumption of Disc Dehydrators. *Water and Wastewater Management*, 32(1), 55-68. (2021).
4. Novak, J. Dewatering of Sewage Sludge. *Drying Technology*, 24, 1257-1262. (2006). DOI: 10.1080/07373930600840419
5. Stickland, A., Skinner, S., Cavalida, R., Scales, P. Optimisation of filter design and operation for wastewater treatment sludge. *Separation and Purification Technology*. 198. 31-37. (2018). DOI: 10.1016/J.SEPPUR.2017.01.070
6. Mamais, D., Tzimas, A., Andreadakis, A. Evaluation of Different Sludge Mechanical Dewatering Technologies. *Journal of Residuals Science & Technology*, 6. (2009).
7. Wakeman, R. Separation technologies for sludge dewatering. *Journal of hazardous materials*, 144 (3). 614-9. (2007). DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2007.01.084.
8. Mahmoud, A., Hoadley, A., Citeau, M., Sorbet, J., Olivier, G., Vaxelaire, J., Olivier, J. A comparative study of electro-dewatering process performance for activated and digested wastewater sludge. *Water research*, 129, 66-82. (2018). DOI: 10.1016/j.watres.2017.10.063
9. Wu, B., Dai, X., Chai, X. Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations. *Water research*, 180, 115912. (2020). DOI: 10.1016/j.watres.2020.115912
11. Cao, B., Zhang, T., Zhang, W., Wang, D. Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: A critical review. *Water research*, 189, 116650. (2020). DOI: 10.1016/j.watres.2020.116650
12. Bajpai, P. Pretreatment of Sludge. In: *Management of Pulp and Paper Mill Waste*. Springer, Cham. (2015). DOI: 10.1007/978-3-319-11788-1\_4



## LEACHING KINETICS OF POLYDISPERSE PARTICLES OF DIFFERENT SHAPES

**A.L. Kontsevoy, S.A. Kontsevoi**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

E-mail: [kontsev@xtf.kpi.ua](mailto:kontsev@xtf.kpi.ua)

Leaching – extraction of one or more components from solid bodies (ores, concentrates, intermediate products, production waste) with an aqueous solution containing alkali, acid or other reagent. Usually, leaching is accompanied by a chemical reaction, as a result of which the extracted component changes from a water-insoluble form to a soluble one. At the end of leaching, in contrast to dissolution, a solid phase always remains, that is, the degree of leaching is less than 100 %. As a rule, crushed material of different granulometric composition is received for leaching. In the process of leaching, the surface of such material changes, which, together with a decrease in the concentration of reagents and the accumulation of products, leads to a decrease in the rate of leaching.

If the leaching reaction is irreversible and is not accompanied by the formation of a shell of a solid product, the leaching rate  $W$  can be expressed by the equation:

$$W = -dG/d\tau = K \cdot C^n \cdot S, \quad (1)$$

where  $G$  is the mass of the solid phase;  $\tau$  – reaction time;  $K$  is the rate constant;  $C$  – reagent concentration;  $n$  is the order of the reagent,  $S$  is the surface of the solid phase.

The value of the surface depends on the shape of the particles (sphere, cube, plate and needle) of the monodisperse material. In practice, it is often necessary to deal with polydisperse materials with a wide range of particle sizes, while in the process of dissolution, not only the surface of the particles changes, but also their number, since small fractions first dissolve and disappear.

Much and constant attention is paid to the leaching process in the scientific literature [1–3]. From the array of various information, it is possible to conditionally single out works devoted to the course of leaching in the diffusion region [4–7] with the provision of the corresponding kinetic equations. There are also works [8–10] in which the authors note the course of leaching in the kinetic region. The authors of [11] processed the data according to 18 kinetic equations that reflect various mechanisms on a solid material, but do not take into account the influence of the concentration of the solvent.

In article [12] the case of the course of leaching in the kinetic region for a polydisperse material of spherical shape is considered. The process speed equation was obtained, taking into account the dependence of the particle surface on the degree of leaching. It was established that the order of the solid material for polydisperse spherical particles can vary from  $2/3$  to 1.

The analysis of equation (1) shows that it is enough to simply take into account the change in the concentration of  $C$  of the solvent, and the change in the process of leaching the surface of the solid material is proposed to be carried out as follows.

At the initial mass of the solid phase  $G_0$  at the moment of reaching mass  $G$ , the degree of leaching  $\alpha$  is equal to:

$$\alpha = (G_0 - G) / G_0 = 1 - G / G_0, \text{ whence } G = G_0(1 - \alpha) \text{ and } dG = -G_0 d\alpha. \quad (2)$$

At the initial concentration of the liquid reagent  $C_0$ , the current concentration is determined as:

$$C=C_0 \cdot (\gamma - \alpha) / \gamma, \quad (3)$$

where  $\gamma$  is the excess (shortage) of the reagent against stoichiometry; with the stoichiometric ratio  $\gamma=1$ .

Taking into account expressions (2) and (3), equation (1) takes the form:

$$W = d\alpha / d\tau = K \cdot S \cdot ((C_0(\gamma - \alpha) / \gamma))^n / G_0. \quad (4)$$

To establish the functional dependence between the size of the surface  $S$  and the degree of leaching, we assume the spherical shape of solid particles, the surface of which decreases due to the reduction of their radius  $r$  and the number of particles  $N$ . In general, the distribution function can be expressed by the equation:

$$N = a \cdot r^b, \quad (5)$$

where  $a$  and  $b$  are constants.

If  $b=0$ , then  $N=a=const$ , the function is represented by a point and all particles have the same initial radius  $r_0$ . If  $0 < b < 1$ , then the function (5) is expressed by a convex curve, when  $b > 1$  – by a concave curve. If  $b=1$ , then the number of particles depends linearly on their radius.

Therefore, if the number of particles with a radius of  $r_0$  and less is expressed by the function (5), then the number of particles with a radius from  $r$  to  $r+dr$  is equal to:

$$dN = a \cdot b \cdot r^{b-1} \cdot dr. \quad (6)$$

The mass of particles with a radius in the interval from  $r$  to  $r+dr$  is equal to:

$$dG = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot dN = (4/3) \cdot \pi \cdot r^{(b+2)} \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot dr, \quad (7)$$

where  $\rho$  is the density of the solid material.

The total mass of particles in the limits of integration over  $r$  from 0 to  $r$  is equal to:

$$G = (4/3) \cdot \pi \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \int_0^r r^{(b+2)} dr = (4/3) \cdot \pi \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot r^{(b+3)} / (b+3). \quad (8)$$

The initial mass of particles in the limits of integration over  $r$  from 0 to  $r_0$  is equal to:

$$G_0 = (4/3) \cdot \pi \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \int_0^{r_0} r^{(b+2)} dr = (4/3) \cdot \pi \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot r_0^{(b+3)} / (b+3). \quad (9)$$

These formulas are valid for all values of  $b$  except  $b=0$ , since in this case the function (5) has a discontinuity and the total mass of the particles is equal to:

$$G = (4/3) \cdot \pi \cdot \rho \cdot a \cdot r^3.$$

Taking into account expressions (8) and (9), the degree of leaching can be expressed in terms of particle radius:

$$\alpha = (G_0 - G) / G_0 = (r_0^{b+3} - r^{b+3}) / r_0^{b+3} = 1 - r^{b+3} / r_0^{b+3}. \quad (10)$$

From equation (10), we obtain the dependence of the radius of the particles on the degree of leaching:

$$r = r_0 (1 - \alpha)^{1/(b+3)}. \quad (11)$$

The surface of particles with a radius in the interval from  $r$  to  $r+dr$ , taking into account expression (6), is equal to:

$$dS=4\cdot\pi\cdot r^2\cdot dN=4\cdot\pi\cdot r^{b+1}\cdot a\cdot b\cdot dr.$$

The total surface of all particles in the limits of integration over  $r$  from 0 to  $r$ :

$$S=4\cdot\pi\cdot a\cdot b\cdot\int r^{b+1} dr=4\cdot\pi\cdot a\cdot b\cdot r^{b+2}/(b+2). \quad (12)$$

This formula, like formula (9), is valid for all values of  $b$ , except  $b=0$ . For  $b=0$ , the outer surface of the spherical particles is equal to:

$$S=4\cdot\pi\cdot a\cdot r^2.$$

Taking into account expression (11), the total surface of all particles:

$$S=4\cdot\pi\cdot a\cdot b\cdot r_0^{b+2}(1-\alpha)^{(b+2)/b+3}/(b+2). \quad (13)$$

After substituting the initial mass of particles according to equation (9) and the total surface of all particles according to equation (13) into equation (4), we get the leaching rate equation:

$$W=d\alpha/d\tau=K^*\left((C_0(\gamma-\alpha)/\gamma)\right)^n(1-\alpha)^m, \quad (14)$$

$$\text{where } K^*=3\cdot K\cdot(b+3)/((\rho\cdot(b+2)\cdot r_0)), m=(b+2)/(b+3).$$

Note that when  $b\rightarrow\infty$ , the order in the solid material is  $m\rightarrow 1$ . When  $b=0$ ,  $m=2/3$  is the case of the shrinking sphere equation. Therefore, the order of the solid material for polydisperse spherical particles can vary from 2/3 to 1.

With a stoichiometric ratio of liquid and solid  $\gamma=1$ , equation (14) is simplified:

$$W=d\alpha/d\tau=K^*\left((C_0(1-\alpha))\right)^n(1-\alpha)^m. \quad (15)$$

To establish the functional dependence between the size of the surface  $S$  and the degree of leaching  $\alpha$ , we take the needle-like shape of solid particles with a diameter  $d$ , the surface of which decreases due to a decrease in their length  $l$  and the number of particles  $N$ . It is assumed that  $l\gg d$ . In general, the distribution function can be expressed by the equation is similar to dependence (5):

$$N=a\cdot l^b.$$

By analogy with equation (6-14), we obtain expressions for needle-shaped particles:

$$dN=a\cdot b\cdot l^{b-1}\cdot dl.$$

$$dG=\pi\cdot(d/2)^2\cdot l\cdot\rho\cdot dN=\pi(d/2)^2\cdot l^b\cdot\rho\cdot a\cdot b\cdot dl.$$

$$G=\pi\cdot(d/2)^2\cdot\rho\cdot a\cdot b\cdot\int l^b dl=\pi(d/2)^2\cdot\rho\cdot a\cdot b\cdot l^{b+1}/(b+1).$$

$$G_0=\pi\cdot(d/2)^2\cdot\rho\cdot a\cdot b\cdot\int l^b dl=\pi(d/2)^2\cdot\rho\cdot a\cdot b\cdot l_0^{b+1}/(b+1).$$

$$\alpha=(G_0-G)/G_0=(l_0^{b+1}-l^{b+1})/l_0^{b+1}=1-l^{b+1}/l_0^{b+1}.$$

$$l=l_0(1-\alpha)^{1/(b+1)}.$$

$$S=\pi\cdot d\cdot a\cdot b\cdot\int l^b dl=\pi\cdot d\cdot a\cdot b\cdot l^{b+1}/(b+1).$$

$$S=\pi\cdot d\cdot a\cdot b\cdot l_0^{b+1}\cdot(1-\alpha)/(b+1).$$

$$W=d\alpha/d\tau=K^*\left((C_0(\gamma-\alpha)/\gamma)\right)^n(1-\alpha). \quad (16)$$

$$\text{where } K^*=4K/(d\cdot\rho).$$

To establish the functional dependence between the size of the surface  $S$  and the degree of leaching  $\alpha$ , we take the plate-shaped of solid particles (square plates) with a width  $w$ , the surface of which decreases due to a decrease in their width  $w$  and the number of particles  $N$ . It is assumed that a thickness  $h\ll w$ . In general, the distribution function can

be expressed by the equation (5). In general, the distribution function can be expressed by the equation is similar to dependence (5):

$$N=a \cdot w^b.$$

By analogy with equation (6-14), we obtain expressions for plate-shaped particles:

$$dN=a \cdot b \cdot w^{b-1} \cdot dw.$$

$$dG=h \cdot w^2 \cdot \rho \cdot dN=h \cdot w(b+1) \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot dw.$$

$$G=h \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \int w(b+1) dw=h \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot w(b+2)/(b+2).$$

$$G_0=h \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \int w(b+1) dw=h \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot w_0(b+2)/(b+2).$$

$$\alpha=(G_0-G)/G_0=(w_0 b+2-w b+2)/w_0 b+2=1-w b+2/w_0 b+2.$$

$$w=w_0(1-\alpha)^{1/(b+2)}.$$

$$S=2 \cdot a \cdot b \cdot \int w^{b+1} dw=2 \cdot a \cdot b \cdot w^{b+2}/(b+2).$$

$$S=2 \cdot a \cdot b \cdot w_0^{b+2}(1-\alpha)^{b+2}/(b+2).$$

$$W=d\alpha/d\tau=K^*((C_0(\gamma-\alpha)/\gamma))^n(1-\alpha). \quad (17)$$

where  $K^*=2 \cdot K/(h \cdot \rho)$ .

Therefore, according to the obtained equations, the order of the solid material can vary from 2/3 to 1 for polydisperse particles of a spherical shape (15) and is the first for particles in the form of a needle or a plate (16, 17). Experimental studies and calculations [12] established values of orders close to the first: for nitric acid  $n=0.83$  and for magnetite  $m=1.2$ .

### References

1. Investigation of Leaching Kinetics of Copper from Malachite Ore in Ammonium Nitrate Solutions / A. Ekmekyapar, et al. // Metallurgical and materials transactions B. – 2012. – 43B. – pp. 764 – 772. Available at: <https://zero.scribbr.com/1267/57f68e48242c55c1f60432aaadc8623a/ekmekyapar2012.pdf>
2. Leaching of malachite ore in ammonium sulfate solutions and production of copper oxide / A. Ekmekyapar, et al. // Braz. J. Chem. Eng. – 2015. – 32(1). – pp. 155 – 165. Available at: <https://www.scielo.br/j/bjce/a/fmGwVnZb8b3fXq6hKKcq8kB/?format=pdf&lang=en>
3. Leaching of copper oxide with different acid solutions / N. Habbache, et al. // Chemical Engineering Journal. – 2009. – 152. – pp. 503–508. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/244362463\\_Leaching\\_of\\_copper\\_oxide\\_with\\_different\\_acid\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/244362463_Leaching_of_copper_oxide_with_different_acid_solutions)
4. Nazarov H.M., Mirsaidov I.U., Rahmatov N.N. Kinetika processa vyshelachivaniya supeschanyh uransoderzhashih pochv. Agentstvo po yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti AN Respubliki Tadzhiqistan. 2015 g.
5. Available at: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/49/039/49039294.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/49/039/49039294.pdf)
6. Mudila Dhanunjaya Rao, Kamalesh K. Singh, Carole A. Morrison, Jason B. Love. Optimization of process parameters for the selective leaching of copper

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ МЕТАЛІВ

**М.В. Марченко<sup>1</sup>, В.А. Потаскалов<sup>2</sup>, Н.Є. Власенко<sup>2</sup>, І.В. Коваленко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона

<sup>2</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна

Забруднення стічних вод важкими металами є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Ці речовини надзвичайно токсичні, накопичуються в організмах і довкіллі, спричиняючи серйозні захворювання та порушення екосистем. Тому розробка ефективних методів очищення стічних вод від важких металів є надзвичайно актуальним завданням. Сьогодні населення планети швидко зростає, і значна його частина зосереджена у великих містах. Це підвищує потребу у воді та збільшує обсяги стічних вод, які часто забруднюють річки, озера та підземні води [1, 2].

На жаль, підприємства скидають у водні об'єкти хімічні відходи, важкі метали та інші токсичні речовини, які спричиняють сильне забруднення та порушують природний баланс водних екосистем. Багато з цих речовин важко розкладаються, тому накопичуються у водоймах та отруюють не лише воду, але й флору та фауну. Окрім того глобальне потепління та інші кліматичні зміни змінюють режим опадів, що впливає на рівень води у водоймах і сприяє її забрудненню. Висока температура сприяє швидкому випаровуванню, через що концентрація забруднюючих речовин у воді підвищується.

Через забруднення багато регіонів стикаються з проблемою дефіциту питної води. За даними ООН, понад 2 мільярди людей не мають постійного доступу до безпечної питної води [3]. Це не лише проблема гігієни та здоров'я, але й економічного розвитку країн.

Метою роботи є оцінка перспектив очищення стічних вод від важких металів та впровадженні ефективних, екологічно безпечних та економічно вигідних технологій.

Методи та засоби дослідження. Очищення стічних вод від важких металів сьогодні є надзвичайно актуальним завданням, оскільки вони надзвичайно токсичні, накопичуються в живих організмах і можуть спричинити серйозні захворювання. Існує кілька сучасних перспективних методів, які дозволяють ефективно видаляти важкі метали зі стічних вод. Доцільно розглянути деякі з них.

Адсорбція: використання адсорбентів, таких як активоване вугілля, бентоніт, біовугілля і модифіковані полімери, набуває широкого поширення завдяки високій ефективності у видаленні іонів металів [4]. Сучасні розробки зосереджені на створенні нанопористих адсорбентів і біосорбентів, які можуть екстрагувати метали навіть у низьких концентраціях.

Мембранні технології: фільтрація за допомогою мембран – зворотний осмос, нанофільтрація і ультрафільтрація – дозволяє видаляти дрібні частинки металів. Зараз активно вдосконалюються мембрани на основі графену і наноматеріалів, які забезпечують високий ступінь очищення при низьких енергозатратах [5,6].

Електрохімічні методи: електрокоагуляція та електродіаліз набирають популярності завдяки можливості вилучення важких металів у вигляді осаду [7,8]. Ці методи особливо ефективні для очищення вод від іонів міді, свинцю, кадмію та інших металів. Сучасні розробки концентруються на використанні електродів із нових матеріалів, наприклад, зі сплавів або графенових композицій.

Біологічне очищення: використання мікроорганізмів, грибів і рослин для очищення води від металів є перспективним напрямком. Фітотехнології, такі як використання водоростей і плаваючих рослин (наприклад, очерету або качатника), можуть поглинати метали з води. Методи біоочищення також досліджуються для біоремедіації ґрунтів та річкових басейнів.

Фотокаталітичне очищення: у цій технології використовуються наночастинки оксиду титану ( $\text{TiO}_2$ ) або інших фотокаталізаторів, які активуються під дією світла і розщеплюють забруднювачі. Це один із найбільш перспективних методів, який має потенціал для безперервного очищення в умовах сонячного освітлення.

Іонний обмін: іонообмінні смоли дозволяють вилучати важкі метали, замінюючи їх на нешкідливі іони. Сучасні смоли виготовляються з модифікованих матеріалів, що забезпечує вищу селективність та довговічність їхнього використання.

Більшість з цих методів вимагають значних капіталовкладень для встановлення обладнання та його обслуговування.

Окрім того, значна частина методів призводять до утворення шламів та інших відходів, які потребують подальшої безпечної утилізації.

Деякі технології менш ефективні для видалення металів у дуже низьких концентраціях, а вони все одно можуть завдати шкоди екосистемам.

Таким чином, найбільш перспективними є інновації в галузі нанотехнологій, біотехнологій та відновлюваних матеріалів дозволяють удосконалювати існуючі методи, знижувати їх вартість і підвищувати ефективність. Також інтеграція різних методів в одну систему очищення (наприклад, адсорбція + мембранне фільтрування) дозволяє досягти комплексного видалення забруднювачів із мінімальними енергозатратами.

Очищення стічних вод від іонів металів можуть включати огляд ефективності різних технологій, їхні переваги, недоліки та перспективи застосування. Тому варто акцентувати увагу на таких ключових моментах:

1. Ефективність методів очищення.
2. Мембранні технології.
3. Електрохімічні методи

Адсорбція показала високі результати у видаленні іонів важких металів, особливо з використанням нових наноматеріалів, таких як нанопористі адсорбенти чи модифіковані вуглецеві матеріали. Наприклад, біосорбенти, зокрема із відходів біомаси, показали значний потенціал для низьковартісного очищення.

Мембранні технології забезпечують високий ступінь очищення (до 99%) завдяки використанню зворотного осмосу або нанофільтрації. Однак основним обмеженням залишається їхня висока вартість та потреба в енергії, що може бути економічно обтяжливим для багатьох підприємств.

Електрохімічні методи (наприклад, електрокоагуляція) дозволяють ефективно видаляти метали і навіть знижувати загальний вміст твердих часток у воді. Результати показали, що цей метод особливо добре працює з іонами міді та свинцю, проте може бути менш ефективним при очищенні від інших металів.

Екологічність та утилізація відходів – наприклад - адсорбція біосорбентами є екологічно чистим методом, проте потребує досліджень щодо подальшої утилізації відпрацьованих адсорбентів, насичених важкими металами.

Складністю застосування в різних умовах відрізняються мембранні та електрохімічні методи показали відмінні результати в лабораторних умовах, але в

реальних умовах вони можуть вимагати адаптації залежно від складу стічних вод, температури, концентрації забруднень тощо.

Порівняльний аналіз вартості та ефективності показує, що методи на основі адсорбції є відносно дешевими, однак потребують великих площ для обладнання та регулярного обслуговування. Мембранні технології та електрохімічні методи забезпечують високу ефективність при видаленні важких металів, але потребують вищих інвестицій на початковому етапі.

Розвиток комбінованих технологій (наприклад, адсорбція + мембранне фільтрування) може забезпечити вищу економічну ефективність у промислових масштабах.

Таким чином, для реальних умов доцільним є застосування комбінованих систем очищення, де адсорбція використовується як попереднє очищення, а мембранні технології – як кінцевий етап. Такий підхід дозволить досягти найкращих результатів за відносно низької вартості.

Розглянемо перспективи очищення стічних вод на прикладі вилучення іонів цинку методом сорбції. Можлива десорбція та їх повторне використання є найважливішою характеристикою сорбентів. Можливість десорбції металу з аналізованого сорбенту використанням гарячої води (70°C), розчину соляної кислоти (концентрована, розведення 1 : 1,5, 1 : 2,2, 1 : 4,8). Наважку сорбенту (0,5 г), насичену по цинку (40 мг/г) струшували з 30 мл десорбуючого розчину (Таблиця).

Таблиця 1 Ступінь вилучення іонів Zn від співвідношення речовин, які десорбують.

№	Розчин, який десорбує	C <sub>Zn</sub> в отриманому розчині	Кількість вилученого Zn	Ступінь вилучення, %
1	H <sub>2</sub> O(70°)	0,21	3,7	36,5
2	HCl (конц.)	0,39	7,5	76,1
3	HCl ( 1 : 1,5)	0,325	6,4	65,3
4	HCl ( 1 : 2,2)	0,271	5,3	54,7
5	HCl ( 1 : 4.8)	0,253	5,1	50,9

Мікроорганізми – бактерії, дріжджі відіграють валиву роль в біологічному очищенню води від іонів важких металів. Відомий спосіб мікробіологічної очистки стічних вод промислових підприємств від іонів важких металів – цинку, кадмію та свинцю - згідно з яким мікробіологічне очищення стічних вод здійснюється з використанням різних бактерій в якості мікробіологічного реагенту. Початкова концентрація металу 25 мг/дм<sup>3</sup>, а залишкова - 0,4-2,2 мг/дм<sup>3</sup>, в зазначеній воді обробляється семи штамами бактерій, що належать до умовно-патогенних мікроорганізмів. Можливе зменшення кількості штамів мікроорганізмів з семи до одного непатогенного.

Також перспективним є подальше вивчення біологічних методів очищення, які обіцяють високу ефективність при відсутності хімічного забруднення і мінімальних витратах. Водночас розвиток біосорбентів та наноматеріалів є перспективним напрямком для підвищення екологічної безпеки та ефективності.

**Висновки.** Очищення стічних вод від важких металів – це один з ключових етапів захисту навколишнього середовища та здоров'я людини. Аналіз і випробування різних технологій демонструють що сучасні методи, такі як адсорбція,

мембранні технології, електрохімічне очищення та біологічні підходи, є перспективними та здатні ефективно видаляти важкі метали з промислових стічних вод.

Впровадження безстічних виробництв на основі ресурсозберігаючих технологій, у тому числі заснованих на безводних технологічних процесах може бути радикальним вирішенням проблеми може бути тільки. В удосконаленні водного господарства промислових підприємств України цей напрям є основним. Використання методів очищення визначається переважно економічними чинниками.

#### **Список літературних джерел**

1. Ямалова Ю.А., Жолдибаєв А.Е. Методи очищення стічних вод в промисловості./ К., 2019. 308с.

2. Auta M. Modified mesoporous clay adsorbent for adsorption isotherm and kinetics of methylene blue. *Chemical Engineering*, 2012. №198(199). P. 219-227.

3. Ковальчук, І.В.. Адсорбційні методи очищення води від іонів важких металів з використанням біосорбентів./ Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ, 2019.

4. Петрук В.Г., Северин Л.І. Васильківський І.В., Безвозюк І.І. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2: Методи очищення стічних вод./ Вінниця, 2014, 380 с.

5. Kuzevanova I. S., Zulfigarov A. O., Vlasenko N. E., Kovalenko I. V. Analysis of environmental changes affecting the valence of ni in coordination compounds with diethanolamine in nonaqueous solvents // Book of abstracts VI International (XVI Ukrainian) scientific conference for students and young scientists «Current chemical problems». - Vinnytsia, March 21–23, 2023. - p.31. [https:// hps.donnu.edu.ua/archive](https://hps.donnu.edu.ua/archive)

6. Zulfigarov A.O., Kuzevanova I.S., Vlasenko N.E., Kovalenko I.V. Application of a bipolar electrolyser for cobalt coating // тези доповідей XXIV Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні проблеми хімії». – Київ, 17-19 травня 2023 р. – с.52. <https://conf.chem.knu.ua/>

7.Іванова Н.Д., Герасимчук А.І., Власенко Н.Є. Кінетика процесу електроекстрації Си (II) з розбавлених розчинів електролітів з використанням біполярного електрода. *ЖПХ* 2002 75(7) С. 1096-1098.

8. Тригубець Б.О., Власенко Н.Є., Коваленко І.В. Кінетика процесу електролізу водопровідної води. II Міжнародна науково – практична конференція «Priority directions of science development» Львів, 25-26 листопада 2019. С. 123-125.



## **INTEGRATING ENVIRONMENTAL EDUCATION INTO A GENRE-BASED ENGLISH FOREIGN LANGUAGE WRITING CLASS**

**Y.V. Pomogaibo**

Separate Structural Subdivision

“Shostka Vocational College Named after Ivan Kozhedub

of Sumy State University”

[metod.vid@htcolledge.sumdu.edu.ua](mailto:metod.vid@htcolledge.sumdu.edu.ua)

Many fields of study are increasingly promoting awareness of the need to protect the ecosystem by thinking and acting “green,” the concept of environmental education actually has a long history.

Considering the ambitious objectives of environmental education, increasing students’ awareness of environmental problems and possible solutions is a challenging task. This article suggests practical activities for integrating environmental education into English language teaching (ELT) based on the experiences of different authors, who added environmentally related elements to an English as a foreign language (EFL) writing class. Since the general EFL teaching and learning process in our context applies the genre-based approach (GBA), this article also discusses how environmental issues can be incorporated using that approach, especially for teaching the productive skills.

With the number of challenges facing our planet, it is critical to raise students’ environmental awareness and teach them environmental values. Connecting environmental concerns with language instruction (1) increases students’ interest in significant current issues, (2) educates them on how to make the planet more healthy, and (3) offers real contexts for language learning and authentic interaction.

Because environmental awareness has increased all over the world, there is a wider availability of appropriate materials, and environmentally themed topics are found in numerous resources.

The genre-based approach and the teaching of writing

The GBA gained popularity in the 1980s, when it was realized that students would benefit from studying various text types. The approach originated in response to dissatisfaction with the practices of previous writing approaches that focused on narrative genres and mostly overlooked other types of writing. The GBA offers students explicit and systematic explanations of the ways language functions in social contexts and helps them to consider the forces outside the individual that help guide purposes, establish relationships, and ultimately shape writing. In other words, the GBA reveals the strong association between aspects of language forms and functions, which are essential in teaching writing. Additionally, it enables students to develop flexible thinking and observe the way ideas are organized.

The GBA to teaching writing thus equips students with explicit knowledge of how genres of texts are organized and why they are created that way. Students learn that genres have special communicative functions, and the subject matter and writing style, as well as the introduction, body, and conclusion of a text, are guided by a particular genre. In our context, genres are taught in a four-stage procedure with different learning objectives and activities for each stage. This allows students to gradually achieve independent control of a particular text type. The step-by-step procedural activities of teaching writing using the GBA are described in detail below.

#### Stage 1: Building knowledge of the field

The purpose of this stage is to activate students' schema, or background knowledge, which is essential for them to understand the topic. To reinforce schema activation, teachers encourage idea sharing about the topic so that later students will be ready to write about it. To orient students to general text features, vocabulary, and social and situational contexts, teachers ask leading questions or provide students with information by using aids such as pictures, movie excerpts, slides, or webpages. Some vocabulary related to the topic is also introduced and discussed in this stage.

#### Stage 2: Modeling of the text

This stage is intended for students to explore a genre through the presentation of a model text, which can be created or found in various places, such as brochures, fliers, newspapers, magazines, and webpages. Teachers help students investigate the text type and its features, covering the social function, the generic structure, and linguistic features. Teachers also ask students about the audience of the model text. Awareness of the text style and format during the modeling stage provides students with input about the organization of the type of text that they are going to write – and what to expect when they encounter other examples of the same text type later on. Student–student and teacher–student conferences can be conducted to identify the generic structure and grammatical features found in the text. Understanding the overall structure of the text goes a long way toward helping students construct their own texts later on.

#### Stage 3: Joint construction of the text

This stage involves students constructing an example of the genre in pairs or small groups. The philosophy behind this pedagogical activity is based on Vygotsky's (1978) concept of zone of proximal development, which is the stage of learning where students can acquire new knowledge only with assistance and social interaction with the teacher. Therefore, teachers scaffold or provide help for students, particularly at the beginning phase of learning a genre where teachers need to intervene to help students map out the model texts. When students begin to contribute to the construction of the text more independently, the teachers gradually reduce the help they offer.

#### Stage 4: Independent construction of a text

In this stage, students draft and present an entire text. Working independently on the construction of a text explicitly encourages creative exploitation of the genre and its possibilities.

The following sections illustrate how to apply these four stages of the GBA to teach environmental themes in the descriptive, narrative, and procedure genres.

#### Teaching descriptive writing

In descriptive text, students should be able to describe something or someone through the exploitation of their senses, and they need to become quite familiar with the object that they are going to describe. To help them, the teacher explores objects within the school context, home context, or the surrounding area, and students describe an object and relate it to environmental concerns.

#### Stage 1: Building knowledge

To begin, the teacher brings a picture of a tree in the school yard or has the students look out the window at one. The teacher asks general questions about the tree, such as what the name of the tree is, whether the students are familiar with that kind of tree, and where it is usually found. Further questions about details build on the students' knowledge, such as the approximate height and diameter of the tree, parts of the tree, the color of the tree, and the fruit (if any). In terms of raising students' environmental awareness, it is essential

to discuss the tree's benefits for humans and animals, and to ask thought-provoking questions such as how the immediate environment would be affected if the tree were cut down. In this question-and-answer session, the teacher writes on the board related vocabulary that will be useful when students describe the tree later on. The teacher can also use semantic webs or graphic organizers to help students classify the vocabulary.

#### Stage 2: Modeling

In the modeling stage, the teacher shows a model text to the students and asks them to read it individually before working in groups to analyze the text in terms of purpose, generic structure, and linguistic features. Students are given a chart to fill out to help them keep track of these features. It is ideal if the model text relates to the description of the tree or other object presented earlier in order for students to see the vocabulary in use, which means that teachers might need to create the model text themselves.

#### Stage 3: Joint construction

After the modeling stage, the teacher presents a picture of another tree in a different location. Then students work in pairs and brainstorm ideas about this new tree, perhaps by using semantic webs or graphic organizers. The teacher supports students by giving them a guided writing activity sheet on which they write down the generic structure of the text – that is, the identification and the description sections. To add a sense of environmental awareness, the teacher also provides space for students to fill in their feelings about the tree, describe ways they think the tree is useful, or suggest what should be done to keep it standing strong. Next, students use the writing activity sheet to draft their composition. The length of the draft will depend on students' ability. Drafts are reviewed by teachers or by peers; reviewers particularly focus on checking to see whether the drafts include (1) features of the description genre and (2) details about the importance of the tree in the environment.

#### Stage 4: Independent construction

The independent construction stage is the most interesting part of teaching description and relating it to environmental education. Either as groups or individuals, students go outside and observe their school environment. This can be done during class and takes 10 minutes or more. Students receive a list of objects that they can select within their school environment – one of the trees in the school yard, flowers in pots, flowers in the school garden, fish in a pond, waste bins, and so on. Students write down important information, such as the name of the object or place to be described, reasons for choosing it, details they noticed, the relationship of the object to other things near it, and benefits to humans and animals. If they like, students can take pictures to help them describe the selected object. Later, back in the classroom, the writing process continues, as students brainstorm ideas and vocabulary, draft, review, and revise. In the end, teachers ask students to revise their composition in pairs and publish it in a class magazine or on their own social media site.

A similar activity, which can also take place in the independent construction stage, is an outside-school observation. Teachers assign students to observe their surrounding environment, such as their home or neighborhood. Students are equipped with the following lists:

- common and easily found things that they can describe, such as a gutter full of rubbish, butterflies flying around a blooming flower, a full waste bin in the kitchen, a clean yard, a dirty yard, a small river nearby, or a wilted plant or flower;
- questions about the object or place they are going to describe (e.g., What is the name of the object? Why did you choose the object? What does the object look/smell/feel like? How does the object benefit or harm humans, animals, or plants?)

Whether students do their observing at the school or somewhere else, they will develop awareness of problems and recognize the need to take an active role in protecting the environment. Students are encouraged to write and share their descriptions electronically, on posters, or by reading to the class or in groups, and the class can hold a follow-up discussion in which students consider questions such as:

- What did you learn from this activity?
- What did you notice that you never noticed before?
- What things did you observe that you like and would like to see preserved or strengthened?
- What things did you observe that you do not like, or that are harmful, and would like to see reduced or eliminated?
- What can you do, or what can we do as a class, a school, and a community, to help?

#### Teaching narrative writing

Before students are asked to write a narrative text, they should be immersed with examples. The texts chosen should not be difficult in terms of grammar and vocabulary. For example, children's storybooks that are rich with environmental themes are appropriate for teaching narrative writing.

#### Stage 1: Building knowledge

To take advantage of background knowledge, the teacher provides a text or plays a short video or excerpt from a movie (not more than a few minutes). The book or movie should relate to an environmental topic. Some videos found on the Internet A question-and-answer session then follows, with students exchanging opinions about the setting, characters, conflicts, moral issues, and environmental themes.

#### Stage 2: Modeling

If students have watched a video, it is best to use the same story to model the narrative text. Teachers might even create their own story based on the movie. This approach is beneficial in certain ways. First, the language used in the model text can be adjusted to the students' level; second, teachers can use their language and imagination in creating the story. Teachers guide students in investigating the generic structure of the text – the orientation, complication(s) or conflict, sequence of events, and resolution –as well as language features of the text, such as vocabulary, the use of verb tenses, phrases used to connect events and show relationships, and the dialogue and behavior that develop actions and characters. Teachers work with students to identify these characteristics, and students create and display charts or lists that show these features.

#### Stage 3: Joint construction

In the joint construction stage, the teacher and students work together to construct texts in the narrative genre through group writing with the help of a picture series or a short movie. Pairs or groups brainstorm environmental themes they would like to emphasize before they write their stories.

#### Stage 4: Independent construction

Finally, in the independent construction stage, students choose their own environmental theme and then write a story that illustrates that theme. Sample stories with environmental themes might be based on:

- a fish that lives in a dirty pond, told from the fish's point of view;
- a baby bird that has fallen from a tree because someone has cut down the tree;
- a boy who saves a floating kitten from a flooding sewer;
- a girl who feeds a hungry cat that she found in a dark alley.

There are many more appropriate scenarios that teachers can suggest; as an alternative, students can come up with their own themes. As the list suggests, it is fine to let students explore using different points of view (not necessarily their own) to imagine what it is like to be an animal or plant in a certain situation. Teachers should not be demanding in telling students how many paragraphs they should write. After students go through the process of writing – including reviewing and revising – they read their text in front of the class or put it on a wall in the classroom. Again, as with the descriptive texts, follow-up discussions focus on what students learned about the genre and what they noticed about the environment as the result of this activity.

#### Teaching procedure writing

A procedure is a clearly organized set of steps, the main purpose of which is to enable the reader or audience to follow instructions. For a reader to be able to replicate each step of the procedure, the writer needs to comprehend the entire set of steps clearly before writing. Better yet, the writer should experience the process itself before sharing it with the audience. Since experiencing is important for comprehension, teaching techniques for this type of text in the writing class include presentation and demonstration. With these techniques, students make predictions about the number of steps needed to complete the process, and they see that the steps are real and concrete. One way to incorporate environmental themes into the procedure-writing activity is to assign students to describe a process in which materials can be recycled in a useful way.

#### Stage 1: Building knowledge

Presentation and demonstration provide students with adequate background knowledge that can later trigger better comprehension. In the building-knowledge stage, teachers present products from recycled materials either in the classroom or on a screen. Examples of such products are food covers made from plastic bottles, tin flowers made from soft-drink cans, a stationery box made from a shoebox, and a money box made from soft-drink cans. Seeing these objects arouses students' curiosity. Teachers ask students what the objects are made of, where they can find the materials, and why the creators made the objects from those materials instead of buying new ones. Next, teachers show students how to make one of the products (or perhaps ask students if they know how to make one). This demonstration should not take too much time, so the product chosen should be a fairly simple one, such as bowling pins made from empty water bottles. If it is impossible to bring the real objects to class, the teacher can use a series of pictures, a wall chart, or a computer presentation.

#### Stage 2: Modeling

After the demonstration, it is ideal if the model text given to students and the product demonstration are based on the same process so that the students have a vivid connection between what is shown and what is written. The discussion of the model text can be done in pairs or in groups. The discussion should be about the generic structure of the procedure, such as the overall goal, the materials (what tools or items are needed to complete the process and how they are presented and described in the text), and the steps (the actions that must be taken and how they are explained). Teachers also help students investigate the language features that are typically used in the procedure genre, such as temporal conjunctions, action verbs, imperative sentences, and the present tense. During the classroom discussion of the model text, teachers refer to the demonstration presented earlier.

### Stage 3: Joint construction

During the joint construction stage, students list things that they see around them and generate ideas about different ways to use those things. Students then select the one best idea to develop into a composition. They construct the text together with peers, while the teacher moves around the class and checks the students' progress to support their learning.

### Stage 4: Independent construction

In this stage, individuals write their own procedural composition. For example, the teacher assigns a writing project by asking students to look around their homes at unused things and to think of other uses for those items. Students then choose one idea and describe the procedure involved. Once the process of writing is finished, students share their writing with the class. A follow-up discussion again focuses on both the features of the procedure genre and the environmental lessons that the students have become aware of during the activity.

There are several ways to publish the students' compositions. Presenting the composition orally by demonstrating each step of the procedure with the help of the chosen media (e.g., pictures, a short video, actual objects) allows other students to ask questions and presenters to answer. Students' work can also be written on a big piece of paper and hung on the classroom wall, in which case groups of students take turns presenting their procedures to other groups. If the texts are posted on a class blog, other students can then react, pose questions, or comment on the clarity of the steps, the creativity of the idea, and the environmental impact of the procedure described.

### Conclusion

The activities described in this article connect students to life beyond classes, making them aware of the challenges of real life, including environmental issues. Learning a language does not mean only learning its structure; it also means learning how to use it to communicate and deliver messages to other people. Thus, it is enriching to have students use the language while they explore life outside the classroom, learn from the world, improve their awareness of the environment, and participate in protecting it. The genre-based approach is a tool to help students master the language, to enable them to broaden their knowledge about the world, and to allow them to express their opinions about environmental problems and ways to solve them. Having an optimistic view for a better world enables us to have many reasons to keep trying to empower the younger generation to brighten the shades of green to come.

### Bibliography

1. Ann I. Genre in the Classroom: Multiple Perspective / I. Ann. – New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2002. – 358 p.
2. Hyland K. Teaching and Researching Writing / K. Hyland. – New York: Routledge, 2022. – 382 p.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ  
ЗА РАХУНОК ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ  
І.В. Перемітько<sup>1</sup>, В.А. Потаскалов<sup>1</sup>, Н.Є. Власенко<sup>1</sup>, І.В. Коваленко<sup>1</sup>,  
Я.М. Черненко<sup>2</sup>, Н.О. Непошивайленко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Фаховий коледж харчових технологій та підприємництва Дніпровського  
державного технічного університету

<sup>3</sup>Дніпровський державний технічний університет, Україна  
[peremitkoilla@gmail.com](mailto:peremitkoilla@gmail.com)

Мета роботи: огляд існуючих проблем водних ресурсів України, основних завдань (вирішених та актуальних) такого подання ситуації та шляхи їх вирішення за рахунок електрохімічного контролю якості води. Порівняння хімічних та економічних показників. Вивчення перспективи використання електрохімічного контролю якості води.

Об'єкт дослідження: Відображення відомостей про водні ресурси та очищення промислових стоків. Дослідження перспектив електрохімічного контролю якості води. Порівняння властивостей з метою виявлення якісних і кількісних відмінностей. Узагальнення отриманих результатів.

Предмет дослідження: основні характеристики та проблеми водних ресурсів та шляхи їх вирішення за рахунок електрохімічного контролю якості води.

Сьогодні проблема забруднення водних ресурсів досить актуальна у зв'язку з тривалим зростанням антропогенного навантаження на природне середовище. Без доступної питної води не можливо уявити життя у сучасному світі. На колір, запах і присмак води, впливають неочищені стічні води промислових виробництв, які також порушують кислотно-лужний баланс середовища [1]. При попаданні в річки і озера нафтопродукти, рослинні і тваринні жири утворюють на поверхнях водойм плівку, яка перешкоджає збагаченню води киснем. Нафтопродукти та різні види металів і хімікатів є найпоширенішими забруднювачами стічних вод. Для вирішення цієї проблеми використовуються різні методи очищення [2, 3]. Значна забрудненість водних ресурсів токсичними речовинами вимагає планування шляхів по зменшенню екологічного ризику. Важкі метали відносяться до однієї з найбільш небезпечних груп речовин, що забруднюють навколишнє середовище. Гальванічні виробництва щорічно скидають неочищені або недостатньо очищені стічні води (до 80%) у річки, озера та інші поверхневі водойми, завдаючи істотної шкоди.

На 60 % водні ресурси нашої країни формуються з річок. Близько 64 тис. річок із загальною довжиною близько 205 тис. км, з них близько 3 тис. понад 10 км завдовжки, 115 – понад 101 км протікає територією України. В сучасному світі актуальною проблемою є раціональне використання водних ресурсів.

До найважливіших проблем річок України належить:

Замулення. Виникає внаслідок розорювання заплав і вирубування лісових смуг.

Процес достатньо складний, обумовлений, з одного боку, змивом ґрунту з залишками тваринних і рослинних організмів, які не розклалися, з площі водозбору водойми, а з іншого боку, залишками водних рослин і тварин, які розвивалися і відмерли у самій водоймі, і по-третє – життєдіяльністю аеробних бактерій (вони населяють активний шар мулу). Ці процеси характеризують відповідну якість та консистенцію мулу. Швидкість замулювання залежить від складу ґрунту, його топографічних і фізичних особливостей.

Забруднення тваринницькими комплексами. Забруднення навколишнього середовища багато в чому залежить від виду господарських тварин, їх чисельності, якості та кількості кормів, росту, маси та статі тварин, напряму тваринництва, способу тваринництва.

Створення на берегах річок звалищ.

Забруднення річок промисловими та побутовими стоками, великою кількістю хімічних добрив і промислових стоків. [1-6].

Слід звернути увагу на те, що ще 15...20 років тому, ці проблеми стосувалися виключно малих річок, а зараз це проблема вже і великих.

Міські стічні води характеризуються відносною стабільністю якісного складу (скорочення обсягів стічних вод, які поступають на очисні споруди, веде до скорочення вдвічі фактичної потужності станції), але спостерігається нерівномірність надходження впродовж доби, що негативно позначається на роботі очисних споруд і якості очищених стоків.

В нічний час - вкрай низька швидкість, а пікова подача приходиться на 7 та 19 годину доби. Подача стічних вод: в нічний час - 450 м<sup>3</sup>/год., в ранковий час - 950 м<sup>3</sup>/год. – нерівномірна, тому ефективність роботи очисних споруд знижується. Для усунення таких недоліків в роботі очисних споруд необхідно розглянути можливість впровадження замкненого циклу, тобто повернення очищеної води за рахунок будівництва найбільш досконалих очисних споруд чи реконструкції діючих з урахуванням жорсткого контролю показників якості стічних вод. Тому пропонується використання електрохімічного контролю якості води.

Доцільно зробити аналіз результатів експериментів електричних вимірювань та отриманих залежностей складу та ступенів окислення складників модельних рідин та реальних об'єктів рідинної продукції і довкілля від їх споживчих властивостей.

Активна реакція водних систем знаходиться у взаємозв'язку з процесами окислення-відновлення, що включає як можливу стадію переходу електронів від одної групи часточок до іншої [7]. Процес перегрупування електронів за валентними станами часточок продовжується до тих пір, доки не встановлюється динамічна рівновага, що відповідає певному окислювально-відновлювальному потенціалу – E<sub>h</sub>. Тому характеристику редокс - системи можна отримати на базі відношення молярних або іонних концентрацій окисної і закисної форм будь-якої речовини, що знаходиться у воді, та доречно провести порівняння властивостей з метою виявлення якісних і кількісних відмінностей. (Табл. 1).



Таблиця 1. Порівняльні характеристики переваг та недоліків електрохімічного контролю якості води.

Переваги	Недоліки
Визначення якісного і кількісного складу природних і стічних вод	Тільки при бінарних досліджених розчинах. Метод низько селективний
Реагентне очищення води до необхідного складу при низьких затратах електроенергії і простоті технологічних операцій	Ускладнення іонно-молекулярного складу. Трудомісткість обслуговування
Безреагентне очищення води до необхідного складу при специфічних впливах електричного струму (бактерицидний вплив, коагуляція тощо). Виключення додаткової мінералізації води, так як речовини для зміни електричних характеристик безпосередньо утримуються з води і її домішок	Виділення вибухо - небезпечних газів. Високі витрати електроенергії.
Швидке визначення властивостей об'єктів кваліметрії	Метод малоселективний. При контролюванні вимагає еталонних досліджень.
Можливість покращання якості органічних харчових продуктів (термін придатності) без використання консервантів	При реагентному регулюванні показників призводить до зміни складу об'єкту на відміну від безреагентного
Реагентним і безреагентним регулюванням значень зберігаються якісні властивості лікувальних природних вод при транспортуванні і зберіганні	При наявності значних теоретичних досягнень у аналітичних дослідженнях, відсутність досліджень з реальними об'єктами з причини економічної незацікавленості

Зміна рН обумовлена розрядом молекул води на електродах [8], а  $E_h$  – розрядом іонів, що присутні у воді або за рахунок продуктів розчинення анодів. Важлива особливість і практична цінність електрохімічних процесів при зміні  $E_h$  і рН – це можливість створити ці процеси як на межі розчин-електрод (катод і анод), так і в об'ємі розчину (об'єкт кваліметрії) за рахунок утворених продуктів електрохімічної реакції.

Напрямок протікання цих процесів визначається: електричними параметрами електролізу, конструкцією електрореактора, матеріалом електродів. Значення  $E_h$  і рН впливають на різні фізико-хімічні і біохімічні процеси. Так у процесі окислення, відновлення, дисоціації або комплексоутворення регулюванням  $E_h$  і рН можна змінити потенціал, направлення і швидкість хімічної реакції, окислювально-відновну активність речовини у розчині, міцність комплексних сполук, при біохімічному очищуванні води – гальмувати або прискорювати активність ферментів мікробної клітини тощо.

Висновки. Результати досліджень підтверджують залежність складу (елементний та ступінь окислення) рідини від її електричних властивостей (рН, Eh). Використання електрохімічного контролю якості води є доречним та перспективним.

#### **Список літературних джерел**

1. Проблема цвітіння води в Україні. [Електронний ресурс]:Режим доступу: [https://uhe.gov.ua/media\\_tsentr/novyny/problema-cvitinnya-vodi-v-ukraini-yak-ii-virishiti](https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/problema-cvitinnya-vodi-v-ukraini-yak-ii-virishiti)

2. Чому цвіте вода у водоймах. [Електронний ресурс]:Режим доступу: <http://deisumy.gov.ua/?p=1802>

3. Методи очищення стічних вод та їх вплив на водойми [Електронний ресурс]:Режим доступу: <http://deisumy.gov.ua/?p=2858>

4. Волошин М.Д., Щербак О.Л., Черненко Я.М., Корнієнко І.М. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод.- Дніпродзержинськ, 2009.-230 с.

5. The Impedance Measurement Handbook. A Guide to Measurement Technology and Techniques. Agilent Technologies [Text]. – Inc. Printed in USA, 2006. – P. 5950–3000.

6. Міхалева, М. Нові гідробіологічні показники якості питної води як харчового продукту номер один / М. Міхалева, Н. Обуховська // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2010. – № 71. – С. 148–152.

7. Тарасенко Н.В., Бурдулі Д.В., Власенко Н.Є. Вилучення металів зі стічних вод промислового виробництва./ VIII Всеукраїнська науково – практична конференція. «Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку» (збірник статей та тез) Харків. 2019 с. 60-65.

8. Тригубець Б.О., Власенко Н.Є. Кінетичні характеристики очищення водопровідної води методом електролізу. XXI Міжнародна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених «Сучасні проблеми хімії» 20-22 травня 2020 м. Київ с.129.

## РОЗВИТОК НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГУМИ

**Ю.В. Гаврилук, К.М. Сухий, Н.М. Євдокименко**

Український державний університет науки і технологій

Науково-навчальний інститут

«Український державний хіміко-технологічний університет»

yuragavriluk@gmail.com

Гума – унікальний штучний матеріал конструкційного призначення. Здатність гуми високоефективно розсіювати механічну енергію, гасити поштовхи створила умови для різкого зростання ефективності транспортних засобів, забезпечила підвищення їх працездатності.

Науковий метод дослідження процесів синтезу матеріалів конструкційного призначення, перш за все, гуми має свої особливості: на відміну від інших об'єктів дослідження, при розробці нових гум, порівнюють матеріали з найвищим рівнем деформаційно-міцнісних властивостей. Для гуми притаманні властивості різної природи: міцність (потенційна природа) та здатність гасити поштовхи (кінетична природа). Фізика твердого тіла такі об'єкти визначає як матричні структури, отже, рівень властивостей гуми визначається параметрами геометричної фазової морфології (розмір часток гетерофази, вміст гетерофази, властивості гетерофази та дисперсійного середовища) [1-7].

Сучасна парадигма сталого розвитку – це концепція, яка передбачає збалансований розвиток суспільства з урахування економічних, соціальних та екологічних аспектів. Основна мета сталого розвитку – забезпечити потреби сучасного покоління без загрози для можливостей майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби [8].

Ключові принципи сталого розвитку:

«Економічна стійкість» – розвиток економіки повинен бути стабільним і довготривалим;

«Соціальна справедливість» – покращення умов життя ;

«Екологічна відповідальність» – збереження природних ресурсів, зменшення забруднення.

Ця концепція є основою для розробки Глобальних цілей сталого розвитку ООН, які включають 17 основних напрямів, спрямованих на різні аспекти розвитку людства до 2030 року.

Гума – унікальний матеріал конструкційного призначення з особливою архітектурою. Це – продукт хімічної взаємодії каучуку з різноманітними хімічно-активними інгредієнтами [9].

Основна вимога до гумовотехнічних виробів (ГТВ), які застосовуються у харчовому машинобудуванні – харчова безпека, тобто біологічна інертність (не токсичність) по відношенню до середовища, яке контактує з ГТВ. При цьому, аналіз вимог показує, що умови експлуатації ГТВ з біологічно інертних матеріалів настільки складні, що у ряді випадків суттєво перевищують рівень вимог, щодо безпеки їх експлуатації в інших галузях промисловості.

Виходячи з наведеного вище, створення нових біологічно-інертних матеріалів з новим комплексом властивостей шляхом регулювання морфології надзвичайно актуальна задача. Підвищення рівня працездатності ГТВ забезпечує «Економічну стійкість».

Розроблено біологічно інертні еластомерні композиції з новим комплексом властивостей (низькомодульні гуми на основі каучуку СКН-26 з високим рівнем працездатності) шляхом створення гетерогенної структури з мінімальним розміром часток гетерофази за конденсаційним механізмом [10].

Принципово новий підхід було застосовано при вирішенні задачі підвищення працездатності конусів доїльних апаратів до рівня кращих світових зразків при збереженні комфортних умов процесу доїння ( $f_{50} \leq 1.0 \text{ МПа}$ ).

Розробка низькомодульних гум з високим рівнем міцності принципова складна задача, тому що, між модулем і міцністю існує прямо пропорційна залежність: зменшення рівня міжмолекулярної взаємодії, з метою зниження рівня модуля, призведе до падіння рівня міцності.

Сформульовано сукупність основних ознак, які визначають принцип методу синтезу нових еластомерних композицій заданої морфології – максимальний рівень деформаційно-міцнісних властивостей реалізується при створенні гетерогенної структури з мінімальним розміром часток гетерофази, а їх об'ємна доля відповідає умовам геометричного фазового переходу рис.

Аналіз у задачах перколяції (рис.) дозволяє оцінити вплив морфологічної будови еластомерних композицій на рівень деформаційно-міцнісних властивостей, як імовірність геометричного фазового переходу, виходячи із умов пов'язаності [11-13].

На рис. 1 наведено приклади перколяційних конфігурацій геометричної фазової морфології (матрична структура), які характеризуються такими параметрами:

розмір часток гетерофази;

співвідношення елементів різної природи (потенційна та кінетична взаємодія);

заповнені квадрати моделюють елемент з високим рівнем міцності (потенційна взаємодія);

незаповнені квадрати моделюють елемент з високим рівнем здатності розсіювати механічну енергію (кінетична природа).

На рис. 1 за умови постійного розміру часток гетерофази ( $L=8$ ) фазовий перехід (утворення з'єднувального кластеру) спостерігаємо при утворенні часток гетерофази більше 0.3 об'ємної долі.

$$P_c = P^L$$

$P_c$  – ймовірність фазового переходу;

$P$  – частка зайнятих елементів на решітці;

$L$  – розмірність решітки;

Наведено приклади перколяційних конфігурацій (рис) для змінного розміру часток гетерофази ( $L = 2-16$ ) при постійному співвідношенні елементів ( $P = 0.2$ ).

Характер морфологічної будови гуми, що утворюється при модифікації бутадієн-нітрильного каучуку СКН-26 композиційними добавками вивчали методами світлорозсіювання, зворотної газової хроматографії, ІЧ-спектроскопії.

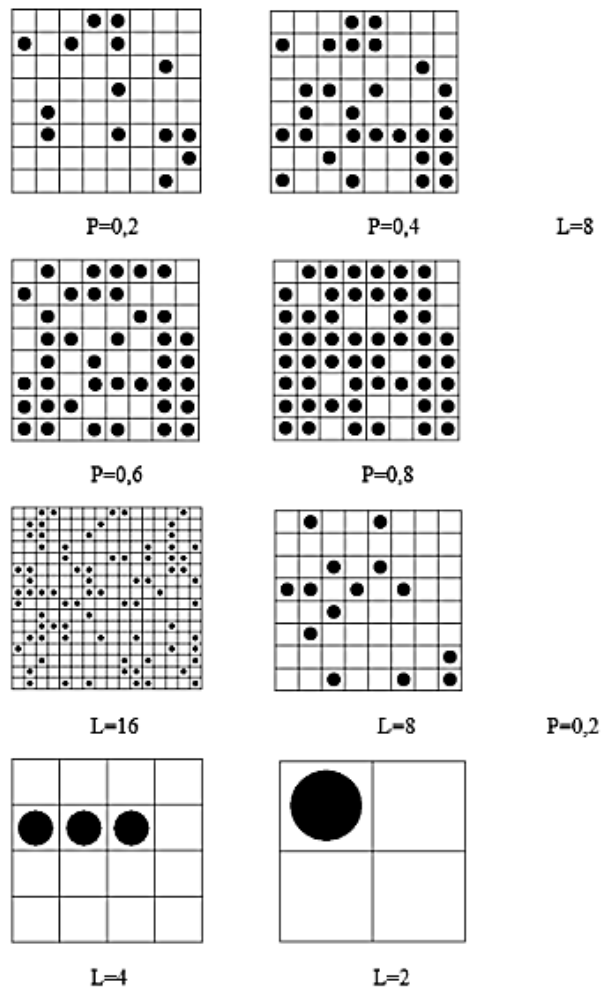


Рисунок 1 – Приклади перколяційних конфігурацій на квадратній решітці за різних значень  $P$  та  $L$  ( $P$  – частка зайнятих елементів на решітці;  $L$  – розмірність решітки)

Для модифікації каучуку СКН-26 вивчали композиційні добавки (суміш олігомерів), що різняться ступенем спорідненості та рівнем хімічної взаємодії з каучуком.

Вивчали біологічно інертні олігомери такої будови:

- олігоефіракрилат + олігосилан;
- олігоефіракрилат + олігосилоксан;
- олігодієн + олігосилан;
- олігодієн + олігосилоксан.

У всіх дослідях вводили 10 мас. часток добавки на 100 мас. часток каучуку, як для індивідуальних олігомерів, так і композиційної добавки з олігомерів. Співвідношення олігомерів змінювали від 10/0 до 0/10 з інтервалом 1.0 мас. частка.

Розроблено біологічно інертні гуми з високим рівнем експлуатаційних та токсикологічних характеристик на основі полімер-олігомерних систем з заданою морфологією.

Розроблено методику прогнозування властивостей гуми за параметрами геометричної фазової морфології, що дозволяє визначити функціональну дію

інгредієнтів. Уперше виявлено що гумова суміш містить структуроутворюючі інгредієнти: цинкові білила + стеаринова кислота (у співвідношенні 2.0 / 5.0 мас. часток).

Таким чином визначення структури складних об'єктів через функцію елементів геометричної фазової морфології забезпечує уникнути антиномію, створити нові гумові суміші, отже водночас вирішити всі завдання парадигми стійкого розвитку.

#### **Список літературних джерел**

1. Аксіментьєва, О. І. Перколяційні явища у полімерних композитах з провідними полімерними фільтрами / О.І. Аксіментьєва, Г.В. Мартинюк // *Physics and Chemistry of Solid State*. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 811–816. – DOI: 10.15330/pcss.22.4.811-816.

2. Анісімов В.В. Прогнозування властивостей лінійних блок-кополіуретанів на основі олігоестерів регулярної структури/ В.В. Анісімов, В.М. Анісімов // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2021. – № 4. – С. 4–10.

3. Ковалюк, Т.В. Алгоритмізація та програмування: Підручник / Т.В. Ковалюк // Львів : Магнолія 2006. – 2015. – 400с.

4. Неділько, С.А. Математичні методи в хімії: Підручник для студентів хімічних спеціальностей ВНЗ / С.А. Неділько // К.: Либідь. – 2005. – 256 с.

5. Кузяєв, І.М. Основи математичного моделювання процесів з переробки полімерних матеріалів / І.М. Кузяєв // Дніпро: ДВНЗ УДХТУ. – 2016. – 278 с.

6. Шаповаленко, В.А. Чисельне обчислення функцій, характеристик матриць і розв'язування нелінійних рівнянь та систем рівнянь: Навчальний посібник / В.А. Шаповаленко // Одеса: ВЦ ОНАЗ.– 2010.– Ч.1. – 88 с.

7. Бразинська, С.В. Комп'ютерна логіка: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С.В. Бразинська, Т.М. Дубовик // Дніпро: ДВНЗ УДХТУ.– 2019.– 127с.

8. Національна парадигма сталого розвитку України / ред. акад. НАН України, проф., заслуженого діяча науки і техніки України Б. Є. Патона. Вид. 2-ге // К.:Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України». – 2016. – 72с.

9. Овчаров, В.І. Оцінка можливості використання вторинної мінеральної сировини виробництва соняшникової олії у складах еластомерних композицій / В.І. Овчаров, Л.Р. Юсупова, Б.В. Мурашевич, М.В. Торопін // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2019.– №2. – С.99-105.

10. Большаков, В.И. Применение фрактального моделирования при оценке структуры и свойств металлов / В.И. Большаков, В.Н. Волчук, Ю.И. Дубров // *Металлознавство та термічна обробка металів*.– 2018.– № 2.– С. 50-55.

11. Дырда, В.И. Механика разрушения композитных материалов в контексте фрактального анализа / В.И. Дырда, М.А. Щелокова // *Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов*.– 2008.– Вып. 79.– С. 35-47.

12. Гаврилюк, Ю.В. Багатокомпонентні полімерні системи із заданою геометричною фазовою морфологією / Ю.В. Гаврилюк, К.М. Сухий, Н.М. Євдокименко // Міжнародна конф. з хімії, хімічної технології та екології. збірка тез доповідей. 26-29 вересня 2023 року.– К.– 2023.– 115-116 с.

13. Павленко, А.А. Вплив алюмосилікатних порожнистих мікросфер на властивості шинних гум / А.А. Павленко, Н.М. Євдокименко, Ю.В. Гаврилюк // *Технічні науки та технологія*.– 2021.– №3(25).– С. 59-68.

## КОАГУЛЯЦІЙНО-ФЛОКУЛЯЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ШКІРЯНИХ ВИРОБНИЦТВ

М.Є. Шляхова, Н.М. Толстопалова, Т.І. Обушенко, О.В. Сангінова

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

[shliakhova.marharyta@iit.kpi.ua](mailto:shliakhova.marharyta@iit.kpi.ua)

Вода є незамінною та цінною речовиною для всіх живих істот на планеті, оскільки вона необхідна для різних видів побутової, сільськогосподарської та промислової діяльності. Однак у водних об'єктах по всьому світу виявлено тисячі забруднюючих речовин, що виникають через неналежне поводження з відходами, особливо зі стічними водами. Це призводить до серйозних екологічних проблем і, врешті-решт, погіршує здоров'я людей. Однією з галузей, яка має значний вплив на навколишнє середовище, є шкіряна промисловість, оскільки вона споживає велику кількість води, що веде до утворення значних обсягів стічних вод.

Стічні води, що утворюються на шкіряних заводах, є одними з найнебезпечніших забруднювачів у промисловості. Стадія дублення є однією із ключових виробничих процесів, які викликають значне забруднення водних ресурсів. У цих галузях шкури тварин проходять через численні складні етапи переробки, що вимагає великої кількості води та використання різноманітних хімічних речовин, таких як вапно, сульфід натрію, сульфат амонію, хлорид натрію, бактерициди, рослинні таніни та хромові солі [1].

В процесі дублення утворюються стічні води, які зазвичай містять волосся, білки, кислоти, луги, хромові солі, сульфідиди, хлориди, таніни, розчинники, барвники, допоміжні речовини та інші сполуки, які виникають внаслідок неповної хімічної іммобілізації в шкіряних виробках під час багатоступеневого процесу дублення, що перетворює сире хутро або шкіру тварин на комерційні продукти [2; 3].

Складність і широкий спектр забруднюючих речовин у стічних водах шкіряного заводу є екологічною проблемою для очищення, і, незважаючи на розробку та застосування різних методів очищення, залишається невирішеною [4]. Сучасні методи очищення стічних вод шкіряного заводу поділяються на традиційні, біологічні та новітні методи. До традиційних методів відносяться такі як коагуляція/флокуляція, адсорбція. До новітніх методів відносять електрохімічну обробку, мембрану фільтрацію та просунутий процес окиснення. Біологічні методи висувають жорсткі вимоги до складу подібних стічних вод. Основні недоліки та переваги методів очищення стічних вод шкіряної промисловості показано в таблиці 1 [2].

Метою досліджень було виявлення можливості використання як хімічних коагулянтів/флокулянтів, так і біологічного походження.

Вихідна вода має такі характеристики: рН 4,5 – 7,0; загальний солевміст – до 15000 мг/дм<sup>3</sup>; мутність ~ 200 од. NTU.

На першому етапі досліджень визначали вплив дози коагулянту FeCl<sub>3</sub> та флокулянту П228 (отримується із відходів виробництв, розроблено кафедрою технології органічних речовин КІП ім. Ігоря Сікорського). Використовували метод пробної коагуляції на установці Джар-тест (JAR – test).

Таблиця 1 – Переваги та недоліки методів очищення стічних вод шкіряної промисловості

Метод	Переваги	Недоліки
Електро-хімічний	Ефективний, чистий, адаптивний, багатофункціональний, без додавання хімічних речовин або з незначним додаванням	Вимагає живлення, високі вимоги до матеріалів і форм електродів, значні витрати електроенергії
Біологічний	Легкий, адаптований, багатофункціональний	Вимагає багато часу, інгібування високою солоністю, утворення великої кількості мулу, нестабільною якістю стоків
Мембрана фільтрації	Адаптивний, легкий, багатофункціональний, місткий	Забруднення мембрани мулом, більше капіталовкладень у енергопостачання, коли пропускна здатність обробки велика
Новітні процеси окиснення	Ефективна, чиста, глибока деградація забруднюючих речовин	Вимагають додавання хімічних агентів, необхідно регулювати оптимальні умови реакції, токсичність побічних продуктів реакції потребує додаткової перевірки
Коагуляція/флокуляція	Недорога, багатофункціональна, адаптивна	Масивний мул, непридатний для великої продуктивності, потребує додаткових витрат енергії, не завжди досягається високий ступінь
Адсорбція	Недорогий, багатофункціональний, адаптивний метод	Мул містить велику кількість забруднюючих речовин і підлягає подальшій переробці, не підходить для великої продуктивності очищення

Об'єктом дослідження є процес коагуляційного/флокуляційного очищення стічних вод підприємств шкіряної промисловості.

Предметом дослідження є вплив параметрів процесу коагуляції/флокуляції на якість очищення стічних вод шкіряних підприємств.

Для проведення експерименту відбирали зразки реальних стічних вод різної концентрації. Розміщали зразки на установці NIVA(Норвегія), що дозволяє одночасно досліджувати 6 зразків. Розчин перемішували у швидкому режимі протягом 30 секунд після внесення коагулянту/флокулянту, а потім повільно перемішували протягом 10 хвилин, щоб відтворити умови, що спостерігаються в осадовому відстійнику.

Для оцінки ефективності процесу коагуляції обрані такі параметри: каламутність (NTU), оптична густина розчину (при  $\lambda = 400$  нм), солевміст (ppm).



Каламутність зразків води вимірювали за допомогою турбідиметра CyberScan WL TB1000 (США), а визначення кольору здійснювалося за допомогою спектрофотометра UV 1100 (Китай) відповідно до стандартних методик.

На рисунку 1 наведено вплив дози флокулянта П228 на зміну каламутності досліджуваної стічної води. На початковому етапі додавання флокулянту доза 0,5 мг/дм<sup>3</sup> призводить до збільшення каламутності, що зазвичай пов'язано з утворенням у розчині мостків із флокулянту-полімеру. Подальше збільшення дози до 2 мг/дм<sup>3</sup> сприяє поступовому зниженню каламутності розчину та досягає мінімального значення. Зі збільшенням дози флокулянту до 3,5 мг/дм<sup>3</sup> спостерігається неухильне збільшення мутності, що, звісно, є негативним явищем.

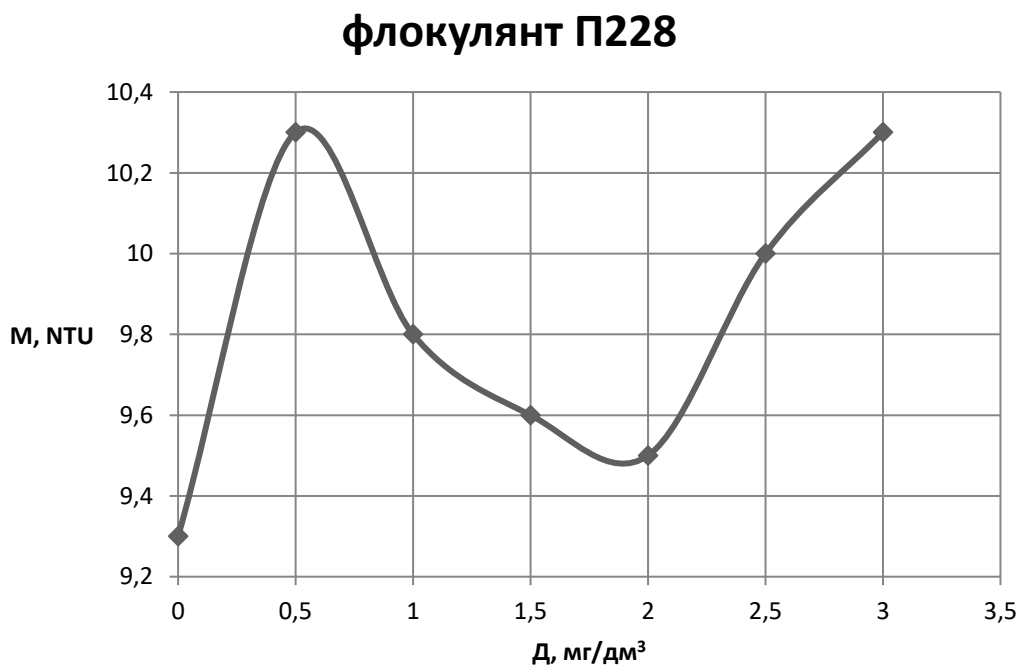


Рисунок 1 – Вплив дози флокулянта П228 на зміну каламутності досліджуваної стічної води

Далі вивчали вплив коагулянту на основі розчину FeCl<sub>3</sub>. На рисунку 2 наведено графічну залежність мутності розчину від дози коагулянту. Аналогічно з роботою флокулянту до певного значення дози коагулянту (33,3 мг/дм<sup>3</sup>) має місце явище зниження мутності з подальшим зростанням цього показника. Викликає інтерес поведінка в розчині при одночасній присутності коагулянту та флокулянту за умов досягнення мінімальної мутності.

На рисунку 3 наведено у графічному зображенні зміну каламутності для двох доз коагулянту (33,3; 50 мг/дм<sup>3</sup>) від дози флокулянту. За дози коагулянту 50 мг/дм<sup>3</sup> спостерігається зниження мутності води (доза флокулянту 3 мг/дм<sup>3</sup>), тоді як за менших доз коагулянту (33,3 мг/дм<sup>3</sup>) за таких же доз флокулянту – каламутність майже не змінюється.

### коагулянт FeCl<sub>3</sub>

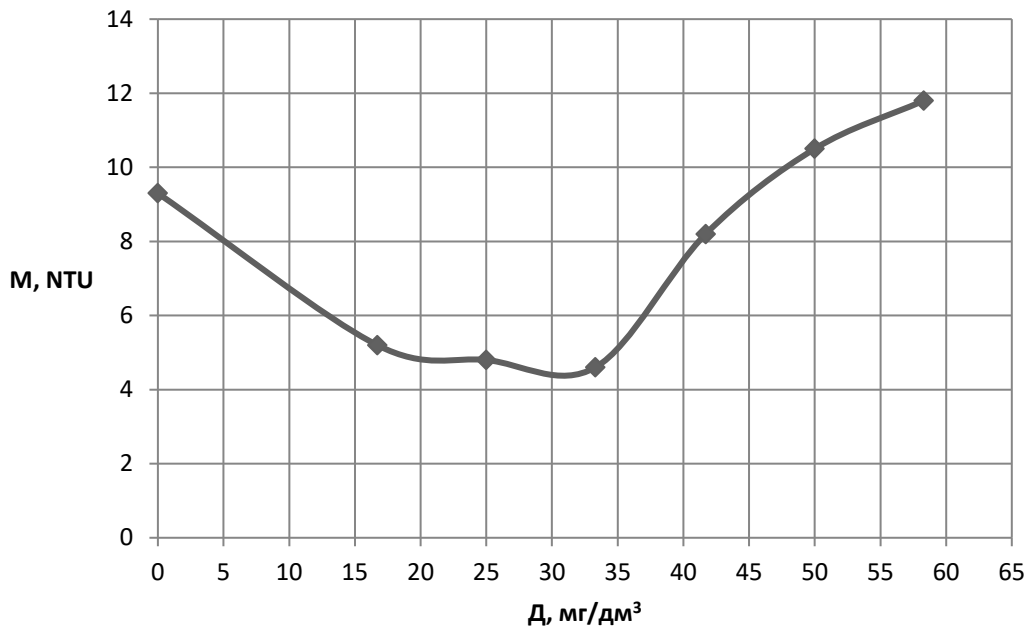


Рисунок 2 – Графічна залежність мутності розчину від дози коагулянту

### Коагулянт 33,3 і 50 мг/дм + флокулянт

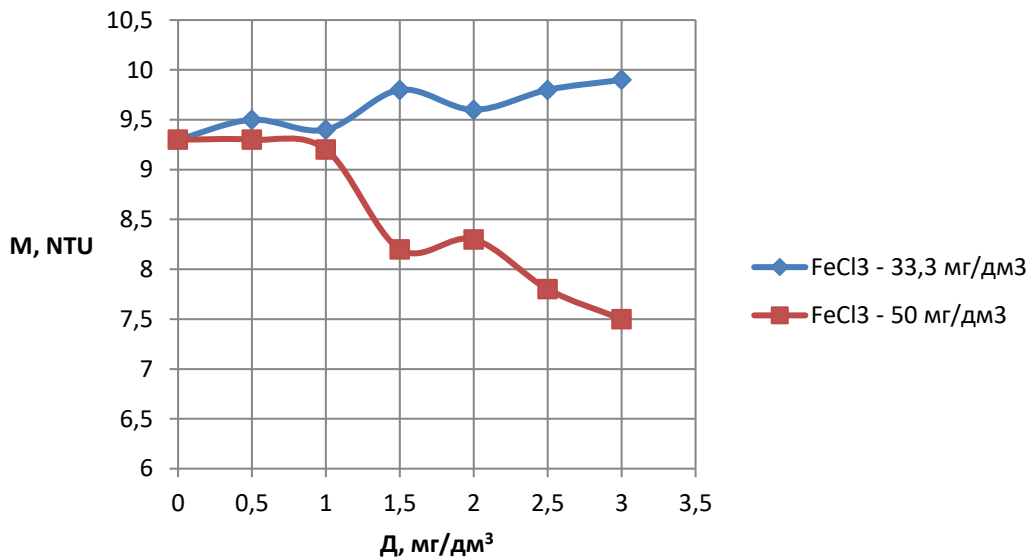


Рисунок 3 – Залежність каламутності для двох доз коагулянту (33,3; 50 мг/дм<sup>3</sup>) від дози флокулянту

Наступна серія експериментальних досліджень (рисунок 4) присвячена впливу на зміну каламутності вихідної води (розбавляли у 50, 100, 200 разів) флокулянту таніну, який має складну біохімічну структуру.

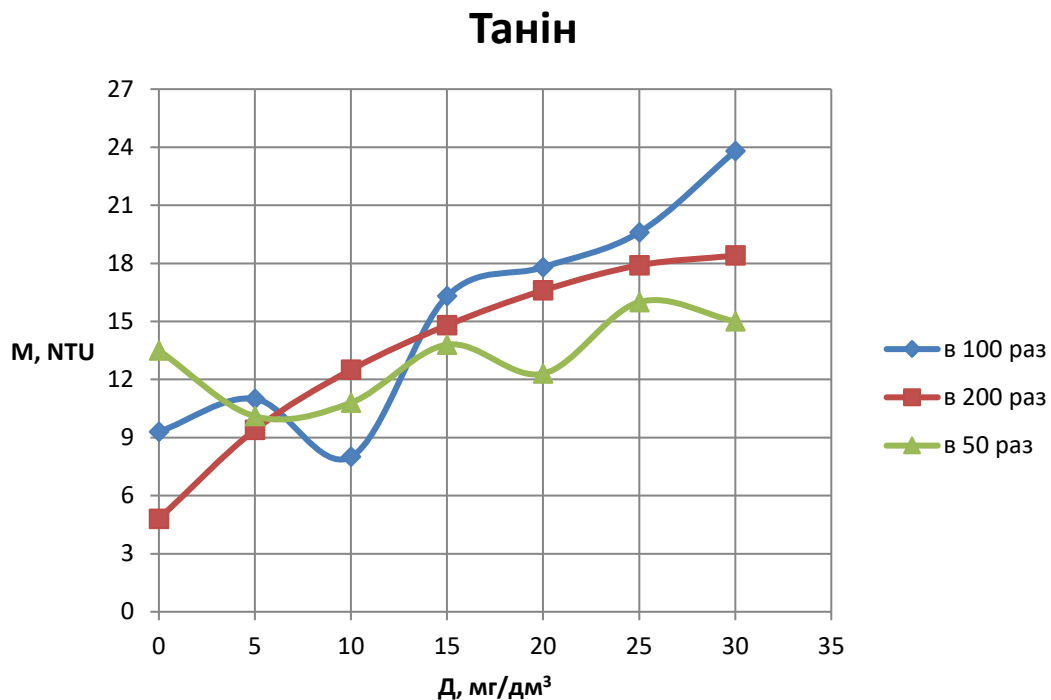


Рисунок 4 – Вплив флокулянту таніну на каламутність вихідної води (розбавлена вихідна вода у 50, 100, 200 разів)

Навіть за суттєвої різниці у показниках вихідної води, спостерігається не зниження мутності (як очікувалося), а навпаки – збільшення. Для більш розбавленої води графічна залежність має стрибкоподібний характер, що можна пояснити зміною температурного режиму у лабораторії.

Дослідження з використанням більш широкого асортименту коагулянтів/флокулянтів планується продовжити.

#### Список літературних джерел:

1. Awulachew M. T. A Review of Pollution Prevention Technology in Leather Industry [Електронний ресурс] / M. T. Awulachew // Environ Pollut Climate Change. – 2021. – Т. 5, № 244. – С. 2.

2. Tannery wastewater treatment: conventional and promising processes, an updated 20-year review [Електронний ресурс] / Jun Zhao [та ін.] // Journal of Leather Science and Engineering. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 10.

3. Hutton M. Water Pollution Caused by Leather Industry: A Review [Електронний ресурс] / Magdeline Hutton, Maryam Shafahi // ASME 2019 13th International Conference on Energy Sustainability collocated with the ASME 2019 Heat Transfer Summer Conference, Bellevue, Washington, USA, 14–17 лип. 2019 р. – [Б. м.], 2019. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1115/es2019-3949>.

4. Comprehensive technological assessment for different treatment methods of leather tannery wastewater [Електронний ресурс] / Mohit Nigam [та ін.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Т. 30, № 60. – С. 124686 – 124703.

## **ENVIRONMENTALLY SAFE REMOVAL OF NUTRIENTS FROM WASTEWATER**

**O. A. Nikitina<sup>1</sup>, A.V. Kostenko<sup>1</sup>, G.V. Krymets<sup>1</sup>, O.V. Pavlenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Chemical Technology

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

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

nikitinaolena0@gmail.com

Nitrogen and phosphorus compounds are among the key pollutants that contribute to the degradation of water quality in aquatic ecosystems. These elements enter water bodies from a variety of sources, which can be broadly categorized into natural and anthropogenic. Natural sources include soil erosion, where nitrogen and phosphorus compounds are washed into water systems during rainfall or snowmelt, and the decomposition of organic matter, such as dead plants and animals, which releases these nutrients into the environment. Additionally, atmospheric deposition, resulting from processes like lightning, contributes nitrogen oxides to the water cycle, while groundwater discharge naturally introduces nitrogen and phosphorus from subsurface formations.

However, the majority of nitrogen and phosphorus pollution originates from anthropogenic activities. Agriculture is a major contributor, with nitrogen- and phosphorus-based fertilizers being washed off fields into nearby water bodies, along with animal waste from livestock farming. Household wastewater also plays a significant role, with detergents, cleaning agents, and human waste releasing substantial amounts of these compounds. Industrial discharges from chemical and fertilizer manufacturing further exacerbate the problem, while urban runoff carries nitrogen and phosphorus from roads, lawns, and parks into aquatic environments. Moreover, aquaculture, particularly intensive fish farming, introduces organic waste rich in these nutrients, which can lead to their accumulation in water.

Armed conflicts can significantly increase nitrogen and phosphorus pollution in water bodies due to various factors such as infrastructure damage, landscape alterations, uncontrolled waste discharge, and the creation of large volumes of debris. These pollutants, which are already a concern in peacetime, can reach critical levels during warfare, causing severe harm to aquatic ecosystems and water resources.

The destruction of agricultural infrastructure is one of the primary sources of increased nitrogen and phosphorus pollution during armed conflicts. Fertilizers stored in fields or warehouses may be dispersed into the environment due to bombings or other military activities, resulting in uncontrolled runoff into water bodies. Additionally, damaged livestock farms contribute organic waste rich in nitrogen and phosphorus to nearby water systems.

Urban areas are another significant source of pollution. The destruction of water supply and wastewater treatment facilities leads to the direct discharge of untreated household wastewater into rivers and lakes. This wastewater contains nitrogen- and phosphorus-rich compounds from human excreta, detergents, and cleaning products. Without functioning treatment systems, these pollutants accumulate in water bodies, exacerbating contamination.

Military operations also generate substantial volumes of waste, including organic materials, debris, and residues from explosives. These materials can introduce nitrogen compounds, such as nitrates, into soil and water. Explosives and other chemical agents

used during warfare further contribute to pollution, with their byproducts often containing nitrogen and phosphorus.

Soil erosion and landscape destruction caused by explosions and heavy machinery intensify the runoff of nitrogen and phosphorus into water bodies. Natural vegetation, which acts as a buffer and filter, is often destroyed during conflict, leaving soils exposed to erosion. This leads to a higher concentration of nutrients being washed into aquatic ecosystems.

Aquaculture and fish farms, often located in coastal or rural areas, are not immune to the effects of war. Their destruction results in the uncontrolled release of organic waste into water systems, further enriching them with nitrogen and phosphorus. Combined with other sources, this can accelerate eutrophication—an over-enrichment of water bodies that leads to algal blooms, oxygen depletion, and widespread aquatic life mortality.

Water pollution with nutrients such as nitrogen and phosphorus is a serious environmental problem that leads to eutrophication and algalization of water bodies. These processes cause a massive growth of phytoplankton, a decrease in the level of dissolved oxygen in water, the formation of dead zones and the degradation of ecosystems. One of the most promising methods of combating this problem is the use of microalgae, in particular *Chlorella*, which is able to effectively absorb nutrients and help purify water from other pollutants. *Chlorella* is a green microalgae that effectively purifies water due to its high ability to absorb nutrients, in particular nitrogen and phosphorus [1-5, 7, 9]. Nitrogen: *Chlorella* absorbs various forms of nitrogen (ammonium, nitrate, nitrite) for its metabolism. Studies show that *Chlorella vulgaris* can reduce nitrogen concentrations by 75-90% in 7-10 days [6]. For example, in wastewater with 30 mg/l of ammonium, nitrogen levels are reduced to less than 5 mg/l in 10 days [6]. Phosphorus: *Chlorella* actively absorbs phosphate, which is critical for combating algal blooms. The phosphate concentration can be reduced by 60-85% in 3-7 days [4, 9, 10]. Removal of heavy metals: *Chlorella* is capable of removing heavy metals such as lead, cadmium, copper, and zinc, achieving 90% removal of cadmium and lead in 48 hours [1, 2]. Algalization of water bodies: The use of *Chlorella* helps prevent eutrophication by purifying water from excess nitrogen and phosphorus and inhibiting uncontrolled algal growth [12, 13]. The use of microalgae such as *Chlorella* has several important advantages. First, they ensure environmental safety, as they purify water without toxic waste by absorbing nutrients and increasing oxygen levels through photosynthesis [5, 9]. Secondly, these algae are multifunctional: they not only purify water from nutrients, but also effectively remove heavy metals and organic contaminants, including pesticides and phenols [11, 14]. Another advantage is that microalgae can be grown in a variety of conditions, including wastewater and agricultural waste, which makes them economically viable [3]. Algae biomass can be used to produce biofuel or organic fertilizer [7, 8, 15]. Finally, their use for water treatment can reduce energy consumption by 30% compared to traditional methods such as chemical precipitation [6, 9, 12].

Secondly, these algae are multifunctional: they not only purify water from nutrients, but also effectively remove heavy metals and organic contaminants, including pesticides and phenols [11, 14]. Another advantage is that microalgae can be grown in a variety of conditions, including wastewater and agricultural waste, which makes them economically viable [3]. Algae biomass can be used to produce biofuel or organic fertilizer [7, 8, 15]. Finally, their use for water treatment can reduce energy consumption by 30% compared to traditional methods such as chemical precipitation [6, 9, 12].

Таблиця 1 Experimental results

Days of measurements	pH	TDS	Optical density	$NH_4^+$	$NO_2^-$	P
1	7,51	637	0,334	-	-	-
6	7,15	532	0,020	0,472	1,854	3,000
7	7,16	503	0.102	0,626	3,000	3,000
8	7,10	500	0,085	0,521	2,217	1,074
13	6,72	522	0,104	0,616	3,000	3,000
20	6,92	542	0,142	0,494	0,088	3,000

#### Conclusions.

Microalgae, such as *Chlorella*, are a promising tool for biological water purification from nutrients and prevention of water algalization. They can effectively remove nitrogen, phosphorus and heavy metals while enriching water with oxygen and contributing to the sustainability of aquatic ecosystems. The introduction of such methods can significantly reduce the environmental burden on water resources, as well as promote the development of sustainable water treatment technologies.

#### 1. References:

2. Chekroun, K. B., & Baghour, M. (2013). The role of algae in phytoremediation of heavy metals: A review. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(6), 873–880. DOI: 10.1007/s10973-012-2624-0
3. Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257–275. DOI: 10.1016/j.sjbs.2012.04.005
4. Markou, G., & Georgakakis, D. (2011). Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review. *Applied Energy*, 88(10), 3389–3401. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.04.007
5. Aslan, S., & Kapdan, I. K. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering*, 28(1), 64–70. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2006.05.006
6. Pittman, J. K., Dean, A. P., & Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, 102(1), 17–25. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.06.020
7. Wang, L., Min, M., Li, Y., Chen, P., Chen, Y., Liu, Y., & Ruan, R. (2010). Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162(4), 1174–1186. DOI: 10.1007/s12010-010-9097-5
8. Shi, X., & Wu, Z. (2014). Removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater by algae-activated sludge combined system. *Bioresource Technology*, 159, 150–157. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.02.026
9. Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P., & Bux, F. (2018). Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: Current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 36(4), 1255–1273. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2018.01.002
10. Wang, H., Zhou, W., Shao, H., & Hu, Y. (2016). Removal of nitrogen and phosphorus by *Chlorella vulgaris* from municipal wastewater treatment plant effluent. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(10), 2881–2887. DOI: 10.1002/jctb.4735

11. Muñoz, R., & Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research*, 40(15), 2799–2815. DOI: 10.1016/j.watres.2006.06.020
12. Wong, Y. S., Tam, N. F. Y., & Lan, C. Y. (2007). Effectiveness of biological treatment in removing phenol, benzoic acid and phthalic acid from water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(1), 84–92. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2006.04.011
13. Lau, P. S., Tam, N. F. Y., & Wong, Y. S. (1996). Wastewater nutrients removal by *Chlorella vulgaris*: Optimization through acclimatization. *Environmental Technology*, 17(2), 183–189. DOI: 10.1080/09593331708616248
14. Lee, K., & Lee, C. G. (2001). Effect of light/dark cycles on wastewater treatments by microalgae. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 6(3), 194–199. DOI: 10.1007/BF02932064
15. Ma, J., & Liu, H. (2015). Treatment of wastewater by using microalgae: A review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 7, 82–89. DOI: 10.5281/zenodo.34786
16. Rawat, I., Kumar, R. R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, 88(10), 3411–3424. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.03.016

## **АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ СУЛЬФАТНОЇ КИСЛОТИ ДЛЯ МАЛОТОННАЖНИХ ВИРОБНИЦТВ**

**С.М.Романько**

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
[khtms@ishostka.sumdu.edu.ua](mailto:khtms@ishostka.sumdu.edu.ua)

Сульфатна кислота широко застосовується у різних галузях промисловості, зокрема й при виробництві вибухових речовин, що на даний час є першочерговою задачею оборонної промисловості країни. При цьому утворюється велика кількість відпрацьованої сульфатної кислоти, як правило розведеної, яку необхідно повернути назад у виробництво шляхом концентрації.

Процес концентрування сульфатної кислоти полягає у видаленні з неї води при нагріванні через стінку апарату або безпосереднім контактом газового теплоносія з кислотою. Найбільшого розповсюдження отримав другий спосіб, в якому кислота нагрівається за рахунок барбатажу через неї високотемпературної (800-900°C) суміші повітря з газами, що одержуються при спалюванні мазуту або природного газу.

Умови продиктовані часом вимагають наявності у оборонної промисловості мобільного обладнання для здійснення цього процесу, яке можна зібрати навіть в польових умовах і складові елементи якого виготовляються на вітчизняних підприємствах. Крім того дане обладнання не повинне мати обмежень щодо вибору енергоносія.

Враховуючи вищесказане перспективним способом концентрування сульфатної кислоти для малотоннажних виробництв є спосіб концентрування, в якому нагрівання кислоти здійснюється через стінку апарату, а через шар кислоти барбатують газ, нейтральний по відношенню до її компонентів, наприклад повітря [1].

Апаратурне оформлення процесу концентрування розчину сірчаної кислоти в даному випадку визначає наявність потоку нейтрального газу та зовнішнє підведення теплоти до розчину. На конструкцію апарату, в якому концентрується кислота, впливає також організація процесу (періодичний або безперервний) та матеріал, що застосовується для виготовлення.

При виборі конструкційного матеріалу слід враховувати сильну корозійну агресивність висококонцентрованої сульфатної кислоти при температурах більше 100°C. За даних умов руйнуються майже всі метали. Тому поверхні апаратів, які контактують з кислотою, захищають кислотостійким матеріалом, як правило, на силікатній основі (футерування кислототривкою плиткою або покриття склоемаллю).

Найбільш просте апаратурне оформлення процесу концентрування розчину сульфатної кислоти з протоком нейтрального газу та зовнішнім підведенням теплоти є ємнісний емальований апарат (концентратор). Як такий концентратор, що працює в умовах потоку нейтрального газу (повітря) та зовнішнього підведення теплоти, пропонується застосовувати типовий емальований збірник з сорочкою (тип СЕНв). Промисловістю виготовляється широка номенклатура таких апаратів з номінальним об'ємом від 0,010м<sup>3</sup> до 20,0м<sup>3</sup>. Конструкція пропонованого концентратора після переобладнання представлена на рисунку 1.

Концентратор складається з корпусу 1, сорочки 2 зі штуцерами для введення та виведення теплоносія, кришки 3 зі штуцерами різного призначення (табл.1), спускного клапана 4 опорних лап 5.



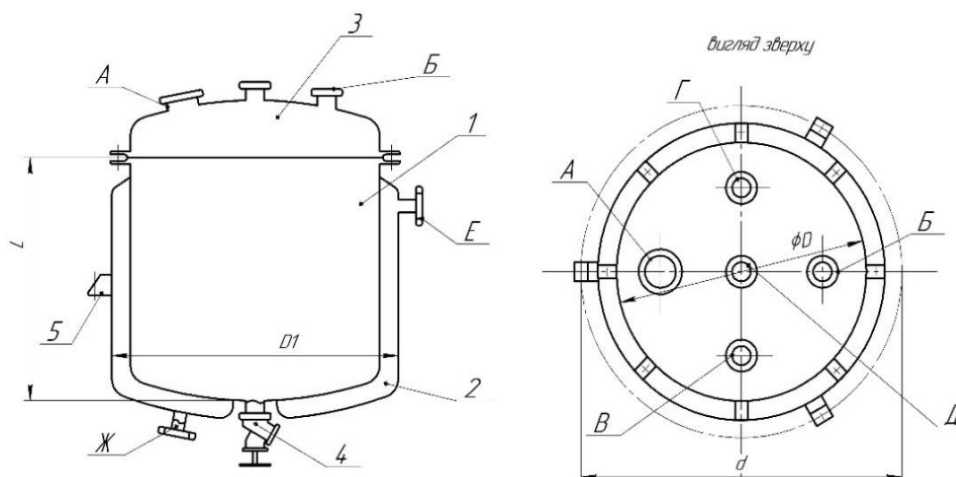


Рисунок 1 – Конструкція концентратора розчину сульфатної кислоти: 1 – корпус; 2- сорочка; 3-кришка; 4 - зливний кран; 5 - опорні лапи;.

Таблиця 1 – Призначення штуцерів концентратора

Позначення	Призначення штуцерів концентратора
А	Відведення парогазової суміші
Б	Залив розчину розведеної кислоти
В	Установка термометра
Г	Установка вимірювача рівня розчину кислоти
Д	Штуцер для введення повітря
Е	Вхід теплоносія
Ж	Вихід теплоносія

При концентруванні невеликих об'ємів відпрацьованої кислоти доцільно використовувати концентратор періодичної дії рисунок 2.

При переобладнанні такого збірника в концентратор періодичної дії додатково в штуцер Д встановлюють барбатажну трубку 1 для введення повітря, замість кришки люка А до фланця його штуцера кріпиться повітропровід 2, що з'єднує концентратор з установкою очищення повітря (електрофільтром). Концентратор забезпечений необхідними контрольно-вимірювальними приладами (вимірювання температури, рівня розчину кислоти), які встановлюються в штуцери В і Г. Працює концентратор у такий спосіб. Через штуцер Б заливають заданий об'єм концентрованого розчину кислоти, в сорочку 2 подають теплоносій, а в барбатажну трубу 1 – повітря, яке після насичення водою виходить з концентратора через повітропровід 2. При досягненні заданого температурного режиму процес концентрування протікає певний час, який необхідний для забезпечення заданої концентрації кислоти в розчині. Після завершення процесу відключають подачу теплоносія та повітря, а сам сконцентрований розчин кислоти зливають з концентратора через спускний клапан 4.

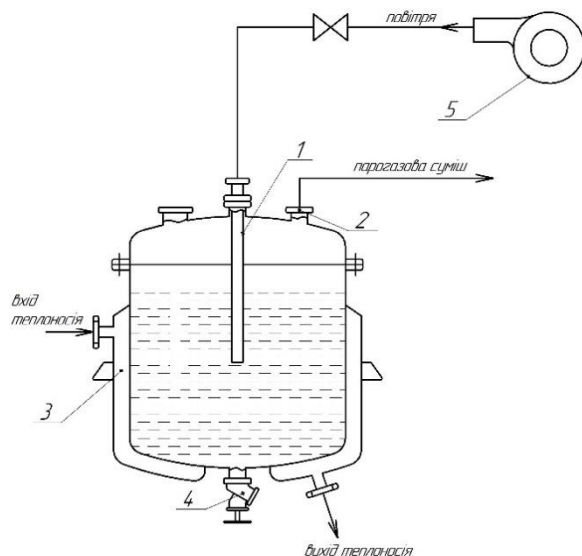


Рисунок 2 – Схема установки концентрування розчину сульфатної кислоти періодичної дії: 1 – барботажна трубка; 2-повітропровід; 3-сорочка концентратора; 4 - зливний кран; 5 - вентилятор;

штуцер Б, і додатковим бічним штуцером на корпусі концентратора для виходу розчину (рис. 3 позиція 10). Труба подачі розчину опущена в розчин на глибину приблизно 2/3 висоти розчину в концентраторі від поверхні розчину з метою зменшення ймовірності прямого потоку вихідного розчину до вихідного штуцера. Вихідний штуцер розташований на рівні поверхні розчину у концентраторі.

Установка безперервного концентрування розчину кислоти крім ємнісного концентратора 1 включає витратну ємність 2, напірний бак 3, регулювальний клапан 4, збірник концентрованого розчину 5, проміжну ємність 6, насос 7, вентилятор 8.

При роботі установки розчин що концентрується (вихідний) з витратної ємності 2 безперервно надходить у напірний бак 3 і далі через регулювальний клапан 4 у трубу подачі розчину 9 концентратора 1. Надлишок розчину з напірного бака 3 зливається в проміжну ємність 6, звідки насосом 7 повертається у витратну ємність.

Після заповнення концентратора до рівня розміщення вихідного штуцера 9 розчин спочатку надходить у проміжну ємність 6, звідки також повертається у витратну ємність 2. За цих умов, за допомогою регулювального клапана 4 встановлюється задана подача вихідного розчину в концентратор, потім включається подача теплоносія в сорочку концентратора і повітря у барботажну трубку 11 від вентилятора 8.

У проміжну ємність 6 розчин кислоти надходить до тих пір, поки не встановиться певна концентрація кислоти в розчині. Її регулювання здійснюється подачею вихідного розчину кислоти і повітря в концентратор, а також теплоносія в сорочку концентратора. При досягненні заданої концентрації кислоти вихідний потік розчину перемикається на збірник 5.

Недоліком періодичного концентратора є його низька продуктивність у зв'язку з тим, що кожен технологічний цикл роботи концентратора крім основного часу концентрування включає час на заливку розчину, його нагрівання, злив тощо. Ці компоненти технологічного циклу майже відсутні при безперервному концентруванні розчину кислоти.

На відміну від періодичного концентратора концентрування розчину сірчаної кислоти в ємнісному концентраторі безперервної дії здійснюється при постійній подачі вихідного розчину в концентратор і виведенні сконцентрованого розчину з нього.

У цьому випадку типовий збірник СЕнв (рис.1) що використовується як концентратор, забезпечений трубою для введення розчину, встановленої в

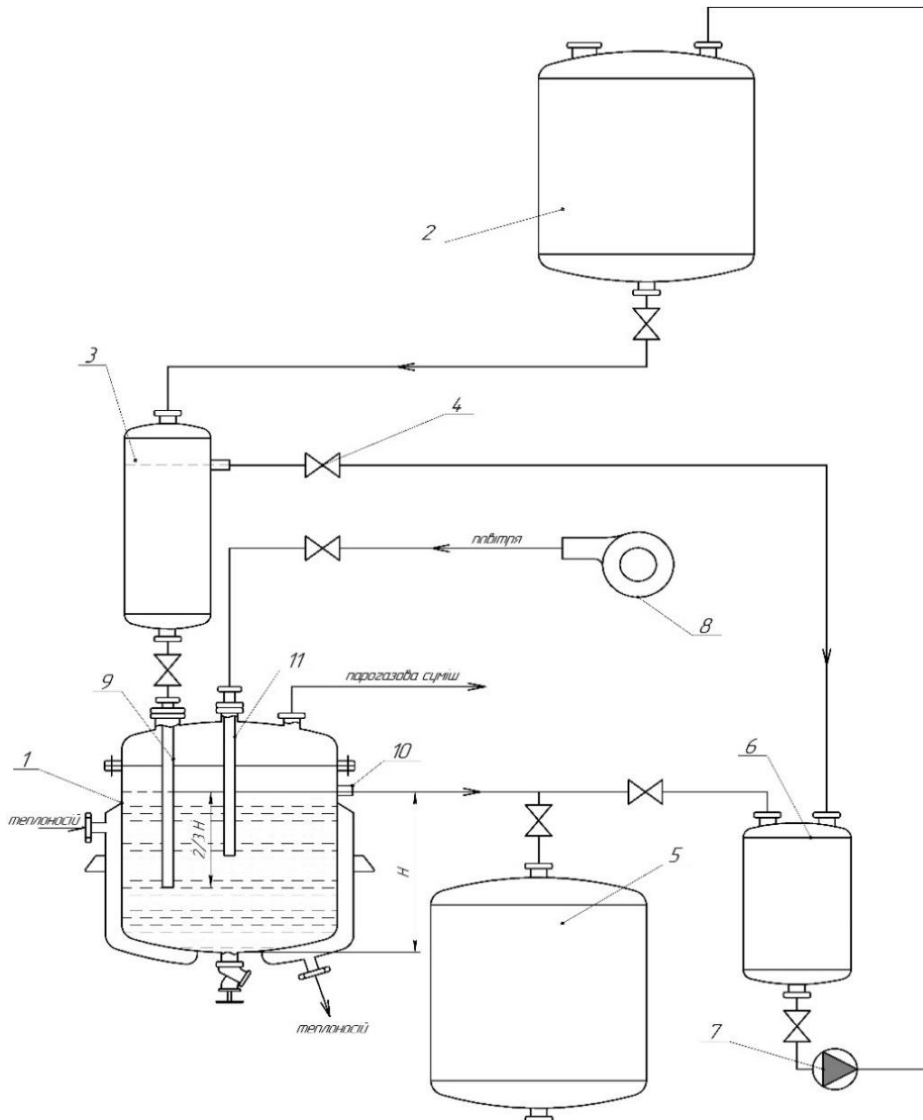


Рисунок 3 – Схема установки безперервної дії для концентрування розчину сірчаної кислоти: 1 – концентратор; 2-видаткова ємність; 3 - напірний бак; 4 - регулювальний клапан; 5- збірник концентрованого розчину; 6-проміжна ємність; 7-насос; 8- вентилятор; 9 – труба подачі розчину; 10 - вихідний штуцер.

#### Список літературних джерел

Патент №97392 Україна, МПК С01Б17/88 Б01710-00 Спосіб концентрування сірчаної кислоти/ Лукашов В.К.,Романько С.М., Тимофеев С.В., Гудзовський А.М.,заявл. 13.10.2014р;опубл 10.03.2015 Бюл №5.

## **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING NITROCELLULOSE FROM SEA GRASS**

**K. Malishok, O. Pavlenko**

Shostka Institute of Sumy State University  
kiramalyalexandrovna@gmail.com

### **Introduction**

Coastal deposits of sea grass along the coastlines of the Black and Azov Seas deteriorate the appearance of beaches and complicate access to water. Large accumulations require constant removal from beach areas and further disposal. One direction for such disposal could be the utilization of sea grass deposits for obtaining cellulose and its chemical processing products, particularly nitrocellulose, which is in high demand in modern industry.

The existing problem of raw material supply for the production of demanded grades of nitrocellulose by industry requires the search for new raw material sources for their extraction. Traditionally, nitrocellulose is obtained from cotton cellulose, the cultivation of which requires significant resources. In addition to cotton, wood is also used for nitrocellulose production, leading to deforestation and environmental harm. Currently, cotton is an expensive imported raw material, and wood pulp production has reached a critical level.

One of the non-traditional sources of raw materials is sea grass. It is a renewable resource that does not require large areas for cultivation, grows in large quantities, does not compete with food crops, and has a sufficient amount of cellulose, which is the basis for nitrocellulose production. The use of sea grass in the chemical industry for nitrocellulose production is a relevant research direction due to the deepening environmental pollution issues and the search for alternative, environmentally friendly sources of raw materials.

The conditions of war require an increase in Ukraine's defense capabilities, but the absence of ammunition and domestic weapons production complicates the situation. Domestic production of ammunition, including gunpowder, can significantly increase the potential of the army.

The aim of the work is to develop the technology of using *Zostera marina* grass as an alternative raw material for obtaining nitrocellulose. In accordance with this, the following tasks were set:

Conduct a literature search on the use of unconventional plant raw materials in nitrocellulose production.

Obtain cellulose samples from sea grass using the selected method based on previous research.

Determine the quality of the obtained cellulose using chemical and instrumental analysis methods.

Conduct nitration of cellulose samples according to the chosen technology.

Investigate the cellulose samples using chemical and instrumental methods.

Draw conclusions about the possibility of using sea grass as a raw material for nitrocellulose production.

The object of the study is washed samples of sea grass deposits *Zostera marina* as an alternative raw material for obtaining nitrocellulose.

The subject of the study is the process of obtaining nitrocellulose samples and studying their properties.

To carry out the research work, literary sources on the research topic were processed. The following research methods were used: analysis and synthesis of literary sources, laboratory experiment, instrumental method of analysis.

The work has practical significance, and its results can lead to the creation of new directions for the utilization of sea grass by developing technological production lines for nitrocellulose. For the first time, the peculiarities of processing sea grass *Zostera marina* have been studied, which has not been previously considered as an alternative raw material for the production of energy-rich materials.

The possibility of using sea grass deposits *Zostera marina* as an alternative raw material for cellulose production can significantly reduce the production costs of nitrocellulose with its subsequent use as the energy basis of nitrocellulose powders, rocket fuels, components of paint and varnish products, for the production of optical transparent films, biological indicators, semi-permeable membranes, selective sorbents, and specialized nitrocoatings.

#### **Literature review**

##### **Features of the Structure of Sea Grass *Zostera Marina***

*Zostera marina*, commonly known as eelgrass, grows in shallow waters along the coastlines of most countries worldwide. It is washed ashore by waves annually and accumulates in large quantities along the coastline. Currently, sea grass deposits in Ukraine are located along the shores of the Black and Azov Seas.



Figure 1 Deposits of seaweed on the coast of the Azov Sea

Kamka, which translates from Turkish as "spring," becomes resilient after drying and does not crumble. It possesses non-combustible properties and does not deteriorate. It is used for insulating roofs and buildings, and dried kamka is used to fill pillows and mattresses.

According to the analysis of the internal structure of sea grass fibers in [1], they consist of approximately 57% cellulose, 38% non-cellulosic polysaccharides (mainly xylan), and 5% residual substance, known as Klason lignin.

Given the above characteristics, particular attention is drawn to the possibility of using coastal deposits of *Zostera marina* for obtaining cellulose and products of its chemical processing, including nitrocellulose.

Among a wide range of polymers, nitrocellulose holds a leading position and has immense practical significance in both defense and civilian industries. The variety of applications for nitrocellulose is determined by its specific properties. High mechanical strength, the ability to be plasticized, good solubility, and compatibility with available plasticizers define the use of nitrocellulose as the energy basis of nitrocellulose powders, rocket fuels, components of paint and varnish products, for the production of optical transparent films, biological indicators, semi-permeable membranes, selective sorbents, and special-purpose nitro lacquers. The main raw material for the production of nitrocellulose is cotton cellulose.

Cellulose is a natural polymer obtained from wood cellulose or short fibers (lint) that adhere to cotton seeds. Hydroxyl groups form strong hydrogen bonds between cellulose molecules, as a result of which cellulose cannot be softened by heating or dissolved in solvents without chemical decomposition. However, during treatment with nitric acid in the presence of a sulfuric acid catalyst and water, hydroxyl groups are replaced by nitro groups ( $\text{NO}_2$ ). Theoretically, all three hydroxyl groups can be replaced, resulting in the formation of cellulose trinitrate, which contains more than 14% nitrogen. In practice, however, most nitrocellulose compounds are dinitrates, containing on average 1.8-2.8 nitro groups per molecule and containing from 10.5 to 13.5% nitrogen. The degree of nitration determines the solubility and combustibility of the final product.

In practice, the degree of substitution is usually expressed as the nitrogen content, expressed as a percentage by weight. Depending on the nitrogen content, the following are distinguished:

Coloxylin (10.7 - 12.2% nitrogen)

Pyroxylin No. 2 (12.05 - 12.4% nitrogen)

Pyrocollodion (12.6% nitrogen) - a special type of nitrocellulose, soluble in alcohol and in a mixture of alcohol with ether.

Pyroxylin No. 1 (13.0 - 13.5% nitrogen)

The best raw material for the production of nitrocellulose is considered to be long-fiber varieties of hand-picked cotton. Machine-picked cotton and wood cellulose contain significant impurities, which complicate the preparation and reduce the quality of the product. Nitrocellulose is obtained by treating purified, fluffed, and dried cellulose with a mixture of sulfuric and nitric acids, known as the nitrating mixture. The concentration of the nitric acid used is usually above 77%, and the ratio of acids to cellulose can vary from 30:1 to 100:1. The product obtained after nitration undergoes multi-stage washing and treatment with various stabilizers to reduce degradation under the influence of light and heat, followed by drying. To reduce the risk of ignition, nitrocellulose is usually stored and transported in water or alcohol at a concentration of alcohol not less than 20%.

#### **Use of unconventional raw materials for the production of cellulose nitrates**

Due to the shortage of cotton raw material in many countries, the use of unconventional cellulose sources for the production of nitrates has become the subject of scientific research. Materials from renewable sources are receiving increased attention, as leading industrial sectors and manufacturers seek to replace valuable raw materials with agricultural waste, such as grain straw. In the study referenced [5], cellulose nitrate polymer was produced from Nigerian rice husks using a method that included alternative alkaline treatment and chlorination to remove non-cellulosic components, followed by nitration

reaction. The variation in the composition of a certain nitrating acid mixture, relative acid strength of the nitrating mixture, nitration time, and the proportion of nitric acid to cellulose material influenced the yield and solubility of cellulose nitrate, the nitrogen content of which ranged from 11.06 to 13.12%.

In another study [6], bacterial cellulose was used as a raw material—an organic material synthesized extracellularly by microorganisms. A symbiotic culture of *Medusomyces gisevii*, consisting of various species of acetic acid bacteria and yeasts, was used as the producer. Nitrate of bacterial cellulose (NBC) was obtained by nitrosulfuric acid under heterogeneous conditions.

The results of the study [7] showed that esparto grass fibers can be considered a valuable alternative raw material for the synthesis of cellulose-rich polymers for potential use in solid fuel compositions.

Rheinmetall Denel Munition [8] exclusively uses cotton linters for the production of military and industrial grades of nitrocellulose, while wood cellulose from coniferous trees is used for the production of mining-type nitrocellulose.

Flax waste [9], wheat straw [10], rapeseed straw [11], and corn stalks [12] are proposed as raw materials. Cellulose extraction from agricultural waste is carried out by organo-solvent [11] and sodium hydroxide methods with prior hydrolysis [13].

In patent [14], the initial raw material was selected from a group consisting of paper, paper products, wood, wood-related materials, straw, rice husks, bagasse, cotton, jute, reeds, flax, bamboo, sisal, manila hemp, straw, cornstalks, coconut fibers, algae, seaweed, microbial materials, synthetic cellulose, and their mixtures. The technologies for processing non-traditional raw materials were included in the educational manual based on the results of these studies [15].

The cellulose content, as well as  $\alpha$ - and  $\beta$ -cellulose, were evaluated in thirty-four species of algae belonging to fifteen orders of Chlorophyta, Phaeophyta, and Rhodophyta in the waters of India [16]. The cellulose content ranged from 20 to 1%. Combined studies confirmed that *Chaetomorpha aerea*, *Acrosiphonia orientalis*, *Caulerpa taxifolia*, *Sargassum tenerrimum*, *Hydroclathrus clathratus*, and *Gelidiella acerosa* have a relatively high (> 10%) cellulose content, which could be potentially useful.

The process of obtaining pure microcrystalline cellulose (MCC) from brown algae *Posidonia oceanica* through delignification and alkali treatment followed by acid hydrolysis is described in the work [17].

Research [18] enumerates optimization possibilities to increase cellulose yield from algae biomass and the current state of its conversion into nanocellulose. The results of this review provide insights into existing knowledge and future directions in the field of algal cellulose industry based on life cycle assessment studies.

The possibility of using *Zostera marina* seagrass in the pulp and paper industry was previously investigated at the Shostka Institute of Sumy State University [19,20]. Based on the research results, a patent "Method for making paper from seagrass" was obtained [21]. Further development of this direction involves the development of technology for obtaining energy-rich materials from cellulose from sea grass.

## **Experiment**

### **Materials and methods**

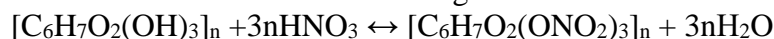
The research object consisted of dry stems of marine seagrass *Zostera marina*, collected on the coast of the Karkinitska Bay. They represent a resilient mixture of ribbon-like brownish leaves. For the extraction of cellulose from the seagrass, an organo-solvent method was chosen, using a mixture of acetic acid and hydrogen peroxide as reagents [22].

The advantages of organo-solvent methods include:

- Elimination of toxic sulfur-containing compounds from the cellulose boiling process;
- Ability to switch to bleaching methods with almost complete or complete exclusion of chlorine-containing compounds;
- Conducting the delignification process under mild conditions to obtain high-quality cellulose;
- Simplification of the regeneration of cooking solutions that do not contain significant amounts of mineral substances;
- Possibility of creating closed-loop processes without environmental pollution by harmful emissions;
- Relatively low capital investment and ensuring profitability of small and medium-sized enterprises.

The determination of alpha-cellulose content was conducted through gravimetric analysis of the insoluble residue after treatment of cellulose with a 17.5% NaOH solution, followed by washing with a 9.5% NaOH solution

The formation of cellulose nitrates occurs through the reaction:



Nitration is carried out using a ternary mixture: nitric acid - sulfuric acid - water. The nitration process is reversible, so the less water in the mixture, the more complete and faster the reaction proceeds. If the water content exceeds 25%, the reaction does not occur at all. Sulfuric acid is used to bind water. However, this slows down the reaction and reduces the nitrogen content in the final product. Increasing the amount of sulfuric acid reduces the viscosity of nitrates, especially with an increase in the temperature of the process.

Experimental procedure:

From the recommended compositions for the nitrating mixture for nitration with a module of 1:100, the ratio by weight was chosen as follows: HNO<sub>3</sub> - 17; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 64; H<sub>2</sub>O - 19.

Afterwards, the nitrocellulose was stabilized with hot 1% soda solution (50-100 ml) for 10-15 minutes.

The determination of nitrogen content in nitrocellulose was carried out by decomposing the cellulose nitrates with concentrated sulfuric acid and then reducing the nitric acid formed to nitrogen oxide using a solution of iron(II) sulfate. The excess of the latter reacts with nitric oxide to form the complex compound Fe(NO)SO<sub>4</sub>, imparting a yellow-red color to the solution.

The obtained samples of cellulose and nitrocellulose were analyzed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The research was conducted at the State Scientific Research Institute of Chemical Products with the assistance of scientist Serhiy Tyshchenko. Additionally, the obtained samples of nitrocellulose were further analyzed using thermogravimetric analysis (TGA) at the laboratory of the Shostka Institute of Sumy State University. [23].

### Results and Discussion

During the experiment, samples of cellulose were obtained. Chemical analysis revealed that the content of α-cellulose was 75%. The samples were analyzed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). In parallel, an FTIR spectrum of cotton cellulose was obtained.

Figure 2 shows the results of the investigation of cellulose samples obtained by the organo-solvent method from *Zostera Marina* seaweed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) in comparison with cotton cellulose.



Comparison of the FTIR spectra of cotton cellulose and cellulose from *Zostera Marina* seaweed showed the presence of all characteristic peaks for cellulose [24]. The spectra are characterized by the following frequencies: 3570-3125  $\text{cm}^{-1}$  – stretching vibrations (ST) of OH groups involved in intermolecular and intramolecular H-bonds; 2940-2860  $\text{cm}^{-1}$  - ST of C-H and  $\text{CH}_2$  groups; 1650  $\text{cm}^{-1}$  - deformation vibrations (DV) of H-O-H bonds, attributed to the presence of bound water; 1430  $\text{cm}^{-1}$ , 1370  $\text{cm}^{-1}$  - DV of  $\text{CH}_2$  groups; 1340  $\text{cm}^{-1}$  - DV of O-H in  $\text{CH}_2\text{OH}$ ; 1160  $\text{cm}^{-1}$ , 1110  $\text{cm}^{-1}$ , 1060  $\text{cm}^{-1}$  - ST of C-O bonds. However, the spectrum of the investigated cellulose exhibits vibrations in the 1600  $\text{cm}^{-1}$  region, characteristic of aromatic compounds of residual lignin.

Through nitration of the obtained cellulose with a ternary nitrating mixture, samples of nitrocellulose were obtained. According to chemical analysis, the nitrogen content was found to be 11.95 %. The nitrocellulose samples were also investigated using FTIR spectroscopy. In parallel, the FTIR spectrum of coloxylin was obtained.

Figure 3 presents the results of the investigation of nitrocellulose samples obtained from *Zostera Marina* seaweed using Fourier-transform infrared spectroscopy, compared to coloxylin.

The main characteristic frequencies observed in the FTIR spectra of nitrocellulose from *Zostera Marina* seaweed are: 1660-1630, 1280-1270, 823-817, 745-738, 689-680  $\text{cm}^{-1}$ , corresponding to the vibrations of nitro groups, indicating that the synthesized product is nitrocellulose.

Comparison of the obtained spectra of nitrocellulose samples with the spectrum of standard coloxylin H indicates structural similarity between these polymers. The higher peak heights of the listed peaks indicate a higher nitrogen content in the obtained nitrocellulose compared to coloxylin.

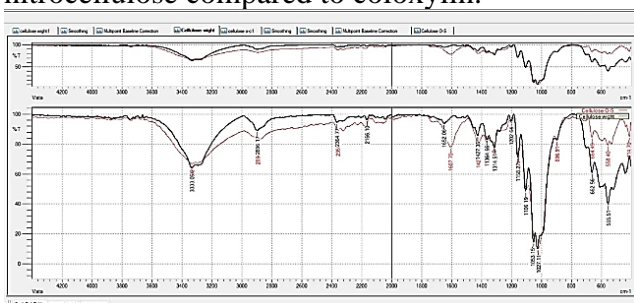


Figure 2 FTIR spectrum of cellulose obtained from *Zostera Marina* seaweed (red line) compared with the FTIR spectrum of cotton cellulose (black line).

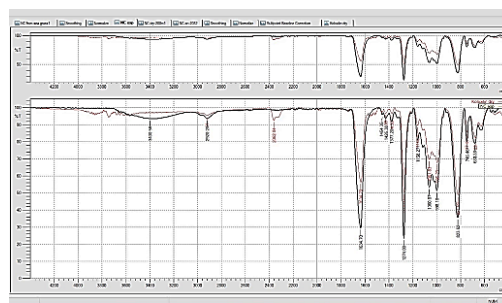


Figure 3 FTIR spectrum of nitrocellulose from *Zostera Marina* seaweed (black line) compared to the FTIR spectrum of coloxylin (red line).

## Conclusions

In the course of research, a technology was developed for obtaining nitrocellulose from the coastal sediments of the sea grass *Zostera marina*. The relevance of the issue is due to the need to dispose of coastal deposits of dried algae and, at the same time, the need of the chemical industry for alternative raw materials for the production of nitrocellulose.

During the study, samples of cellulose and nitrocellulose from seagrass *Zostera Marina* were obtained. Comparison of the obtained spectra of nitrocellulose samples with the spectrum of standard colloxilin N shows the coincidence of the main characteristic frequencies: 1660-1630, 1280-1270, 823-817, 745-738, 689-680  $\text{cm}^{-1}$ , corresponding to the vibrations of nitro groups. However, the results of the chemical analysis showed that the

content of  $\alpha$ -cellulose in the obtained samples is insufficient to obtain a high-quality product. Therefore, the technology requires further improvement.

Possible further research in this direction is aimed at establishing the optimal parameters of the processing of seagrass into cellulose nitrates to obtain high-quality products.

### References

1. Davies, P., Morvan, C., Sire, O., and Baley, C. (2007). Structure and properties of fibres from sea-grass (*Zostera marina*). *J. Mater. Sci.* 42, 4850–4857. doi: 10.1007/s10853-006-0546-1
2. Гупало О.П. Високомолекулярні сполуки / О.П. Гупало, Н.М. Ватаманюк. – К. : Вид-во НМКВО. – 2000. – 243 с
3. Курта С.А. Хімія і технологія високомолекулярних сполук. Навчальний посібник. С.А. Курта, В.С. Курганський – ІваноФранківськ: Видавництво «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 291 с.
4. Sun, Runcang. Cereal straw as a resource for sustainable biomaterials and biofuels: chemistry, extractives, lignins, hemicelluloses and cellulose. Elsevier, 2010.
5. Adekunle, I. M. Production of cellulose nitrate polymer from sawdust / I. M. Adekunle // *Journal of Chemistry*. – 2010. – Vol. 7(3). – P. 709–716.
6. Sun, Dong-Ping. Novel nitrocellulose made from bacterial cellulose / Dong-Ping Sun, Bo Ma, Chun-Lin Zhu, Chang-Sheng Liu and Jia-Zhi // *Yang Journal of Energetic Materials*. – 2010. – Vol. 28. – P. 85–97.
7. Trache, D. Synthesis and Characterization of Nitrocellulose Microcrystalline from Esparto Grass / D. Trache, K. Khimeche, A. Mouloud // 43rd Int. Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, June 26–29, 2012. – P. 90.
8. Schimansky, Wolfgang JF. The Origin and Type of Cellulose Utilized in the Manufacture of Nitrocellulose / Wolfgang JF Schimansky // *Over the Last Thirty Years / Proc. of the 5th Int. Nitrocellulose Symposium*, Spiez, Switzerland, April 17–18, 2012. – P. 38.
9. Дейкун І.М., Барбаш В.А. Одержання целюлози для виробництва лакового колоксиліну з льняних відходів// Збірка тез доповідей наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених "Екологія, людина, суспільство". - Київ.:НТУУ "КПІ", 1998.- С.26.
10. Пат. 36728А Україна, D21C3/02, D21C11/12. Спосіб виробництва целюлози для хімічної переробки /Барбаш В.А., Дейкун І.М.- №2000020555; Заявл. 01.02.2000; Опубл.16.04.2001, Бюл. №3.
11. Дейкун І.М., Пойда В.В., Барбаш В.А.. Одержання целюлози із соломи ріпаку окисно-органосольвентним способом делігніфікації.//Навукові вісті НТУУ "КПІ" - 2010 - № 2 - с.148.
12. Барбаш В.А., Дейкун І.М. Оптимізація процесу одержання целюлози для хімічної переробки натронним способом з попереднім гідролізом// Наук. вісті НТУУ "КПІ".- 2003. - №1. - С. 74 - 78. (
13. Дейкун І. М. Дослідження процесу отримання целюлози з відходів сільського господарства / І. М. Дейкун, Д. М. Складанний // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Хімія, хімічна технологія та екологія = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Chemistry, Chemical Technology and Ecology* : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – № 35 (1311). – С. 13-16.

14. Патент України на винахід 110339 25.12.2015 Медофф Харрісон, Медофф Маршалл Спосіб переробки целюлозної або лігноцелюлозної вихідної сировини
15. 9 Барбаш В.А., Дейкун І.М. Хімія рослинних полімерів/. Навчальний посібник. За редакцією В.А. Барбаша. - Київ: «Каравела», 2018.- 440 с.
16. Siddhanta AK, Kumar S, Mehta GK, Chhatbar MU, Oza MD, Sanandiya ND, Chejara DR, Godiya CB, Kondaveeti S. Cellulose contents of some abundant Indian seaweed species. *Nat Prod Commun.* 2013 Apr;8(4):497-500. PMID: 23738463.
17. Ahmed Fouzi Tarchoun, Djalal Trache, Thomas M. Klapötke, Microcrystalline cellulose from *Posidonia oceanica* brown algae: Extraction and characterization, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 138, 2019, Pages 837-845, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.176>.
18. Enio Zanchetta, Eya Damergi, Bhavish Patel, Tobias Borgmeyer, Horst Pick, Adrian Pulgarin, Christian Ludwig, Algal cellulose, production and potential use in plastics: Challenges and opportunities, *Algal Research*, Volume 56, 2021, 102288, ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102288>.
19. Лобунець Д.С. Камка морська як альтернативна сировина целюлознопаперової промисловості / Д.С. Лобунець, С.В. Артемцева, М.Ю. Мечик, О.В. Павленко / Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи: матеріали VI Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 22 квітня 2021 р. – Суми: СумДУ – С. 29-30. 10.
20. Лобунець Д.С. Дослідження можливості використання камки *zostera marina* у якості альтернативної сировини целюлозно- паперової промисловості / Д.С. Лобунець, С.В. Артемцева, М.Ю. Мечик, О.В. Павленко / Матеріали ХХІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (20 - 21 травня 2021 р., м. Київ) / Укладач Д. Е. Бенатов. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021 11.
21. Патент на корисну модель № 153957 Спосіб виготовлення паперу з морської трави 27.09.2023, бюл. № 39
22. Шигот В.Т. Дослідження можливості отримання целюлози з морської трави/ В.Т. Шигот, О.О. Крутова-Оникієнко, К.О. Малишок, О.В. Павленко / Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи: матеріали ІХ Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 25 квітня 2024 р. – Суми: СумДУ – С. 28-29.
23. Малишок, К., Павленко, О., Шигот, В., & Крутова-Оникієнко, О. (2024). Дослідження можливості отримання нітроцелюлози з морської трави. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції" Екологія. Людина. Суспільство". С.159-163.
24. IR Spectroscopy by Pavan M. V. Raja & Andrew R. Barron is licensed CC BY 4.0. Original source: <http://cnx.org/contents/ba27839d-5042-4a40-afcf-c0e6e39fb45425.2>.

СЕКЦІЯ 3  
Енергозбереження та  
альтернативні палива,  
запобігання енергетичній кризі.

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

## РУХ КРАПЕЛЬ У ЗОНІ КОНТАКТУ ВИХРОВОГО ПОТОКУ ПРИ РОБОТІ ПЛІВКОВИХ ВІДЦЕНТРОВИХ РОЗПИЛЮВАЧІВ РІДИНИ

Т.М. Шевцова, С.О. Фалько

Відокремлений структурний підрозділ  
«Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба  
Сумського державного університету»  
[S.falko@htcolledge.sumdu.edu.ua](mailto:S.falko@htcolledge.sumdu.edu.ua)

При розробці конструкцій і розрахунку основних характеристик вихрових масообмінних апаратів, заснованих на принципах віялового розпилювання виникає потреба в дослідженні гідродинамічних характеристик руху розпорошеної рідкої фази в газовому потоці, в частості траєкторій і швидкостей руху крапель [1], [2], [3], [4].

Основну визначальну роль в поведінці краплі в газовому потоці грає сила внутрішнього тертя, що з'являється, як сила опору газовому потоку з боку крапель рідини, що прискорюються в цьому потоці. Ця сила визначає не тільки сам процес диспергування крапель рідини, але і їх траєкторію, а також перепад тиску в газовому потоці віялового розпилювача. Сила опору, діюча на краплю, що вільно переміщується в газовому ізотропно-турбулентному потоці, згідно закону Ньютона, визначається залежністю:

$$F_{\xi} = \xi \frac{P_r u^2}{2} S_0, \quad (1)$$

де  $u$  – відносна швидкість краплі по відношенню до швидкості газового потоку;  $P_r$  – щільність газової фази;  $S_0 = n d_k^2 / 4$  – лобовий перетин краплі, де  $d_k$  – діаметр краплі, що не деформується.

Коефіцієнт гідродинамічного опору  $\xi$ , є функцією відносної швидкості  $u$ , точніше, функцією числа Рейнольдса:

$$\xi = \xi(\text{Re}), \quad \text{Re} = \frac{P_r u_0 d_k}{\mu_r} \quad (2)$$

де:  $\mu_r$  – динамічна в'язкість газу.

Із-за складного процесу обтікання крапель газом, функцію  $\xi$  не вдається представити єдиним аналітичним виразом для широкого діапазону змін чисел Рейнольдса. Відомі, експериментально знайдені, достовірні значення в достатньо широкому інтервалі чисел  $\text{Re}$  для чинника форми  $f=1$  (тобто для сферичної краплі, що не деформується). Ці експериментально знайдені значення приведені у вигляді таблиць [5], [6]. Для опису динаміки руху частинки в двофазному потоці необхідно скласти диференціальні рівняння руху частинки, куди увійшли б гідродинамічна сила з коефіцієнтом опору, залежним від відносної швидкості частинки і її діаметру і обчислювані шляхом відповідних інтерполяцій експериментальні дані з таблиць. Отримані рівняння вирішуються на *ЕОМ* при достатньо малому кроці. Прийmemo, що крапля масою  $m$  влітає з початковою швидкістю  $V_0$  під кутом  $\alpha$  в рухомий

газовий потік швидкістю  $W$  в вихровій камері. Схема основних сил і швидкостей при русі краплі в каналі віялового розпилювача показана на рисунку 1.

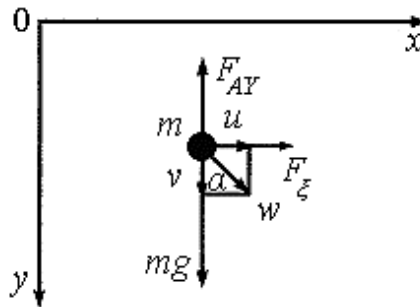


Рисунок 1 - Схема основних сил і швидкостей при русі краплі в каналі віялового розпилювача

При цьому режим руху газової фази – рівномірно-турбулентний.

Відповідно до другого закону Ньютона, загальне рівняння динаміки руху краплі у векторній формі має вигляд:

$$m \frac{d\vec{w}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_{Ar} + \vec{F}_{\xi}, \quad (3)$$

де  $\vec{w}$  – швидкість руху краплі;  $m\vec{g}$  – сила тяжіння;  $\vec{F}_{Ar}$  – Архімедова сила;  $\vec{F}_{\xi}$  – сила, з якою газовий потік діє на краплю (дорівнює силі в'язкого тертя).

Розташовуємо двомірну систему координат з початком в точці зливу краплі з плівкоутворювача. Вісь  $OX$  направимо горизонтально, а вісь  $OY$  – вертикально. Проекції швидкості краплі виразимо наступним образом: на вісь  $OX$  через  $u$ , на вісь  $OY$  – через  $v$ . Швидкість газу уздовж осі  $OX$  –  $u_g$ .

Проекції векторного рівняння (3) на осі координат  $OX$  і  $OY$  для будь-якого моменту часу матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} m \frac{du}{dt} &= \xi \frac{\pi d_k^2 \rho_g}{4} \frac{(u_g - u)^2}{2}, \\ m \frac{dv}{dt} &= mg - \rho_g V_k g - \xi \frac{\pi d_k^2 \rho_g v^2}{4} \frac{1}{2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $V_k$  – об'єм краплі рідини.

Розділимо обидві частини рівнянь (4) на масу краплі  $m$ :

$$m = \rho_k V_k = \rho_k \frac{\pi d_k^3}{6}, \quad (5)$$

де  $\rho_k$  та  $V_k$  – відповідно щільність речовини краплі і її об'єм.

Приведемо ці диференціальні рівняння другого порядку до системи диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= u, \\ \frac{dy}{dt} &= v, \\ \frac{du}{dt} &= \frac{3}{4} \xi_x \frac{\rho_g (u_g - u)^2}{\rho_k d_k}, \\ \frac{dv}{dt} &= g \frac{(\rho_k - \rho_g)}{\rho_k} - \frac{3}{4} \xi_y \frac{\rho_g v^2}{\rho_k d_k} \end{aligned} \quad (6)$$

Система рівнянь вирішується за початкових умов:

$$t=0, x=y=0, u_g = \text{const}, u_0 = u_g = u_l \sin \alpha, V_0 = u_l \cos \alpha,$$

де  $u_l$  – швидкість сходу плівки в контактний апарат (початкова абсолютна швидкість краплі);  $d_k, \rho_k, \rho_g$  – діаметр краплі, щільність краплі і щільність газу;  $\mu$  – динамічна в'язкість газу;  $\alpha$  – кут між вертикаллю і площиною плівки утворювача.

Вирішення системи (6) проводиться в наступному порядку.

Вибирається крок інтеграції за швидкістю. По заданих діаметру краплі і початкових складових швидкостей по формулі (2) визначаються  $Re_x$  і  $Re_y$ . По масиву табличних значень критерію  $Re$  [5], [6], знаходимо значення коефіцієнтів опору  $\xi_x, \xi_y$ , по осях  $OX$  і  $OY$ . До швидкості додається крок інтегрування. Знову визначаються  $Re_x$  і  $Re_y$  по масиву табличних значень критерію  $Re$ . Знаходимо проміжні значення коефіцієнтів опору  $\xi_x, \xi_y$ , по осях  $OX$  і  $OY$ . Підставляємо їх в систему рівнянь (6) і обчислюємо координати  $x$  і  $y$  (точок траєкторії) і величини складових швидкостей, у цих точках. Після цього додаємо крок інтегрування по швидкості, і процес циклічно повторюємо до досягнення максимальних заданих значень  $x$  і  $y$ . Деякі результати вирішення рівнянь у вигляді графіків приведені нижче.

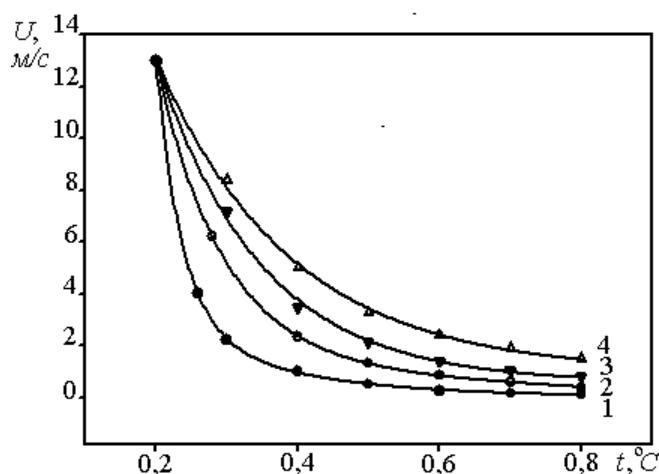


Рисунок 2 - Залежність горизонтальної складової відносної швидкості  $U$  від часу руху краплі. Криві 1 – 2 – 3 – 4 відповідають діаметрам крапель води 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм відповідно

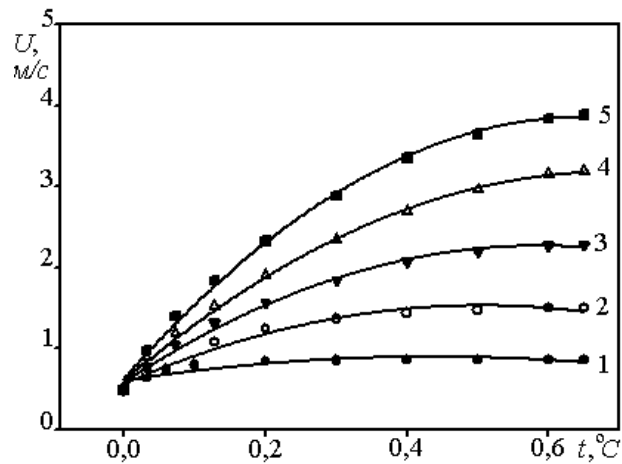


Рисунок 3 - Залежність вертикальної складової швидкості краплі від часу руху. Криві 1 – 2 – 3 – 4 – 5 відповідають діаметрам крапель води 0,25 – 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм відповідно

Графіки на рисунку 3 показують, що вертикальна складова швидкості краплі після деякого часу руху наближається до швидкості седиментації.

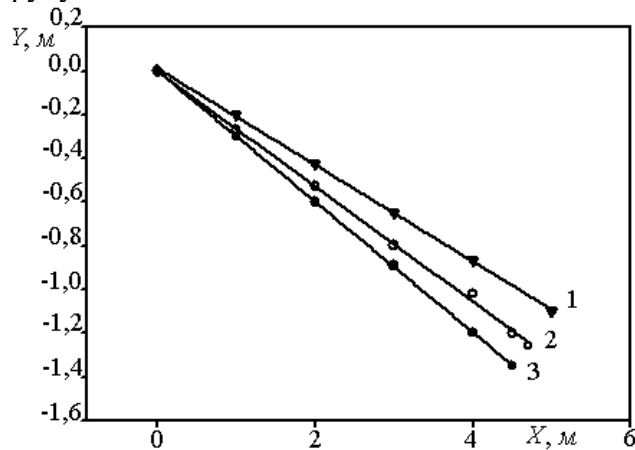


Рисунок 4 - Траєкторія краплі діаметром 0,6 мм при швидкості газового потоку 10 м/с. Криві 1 – 2 – 3 відповідають щільності рідини 800 – 1000 – 1400 кг/м<sup>3</sup>

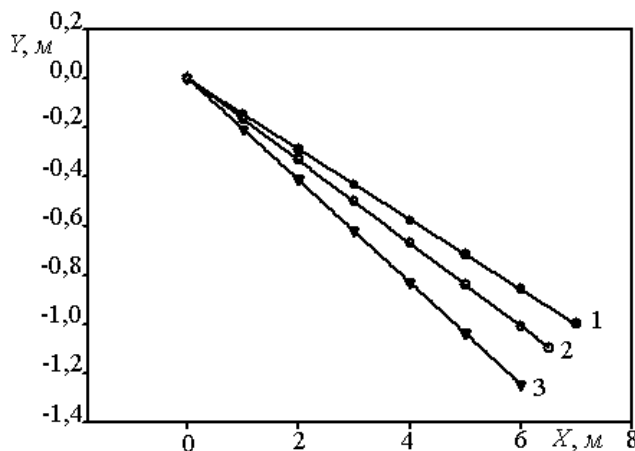




Рисунок 5 - Траєкторія краплі діаметром 0,6 мм при швидкості газового потоку 14 м/с. Криві 1 – 2 – 3 відповідають щільності рідини 800 – 1000 – 14 кг/м<sup>3</sup>

Графіки на рисунках 6 і 7 дають уявлення про траєкторії руху крапель води різних розмірів при різних швидкостях газової фази.

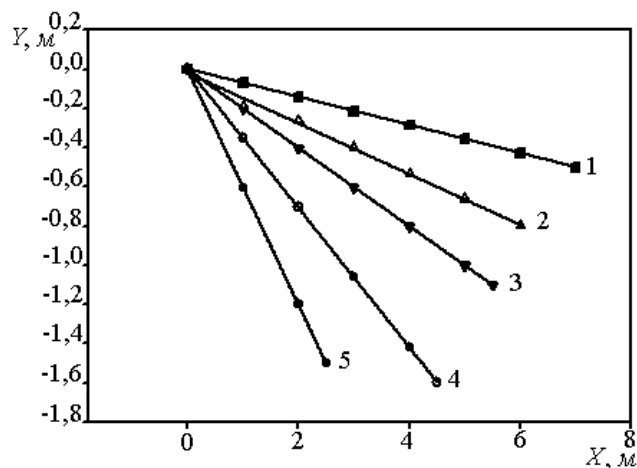


Рисунок 6 - Траєкторії крапель при швидкості газового потоку 10 м/с. Кривим 1 – 2 – 3 – 4 – 5 відповідають діаметри крапель води 0,25 – 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм

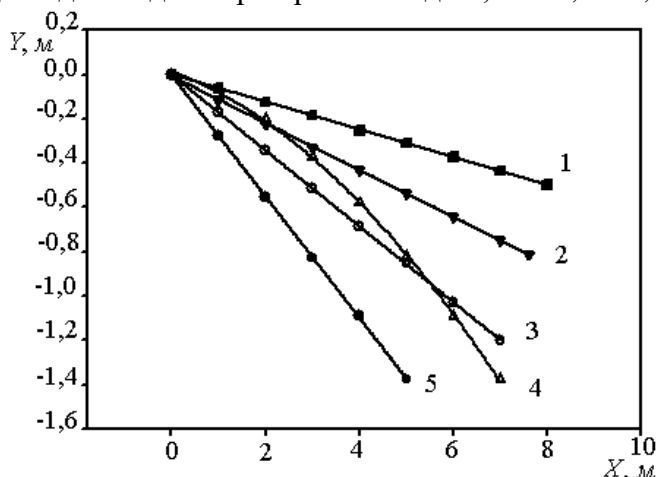


Рисунок 7 - Траєкторії крапель води при швидкості газового потоку 14 м/с. Кривим 1 – 2 – 3 – 4 – 5 відповідають діаметри крапель води 0,25 – 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм

З рисунка 2 видно, що швидкість краплі рано чи пізно наближається до швидкості газу в каналі віялового розпилювача.

Аналізуючи результати розрахунків і досліджень, можна зробити однозначні висновки про поведінку крапель рідини, що розпилюється:

Якщо відмінність полягає в діаметрах крапель, коли решта параметрів однакові, то велика крапля падає швидше, і захоплюється уздовж потоку повільніше, це ж прийнятне для крапель з більшою і меншою щільністю. Час захоплення, тобто час, протягом якого горизонтальна складова швидкості  $u$  краплі досягає значення  $\geq 0,9u_g$  різко зростає із збільшенням діаметру краплі. Відмінність кутів потрапляння  $\alpha$  краплі істотно не позначається на її траєкторії. Так траєкторії крапель діаметром 0,5

ММ, що потрапляють в потік під кутами  $30-45-55^\circ$  дуже близькі одна до іншої (практично паралельні).

У всіх варіантах руху крапель в віялових розпилувачах після часу руху  $t > 0,6$  с траєкторії руху крапель стають практично прямолінійними. Тангенс кута, під яким рухається крапля в газовому потоці після стабілізації швидкостей, дорівнює:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{u_g}{V_s} \quad (7)$$

де  $u_g, V_s$  – швидкість газової фази в каналі і швидкість седиментації крапель рідини певного розміру (діаметру).

Проведені розрахунки і виводи по кінематиці крапель добре узгоджуються з візуальними спостереженнями траєкторій і дослідженнями, виконаними методом фотографування траєкторій руху крапель в газовому потоці.

#### Список літературних джерел

1. Черняк Л. М., Фалько С. О., Самков О. В. Стенд для вивчення гідродинамічних параметрів вихрових апаратів //Матеріали та програма науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету: присвяченої Дню науки в Україні та 60-річчю СумДУ, 21-24 квітня – Суми: СумДУ, – 2008, Т.1, – 75–76.

2. Черняк Л. М., Фалько С. О. Вимірювання об'ємних витрат рідин, кутових і лінійних швидкостей кромки розпилувача, //Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2011», т. 5, Одеса, – 2011, – 52–54 с.

3. Черняк Л. М., Фалько С. О., Самков О. В. Вибір методики визначення дисперсного складу крапель у факелі диспергованої рідини //Матеріали та програма науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету: присвяченої Дню науки в Україні та 60-річчю СумДУ, 21-24 квітня, Суми: СумДУ, т. 1, – 2008, – 77–78 с.

4. Черняк Л. М., Фалько С. О. Апробація методики досліджень дисперсного складу крапель у факелі розпалюваної рідини при роботі плівкового розпилувача., //XIX Міжнародна науково-практична конференція., Харків, 01-03 червня, частина 11, – 2011, – 268 с.

5. Черняк Л. М., Фалько С. О. Дослідження залежності об'ємноповерхневого діаметру крапель від швидкості газової фази у вихровій камері., //XIX Міжнародна науково-практична конференція., Харків, 01-03 червня, частина 11, – 2011, – 269 с.

6. Черняк Л. М., Фалько С. О. Дисперсний склад крапель у факелі, утвореним віяловим розпилувачем при диспергуванні малов'язких рідин, : «Восточно-европейский журнал передовых технологий», 4/5 (46), – 2010, – 16–19 с.

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ

**І.О. Махненко<sup>1</sup>, В.А. Потаскалов<sup>2</sup>, Н.Є. Власенко<sup>2</sup>, І.В. Коваленко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона

<sup>2</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна

ivan.makhnenko@gmail.com

У наш час високорозвинуті країни з вагомою часткою світового населення споживають значну кількість наявної електроенергії, понад 70% якої виробляється за допомогою викопного палива [1, 4, 5, 7]. Згідно з прогнозами економічного зростання на наступні кілька десятиліть, якщо весь світ продовжить використовувати викопне паливо так і надалі, як сьогодні, то можна очікувати різке підвищення забруднюючих викидів разом із зростанням цін на викопні енергоносії. Зважаючи на такі тривожні міркування та зростаючу кількість екологічних проблем, особливо глобальне потепління, приходить усвідомлення того, що слід докладати значно більших зусиль задля вивчення будь-яких нових відновлюваних джерел енергії, які могли б стати на заміну традиційним видам палива.

На відміну від гідроенергії, яка вже протягом понад сто років успішно використовується для виробництва електроенергії, енергія вітру нещодавно набула статусу однієї з найбільш економічно практичних, а також технічно та екологічно найперспективніших з усіх нових видів відновлюваної енергії. Протягом останніх двох десятиліть вітроенергетика спостерігала бурхливий розвиток завдяки сприятливим економічним умовам та розвитку турбінних технологій [4]. Хоч і енергія вітру є відновлюваним й екологічно-чистим енергоносієм, що робить її придатною для задоволення стрімко зростаючого попиту на електроенергію в багатьох країнах, що розвиваються, але про справжнє значення та потенціал вітроенергетики в найближчому майбутньому відомо набагато менше.

Сучасний стан вітроенергетики. Вітер наповнений кінетичною енергією – молекулами в русі, які можна використовувати, щоб змусити інші молекули рухатися, наприклад, для роботи водяних насосів у вітряних млинах, або використовувати для стиснення газу та перетворення його в електрику [4]. У цьому напрямі вітрогенерація, зокрема, поставила нові виклики для планування та роботи енергосистеми через неконтрольовану природу вітру, складність прогнозування та неможливість зберігання отримуваної енергії. Повністю оцінити глобальні ресурси вітрової енергії складно, але деякі розрахунки та звіти [1-4, 7] показують зростаючий у світі попит на вітроенергетичні об'єкти та ефективність їх використання у таких країнах як США, Китай, Німеччина, Великобританія і Данія. З точки зору загальної встановленої потужності вітроенергетики є провідною технологією відновлюваної енергії після гідроенергетики. Станом на кінець 2023 року потужність вітроенергетики в усьому світі перевищила значення у 1 ТВт, пройшовши довгий шлях з 1982 року (Рис. 1) [5, 7].

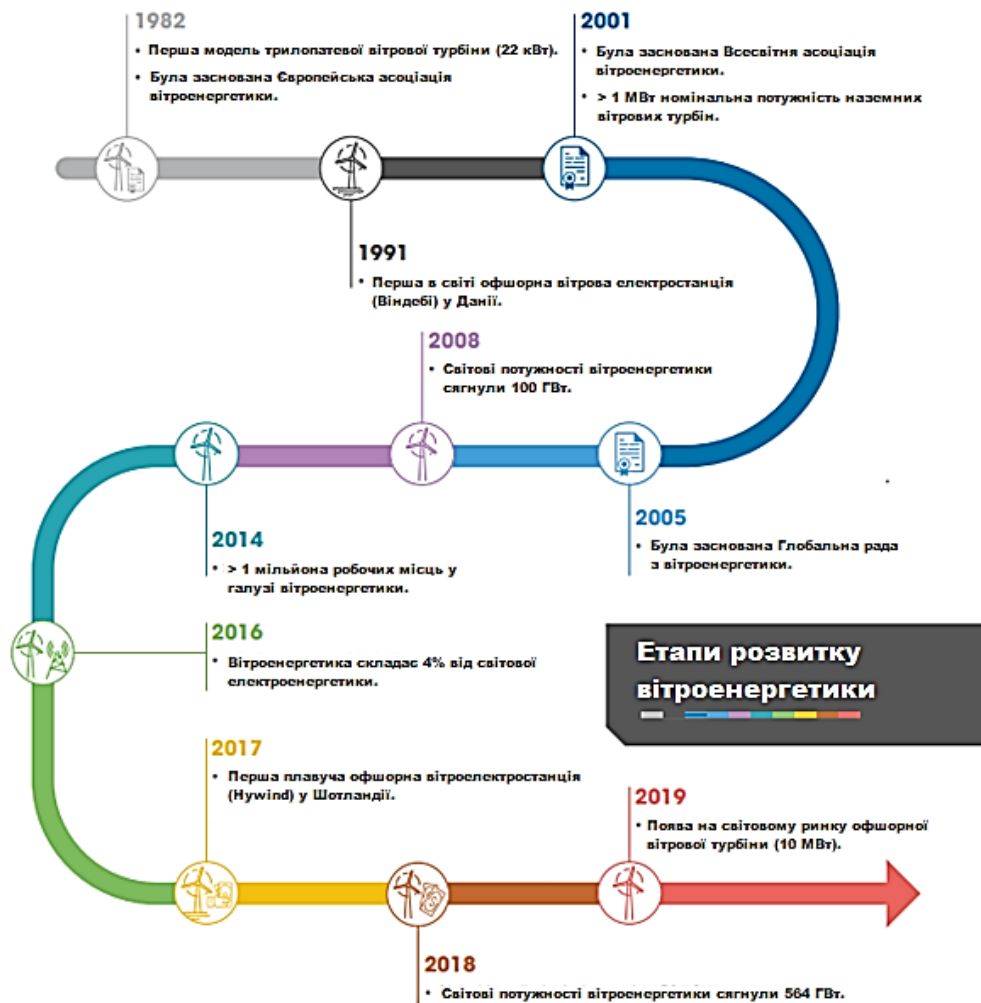


Рисунок 1. Етапи розвитку світової вітроенергетики у період з 1982 по 2019 р. [5]

Незважаючи на фінансову складову, можна побачити, що вітроенергетичний потенціал на Землі є достатнім для задоволення всіх потреб світу в електроенергії. Однак фактично придатний для використання потенціал є значно нижчим, оскільки він сильно залежить від великої кількості різноманітних чинників: економічних, екологічних, технологічних та регулятивно-правових (Рис.2) [1, 3-7].

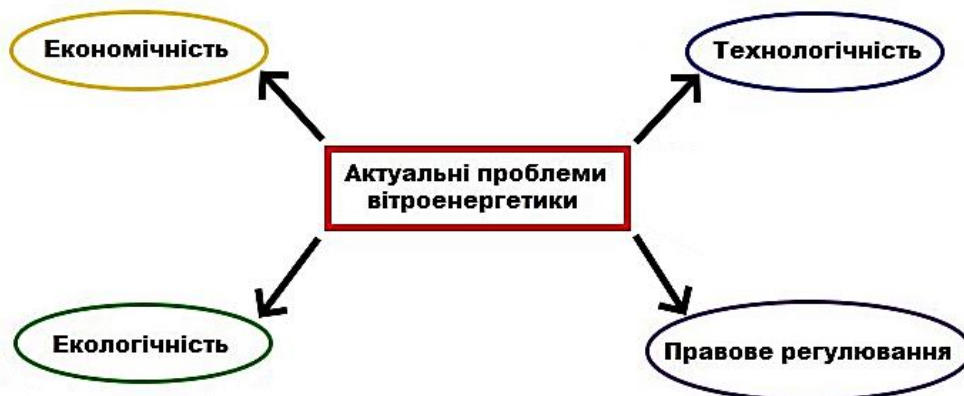


Рисунок 2. Актуальні проблеми світу у впровадженні енергії вітру

Оцінка придатних для використання вітрових ресурсів кожної окремої країни вимагає не стільки загальної мапи вітрів, скільки точної карти вітрових станцій, задіяних в енергосистемі. Цього можна досягти, проводячи систематичну реєстрацію швидкості та напрямку вітру в потенційних районах розташування вітрових установок. Саме тому вітрові турбіни об'єднують у групи, які називаються вітряними електростанціями, тим самим збільшуючи їх номінальну потужність [4]. Найбільшою в світі вітряною електростанцією є вітряна ферма Ганьсу у однойменній провінції на півночі центральної частини Китаю, яка складається з 3500 вітрових турбін із загальною номінальною потужністю в 10 ГВт [7]. Для порівняння, багато традиційних теплових електростанцій виробляють 200...300 МВт, а найбільші вугільні та атомні електростанції – від 2000 до 3000 МВт. Як можна зрозуміти, енергія вітру приносить величезну користь глобальному навколишньому середовищу, але на неї також накладаються певні обмеження, аби шкода від встановлення та подальшої експлуатації вітроенергетичної інфраструктури знаходилась у допустимих міжнародними стандартами межах.

**Фактори впливу вітроенергетики на кліматичні зміни.** Згідно з останнім звітом про зміни клімату [6] прогнозується, що середня температура поверхні Землі зросте на 1,5...3 градуси Цельсія протягом періоду з 2030 по 2100 рік, а значення рівня моря підвищиться на 0,3...1 метра. Це і є наслідками широкого використання викопного палива та збільшення викидів парникових газів в атмосферу. Щоб оцінити масштаб забруднення CO<sub>2</sub> та навіть уникнути високих рівнів Міжнародним агентством з відновлюваної енергії (IRENA) було запропоновано декілька підходів [5], в яких вітер відіграє важливу роль у забезпеченні надійного та стійкого середовища, будучи одним із ключових елементів у планах перетворення енергії.

IRENA дослідив варіанти розвитку глобальної енергетики з двох основних точок зору до 2050 року в рамках видання звіту про глобальну енергетичну трансформацію за 2019 рік [5]. Перший – це енергетичний шлях, визначений поточною та запланованою міжнародною політикою, а другий – більш чистий, сприятливий до клімату варіант, що базується в основному на амбітних, але досяжних заходах з енергоефективності відновлюваних джерел енергії. Зменшення пов'язаних з генерацією енергії викидів CO<sub>2</sub> лежить в основі наведеного способу перетворення енергії. Як повідомляє їхнє дослідження, зростаюча стурбованість світової спільноти щодо зміни клімату і наслідків забруднення навколишнього середовища для здоров'я, а також наростаюча енергетична криза в останні десятиліття призвели до необхідності використання альтернативних, низьковуглецевих технологій, таких як відновлювані джерела енергії, які прокладуть шлях до трансформації глобального сектору електроенергетики. В підтвердження цьому слугують прогнози Глобальної ради з вітроенергетики за 2024 рік [7], згідно з якими до 2050 року наземні та офшорні вітрові установки вироблятимуть більше однієї третини (35%) загальної потреби людства в електроенергії, ставши одним з основних джерел генерації.

**Висновки.** Таким чином, вітроенергетика, як одна з ключових галузей відновлюваної енергії, є необхідною для реалізації глобальної енергетичної трансформації відповідно до світових стандартів.

Однак, незважаючи на доступність наявної технології, яка може бути швидко розгорнута у великих масштабах, вітроенергетичні проекти все ще

стикаються з серйозними обмеженнями, що перешкоджає їхньому подальшому розвитку та процесу комерціалізації. З широким впровадженням енергії вітру у сучасну енергосистему світу пов'язана ціла низка проблем з технічної, економічної, екологічної та правової точок зору. Відповідно до актуальних експертних оцінок та прогнозів існуючі проблеми вітроенергетичної галузі можуть повністю або частково зникнути у наступні три десятиліття.

Отже, відновлювані джерела енергії відіграють важливу роль у досягненні енергетичної безпеки, покращенні доступу до електроенергії та зменшенні впливу споживання викопного палива на навколишнє середовище.

#### **Список літературних джерел**

1. Sesto, E. (1999). Wind energy in the world: Reality and prospects. *Renewable Energy*, 16(1-4), 888–893. doi:10.1016/s0960-1481(98)00298-5.
2. Novaes Menezes, E. J., Araújo, A. M., & Bouchonneau da Silva, N. S. (2018). A review on wind turbine control and its associated methods. *Journal of Cleaner Production*, 174, 945–953. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.297.
3. Sadorsky, P. (2021). Wind energy for sustainable development: Driving factors and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125779. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125779.
4. Rahaman, Khan & Hassan, Quazi. (2011). Prospects and challenges of wind energy: A comprehensive anatomy. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2011 (ICME2011) 18-20 December 2011, Dhaka, Bangladesh*.
5. IRENA (2019), *Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
6. IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
7. GWEC's *Global Wind Report 2024*. <https://gwec.net/global-wind-report-2024/>

## **ІЗОТОП ГЕЛІЮ-3 І СОНЯЧНА ЕНЕРГОСТАНЦІЯ МІСЯЧНОГО БАЗУВАННЯ**

**А.Л. Баланюк, Ю.М. Мар'їнських**

Шосткинський інститут Сумського Державного Університету  
*13kaiifleem@gmail.com, mymih44@gmail.com*

Розвиток людської цивілізації супроводжується зростанням населення Землі і водночас збільшенням споживаної їм енергії. Сьогодні в середньому на людину припадає більш 2 кВт потужності та тенденція енергоспоживання найближчим часом з урахуванням реалізації проєктів по відновлюваним та екологічно чистим джерелам визначатиметься в залежності від лінійно-зростаючого перевищення. Причина такого зростаючого споживання енергії пояснюватиметься з позицій введення нових потужностей екологічно чистих джерел. Тому сама проблема способу одержання енергії стає домінуючою. Перспективною в цьому плані є сонячна енергетика, а в майбутньому воднева і безрадіаційна термоядерна енергетика на основі ізотопу гелію три.

На початку 2022 року низка космічних агенцій, серед яких, зокрема, ESA, NASA та JAXA, зголосилися відновити дослідження в галузі космічної сонячної енергетики (Solar-based Solar power, SBSP). Видобуток енергії на орбіті та її подальша передача на Землю за допомогою мікрохвильового випромінювання може стати майбутнім альтернативної енергетики. Проте, перш ніж це здійсниться, аерокосмічним інженерам необхідно буде вирішити кілька технічно складних завдань.

### **Основні переваги SBSP**

Порівняно із наземними сонячними панелями, процес перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію на орбіті має такі переваги:

відсутність земної атмосфери, яка поглинає і розсіює від 30% до 50% сонячного випромінювання, що надходить на неї. У космосі цієї проблеми немає, а інтенсивність сонячного випромінювання у космічному вакуумі приблизно вдесятеро вище, ніж на Землі. Це впливає на можливу кількість електроенергії, яку зможуть генерувати сонячні панелі на орбіті;

періоди добового обертання Землі - наземні сонячні панелі неефективні вночі, а також малоефективні в хмарну погоду. Супутники сонячної енергії будуть позбавлені такої проблеми і зможуть приймати та перетворювати на електроенергію сонячне світло 24 години на добу (за винятком кількох хвилин на день, коли Земля проходить між SPS-супутником та Сонцем);

сонячні панелі SPS-супутників завжди можуть бути спрямовані строго на Сонце - таким чином забезпечується максимальний коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання. Отже, космічні апарати зможуть виробити та передати на Землю більшу кількість електроенергії;

можливість передачі енергії з одного SPS-супутника на приймальні станції, розташовані в різних куточках світу. Вказана можливість може звести нанівець витрати на транспортування електроенергії. Адже більше не потрібно буде передавати електроенергію за допомогою кілометрів ліній електропередачі, достатньо просто направити супутник на потрібну приймальну станцію на Землі та використати отриману енергію відразу за місцем її споживання;

екологічно чиста електроенергія - слід розуміти, що саме альтернативна та відновлювальна енергетика на сьогодні є єдиною альтернативою викопним

енергоресурсам. Розвиток космічних сонячних електростанцій може мінімізувати рівень викидів вуглецю в атмосферу, а у віддаленому майбутньому дозволить повністю відмовитися від електростанцій, що сприяють забрудненню атмосфери. В умовах зростаючої загрози глобального потепління саме сонячна енергетика є єдиною альтернативою на шляху до досягнення незалежності від викопних енергоресурсів.

Зростаюча тенденція до здешевлення космічних запусків та виведення корисного навантаження на орбіту може суттєво наблизити появу космічних сонячних електростанцій вже у наступні 10 років. Однак, для того щоб це стало здійсненним, необхідно усунути низку серйозних інженерних проблем.

#### **Деякі негативні наслідки від перетворення сонячної енергії**

До того, як перші орбітальні електростанції будуть виведені на орбіту, їхнім провідним інженерам і проєктувальникам спочатку доведеться вирішити досить складні технічні завдання. Насамперед йдеться про розв'язання задачі з перетворення електричної енергії на мікрохвильове або лазерне випромінювання. Процес конвертації енергії не є на 100% ефективним і тягне за собою втрати потужності електроенергії, що надсилається на Землю. Водночас у момент надходження мікрохвильового випромінювання на приймальне обладнання на Землі перетворення має бути виконане ще раз (з мікрохвильового випромінювання на електроенергію), що знову спричинить втрати потужності. Зараз саме це завдання є наріжним каменем, що гальмує реалізацію амбітних проєктів SBSP.

Окрім питання перетворення енергії, інженерам треба буде детально опрацювати нову концепцію орбітальної безпеки під час використання SPS. Сильне мікрохвильове випромінювання здатне вплинути на роботу авіатранспорту, який може пройти через мікрохвильовий промінь. І якщо це питання цілком реально вирішувати в авіадиспетчерських, то проблема відстеження та утилізації космічного орбітального сміття стоїть гостро. Зіткнення космічної сонячної електростанції з метеоритами та іншим орбітальним мотлохом може відхилити мікрохвильовий промінь супутника та направити його у не обладнані для прийому зони на Землі.

Тож, цілком можливо, у майбутньому ядерні реактори стануть звичними у космосі. Щоправда, для цього доведеться розв'язувати проблему завантаження та вивантаження з них палива, а також утилізації радіоактивних відходів. Це не та проблема, яка може зробити використання подібних силових установок неможливим, проте вона значно може ускладнити їхню експлуатацію.

Ще однією проблемою, яка ускладнить експлуатацію ядерних реакторів у космосі, може бути їхня відсутність на інших небесних тілах. Принаймні поки що за межами Землі достатніх покладів урану не виявлено. Можливо, їх знайдуть у майбутньому, а можливо, паливо, хоч і раз на кілька років, та все ж доведеться завозити із Землі.

#### **Необхідність створення проєкту космічної сонячної енергостанції Місячного базування СЕМБ**

Одним із аргументів на користь створення та реалізації проєкту СЕМБ є явна неминучість енергетичної кризи на Землі, і з цієї причини виникає необхідність освоєння Місяця з метою видобутку ізотопу гелію три як компоненту для здійснення керованої термоядерної реакції на Землі. Із цього приводу у наукових колах відповідних відомств виникли дві точки зору. Наскільки економічно вигідно буде співвідноситися міжнародний проєкт експериментального реактора ІТЕР, що завершується у Франції, з керованого термоядерного синтезу з використанням



ізоотопів водню дейтерію і тритію  $2\text{H}+3\text{H}=4\text{He}+\text{n}$  (+7,6 MeV) з супутнім небезпечним нейтронним випромінюванням і великими витратами на видобуток тритію, порівняно із здійсненням термоядерного реакції на основі гелію три  $2\text{H}+3\text{He}=\text{p}+4\text{He}$  (+8,35 MeV) (рис 1).

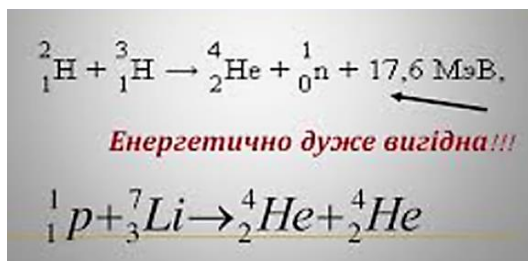


Рисунок 1 Термоядерний реактор у космосі

Хоча вчені поки що не можуть побудувати діючий термоядерний реактор на Землі, інженери вже замислюються над тим, як застосувати його у космосі. Причина цього навіть не в тому, що термоядерні реакції ефективніші за ядерні. Головна причина - у паливі [1].

На відміну від урану, водень та гелій зустрічаються практично всюди. А у місячному реголіті навіть можна зустріти ізоотоп гелію-3, який майже неможливо знайти на Землі. Він є головним компонентом найперспективнішої з усіх термоядерних реакцій, яка може дати найбільше енергії (рис. 2).

Тож саме термоядерні реактори найкраще підходять для використання у космосі. Зрештою, навіть продукти їхньої роботи не треба якось особливим чином утилізувати.

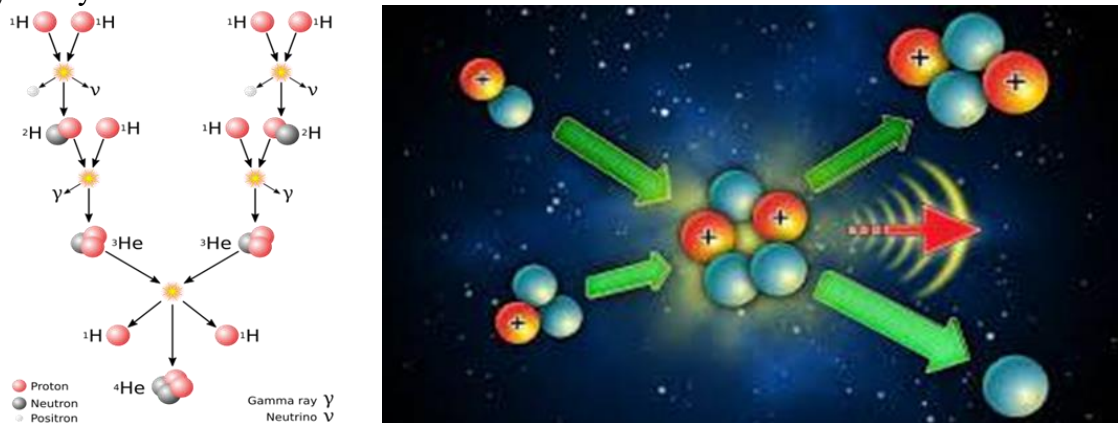


Рисунок 2 Термоядерні реакції

Усі спроби матеріально та економічно обґрунтувати аргументацію у необхідності реалізації проекту з видобутку та доставки гелію три з Місяця на Землю дає більше підстав схилитися на користь першої точки зору. Згідно з міжнародними проектами з видобутку корисних речовин з реголіту [2], планується створення ліній індустрії з постійно діючими базами для механічних методів збору реголіту енергоємною технікою, з подальшою лазерною та термічною обробкою його. Найпростіші розрахунки з витрат енергії, отриманої фотоперетворювальними панелями, з високим ККД, яка могла б забезпечити роботу всіх систем, з видобутку та переробки 1 млн. м3 регеля, що становить значну величину. Звідси виникає основна проблема проектів цього типу, без вирішення якої реалізація будь-якого з них буде малоімовірною - це одержання енергії енергостанцією на Місяці у необхідних обсягах.

На даний момент перспективними вважаються космічні енергооб'єкти прямого перетворення сонячної енергії на електричну. Однак, у схемах аналогічних проєктів як у [3] є негативні сторони: великі масогабарити, невирішені завдання з геліостеження, низький ККД та ресурс роботи. Проблеми сучасних концептуальних проєктів створення космічних сонячних електростанцій, що транслюють енергію на Землю, представлені в [4] і реалізувати їх без проривних технологій, що перетворюють сонячну енергію на інший вид енергії, найближчим часом буде складно, так само як у перспективі в майбутньому [5] через масивність і великогабаритність фотоперетворювальних каркасних конструкцій. Використання ж енергосистем на основі безкаркасних відцентрових фотоперетворювальних конструкцій, ефективних у космічних умовах через гравітацію на Місяці, не є доцільним. У запропонованих проєктах теплового перетворення сонячної енергії космічними енергостанціями ККД досягав 40% [6]. Однак питома потужність становила 2,2-4 кг/кВт, а тепловідвідна система становила 30-60% від усієї маси, що відповідає 18-36 тис. тон. Через низку причин, а саме таких, як: масогабаритність параметрів агрегатів генеруючої установки, рекуператорів, холодильника-випромінювача, це призводить до неможливої реалізації проєктів найближчим часом. Усунути основні недоліки, при створенні потужної енергостанції на Місяці можливо шляхом реалізації нових принципів її функціонування, основна ідея якої полягає у створенні замкнутих теплоперетворювальних камер з робочим тілом, поверхні яких наближені до абсолютно чорного тіла, які виконують одночасно функцію нагрівача та холодильника-випромінювача [87].

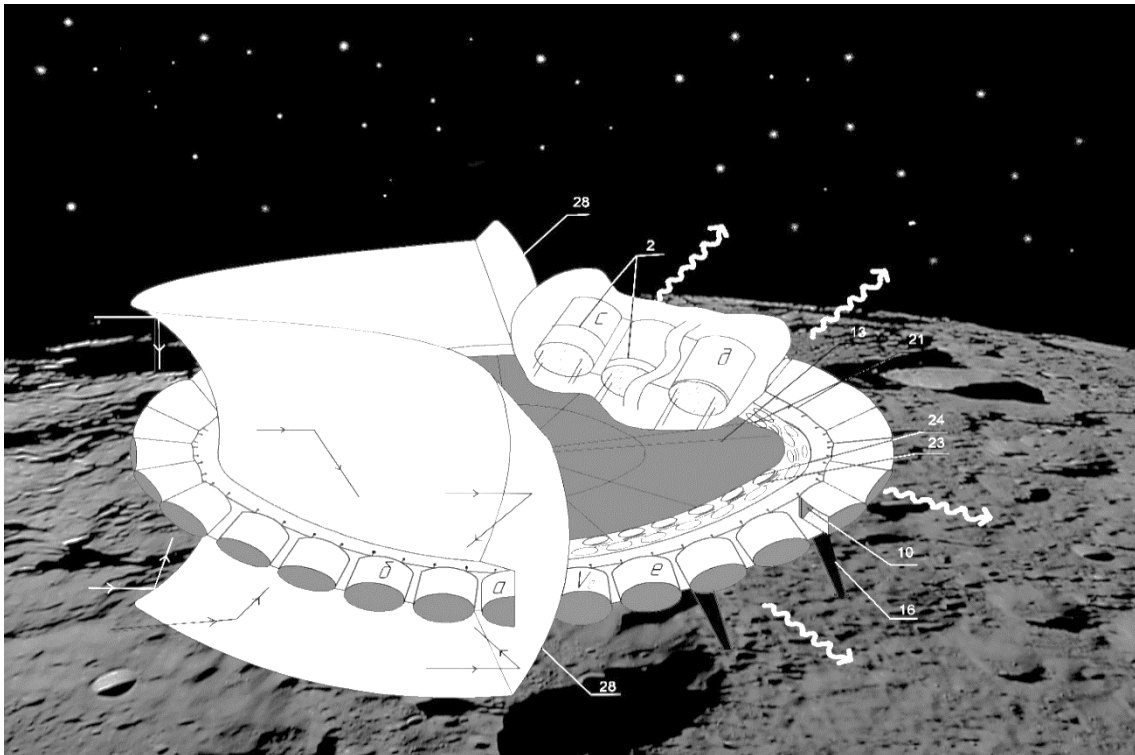


Рисунок 3 Конструкція СЕМБ

### Принцип роботи СЕМБ

Принцип функціонування СЕМБ полягає у перетворенні кожною камерою сонячної енергії в енергію обертального руху складових надпровідного електрогенератора за допомогою кінематичних зв'язків. Нагрівачами

концентрованим потоком повного спектру сонячної радіації легковажну жароміцну камеру, поверхня якої наближена до абсолютно чорного тіла, з рухомим поршнем, в якій знаходиться система з рідкої та газоподібної фаз (вода та волога пара) при високому тиску і відповідної йому температурою кипіння, виникає ізобарно-ізотермічний процес.

Один з варіантів конструкції СЕМБ представляє енергооб'єкт, що складається з трьох частин (рис.3). До першої відноситься конструкція з послідовно з'єднаних між собою по колу на периферії камер, що поглинають тепло, з циліндрами, робочим тілом і поршнями зі штоками в них. До другої належить силова ферма. На ній відразу за корпусами камер, ближче до центру, закріплені елементи кінематичних зв'язків для штоків поршнів, за якими, також по колу, розміщені обмотки надпровідного ротора жорстко закріплених з рамою. Між обмотками ротора розміщені обмотки надпровідного статора, які за допомогою жорсткого зв'язку закріплені з нерухомою віссю. Ця частина розміщена коаксіально щодо першої та обидві мають загальну вісь, перпендикулярну площині кола. Детальний опис конструкцій, схеми та функціонування [9].

#### **Список літературних джерел**

1. Space-Based Solar Power As an Opportunity for Strategic Security. Phase o Architecture Feasibility Study /Report to the Director, National Security Space Office. 10 October 2007.

2. Райкунов Г.Г., Мельников В.М., Чеботарёв А.С., Гусевский В.И., Харлов Б.Н. Проблемы создания космических электростанций (КЕСЕ) мощностью 1-10 ГВт, транслирующих энергию на Землю. //Наука и технологии в промышленности. 2011. №3. С.69-73.

3. M.J. O'Neill, M.F. Piszczor, M.I. Eskenazi, M.M. Botke, H.W. Brandhorst, D.L. Edwards, P.A. Jaster. Proc. 29 th IEEE Photovolt. Specialists Conf. (New Orleans, 2002) p. 916.

4. Gregory D.L. – J. Energy, 1977., vol. 1, № 2, p. 85.

5. Gregory D.L. – In: Proc. 13 th JECEK., N.Y., 1977, p.1386.

6. Manoff M. – In: Proc. 13 th JECEK., N.Y., 1978, p. 185.

7. Комбінований перетворювач сонячної енергії [ текст ]: пат. 86983 UA ПМК (2009), НО1L 31/00, F03G 6/00/ Мар'їнських Ю.М. Мар'їнських І.Ю. - № 2007 00416; публікація 25.07.08, Бюл. №14.

8. Автономно керуюча космічна сонячна енергостанція Мар'їнських ( АКСЕМ ) [ текст ]: пат. 59308 UA МПК 2011.01, НО1L 31/00/, Мар'їнських Ю.М., Акуленко В.Л., Пепеляєв І.О., - № 2010 12588, публікація 10.05.11, Бюл. №9.

9. <https://maryinskykh.ishostka.sumdu.edu.ua>.

10. U.M. Mar'yinskykh. Gyroscopic Solar Power Satellite With The New Thermal Conversion System And Superconductive Generator // *Applied Solar Energy*, 2019, Vol. 55, no. 6, pp. 409–411.

СЕКЦІЯ 4  
Післявоєнна відбудова та управління  
економікою України

SECTION 4  
Postwar reconstruction and management  
of Ukrainian economy

## **ПІСЛЯВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

**Ю.М. Мануйлович**

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
manuilovich86@gmail.com

Сьогодні перед Україною стоїть завдання повоєнної відбудови внаслідок російської агресії. Процес відбудови економіки, інфраструктури та соціально-економічного розвитку є надзвичайно важливим і невідкладним. Відродження економіки України потребує комплексних дій на всіх рівнях, включаючи реформування структури виробництва, залучення інвестицій, розвиток високотехнологічних галузей тощо.

Поточна економічна ситуація в Україні вимагає реалізації широкого комплексу системних змін у вітчизняній економічній системі з метою досягнення якісного і кількісного росту національної економіки.

Важливим фактором зміцнення державної незалежності, національної самоідентифікації та національної єдності є економічний розвиток. В Україні вже відбувається поступове відновлення пошкоджених або зруйнованих російською армією міст та об'єктів. Відновлюють роботу магазини, офіси та підприємства. Ці дії відповідають нагальним і місцевим потребам і завданням реконструкції. Після закінчення війни розпочнеться повне відновлення української економіки як на національному рівні, так і на рівні окремих регіонів, галузей і підприємств. Тому аналіз основних завдань і викликів цього процесу є значущим і досить важливим завданням.

Першим і найважливішим кроком у відновленні української економіки після війни повинні бути надійні зобов'язання щодо забезпечення безпеки та запобігання подальшим військовим конфліктам на території України. Важливо забезпечити стійкий фундамент безпеки, який є першорядним завданням у процесі відновлення країни після війни. Такі гарантії безпеки мають надаватися як міжнародним співтовариством, так і самою Україною [3].

Відновлення економіки у післявоєнний період вимагає розробки стратегій, необхідних для відродження та подальшого розвитку кожного конкретного регіону. Це включає в себе створення умов для повернення населення, забезпечення його гідними умовами для існування, вирішення соціальних проблем, що виникли внаслідок війни, відбудову об'єктів критичної та цивільної інфраструктури та її інтеграцію з іншими регіонами країни, а також розробку механізмів забезпечення джерел відновлення.

Отже, одним із питань, що постає перед місцевою владою, є створення ефективної системи моніторингу для різних категорій осіб, які переселяються в нові громади на різний термін:

- транзитні особи, які проживають у нових громадах лише на короткий період - від кількох днів до кількох місяців;
- групи тимчасового перебування, які планують проживати на території громади від кількох місяців до одного року;
- переселенці, які орієнтовані на постійну зміну місця проживання, включаючи релокацію свого бізнесу [5].<sup>24</sup>

Ці дії спрямовані на впорядкування інтеграції нових жителів та бізнесів у місцеві громади та підтримку стабільного відновлення регіональної економіки.

Під час відбудови економіки України після війни необхідно здійснити перетворення та зробити її більш раціональною. Сувору та низькотехнологічну модель слід замінити моделлю, що використовує високі технології та інновації. Слід підкреслити, що в післявоєнний період ми не можемо домовитися лише про експорт сировини та використання застарілих технологій. Утримання експорту передових технологій на рівні 3-5% є недостатнім, оскільки така ситуація призведе до недієздатності та конкурентоспроможності вітчизняної економіки. Одним із ключових аспектів післявоєнної відбудови є необхідність пошуку моделі, яка дозволить одночасно вирішити багато гуманітарних проблем, відновити постраждалу від масових руйнувань інфраструктуру та забезпечити пошук нових джерел фінансових і матеріальних ресурсів та їх ефективний розподіл.

Російська військова агресія породила ряд викликів для соціально-економічної системи України. Ці виклики впливають на всі рівні її функціонування, включаючи державні інституції та окремі домашні господарства. Це вимагає ідентифікації таких викликів і розробки рекомендацій щодо зменшення їх негативного впливу на національну економіку, її складові, а також соціальну сферу країни.

Суттєвим викликом для України під час переходу до поствоєнної трансформації є вплив умов глобалізації. У перехідний період після проголошення незалежності Україна вже мала цей інструмент як можливість для перебудови економіки на ринкові засади. Однак через певні фактори країна втратила цю можливість.

Приклади країн, які пройшли через процес післявоєнної відбудови, показують, що не існує єдиного універсального методу для відновлення економіки після війни. Кожна країна має свої унікальні економічні, геополітичні і культурні особливості, і відновлення варіюється в залежності від цих факторів. Однак, незважаючи на ці відмінності, існують загальні стратегії, які використовуються у багатьох країнах для успішної післявоєнної відбудови економіки:

- державне антикризове регулювання, яке допомагає активізувати процеси відновлення національного виробництва;
- лібералізація економіки, яка сприяє відкриттю ринків та залученню іноземних інвестицій;
- розвиток високотехнологічних галузей економіки для створення інновацій та підвищення конкурентоспроможності;
- створення експортно-орієнтованої економіки для розвитку зовнішньої торгівлі та збільшення обсягів експорту;
- залучення значних зовнішніх фінансових ресурсів для підтримки процесу відновлення [1, с. 19].

Узагальнюючи досвід багатьох країн, які у різні роки стикалися з проблемами повоєнного відновлення, основними напрямками відбудови української економіки можуть бути наступні (рис. 1):



Рисунок 1. Основні напрями післявоєнної відбудови економіки України розроблено авторами на основі аналізу джерела [3].

Відновлення та розвиток України ґрунтуються також на можливості повної інтеграції в Європейський союз як повноправного члена та на зміцненні співпраці з країнами Групи G7. Останні не лише слугують прикладом для впровадження передових процесів відновлення, але також можуть стати важливими донорами проєктів відбудови. Основними напрямками стратегії є цифровізація та зелений курс, спрямований на декарбонізацію економіки та запобігання негативним кліматичним змінам [8].

В офіційній Концепції економічного відновлення України основною ідеєю перетворення української економіки є проведення екологічної модернізації відповідно до Європейського Зеленого Курсу. З цієї причини всі нові промислові споруди в галузях, таких як металургія, харчова переробка та енергетика, будуть будуватися з дотриманням принципів «зеленої» економіки, що передбачає мінімальний викид вуглецю та обмежену залежність від викопного палива. Для цього передбачається значний фінансовий внесок з боку західних партнерів України для розвитку «зелених» технологій [14, с. 32]. Водночас, поки що невідомо, яким чином будуть враховані кліматичні вимоги у відбудові існуючих українських підприємств, які ще до початку російської агресії, відзначалися великими викидами парникових газів, забрудненням навколишнього середовища та накопиченням значної кількості відходів.

Під час відновлення економіки України необхідно знайти перехідні механізми, які дозволять врахувати концепцію «зеленої» економіки, з метою досягнення цілей

сталого розвитку. Одним з таких способів може бути використання кліматичних інвестицій, спрямованих на забезпечення гармонійних відносин між людиною та природою, зокрема, щодо створення «зелених» робочих місць у всьому світі, включаючи Україну, в процесі відбудови після війни. Важливо при цьому уникати надходження до України так званих «брудних інвестицій», особливо з екологічного погляду, оскільки країна потребує створення робочих місць для безробітних та інвестицій у впровадження екологічних інноваційних проєктів, а не забруднення навколишнього середовища.

Важливим елементом у післявоєнній відбудові економіки України може бути споживча кооперація. Враховуючи потребу в значній фінансовій підтримці для відновлення та розвитку економіки України після війни, споживча кооперація може застосувати наступні рекомендації для ефективного використання міжнародної допомоги від інших країн:

- розробити проєкти, які мають конкретний економічний та соціальний вплив (важливо створити дієві бізнес-плани та інвестиційні пропозиції);
- залучити іноземних інвесторів та підприємців;
- розробити план використання міжнародної допомоги та забезпечити його ефективне виконання;
- використовувати мережу міжнародних контактів та партнерств;
- забезпечити відкрите спілкування та звітність перед міжнародними партнерами.

Споживча кооперація може активно сприяти у підготовці та проведенні інвестиційних форумів та бізнес-місій, що сприяють залученню іноземних інвестицій та підприємців [9].

Внаслідок бойових дій на території України виникла ще одна серйозна проблема, пов'язана зі знелюдненням сільських територій, яку можна вирішити завдяки розвитку сільськогосподарської кооперації. Це стає особливо актуальним через зростання попиту на якісні екологічно чисті продукти на світовому ринку, що може стати перспективою для сталого розвитку українського сільського господарства.

На сьогоднішній день лише великі українські аграрні компанії можуть конкурувати на світовому ринку з міжнародними аграрними фірмами. Досвід показує, що створення розгалуженої мережі кооперативних організацій одночасно вирішує багато соціально-економічних проблем. Позитивний суспільний, економічний і соціальний вплив від впровадження сільськогосподарської кооперації свідчить про необхідність розгляду шляхів її впровадження в Україні [8].

Важливе значення для відбудови післявоєнної економіки України має також аналіз розвитку проєктного фінансування, включаючи вивчення його сутності, принципів впровадження та адаптації світового досвіду до українських реалій. Міжнародний досвід у фінансуванні та реалізації інвестиційних проєктів вказує на високий рівень ризику у цій сфері порівняно з іншими видами підприємництва.

Це пояснюється тривалим життєвим циклом інвестиційних проєктів та невизначеністю щодо майбутніх результатів. Україна, в умовах економічних трансформацій та перебудови відносин, потребує впровадження фінансування інвестиційних проєктів, які сприятимуть відновленню та оновленню економічного та виробничого потенціалу країни [2].

Головний акцент після перемоги має бути зроблений на потребі внесення основного та обігового капіталу і використанні новітніх технологій та управлінських інновацій, які сприятимуть створенню нових підприємств.



Саме тому при розробці плану відновлення та реформування економіки України велика увага має бути приділена ефективній кредитній політиці та стимулюванню приватних інвестицій. Ці заходи сприятимуть збільшенню кількості робочих місць для громадян України, включаючи тих, хто планує повернутися додому після перемоги з інших регіонів або з-за кордону, а також демобілізованих військовослужбовців.

Потенційними джерелами післявоєнної відбудови України можуть бути наступні:

- централізована урядова підтримка постраждалих регіонів;
- міжнародна технічна допомога, в першу чергу, у формі грантів тощо;
- репарації;
- приватні інвестиції;
- фінансова допомога у формі пільгових кредитних ліній з боку міжнародних фінансових інститутів – Світовий банк (СБ), Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) тощо [8].

Під час відновлювального періоду в різних регіонах України виникне потреба у робочій силі для подолання наслідків збройної агресії та відбудови інфраструктури, підприємств, житлового фонду тощо. Це, в свою чергу, призведе до потреби у внутрішньому переміщенні працівників. В такому контексті, вже сьогодні необхідно проводити структурні зміни в економіці, що передбачають реорганізацію ринку праці на новій основі. Ринок праці має бути різновекторним і спрямовуватися як на внутрішні, так і на зовнішні сегменти.

Важливими рішенням на державному рівні для зменшення впливу негативних наслідків війни на ринок праці в Україні є створення спільних ініціатив з міжнародними та іноземними донорами для підтримки зайнятості в Україні, включаючи збільшення кількості українських фахівців, які працюють онлайн на ринках розвинутих країн (наприклад, аутсорсинг або фріланс), розробка національних програм для підтримки підприємницьких ініціатив громадян України та впровадження загальнодержавних навчальних програм для перенавчання безробітних на важливі спеціальності, необхідні для країни [15].

Розробка і успішна реалізація стратегій відновлення України після війни потребують наукового аналізу та практичного врахування проблем і особливостей економічного розвитку, які сформувалися до війни і загострилися під час неї. До таких проблем можна віднести:

- викривлена структура виробництва та експорту, де переважають низькотехнологічні та сировинні галузі;
- використання ресурсо- та енергозатратних моделей виробництва й споживання;
- концентрація власності та відсутність сильного конкурентного середовища;
- відсутність ефективних механізмів для формування капіталу та приваблення інвестицій;
- масова міграція населення, особливо молодого покоління;
- територіальні розбалансованості в соціально-економічному розвитку, зокрема відсутність стратегій розвитку сільських територій [7, с. 49].

Розв'язання цих проблем шляхом впровадження системних реформ і зміни моделі економічного розвитку є важливим завданням для збереження і розвитку України.

До головних реформ в післявоєнній економіці України варто віднести:

- перебудову структури економіки;
- реформування механізмів регулювання МСБ;
- реформування ринку праці;
- реформа управління державною власністю;
- реформа правоохоронних органів;
- реформа ринків;
- імплементація економічної частини Угоди про асоціацію між Україною та ЄС.

На жаль, війна призводить до значного руйнування економічного потенціалу України. В сучасних умовах, коли має місце активна глобалізація у світовому масштабі, Україна втрачає людський капітал, важливі ресурси, об'єкти інфраструктури, зменшуються фінансові можливості, знижується конкурентоспроможність підприємств тощо. Відновлення та глобальна перебудова вітчизняної економіки постають основними завданнями на післявоєнний період.

За таких умов, сучасну ситуацію слід розглядати, в першу чергу, в контексті пошуку нових можливостей для економічного розвитку країни у світовому масштабі, імпортно-експортного переспрямування на нові ринки, пошуку надійних союзників та торгових партнерів, пошуку нових сфер розвитку вітчизняної економіки, з поступовим переходом від експорту сировини та необробленої сільськогосподарської продукції – до створення додаткової вартості та запровадження високо технологічного інноваційного виробництва, з акцентом на максимальне використання наявного географічного та природно-кліматичного потенціалу.

В рамках проведення цього дослідження було здійснено узагальнення негативного впливу війни на соціально-економічні процеси в Україні, проаналізовано загальний стан національної економіки і визначено сутність та зміст заходів повоєнного відновлення. Обґрунтовано, що зараз Україна зіштовхується зі значним спектром соціально-економічних проблем, і ці проблеми залишаються актуальними і в період післявоєнного відновлення. Отже, необхідно ідентифікувати ці виклики та розробити стратегії для їх подолання, з метою зменшення негативного впливу на соціально-економічні процеси в країні.

Відновлення економіки України вимагає комплексних заходів на всіх рівнях, включаючи реформу структури виробництва, залучення інвестицій, та розвиток високотехнологічних галузей.

#### **Список літературних джерел**

1. Вітер О., Килин О., Стручок Н. Європейські стратегії післявоєнної відбудови економіки. Таврійський науковий вісник. 2023 № 16. С.15–21. DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.16.2> (дата звернення: 06.09.2023).

2. Головня Ю. І., Писарчук О. В., Котельникова Ю. М. Можливості проєктного фінансування у відбудові економіки України: аналіз світового досвіду. Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. 2023. № 37. С. 482–489. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8272381> (дата звернення: 06.09.2023).

3. Дерій В. Основні напрями післявоєнної трансформації економіки України. Трансформація економічних систем та інститутів у нових геостратегічних реаліях : матеріали XXXIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів (м. Дніпро, 24–25 квітня 2023 р.). Дніпро, 2023. С. 294–297. URL:

[https://duan.edu.ua/images/Announcements/UA/Departments/IER/2023/Theses\\_int\\_econom\\_April\\_23\\_2.pdf#page=295](https://duan.edu.ua/images/Announcements/UA/Departments/IER/2023/Theses_int_econom_April_23_2.pdf#page=295) (дата звернення: 06.09.2023).

4. Дорош І. М. Повоєнне відновлення економіки України: стратегічні напрямки. Публічне управління та інновації. Міжнародний форум 22-23 червня 2023 : тези доповідей. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2023. С. 39–40.

5. Завербний А. С., Паращич М. І. Формування стратегії відбудови економіки України в післявоєнний період. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Одеса, 23–24 вересня 2022 р.). Одеса, 2022. С. 483–484. URL:

[http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/16380/1/конф\\_Одесса.pdf#page=483](http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/16380/1/конф_Одесса.pdf#page=483) (дата звернення: 06.09.2023).

6. Мороз Є. О. Економічні виклики та пріоритети післявоєнної відбудови України в умовах постсоціалістичної трансформації. Міжнародна безпека у світлі сучасних глобальних викликів. Країни Балтії – Україна: єдність, підтримка, перемога: збірник наукових праць. Київ, 2023. С. 180–183. URL: [https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7358/mizhnar\\_bezpeka\\_svit\\_li\\_suchasn\\_hlobal\\_vyklykiv\\_krayiny\\_baltiyyi\\_ukrayina\\_yednist\\_pidtrymka\\_peremoha\\_23.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=180](https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7358/mizhnar_bezpeka_svit_li_suchasn_hlobal_vyklykiv_krayiny_baltiyyi_ukrayina_yednist_pidtrymka_peremoha_23.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=180) (дата звернення: 06.09.2023).

7. Новик Т. Повоєнна відбудова України у контексті довоєнних економічних проблем. Grail of Science. 2023. № 30. С. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.04.08.2023.004> (дата звернення: 06.09.2023).

8. Охріменко О., Попов Р. Повоєнна відбудова України: потенціал та стратегія перетворень. Економіка та суспільство. 2022. № 45. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-7> (дата звернення: 06.09.2023).

9. Писарчук О. В., Орел Ю. Л., Єжелій Ю. О. Особливості бюджетування грантових заявок: аналіз повоєнної відбудови української економіки. Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. 2023. № 37. С. 451–458. URL: <https://nzlubp.org.ua/index.php/journal/article/view/833> (дата звернення: 02.04.2024).

## ПЕРСПЕКТИВИ КРАХУ РОСІЙСЬКОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Т.С. Лук'яненко<sup>1</sup>, Р.В. Закусило<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ВСП «Глухівський агротехнічний фаховий коледж Сумського НАУ»  
tatluk08@ukr.net

<sup>2</sup> Шосткинський інститут Сумського державного університету

**Вступ.** Як відомо, головним рушієм будь-якої війни однієї країни проти іншої є економіка. Черговим підтвердженням цього стала й теперішня агресивна війна Росії проти України, що триває вже третій рік.

Цілком очевидно, що матеріальні зиски від війни в Україні формують головну мотивацію для можновладців у Кремлі щодо підтримання високої напруженості бойових дій, штовхають Росію на завоювання нових територіальних здобутків в Україні, не рахуючись ні з людськими жертвами, ні з матеріальними втратами, ні з міжнародним іміджем.

Брехлива державна пропаганда Росії подає захоплення чужих територій як «боротьбу за справедливість», що сьогодні цілком задовольняє внутрішнього споживача в Росії, задурманеного ідеями величності та зверхності.

Для міжнародних урядів у Кремля існують інші засоби досягнення власних цілей: шантаж застосуванням ядерної зброї, підкуп керівників і урядів у країнах, що становлять інтерес для Росії, підтримка терористичних режимів, створення нових альянсів і зон нестабільності за участі країн і лідерів, визнаних міжнародними злочинцями, здійснення диверсій і терористичних актів у країнах Заходу під прапором третіх країн задля руйнації стабільності і встановлених норм існування, заснованих на правилах.

Сценарій та інструменти зовнішнього впливу Росії з метою створення міжнародного хаосу задля досягнення своїх загарбницьких цілей широкий і випробуваний десятиліттями ще від часів більшовистської Росії та Радянського Союзу. Він постійно розвивається, доповнюється та оновлюється. Одним з полігонів для впровадження російських теорій сучасної війни стала Україна.

Метою цієї війни для Путіна і його посібників стало знищення українського народу та захоплення територій. На її обґрунтування та інформаційне супроводження загарбницьких дій Кремля спрямовані значні фінансові, матеріальні, людські та технологічні ресурси.

Оскільки будь-які ресурси мають вичерпний характер, доцільно розуміти що така згубна для країни і російського народу політика Путіна розрахована виключно на забезпечення його особистого панування.

**Аналіз.** Після початку повномасштабного вторгнення до України російська економіка демонструвала зростання. Однак зараз стає очевидно, що цей процес припиниться вже у 2025 році. Про це йдеться у звіті Інституту вивчення війни (ISW).

На думку аналітиків, нещодавня економічна політика Кремля свідчить про те, що економіка Росії, ймовірно, зіштовхнеться з серйозними труднощами у 2025 році. Це викликає занепокоєння у Володимира Путіна щодо економічної стабільності країни в довгостроковій перспективі.

Зокрема, Кремль нещодавно прийняв кілька заходів, спрямованих на скорочення витрат уряду на лікування поранених військових, боротьбу з інфляцією та вирішення демографічних проблем, таких як низький рівень народжуваності.

Ці кроки вказують на те, що економіка Росії не така стійка до західних санкцій, фінансових обмежень та витрат на ведення війни, як це намагається зобразити російський уряд.

Експерти відзначають, що постійна підтримка України з боку Заходу та міжнародного співтовариства на полі бою ще більше ускладнить економічні труднощі Росії. Та і сам російський диктатор Володимир Путін визнав, що санкції спричиняють проблеми економіці РФ.

Вже всім очевидно, що ціна війни для Росії постійно зростає. Звісно, Росія - це "ресурсна країна" і там всього дуже багато. Але наскільки вистачить їхнього "запасу міцності"?

Зараз економіка Росії вийшла на так зване «плато». Але водночас спостерігається поступове погіршення ситуації та збільшення токсичних місць у російській економіці. Зростає кількість "слабких місць", і їх буде ставати все більше. На найближчий період у Росії поки що є ресурси, зброя та тіла, якими можна компенсувати втрати у техніці. Але це не назавжди.

Виходячи з офіційних показників, ВВП країни-агресорки зріс на 3,6% у першому півріччі поточного року, інвестиції у основний капітал за перше півріччя зросли майже на 10%. Реальні наявні доходи громадян за перше півріччя мають зростання на 8,1%.

"Але це "анаболічне" зростання як результат роботи уряду, Центробанку РФ. І це по формальних показниках. Хоча є ознаки, що заявлені показники значно завищені. Деякі навіть рази у 2-3. Вже те, що ставку рефінансування підвищують, свідчить про те, що реальна ситуація значно гірша, ніж нам показують", - пояснює економічний експерт Ярослав Романчук.

Під "анаболічним" зростанням експерт має на увазі зростання економіки не природнім шляхом, а як у атлета на стероїдах – завдяки спеціальним "препаратам", що у випадку з економікою є шаленим грошовим потоком, пов'язаним з війною. Це впливає на всі показники, у тому числі й на доходи громадян, які на військових виплатах та держзамовленнях значно зросли.

За словами Ярослава Романчука, середня реальна місячна зарплатня в Росії зросла на 10% за перше півріччя з урахуванням інфляції. Роздрібна торгівля зросла на 8,8%, а інфляція склала лише 5% за півріччя. Держбюджет виконується також достатньо стабільно, а його дефіцит за перше півріччя становить лише близько 1,5% ВВП. Фонд національного благоустрою (ФНБ) у жовтні склав 12,8 трлн рублів, що дорівнює приблизно 138 млрд. дол.

"Ім є на чому заробляти – свою нафту вони оцінюють у 70 доларів, що впливає на статистику. Але сам російський уряд каже, що 80% ФНБ вже є неліквідними активами – цінні папери Сбербанку, Ростеху та інших держкомпаній. Вони просто роздають ці гроші держкомпаніям", - каже експерт.

Як вивести кошти з ФНБ чи іншого державного фонду на рахунки державних компаній, але так, щоб загальна оцінка фонду не зменшилася, і "глибинарії" не почали панікувати? Потрібно просто обміняти реальні гроші на цінні папери від цих же держкомпаній.

Так, цими паперами розплатитися неможливо і продати нікому, крім самої держави. Але їх вартість у загальній "корзині" фонду створюватиме враження, що у ФНБ дійсно складає 133 млрд дол, а не в рази менше.

Наступного року Росія виділяє рекордні 13,5 трильйона рублів на свій оборонний бюджет. Це має надати стимул її економіці, але такі витрати не можуть тривати вічно.

За допомогою державних грошей вони можуть підтримувати економіку на плаву, але в якийсь момент в уряді закінчатся гроші, наслідком чого стане рецесія.

Зараз однією з найбільших проблем економіки Росії є інфляція. Так, ключова ставка за останні місяці постійно зростає - у липні з 16 % вона зросла до 18%, друге підвищення відбулося у вересні – 19%, а 25 жовтня Російський Центробанк підняв ключову ставку до максимального рівня за 20 років – до 21%.

Ключова процентна ставка – найменший відсоток, за яким Центробанк Росії видає кредити комерційним банкам. Коли ця ставка зростає, кредити стають дорожчими. Це призводить до уповільнення економічного розвитку і зменшення купівельної спроможності людей, що допомагає знизити рівень інфляції.

Процентна ставка на рівні 21% є надзвичайно високою за сучасними стандартами. Вона значно перевищує рівні, що характерні для більшості країн, де відсотки зазвичай варіюються від кількох до десяти. Подібні високі ставки застосовуються за умови, коли економіка зіштовхується з сильною інфляцією або іншими серйозними фінансовими труднощами.

Водночас російська економіка страждає від валютних проблем, зокрема через обмежений доступ до долара та інші західні санкції. Це обмежує можливості РФ торгувати, особливо енергоресурсами, які становлять значну частину її загального доходу.

Тому Росія була змушена звернутися до альтернативних валют, таких як китайський юань, щоб зміцнити свій баланс і підтримувати торгівлю. Але китайський бізнес дедалі більше намагається уникнути справ з Росією через побоювання стати об'єктом вторинних західних санкцій.

На цьому тлі падає й експорт з РФ. За перше півріччя 2024 року загальний експорт РФ впав на 9% - до 138 млрд дол. Це якраз показник того, як кількість переходить у якість – багато малих проблем дають у результаті все більш помітний результат.

Експорт вугілля впав на 11,4%, а експорт металів на 15,7%. Все через те, що закупівлю вугілля вирішив диверсифікувати Китай. Через це заробіток російських вугільщиків впав до 81,1 млрд руб., що на 178 млрд менше, ніж минулого року. Їхній чистий збиток виріс до 72 млрд руб (або на 270%).

Наприклад, російський експорт до Південної Кореї скоротився на 35% - до 3,794 млрд доларів. Що, однак, теж досить багато. Справа у тому, що, через загрози вторинних санкцій, корейський уряд постійно збільшує перелік заборонених до закупівлі російських товарів. І чим більше Росія співпрацює з Кореєю Північною, тим охочіше південнокорейці вводять такі обмеження.

Паралельно, йде хвиля блокувань експортних й імпорتنих транзакцій росіян та російського бізнесу у закордонних банках. Турецький державний Ziraat повідомив про зупинку взагалі всіх транзакцій з рублем, а казахстанський Freedom Bank "призупинив" грошові перекази по системі "Золота корона". Так само вчинили банки з ОАЕ, через які проходила оплата до 20% закупівель ноутбуків для продажу в РФ.

Подібні обмеження були введені киргизстанськими та китайськими банками. Китайські банкіза блокували до 80% відсотків грошових переказів за імпортні товари, які призначалися росіянам.

Через це китайці зупинили постачання деяких важливих для Росії товарів – у першу чергу, для хімічної промисловості. Причому навіть через посередників з Саудівської Аравії, які охоче раніше працювали з росіянами. Через що у російських промисловців "почалася паніка". І це після того, як КНР почав скорочувати закупівлі російської нафти, замінюючи її на саудівську.

Якби не Індія, яка значно наростила закупівлі нафти й готова забирати ті надлишки, які не хочуть купувати китайці, то для росіян ситуація стала би ще менш приємною. Але тут інша проблема – росіяни не знають, куди потім витратити індійські рупії, адже їх ніхто крім індусів не приймає, а там просто немає такої кількості потрібних росіянам товарів.

Поставки товарів з ЄС теж впали до показників 1999 року після того, як останній банк-посередник – угорський Райффайзенбанк – теж заблокував російські транзакції, а з вересня планує взагалі вийти з російського ринку. Це все відбувається на тлі 14-го пакету антиросійських санкцій та посилення вторинних санкцій від США.

З внутрішнім споживанням в Росії теж не все добре – попри новий врожай та збільшення пропозиції, у Росії прискорюється інфляція на продукти харчування. Серед антилідерів хліб (+11%) та молоко (+10%). Загальна продуктова інфляція там у серпні досягла 10%, що є потужним показником.

І це все відбулося не за рік чи два, а лише за останні кілька місяців.

Розглянемо детальніше вплив санкцій на російську економіку.

Санкції – це інструмент захисту прав людини та демократії проти тих, хто їх зневажає або вчиняє злочини проти них.

Як відомо, санкції є дієвим механізмом стримування та обмеження здатності Росії бути економічно успішною і мати можливість і ресурси надалі продовжувати військову агресію. Вони є способом руйнування військових амбіцій агресора та демонструють єдність демократичного світу.

І так, санкції дійсно дають очікуваний результат. Але є і прогалини, над якими потрібно серйозно працювати.

Інструмент санкцій для тиску на державу-порушника міжнародного права – не новий, і світові відомі випадки, коли він доводив свою ефективність.

Наприклад, у 1976 році, коли США дізналися про таємні спроби Тайваню розробити ядерну зброю, вони призупинили експорт ядерних матеріалів до цієї країни. Зрештою, Тайвань оголосив про відмову від цих планів. Ще один показовий приклад – санкції проти Південної Африки. У 1987 році Генасамблея ООН запровадила нафтове ембарго, аби покарати режим за політику апартеїду. Цей захід підтримали 130 країн, що стало важливим кроком до повалення режиму апартеїду в цій країні.

Та повернемося до тиску на Росію. Російська Федерація кинула виклик міжнародному праву у 2014 році, окупувавши Крим та частину Донбасу. У 2022 році Москва пішла ще далі, розпочавши повномасштабне вторгнення.

Ми часто говоримо, що реакція світу на агресію-2022 була недостатньою.

Проте варто визнати: ці дії РФ викликали безпрецедентну реакцію міжнародної спільноти, і не лише через надання допомоги Україні. Ще ніколи до того Захід та світ не запроваджували такий концентрований масив санкцій проти порушника. Держави Заходу – зокрема ЄС, США, Канада, Велика Британія та інші – у стислий термін активували понад 20 тисяч санкційних обмежень, що дуже швидко зробило Росію однією з найбільш підсанкційних країн у світі.

Зараз санкції впливають на фінансову систему, енергетику, експорт та імпорт стратегічних товарів, транспорт, доступ до технологій тощо.

Утім, важливо оцінити як вплив цих санкцій, так і те, в яких аспектах необхідні доопрацювання.

РФ активно докладається до поширення думки, що санкції "не працюють", але статистика спростовує це твердження. Інше питання, чи є їхній вплив достатнім.

Отже, який результат санкцій щодо РФ?

Насправді санкційна політика завдала відчутного удару по економіці РФ. За підсумками 2023 року зовнішньоторговельний баланс Росії різко погіршився: профіцит торгового балансу впав на 63%, а профіцит поточного рахунку платіжного балансу – на 79% порівняно з 2022 роком.

Зниження припливу іноземної валюти спричинило значну девальвацію рубля, що посилює інфляційний тиск і змусило Центральний банк РФ підвищити відсоткові ставки та повторно запровадити контроль за рухом капіталу.

До початку повномасштабного військового вторгнення в Україну Росія мала 634 млрд доларів США золотовалютних резервів. Завдяки санкціям, накладеним на Центробанк РФ та Фонд національного добробуту Росії, приблизно 313 млрд доларів із цих резервів наразі заморожено, а ті, які не підпали під заморозку – активно витрачаються. З початку вторгнення Росія витратила майже 54 млрд доларів з ліквідних активів Фонду, залишивши у ньому лише золото і юань, які не можуть бути легко використані для фінансування бюджету. Це змушує Росію покладатися на збільшення випуску внутрішніх позик, що своєю чергою підвищує вартість запозичень.

Крім того, Росія втратила основний ринок природного газу в Європі.

Спроби використати газові потоки як важіль впливу не дали бажаного результату: вперше з 1999 року "Газпром" зазнав збитків. Російський енергетичний сектор зазнав значних втрат і через нафтове ембарго та цінові обмеження. З грудня 2022 року по червень 2024 року Росія втратила 78,5 млрд доларів доходів від експорту нафти.

Санкції також суттєво обмежили можливості Росії виробляти новітнє озброєння – БПЛА, танки, крилаті ракети та ремонтувати військову техніку, адже усі ці виробничі процеси були зав'язані на іноземні машини і компоненти.

Наприклад, у жовтні 2022 року АТ "Східна верф" оголосило про банкрутство через неможливість виробництва морських танкерів і ракетних кораблів через відсутність іноземних компонентів, недоступних як на російському, так і на азійському ринках.

Аналогічно дефіцит напівавтоматичної зброї змусив РФ вдатися до використання застарілих і менш надійних боєприпасів.

Фінансовий тиск відчуває також населення Росії.

Держдума Росії 10 липня 2024 року ухвалила закон, що вводить прогресивну шкалу податку для фізичних осіб починаючи з 2025 року, що свідчить про нестачу ресурсів і спробу компенсувати бюджетний дефіцит за рахунок громадян.

У поєднанні із загальним погіршенням економічної ситуації це посилює фінансове навантаження на населення, знижуючи його купівельну спроможність і рівень життя.

Але, мусимо чесно визнавати: попри наявні результати, система санкцій поступово втрачає ефективність через численні прогалини та лазівки, які російська



влада, а також її фізичні та юридичні особи активно використовують для обходу обмежень.

Однією з ключових проблем є те, що низка третіх країн не лише не приєдналися до режиму санкцій, але й продовжують допомагати Москві обходити їх.

Зокрема, деякі країни займаються реекспортом товарів до Росії, попри міжнародні заборони. Це підтверджує стрімке зростання обсягів торгівлі РФ із Китаєм, Казахстаном, Іраном, Киргизстаном і навіть з деякими державами Ради Європи.

Як наслідок, Росія зберігає доступ до іноземних компонентів, нехай і у менших обсягах.

Росія отримує навіть продукцію з країн санкційної коаліції, хоч і не напяму. Значна частина товарів подвійного призначення постачається через посередників у Китаї, Туреччині, ОАЕ, Киргизстані, Казахстані та інших державах. Як мінімум значна частина з них свідомо сприяє обходу санкцій.

Ще одним викликом є створення Росією так званого "тіньового флоту" під прапорами різних країн, що дозволяє ігнорувати встановлені граничні ціни на нафту.

За словами президента України Володимира Зеленського, Кремль заробляє на "тіньовому флоті" від \$10 млрд до \$12 млрд щомісяця.

Окремою проблемою є торгівля російськими слябами (напівфабрикатами для металопрокату), на які санкції не поширюються. Це дозволяє ЄС купувати дешевий матеріал, який сприяє демпінгу, затримує перехід на "зелену" економіку та приносить Росії близько 60 млрд доларів щорічно, що становить близько 3% її ВВП.

У червні Парламентська асамблея Ради Європи (ПАРЄ) підтримала резолюцію "Роль санкцій у протидії загарбницькій війні РФ", над якою я працювала останній рік. У ній зазначені основні досягнення та прогалини санкцій – насправді одного з небагатьох дієвих інструментів міжнародного права проти держави-порушниці.

Світовий досвід підтверджує, що санкції можуть бути дієвими. Від них точно не можна відмовлятися.

Особливо коли йдеться про санкції проти тих, хто скоює злочини проти прав людини, незаконно депортує дітей та інших наших громадян, хто вчиняє екологічні злочини та руйнує культурну спадщину, а також веде пропаганду агресії. А те, що ефективність санкцій зараз зменшується, означає, що санкційний тиск треба посилювати, а не скасовувати.

Є кілька конкретних кроків, які дозволять значно посилити ефективність санкцій проти РФ.

По-перше, це розширення експортного контролю, що дозволить обмежити доступ країни-агресора до критичних технологій і матеріалів, необхідних для розвитку його військових можливостей. Це включає як заборону на постачання іноземних товарів, так і посилення моніторингу міжнародних постачальників, аби унеможливити обхід санкцій.

По-друге, важливою є боротьба з обходом санкцій через дочірні компанії та структури, що використовуються для переведення фінансів та ресурсів між країнами. Важливо створити прозорі механізми моніторингу і забезпечити пильний контроль за фінансовими операціями, щоб мінімізувати можливості для ухилення від санкційних обмежень.

По-третє, необхідно створити реєстр осіб і компаній, що порушують санкції, щоб забезпечити кращу прозорість у міжнародній політиці санкцій. Такий реєстр

дозволить ефективно відстежувати та аналізувати, хто і як обходить санкції, та сприятиме кращій співпраці між країнами для запобігання подібним порушенням.

I, по-четверте, необхідно постійно підвищувати усвідомлення важливості санкцій громадськістю та бізнесом. Шлях до цього пролягає також через посилення корпоративної відповідальності для компаній, які допомагають РФ обходити санкції, тим самим надаючи агресорові ресурси та допомогу для продовження війни. Для цього необхідно запровадити більш жорсткі штрафи та санкції для тих компаній, які порушують міжнародні норми та продовжують вести бізнес з Росією.

Зі зростанням розуміння західними суспільствами того, чому санкції є необхідними – зростатиме і міжнародний тиск, який допоможе змусити Росію змінити свою поведінку на міжнародній арені.

Наразі в міжнародному праві є низка резолюцій, які так чи інакше згадують санкції як важливий інструмент. А резолюція ПАРЄ "Роль санкцій у протидії агресивній війні Російської Федерації проти України" (№ 2557) чітко визначає і закликає країни до:

1. Заборони на імпорт російського скрапленого природного газу та трубопровідного газу, а також на поставки з Росії у сільськогосподарську, металургійну та ядерну промисловість.

2. Введення заборони на експорт критично важливої сировини, товарів військового призначення та подвійного використання до Росії.

3. Посилення контролю за дотриманням граничної ціни на нафту, зокрема шляхом внесення до списку санкцій суден "тіньового флоту", що належать Росії та її партнерам, і заборони їм заходити в територіальні води та порти країн ЄС та інших союзників.

4. Відключення всіх російських і білоруських банків від системи SWIFT.

5. Включення до санкційного списку осіб, відповідальних за переслідування політичних в'язнів.

6. Включення до санкційного списку російських компаній, що займаються виробництвом зброї.

Також у жовтні цього року ПАРЄ ухвалила резолюцію "Пропаганда і свобода інформації в Європі", яка підкреслює важливість боротьби з російською дезінформацією. Цей документ закликає держав-членів Ради Європи накладати санкції на російських пропагандистів і російські державні ЗМІ.

Водночас резолюція визначає Російську православну церкву як інструмент російського впливу та пропаганди, що посилює необхідність міжнародних заходів для нейтралізації її впливу.

Реалізація положень цих резолюцій – це можливість зменшити вплив Росії на міжнародній арені та створити передумови для її відповідальності за агресію проти України.

Російська економіка вже пройшла пік своїх можливостей і вийшла на "плато". Далі буде або швидкий занепад, після якогось потужного форс-мажору, або поступове "загнивання" у стилі пізнього СРСР.

Розуміючи, що зараз вони на максимумі своїх потужностей, Росія поспішає захопити якомога більше українських територій. Бо чим далі, тим складніше їм буде це зробити.

За понад 1000 днів від початку повномасштабної агресії РФ проти України у нас не зменшилося прагнення справедливості, яка точно не обмежується завершенням цієї загарбницької війни.

На думку президента України Володимира Зеленського, від 2025 року економіка Росії буде падати, а невдоволення росіян буде рости. Незадоволене російське суспільство і є тією "ядерною зброєю", яка може знищити Путіна.

Експерти вважають, що військові закупівлі якийсь час утримуватимуть економіку РФ на плаву, але вічно це тривати не може.

**Висновки.** Виснажлива війна в Україні призводить до все нових жертв і втрат. Росії поки що вдається долати вплив економічних і технологічних санкцій Заходу. При цьому міжнародна спільнота вживає недостатніх заходів для зупинки найбільшого агресора і злочинця XXI століття. Та поступ історії невідворотний. Ті, хто вчиняв злочини в Маріуполі, Бучі та інших українських містах, а також причетні до депортації українських дітей мають понести реальну відповідальність. Росія має бути знищена у сьогоднішній формі державного існування.

#### **Список літературних джерел**

1. Вінокуров Я. Що з російською економікою?, Українська правда, 24.10.2023 р.
2. Гафтко С. Російська економіка у 2025 році почне розвалюватись – ISW, Главком, 15.11.2024 р.
3. Ігнатова І. Російська економіка виживає тільки завдяки війні з Україною – Business Insider, 29.09.2024 р.
4. Попов А. "Плато" над прірвою: який запас міцності має економіка РФ. Інформаційне агенство УНІАН, 31.08.2024
5. Роль санкцій у протидії агресивній війні Російської Федерації проти України. Резолюція ПАРС № 2557 (2024). <https://pace.coe.int/en/files/33684/html>
6. У МВФ спрогнозували різке уповільнення російської економіки. Аналітичний портал «Слово і діло», 24.10.2024 р.
7. Центробанк РФ підняв ключову ставку до максимального за 20 років рівня. Укрінформ, 25.10.2024 р.
8. <https://mfa.gov.ua/protidiya-agresiyi-rf/sankciyi-proti-rf>  
<https://www.bloomberg.com/economics>

## **СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ КРИПТОБІРЖ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ**

**Н.В. Барбара, К.О. Бартенєва**

ТОВ «Фаховий передвищій коледж «Оптіма»,  
м. Київ, Україна

E-mail: barbaranatali7@gmail.com

Умови сучасної жорсткої конкуренції змушують криптобіржі ухвалювати стратегічні рішення для розвитку. Питання стану й перспектив ринку криптовалют стали предметом дослідження таких учених і практиків, як Я. Белінська, О. Брагіна, В. Букіна, Г. Верес, І. Зварич, О. Зварич, Ю. Калайда, А. Рафальська та ін. [1–4]. Функціонування криптобірж досліджували М. Буган, І. Гужавіна, С. Гюнай, Е. Дуарте, О. Згурська, Дж. Г. Кео, А. Реджеб, К. Реджеб, М. Солодкий, Т. Сьомкіна, В. Яворська та ін. [5–8]. Однак питання стратегій розвитку криптобірж в умовах сучасної конкуренції залишаються актуальними. Тож метою пропонованої розвідки є систематизація інструментів, які застосовують криптобіржі для розвитку й регулювання ринку криптовалют.

Наразі відсутнє єдине розуміння поняття «криптовалюта». Пропонуємо користуватися найбільш поширеним й узагальненим тлумаченням: криптовалюти – це цифрові валюти, що функціонують завдяки механізму асиметричного шифрування [6, с. 38]. В. Попов, директор із маркетингу Bitcoin-агентства KUNA, уточнює, що «це такий новий вид активів, який відрізняється від звичайних для нас грошей або інших фінансових активів. Від грошей відрізняється тим, що ви володієте валютою безпосередньо й для цього непотрібний банк чи якийсь дозвільний орган. Зберігається в особистому електронному гаманці» [9].

Поняття криптобіржа Ю. Бішко визначає так: «Це платформа (сайт або мобільний додаток), яка дозволяє користувачам купувати, продавати або обмінювати цифрові валюти (Bitcoin, Ethereum, Dogecoin etc.) на інші активи (USDT, BUSD, EUR, USD тощо) або інші криптовалюти. Для трейдера це основна платформа для відкриття угод на купівлю або продаж монет» [10]. CoinMarketCap ранжує та оцінює біржі на основі трафіку, ліквідності, обсягів торгівлі та впевненості в законності заявлених обсягів торгів [11]. У таблиці 1 представлені 10 найбільш популярних криптобірж станом на листопад 2024 року.

Більшість криптобірж базуються на технології блокчейн і пропонують торгівлю криптовалютами [6, с. 118], які є цифровими активами. Це значить, що криптобіржі працюють децентралізовано, здійснюють операції без прямого втручання посередників, таких як банки чи фінансові установи.

Одним із факторів успіху сучасної криптобіржі є розширення асортименту криптовалют для торгівлі [1, с. 11; 3, с. 59]. Нові криптовалюти можуть привабити як нових трейдерів, так і інвесторів, що прагнуть диверсифікувати свої портфелі.

Таблиця 1 – Популярні криптобіржі за рейтингом CoinMarketCap станом на 19 листопада 2024 року [11]

№	Біржа	Trading Volume (24h), UAH	Середня ліквідність	Щотижневі відвідування	Ринки	Монети	Підтримується Фіат
1	<a href="#">Binance</a>	1,737,143,791,82	916	12,979,546	1677	440	EUR, GBP, BRL and +8 more
2	<a href="#">Bybit</a>	358,363,897,568	735	4,764,251	1059	696	USD, EUR, GBP and +3 more
3	<a href="#">Coinbase Exchange</a>	368,788,207,317	797	50,211	411	265	USD, EUR, GBP
4	<a href="#">OKX</a>	301,532,201,610	733	5,138,089	784	305	AED, ARS, AUD and +43 more
5	<a href="#">Upbit</a>	381,530,599,717	598	1,841,499	398	220	KRW
6	<a href="#">Bitget</a>	176,115,691,713	676	5,270,311	1206	838	USD, EUR, GBP and +12 more
7	<a href="#">Kraken</a>	126,641,184,063	768	1,132,794	1008	393	USD, EUR, GBP and +4 more
8	<a href="#">KuCoin</a>	80,604,778,684	689	1,351,579	1275	812	USD, AED, ARS and +45 more
9	<a href="#">HTX</a>	142,171,843,711	533	2,872,728	862	727	ALL, AUD, BRL and +47 more
10	<a href="#">Bitfinex</a>	37,674,805,792	642	109,944	370	171	USD, EUR, GBP

Отже, основні причини для розширення асортименту криптовалют [2; 7; 8]:

- 1) попит користувачів (багато трейдерів та інвесторів хочуть мати доступ до нових або популярних криптовалют; якщо біржа підтримує широкий асортимент монет, вона стає привабливішою для різних категорій учасників ринку);
- 2) диверсифікація (трейдери можуть диверсифікувати портфелі, вкладаючи кошти в різні криптовалюти з різним рівнем ризику й потенційної прибутковості; це знижує залежність від конкретної криптовалюти, наприклад, від Bitcoin або Ethereum);
- 3) зростання ринку (поява нових криптовалют і токенів на ринку часто супроводжується сплеском інтересу, що створює додаткові можливості для бірж і платформ збільшити обсяги торгів, може сприяти створенню нових ринків, що, в свою чергу, створює нові можливості для трейдерів. Наприклад, зростає популярність торгівлі не тільки криптовалютами до долара США, але й між криптовалютами (парні торги, як-от ETH/BTC або ADA/SOL));
- 4) інновації (нові криптовалюти нерідко пропонують унікальні технологічні рішення або застосування, наприклад, у сфері DeFi (децентралізовані фінанси) або NFT (невзаємозамінні токени), тож такі монети можуть залучити новий сегмент користувачів, які цікавляться новими технологіями);
- 5) підвищення ліквідності (нові криптовалюти можуть забезпечити збільшення ліквідності на ринку, що робить торгівлю на платформі більш привабливою; висока ліквідність знижує ризик волатильності й покращує умови торгівлі для користувачів).

Отже, розширення асортименту криптовалют є стратегічно важливим рішенням для бірж і платформ. Це підвищує привабливість, збільшує обсяги торгів, створює нові можливості для інвесторів. Однак процес повинен супроводжуватися

ретельною оцінкою безпеки, ліквідності й відповідності регуляторним вимогам (криптовалюти повинні відповідати вимогам регуляторів у тих юрисдикціях, де працює платформа), щоб забезпечити надійний і стабільний ринок для користувачів. Уведення нової криптовалюти вимагає також інформування користувачів через маркетингові кампанії та навчальні ресурси. При цьому біржа має «балансувати» на межі ризиків, адже деякі нові криптовалюти можуть бути надмірно волатильними, що відлякуватиме менш досвідчених трейдерів або призводити до значних втрат для користувачів. Крім того, підтримка нових криптовалют може вимагати додаткових технічних ресурсів і оновлень інфраструктури платформи, що може призвести до затримок або технічних збоїв [5, с. 6]. Вибір криптовалюти для включення на платформу має спиратися також і на те, наскільки активна спільнота користувачів підтримує проєкт: успішні криптовалюти часто мають сильну залучену спільноту, що підвищує шанси на їх стабільне зростання й популярність серед трейдерів.

Розширення лінійки криптовалют для торгівлі – це постійний процес, який залежить від розвитку ринку, потреб трейдерів і технологічних інновацій у світі блокчейну. Окрім зазначених аспектів, є кілька додаткових факторів і стратегій, які варто враховувати при включенні нових активів на платформу.

Розглянемо сучасні ключові тренди в розширенні криптовалют [4, с. 304-305; 7, с. 120-123; 10]. Децентралізовані фінанси (DeFi) в останні роки набувають популярності, адже надають можливість використовувати фінансові інструменти (кредити, позики, стейкінг) без посередників. Додавання таких монет, як Aave, Uniswap або Chainlink, дозволяє користувачам доступ до інноваційних фінансових інструментів. Невзаємозамінні токени (NFT) розширили можливості для торгівлі цифровими активами, включаючи мистецтво, колекційні предмети, ігрові активи. Хоча NFT не є криптовалютою в традиційному сенсі, багато платформ починають додавати можливість торгівлі токенами, пов'язаними з ними (наприклад, криптовалюти на основі Ethereum, які підтримують смарт-контракти).

Із розвитком Ethereum та інших платформ на блокчейні, мережі другого рівня (L2), такі як Polygon або Optimism, стали більш популярними. Вони зменшують навантаження на основні блокчейни й дозволяють швидше, дешевше здійснювати транзакції. Токени цих платформ привабливі для інвесторів і можуть розширити можливості для торгівлі [10]. Криптовалюти критикуються за високе споживання енергії, тому зростає попит на екологічно чисті блокчейни, що використовують менш енергомісткі алгоритми. Прикладом можуть слугувати криптовалюти на основі механізму Proof of Stake (PoS), такі як Cardano (ADA) або Solana (SOL).

Інтеграція криптовалют із традиційними фінансовими інструментами є важливим кроком у розвитку фінансових ринків і створенні нових можливостей для інвесторів [6, с. 127-129; 8, с. 95-97]. Злиття традиційних фінансів (так званих CeFi – Centralized Finance) із криптовалютами й блокчейном сприяє створенню більш гнучкої, інноваційної та децентралізованої фінансової системи. Один із ключових напрямів інтеграції – токенизація традиційних активів, як-от акції, облигації, нерухомість чи інші цінні папери. За допомогою блокчейн-технологій активи можуть бути переведені в токени, що дозволяє їх вільний обіг і торгівлю на децентралізованих платформах. Токенизовані активи можуть бути представлені як цифрові активи, що можуть торгуватися 24/7 без посередників. Одним із прикладів інтеграції є створення ETF (Exchange-Traded Funds), що засновані на криптовалютах. Такі ETF дають можливість інвесторам купувати акції фондів, які відстежують вартість певних криптовалют, без необхідності безпосередньо купувати самі монети.

Це робить криптовалюти доступнішими для традиційних інвесторів і зменшує ризики, пов'язані з прямим володінням. Багато бірж, таких як CME та CBOE, уже пропонують криптовалютні ф'ючерси. Це дозволяє інвесторам використовувати криптовалюти для хеджування своїх портфелів або отримання вигоди від коливань курсу без необхідності мати монети. Ф'ючерси й опціони – інструменти, що дозволяють знизити ризики й використовувати більш складні торгові стратегії.

Криптовалюти вже можуть бути використані як застава для отримання кредитів у традиційних валютах або стейблкоїнах. Це відкриває нові можливості для інвесторів і підприємців, які мають в активах криптовалюту. У цьому контексті децентралізовані фінанси пропонують ще більший спектр можливостей для отримання позик, надання ліквідності й торгівлі активами.

Отже, вигоди від інтеграції криптовалют із традиційними фінансами суттєві: підвищення ліквідності; диверсифікація інвестиційних портфелів; залучення нових інвесторів; зниження бар'єрів входу (криптовалюти полегшують доступ до фінансових послуг для населення, яке традиційно має обмежений доступ до банківської інфраструктури, завдяки децентралізованим платформам фінансові послуги стають доступнішими навіть у віддалених регіонах, де немає банків). Але як наслідок від інтеграції можуть виникнути ризики, як-от: регуляторні обмеження, збільшення волатильності; зростання вірогідності кіберзагроз.

У результаті здійсненого дослідження можемо зробити деякі **висновки**. Криптовалютні біржі зосереджуються на децентралізації та підвищенні рівня безпеки; децентралізовані біржі (DEX) пропонують торгівлю без посередників, що знижує ризик втрат активів через хакерські атаки або шахрайство з боку централізованих платформ. Країни поступово розробляють закони щодо криптовалют і бірж, і це створює виклики для розвитку криптовалют, оскільки законодавство може обмежити доступ до послуг або збільшити витрати на дотримання нормативних вимог. Водночас, прозора регуляція підвищує довіру інвесторів і знижує ризики.

Криптовалютні біржі постійно розширюють платформи, залучаючи більше користувачів, збільшуючи ліквідність. Це сприяє швидшому виконанню угод, знижує волатильність і створює можливості для інституційних інвесторів. Децентралізовані фінанси й смарт-контракти стають ключовими елементами розвитку бірж. Біржі починають інтегрувати смарт-контракти для автоматизації угод, зниження витрат, усунення ризику шахрайства. Криптовалютні біржі пропонують не лише популярні криптовалюти, такі як Bitcoin та Ethereum, але й широкий асортимент альткоїнів і токенів, які використовуються в різних проєктах блокчейну, зокрема NFT. Криптовалютні біржі активно впроваджують нові технології, такі як високошвидкісні торгові механізми, штучний інтелект для прогнозування ринкових трендів і блокчейн-мережі для захисту активів і забезпечення прозорості. На ринку криптовалют спостерігається жорстка конкуренція: великі біржі поглинають менші або укладають партнерства, щоб зміцнити свої позиції й залучити більше користувачів. Багато бірж пропонують супутні послуги (криптовалютні гаманці, кредитування під заставу криптовалют, стейкінг (надання криптовалют в оборот для отримання винагороди), ф'ючерсні контракти й опціони). Інтеграція криптовалют із традиційними фінансовими інструментами відкриває нові горизонти для розвитку фінансових ринків, забезпечуючи більше можливостей для інвесторів і користувачів. Токенізація активів, криптовалютні ETF, ф'ючерси, опціони й т. ін. сприяють більшій ліквідності, диверсифікації портфелів і зниженню бар'єрів для

входу в фінансовий світ. Для успішної інтеграції важливо розв'язувати питання безпеки, регуляції та технологічних викликів.

#### **Список літературних джерел**

1. Белінська Я.В. Феномен криптовалюти: сутність, механізм виникнення, проблеми використання. Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування. 2018. Вип. 2. С. 11–20.
2. Брагіна О.С., Павлусь М.Г. Роль і значення криптовалют. *ECONOMICS: time realities*. № 3 (35), 2021. С. 16–21.
3. Зварич І.Т., Зварич О.І. Ринок криптовалют в Україні: сучасний стан і перспективи розвитку. Фінанси, банківська справа, страхування та фондовий ринок. Вип. 78. 2024. С. 58–63. URL: [http://www.market-infr.od.ua/journals/2024/78\\_2024/13.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2024/78_2024/13.pdf)
4. Рафальська А.М., Букіна В.О. Перспективи розвитку криптовалюти в Україні. Фінанси, банківська справа, страхування та фондовий ринок. 2022. № 5. С.301-305.
5. Згурська О. М., Сьомкіна Т. В., Гужавіна І. В. Фундаментальні тренди розвитку світової біржової торгівлі. *Інвестиції: практика та досвід*. 2020. № 24. С. 5-9.
6. Солодкий М. О. Яворська В.О. Біржовий товарний ринок. Київ : ЦП «Компринт». 2019, 482 с.
7. Duarte E., Trailing Stop-Loss and Re-Entry Strategies in Europe. *European Journal of Business and Management Research*, 7(3), 2022. P. 118–123.
8. Rejeb, A., Rejeb, K., Keogh, J. G. Cryptocurrencies in Modern Finance: a Literature Review. *Etikonomi*, 2021. P. 93–118.
2. Попов В. Що це: інтернет-гроші, віртуальна валюта чи товар? URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/details/28742278.html>
3. Бішко Ю. Що таке криптобіржі? Як вибрати безпечну криптобіржу? <https://bikotrading.pro/shho-take-kriptobirzha-yak-vibrati-bezpechnu-kriptovalyutnu-birzhu>
4. CoinMarketCap (CMC) : криптосайт для відстеження цін, криптографічних даних. URL: <https://coinmarketcap.com/>



## **МІСЦЕ БУХГАЛТЕРСЬКОГО ОБЛІКУ ПІДПРИЄМСТВА В ПОТРЕБАХ МАКРОЕКОНОМІЧНОГО РАХІВНИЦТВА**

**І.В. Вареник, Н.М. Осадча**

Шосткинський фаховий коледж ім. І.Кожедуба

[n.osadcha@htcolledge.sumdu.edu.ua](mailto:n.osadcha@htcolledge.sumdu.edu.ua)

[i.varenyk@htcolledge.sumdu.edu.ua](mailto:i.varenyk@htcolledge.sumdu.edu.ua)

Актуальність теми дослідження визначається необхідністю удосконалення системи бухгалтерського обліку з метою його інтеграції до національного обліку країни та адаптації міжнародних рекомендацій щодо її побудови і використання з врахуванням сучасних соціально-економічних євроінтеграційних умов нашої країни, а також актуалізації існуючої інформаційної бази розрахунків кінцевих споживчих витрат домогосподарств. Метою дослідження є розробка науково-практичних рекомендацій з удосконалення та адаптації міжнародних рекомендацій щодо використання, з врахуванням сучасних соціально-економічних умов в Україні, існуючої інформаційної бази бухгалтерського обліку та застосування його методики при розрахунках кінцевих споживчих витрат домогосподарств в системі національного рахівництва.

Відповідно до поставленої мети вирішувались наступні взаємопов'язані теоретико-методичні та науково-практичні задачі:

визначення місця методики бухгалтерського обліку як елемента макроекономічного рахівництва в розділі обліку кінцевих споживчих витрат домогосподарств як основного макроекономічного показника, що характеризує життєвий рівень населення;

визначення величини і структури кінцевих споживчих витрат домогосподарств за допомогою ґрунтового аналізу існуючої інформаційної бази бухгалтерського обліку, яка використовується у практиці України;

обґрунтування методики і особливостей статистичного порівняння кінцевих споживчих витрат населення (домогосподарств) в Україні і зарубіжних країнах в межах Проекту міжнародних порівнянь ВВП.

Об'єктом дослідження є методико-статистичні підходи та бухгалтерський інструментарій оцінки кінцевих споживчих витрат домогосподарств.

Предметом дослідження є кінцеві споживчі витрати домогосподарств України.

Науковою новизною одержаних результатів дослідження є результати, що одержані особисто авторами і полягають у розробці наукових засад формування і використання облікових даних первісного бухгалтерського обліку як складової національного рахівництва у вигляді інструмента для оцінки кінцевих споживчих витрат домогосподарств, а саме одержано економічне обґрунтування інституційної природи кінцевих споживчих витрат через характеристики їх пізнавальних властивостей обліку доходів та заробітної плати і їх макроекономічного значення.

З огляду на це, питання адаптації міжнародних стандартів бухгалтерського обліку та національного обліку на сучасні умови, привертають увагу праці науковців різних країн. Серед авторів слід насамперед, відзначити В.Хантке, І.Менге Б.Т.Рябушкіна, Г.Д.Кулагіну, Т.О.Хоменко. В Україні ці питання розглядалися в працях В.П.Анісімова, С.С.Герасименка, О.М.Гладуна, А.В.Головача О.П.Романюка та інших. Також ці питання висвітлювались в публікаціях співробітників Державного комітету статистики України – В.А.Головка, І.А.Іванченка, О.Ю.Беглової, Проте, на сьогодні далеко не всі питання можна

вважати розв'язаними, зокрема, у сфері вивчення розподільчої структури валового внутрішнього продукту (ВВП). Значні ускладнення залишаються з достовірністю даних первісного бухгалтерського обліку та статистичними проблемами визначення абсолютної величини, структури і темпів змін його найбільш вагомої частини – кінцевих споживчих витрат домогосподарств.

Проблеми структури, збалансованості і рівномірного зростання національної економіки та її складових (галузей, інституційних секторів, регіонів) завжди посідали чільне місце у світовій та вітчизняній економічній науці. Нагальність завдань комплексного опрацювання методологічних засад ринкової трансформації національної економіки незаперечно підтверджує актуальність нового, інституціонального підходу в економічній науці.

Особливої ваги цей підхід набуває для визначення стратегії переходу інтелектуальної економіки до євроінтеграційної системи. Адже саме інститути виступають провідниками та глибинною субстанцією ринкових відносин в економіці. Особливого значення набуває історичний досвід інституціональних підходів до питань удосконалення ринкової економіки таких видатних українських учених, як М.Бунге, Г.Симоненко, та інших, що працювали у напрямі політичної економії кінця ХІХ – початку ХХ ст. Значний інтерес до системних досліджень структури національної економіки, господарського механізму і його інституційного регулювання виникає після виходу фундаментальних досліджень Дж. Кейнса, Р. Фріша, Я. Тінбергена, Р.Стоуна, В.Леонтьєва та інших.

У тому ж напрямку з початку свого заснування Організація Об'єднаних Націй розпочинає роботи, спрямовані на проведення економічного аналізу становища різних країн за єдиною методикою, і, таким чином, сприяє систематичним дослідженням інституціонального інструментарію макроекономічних вимірювань – національного рахівництва, структури національних рахунків, підтримки економічної рівноваги та стабільності економічного механізму країни.

В Україні одним із нагальних завдань, що стоять перед економічною наукою, є дослідження значення, місця, ролі та принципів ведення рахівництва, застосування Системи національних рахунків як інструментарію дослідження економічного механізму країни з метою відповідності загальноприйнятій в європейській та міжнародній практиці системі обліку і статистики.

СНР є важливим інституціональним інструментарієм дослідження економічного механізму країни, що дає ключ до розуміння взаємозв'язку економіки на мікрорівні (діяльність малих економічних одиниць - таких, як сімейні господарства, ділові фірми і урядові установи) і загальноекономічних явищ (інфляція, зайнятість, економічне зростання, яке включає створення національного і внутрішнього продукту). Також СНР створює міцну основу для оцінки управлінських рішень, що приймаються у сфері економічного механізму країни, окремих законодавчих актів з точки зору їх впливу на великомасштабні економічні явища в їх взаємозв'язку у сучасній економіці[1].

У цьому контексті особливо очевидною є необхідність по-новому осмислити ті сталі зв'язки, що склалися в ході економічного розвитку країни, міжнародного соціально-економічного буття та співробітництва, а також нові детермінанти розвитку, які визначають параметри соціально- економічної діяльності, враховуючи зростання значення програмно-цілевих факторів розвитку, що опосередковуються у діяльності різноманітних інститутів суспільства. Це, природно, потребує кардинальної зміни розуміння всього економічного обороту економічного

механізму, соціально-економічних процесів, їх обліку і аналізу. В цілому світовий досвід використання СНР в системі господарювання дає позитивну оцінку обліку господарських операцій на всіх рівнях економіки.

Місце бухгалтерського обліку в методичних прийомах Система національних рахунків є важливим елементом у сфері оцінювання ефективності економічної системи та можливостей її інтеграції в європейському просторі. Національні рахунки є засобом аналізу, оцінювання, планування та прогнозування економічних результатів сфери економічного механізму країни. Суспільний розвиток, зміна економічних систем вимагає удосконалення усіх сфер господарювання[2].

Перехід України відносини євроінтеграції потребує докорінного удосконалення процесу макроекономічних вимірювань згідно світових вимог. Але зробити це миттєво неможливо. Цей процес має тривалий еволюційний характер. Для того, щоб прискорити його, не порушуючи внутрішньої сутності, необхідно засвоїти практичний досвід, накопичений країнами з розвинутою економікою, та запровадити міжнародні стандарти обліку і статистики, з урахуванням позитивного національного досвіду.

Аналіз праць вітчизняних та зарубіжних дослідників засвідчує, що на сьогоднішній день в економічній науці сформовано широку концептуальну матрицю теоретичної репрезентації трансформаційних процесів економіки. Господарська діяльність весь час зазнає змін згідно розвитку економічних систем. На думку сучасних дослідників, адекватному сприйняттю багатьох понять, що позначають соціально-економічні зміни, нерідко заважають міфи та ідейно-політичні стереотипи, притаманні відповідним епохам [2]. Перехід від однієї економічної системи до іншої характеризується відповідними змінами у сфері господарських відносин, змінами методик обліку результатів господарювання. Оцінка наслідків трансформаційних процесів в економіці пояснює необхідність змін моделей національного рахівництва відповідно діючій економічній системі з метою якісного її оцінювання.

До цього часу серед вітчизняних та зарубіжних науковців існує проблема розуміння самої сутності трансформації економічних систем, що заважає досконалості рахівництва та обліку результатів господарювання. Палітра існуючих підходів є досить широкою: від трактування трансформацій як руху, що описується певними змінами окремих характеристик макроекономічних систем (різної інтенсивності, глибини, тривалості), безперервної зміни станів, розвитку, до визначення системних перетворень як дискретного перебігу радикальних трансформацій, а не процесу якісних змін [3].

Найзагальнішим поняттям, яке відображає трансформацію економічної системи, є її розвиток – поступовий, спрямований та закономірний процес взаємопов'язаних кількісних та якісних перетворень [2], результатом якого і є сучасна економіка. Сучасна економічна література здебільшого однобічно тлумачить категорію «економічна система». Так, у «Великому економічному словнику» вона характеризується як «структура економічного простору, за якої приватна система управляється ринковим механізмом, а суспільні інститути і уряд, спираючись на ринковий механізм, впливають на економіку шляхом директив і податкової політики» [2]. У «Сучасному економічному словнику» така економіка розглядається як економіка країни, у якій поєднуються ознаки ринкової та соціальної економічних систем.

Українські економісти визначають сучасну економіку як «економічну систему, в якій регулювання економічних процесів здійснюється як ринком, так і державою без вирішальної переваги одного з них» [3]. Колектив англійських вчених стверджує, що така економіка є системою, в якій поєднується наявність конкуруючих приватних підприємств з певним ступенем централізованого регулювання [2]. Таким чином, вітчизняна сучасна економіка – це модель соціально-економічного розвитку, що передбачає поєднання приватної і державної типів і форм економічної власності, державного, монополістичного і ринкового механізмів регулювання, проведення інституційно-соціальних реформ та національного економічного планування з метою побудови ефективного механізму.

Однією із головних цілей трансформації української економіки є становлення конкурентно-спроможної ринкової структури із збалансованим розвитком державного та приватного секторів, підвищення якості життя і добробуту народу, а звідси удосконаленням застосування інтегрованої методики бухгалтерського обліку, статистики та макроекономічного національного рахівництва в цілому.. У цьому напрямі результати трансформаційних процесів мають активізувати можливість моніторингу господарських операцій та їх наслідків, відображати їх в найповнішій мірі, що, насамперед, базується на необхідності реформування національного рахівництва як складової економічного механізму. Особливості розвитку економіки, формування соціально-орієнтованої економіки вимагають удосконалення процесу обліку операцій господарського механізму країни.

Кінцевою метою трансформації перехідного суспільства в Україні є створення умов для переходу до ефективної економічної системи, яка б забезпечувала оптимальні темпи зростання ВВП та високий життєвий рівень населення [4]. Проблема нашої економіки, в першу чергу, полягає не в тому, щоб швидко перейти до європейських засад, а в переході від економіки, що базується на екстенсивному способі розвитку, шляхом інтенсифікації виробництва до економіки, основу якої складають найновіші технології, високий рівень науки в поєднанні з високим загально-світовим рівнем. Саме на цій основі ми повинні побудувати новий економічний механізм та дати оцінку його дієвості, застосовуючи принципи національного рахівництва.

Існує думка, що економічний механізм – це сукупність форм і методів господарювання. Також економічний механізм вчені розглядають як узяті в єдності всю сукупність облікових, економічних, організаційно-правових, морально-політичних та інших засобів впливу держави на суспільно-виробничі відносини, на процес виробництва [4]. В «Економічній енциклопедії» економічний механізм визначається як «сукупність економічних структур, інститутів, форм і методів господарювання, завдяки яким здійснюється ув'язування і узгодження суспільних, групових і приватних інтересів, забезпечується функціонування й розвиток економіки [3]. Очевидною є потреба організації та підтримки обліку господарських операцій економічного механізму як способу організації суспільного виробництва із властивими йому формами і методами, економічними стимулами і правовими нормами.

Таким чином, економічний механізм – це сукупність організаційних структур, конкретних форм і методів керування, а також правових норм, за допомогою яких реалізуються діючі у конкретних умовах економічні закони, процес відтворення [2]. Економічний механізм – це система управління народним господарством за допомогою сукупності основних форм, методів і важелів управління народним

господарством шляхом використання економічних законів, розв'язання суперечностей економічної системи, реалізації відносин власності, а також розвитку людини та узгодження найважливіших інтересів суспільства [3].

Місце та значення бухгалтерського обліку в системі загального національного макроекономічного рахівництва вочевидь має достатню сутність та необхідність подальших досліджень. В умовах євроінтеграції це питання є досить актуальним.

У роботі обґрунтовані пропозиції враховувати в методиках обліку як окремі домогосподарства студентів, які під час навчального року мешкають окремо від батьків (у гуртожитках, або орендують житло) і тому вимушені самостійно вести господарство (витрачати ресурси, в тому числі окремо харчуватися). В Україні їх чисельність становить 430 тис. осіб (або близько 1% всього населення). Але у вибіркового обстеженні домогосподарств вони не розглядаються як окреме домогосподарство. В той час, як при Всеукраїнському переписі населення 2020 р. вони враховувались як окреме домогосподарство. І тільки починаючи з січня 2018 р. – вони почали враховуватися Держкомстатом України.

#### **Список літературних джерел.**

- 1.Бесєдін В.Ф.Макроекономічна політика, прогнозування і державне регулювання економіки // . Економічний вісник. 2018. №1. С.62-68.
2. Вілкул Ю.Г. Ринкова економіка і держава: макроекономічний аспект. Кривий Ріг. Мінерал. 2003. 542 с.
- 3.Гончар Н.Ю. Макроекономіка та мікроекономіка. Київ.КНЕУ.2006. Т.3.145с.
4. Давидов Г. М. Бухгалтерський облік: навч. посіб. Київ: КНЕУ ім. В. Гетьмана, 2002. с.88

## **ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ЦІННОСТЕЙ ТА РОЗВИТОК Е-ДЕМОКРАТІЇ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ЧАС**

**О.М. Тур, І.В. Новикова, І.О. Пригара, Ю. М. Мануйлович**

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
o.tur@ishostka.sumdu.edu.ua

Сучасний розвиток інформаційних технологій в світі сприяє становленню та розвитку загально людських цінностей побудованих на свободі слова, суспільної включеності у соціально-політичні процеси, соціальної підтримки всіх верств населення тощо. Становлення та розвиток загальнолюдських цінностей актуалізується під час ведення повномасштабних бойових дій в Україні, адже конституційно закріплені свободи та права українців в такий час обмежуються. Імплементация досвіду розвинених країн світу, зокрема країн ЄС, щодо розвитку інформаційних технологій створює сприятливі умови для налагодження комунікації із цивільними та військовими в середині нашої країни. За доцільне вважаємо розглянути напрямки розвитку е-демократії в Україні у воєнний час та відповідні ІТ-рішення, що використовуються державними органами влади для реалізації прав та свобод українців.

Міністерство цифрової трансформації України не зважаючи на повномасштабні воєнні дії на території України продовжує розбудову цифрової держави. Основна мета Мінцифри, у розбудові цифрової держави, ще з 2019 є не змінною і полягає у побудові країни зручної пересічному громадянину для отримання державних послуг. З початку повномасштабних дій (з 2022 року) поставлена мета перед Міністерством цифрової трансформації лише актуалізувалася. Доступ до державних послуг для більш ніж як третини населення суттєво ускладнився з причин їх вимушеної міграції, зростання числа небезпечних факторів для життєдіяльності людей тощо. Отже, на перший план вийшли питання безпеки, швидкості та зручності у сфері комунікації між громадянами та державними органами влади.

З початку повномасштабного вторгнення рф до України Міністерство цифрової трансформації України активізувало свою роботу над розробкою та впровадженням цифрових технологій у таких сферах як безпека, соціальний захист, освіта, оборона, економіка, електронна демократія.

Для забезпечення безпеки громадян України було запроваджено низку цифрових рішень серед яких варто зазначити такі:

1. Застосунок «Повітряна тривога» [7]. Даний застосунок створено Міністерством цифрової трансформації України для інформування громадян України про початок та закінчення повітряних тривог. Застосунок надсилає максимально гучні критичні сповіщення про повітряні, хімічні, техногенні та інші види тривог, зокрема сповіщає і про підвищений рівень небезпеки для цивільного населення в регіоні. Окрім того в застосунку «Повітряна тривога» користувачі можуть переглянути мапу тривог України [9] і в режимі реального часу відслідковувати початок та завершення тривог по всіх областях України. Також у застосунку «Повітряна тривога» його користувачі можуть підключитися до чат-ботів в Telegram, WhatsApp які координують волонтерську допомогу, використовуються для передачі відомостей пересування ворожої техніки, дозволяють комунікувати із кіберполіцією України, а також чат-боти які інформують про найближчі укриття та надзвичайні ситуації про які сповіщає ДНС. Застосунок «Повітряна тривога» може бути встановлений на будь-який смартфон з операційними системами iOS, Android,

HarmonyOS. Застосунок «Повітряна тривога» постійно допрацьовується та стає дедалі зручнішим у використанні та налаштуванні. Даний застосунок є надзвичайно важливим інструментом попередження людських жертв серед цивільного населення у воєнний час.

2. Застосунок «TacticMedAid», що був створений спільними зусиллями більше як 20-ма організаціями та спеціалістами волонтерами, серед яких: 42flows tech, Alty, UniSafe (Дніпро), Reactor (Work ua), дизайнер Сашко Даниленко, Vambuk Студія (Львів), УКУ та інші [1, 8]. Даний застосунок створений для надання інструкцій з першої до медичної допомоги цивільним та військовим. У застосунку «TacticMedAid» є два напрямки цивільний – інструкції щодо надання першої медичної допомоги постраждалим для цивільного населення України, а також військовий – це блок інструкцій для надання першої медичної допомоги, підготовки до евакуації, комунікації з пораненим тощо для військових. У даному застосунку наведено велика кількість відео та текстових матеріалів що допоможуть пройти навчання стосовно надання першої медичної допомоги для постраждалих від воєнних дій в Україні.

У сфері соціального захисту та економічної підтримки населення, що постраждали від військової агресії РФ розроблено такі цифрові рішення:

1. Волонтерський проєкт «Прихисток» від фракції «Слуга народу» у квітні 2022 року став державним веб-ресурсом. Дана онлайн платформа дає можливість для вимушених переселенців знайти місце проживання на території України яка не охоплена активними бойовими діями, а громадяни які надають притулок можуть на цій платформі оформити заявку про бажання надати прихисток біженцям та отримати компенсацію від держави на покриття витрат на комунальні послуги. Процедура надання прихистку та отримання компенсації від держави описана на сайті <https://prykhystok.gov.ua/>. На разі на онлайн платформі «Прихисток» зареєстровано більше 11000 пропозицій безкоштовного житла [18].

2. Урядова програма «єПідтримка», що була ініційована у 2021 році спрямована на економічну підтримку населення в умовах пандемії COVID-19.

В рамках програми «єПідтримка» відбувалося надання одноразової матеріальної підтримки громадян у розмірі 1000 гривень, що здійснювалося з метою стимулювання вакцинації та економічної підтримки галузей економіки які більш за все постраждали від пандемії COVID-19 [5].

З початком повномасштабної війни програма «єПідтримка» була використана для підтримки та допомоги громадянам які постраждали від воєнних дій. Так було надано допомогу постраждалим у зонах активних бойових дій, внутрішньо переміщеним особам та людям, що втратили житло чи засоби до існування [6].

Урядова програма «єПідтримка» мала великий соціально-економічний вплив, зокрема на:

- Стимулювання вакцинації;
- Економічну підтримку галузей економіки під час пандемії;
- Соціальну підтримку громадян які постраждали від воєнних дій в Україні.

Програма «єПідтримка», яка стала важливою соціально-економічною програмою, була реалізована за допомогою цифрових технологій. Завдяки таким цифровим рішенням стало можливим швидко, зручно та безпечно надавати соціально-економічну підтримку всім громадянам України в складних соціально-економічних умовах.

3. Державна програма «єОселя» розроблена та створена з метою надання фінансової допомоги у придбанні нового житла на умовах пільгового іпотечного кредитування під 7 % річних [4]. Програма реалізовується за допомогою функціоналу державного порталу «Дія». Завдяки програмі «єОселя» у соціально вразливих груп громадян України є можливість отримати доступне житло. До таких груп населення відносять військовослужбовці, особи з інвалідністю в наслідок війни, ветерани війни, медики, освітяни, науковці та працівники інших критичних сфер, внутрішньо переміщені особи які втратили житло тощо.

Програма «єОселя» має значний соціально-економічний вплив, зокрема: полегшено процес отримання нового власного житла для соціально вразливих верств населення; стимулювання будівництва нового житла, що прискорює економічний розвиток країни.

Державна програма «єОселя» важливий інструмент соціальної політики України, який інтегрує цифрові технології та підтримує громадян у вирішенні житлового питання.

4. Державна програма «єВідновлення» спрямована на надання фінансової допомоги громадянам, чиє житло було зруйноване або пошкоджене через ведення бойових дій на території України [11]. Головною метою програми є соціальна підтримка громадян України у питаннях відновлення пошкодженого житла чи надання тимчасового житла у разі повного його руйнування.

Програма «єВідновлення» є цифровою послугою та реалізується через урядовий портал «Дія». Громадяни, чиє житло було пошкоджене чи зруйноване мають подати заяву через портал «Дія» та надати докази пошкодження у вигляді фото чи відео. Заявки обробляють спеціальні комісії які проводять огляд пошкодженого житла, складають акт, визначають ступінь пошкодження та проводять оцінку завданих збитків. Через портал «Дія» громадяни дізнаються про хід розгляду заявки та рішення щодо надання компенсації яка нараховується на банківську карту громадянина.

Державна програма «єВідновлення» важливий крок України у підтримці своїх громадян і відновленні пошкодженого війною житлового фонду. Дана програма демонструє зусилля уряду щодо цифровізації допомоги та ефективного управління ресурсами навіть в умовах війни.

5. Цифрові послуги для внутрішньо переміщених осіб (ВПО) [12]. Дані послуги реалізуються через функціонал порталу «Дія» та спрямовані на надання допомоги громадянам, що були змушені залишити свої домівки через бойові дії. До таких послуг включають: щомісячні виплати для покриття базових потреб; допомога з оплати оренди житла або комунальних послуг; тимчасове поселення у державні або комунальні об'єкти; забезпечення доступу до освітніх, медичних та соціальних послуг у нових місцях проживання; психологічна допомога та консультація; зміна місця реєстрації тощо. Даний пакет послуг має вагомий соціальний значення для громадян України, що опинилися у складних умовах через активні бойові дії на півночі, півдні та сході країни.

6. Електронний сервіс «Допомога по безробіттю» створений Міністерством цифрової трансформації після початку повномасштабної війни для автоматизації процесів реєстрації безробітних громадян у Центрі зайнятості в режимі онлайн та оформлення фінансової допомоги по безробіттю [3].

Згадані державні програми у сфері соціального захисту та економічної підтримки населення в основному спрямовані на підтримку громадян України, що



опинилися в складних соціально-економічних умовах через війну та сприяють соціально-економічній стабільності країни.

Цифрові рішення у сфері освіти створюють підґрунтя для реалізації безпечного, безперервного та ефективного освітнього процесу в умовах війни. Серед таких рішень варто відзначити наступні:

1. Освітній застосунок «Мрія» спрямований на підтримку українських школярів та вчителів в реалізації освітнього процесу в умовах воєнного стану в Україні [10]. В рамках проекту забезпечено безпечний доступ до якісної шкільної освіти, надання психологічної підтримки, інтеграцію інноваційних методів навчання. Застосунок «Мрія» було запущено для забезпечення безперервності освітнього процесу у школах України. В цьому застосунку школярі мають вільний доступ до навчальних матеріалів, дистанційних занять. Важливою функцією застосунку «Мрія» є допомога учням, які переживають стрес викликаний війною, шляхом проведення для них консультацій психологів. Застосунок «Мрія» дозволяє інтегрувати цифрові технології у навчання, зокрема використовуються онлайн-платформи для навчання Zoom, Google Classroom тощо. В середовищі застосунку «Мрія» розробляються освітні курси, метою яких є полегшення доступу до знань для кожного школяра.

Освітній застосунок «Мрія» - важливий інструмент підтримки української освіти. Завдяки використанню цифрових технологій в умовах війни стає можливим полегшити процес адаптації дітей до нових реалій та зробити для них освіту доступною.

2. В осені 2024 року Міністерством цифрової трансформації України запущено новий сервіс в «Дії» – Державні гранти на навчання. Даним сервісом можуть скористатися студенти які поступили на контрактну форму навчання. Фінансова допомога у вигляді гранту частково або повністю покриватиме вартість на навчання.

**Як студентам-контрактникам отримати грант на навчання в Дії**

**Ви отримаєте грант, якщо цьогоріч вперше вступили на:**

- на бакалавра або магістра медичного, ветеринарного, фармацевтичного напрямів. Після школи або коледжу на контракт за денною або дуальною формою навчання
- уклали договір із закладом освіти, який входить до переліку учасників пілотного проекту
- розпочали навчання

**Який розмір гранту?**  
Залежить від результату НМТ з двох предметів та коефіцієнта спеціальності:

<b>150+ балів</b> від 15 000 грн	<b>170+ балів</b> від 25 000 грн
-------------------------------------	-------------------------------------

**Як отримати грант?**

- Оновіть Дію
- в переліку документів знайдіть Сертифікат на навчання
- натисніть отримати грант
- активуйте грант Дія.Підписом в період з 15 вересня до 5 листопада

Дія сповістить, коли університет отримає ваш грант

Дія Міністерство цифрової трансформації України

Рисунок 1 – Особливості оформлення державних грантів на навчання для студентів українських вишів [15]

Така практика, покриття витрат на навчання для найбільш успішних студентів, поширена в США та Європі, а з 2024 року і в Україні. Розмір гранту залежить від балу який студент отримав на НМТ при вступі до вишу (див. рисунок 1). Гранти на навчання студенти можуть оформити через онлайн-платформу «Дія» (процедуру отримання гранту наведено на рисунку 1).

Такий підхід дає можливість надати рівний доступ до освіти для всіх студентів не залежно від їх фінансового становища. Це є особливо актуальним в часи ведення бойових дій коли рівень життя українців суттєво погіршився.

У сфері оборони Міністерством цифрової трансформації України було запроваджено низку додатків та інформаційних рішень, що спрощують облік військовозобов'язаних та комунікацію між військовими в ЗСУ. Серед таких інформаційних рішень слід зазначити наступні:

1. Застосунок «Армія+» був створений у 2024 році Міністерством оборони України та Генеральним штабом ЗСУ. Даний застосунок створено з метою підтримки та розвитку ЗСУ через інтеграцію цифрових технологій, інноваційних рішень та активного залучення громадянського суспільства. Застосунок «Армія+» створено для військовослужбовців. В застосунку можна створювати та подавати рапорти, проходити різного роду опитування, координувати військові операції, проводити навчання та підвищення кваліфікації військовослужбовців тощо [17].

Застосунок «Армія+» є прикладом того, як технології, інновації, військові, цивільні та державні органи влади можуть працювати разом для захисту суверенітету України.

2. Застосунок «Резерв+» було розроблено та запущено Міністерством оборони України у 2024 році. Запуск цього застосунку спрямоване на створення резерву ЗСУ, полегшення обліку військовозобов'язаних. В застосунку «Резерв+» для військовозобов'язаних є можливість дізнатися про те які дані про Вас є у державному реєстрі «Оберіг», актуалізувати та за необхідності виправити свої особисті дані, ознайомлюватися з актуальними військовими посадами та подавати резюме для їх отримання, оформлювати відстрочку від призову до лав ЗСУ тощо.

Застосунок «Резерв+» це ще один приклад того як під час ведення бойових дій цифрові технології допомагають підвищити обороноздатність країни, забезпечити високий рівень готовності резервістів та військовозобов'язаних до виконання своїх громадянських обов'язків [14].

Розвиток цифрових технологій у воєнний час не оминув і економічну сферу. Значного розвитку отримали такі державні цифрові проекти як «Дія.City», «Дія.Бізнес», «єДозвіл». На державному порталі «Дія» стало можливим сплачувати податки до державного бюджету, купувати військові облігації, подавати заявки на участь у державних програмах підтримки національних виробників, оформляти ліцензії та дозволи в онлайн режимі тощо. Розглянемо найбільш важливі з нашої точки зору державні цифрові проекти:

1. Он-лайн платформа «Дія.Бізнес» (<https://business.diia.gov.ua/>) – запущено у лютому 2020 році [2]. Через дану платформу можна отримати он-лайн консультації для майбутніх та діючих підприємців, здійснити он-лайн реєстрацію ФОП та ТОВ (протягом дії воєнного стану в Україні через портал було зареєстровано вже більше 114 тис. ФОП [13])

2. Он-лайн платформа «Дія.City» (<https://city.diia.gov.ua/>) – на даній платформі викладено інформацію щодо правового режиму роботи віртуальної екстериторіальної вільної економічної зони яка покликана прискорити розвиток ІТ-

індустрії в Україні. Даний проект передбачає пільгові умови ведення ІТ-бізнесу, зокрема і податкові – активізацію інвестиційної активності громадян через надання податкової пільги на суму інвестицій, пільги щодо виплат ЄСВ у бюджет, зниження ставки ПДФО тощо.

Можливо найбільш важливими інструментами цифрової держави є портали та застосунки, що використовуються у сфері електронної демократії, так як вони покликані реалізувати права громадян України навіть в умовах воєнного стану. Серед них варто відзначити такі:

1. Державний онлайн портал «Дія» та застосунок «Дія» які почали свою роботу ще до введення воєнного стану в Україні. Протягом трьох років війни Міністерство цифрової трансформації продовжувало активно допрацьовувати як застосунок так і онлайн портал. На сьогодні у застосунку «Дія» зареєстровано майже 21 млн громадян, яким доступні 21 цифровий документ та понад 30 онлайн послуг, а на онлайн порталі «Дія» їх більше 120 [16], серед яких варто відзначити наступні:

здійснення платежів до державного бюджету для фізичних осіб підприємців, у режимі он-лайн, а саме ЄСВ та єдиного податку;

надсилання благодійницьких внесків до державного бюджету України які спрямовуються на підтримку ЗСУ;

перегляд українського та американського телебачення (Дія TV) та прослуховування українського радіо (Дія Радіо) в режимі онлайн.

Окрім згаданих державних сервісів та послуг на порталі та застосунку «Дія» інтегрована можливість доступу до послуг які розглянуті вище: «єВідновлення», «єПідтримка», Допомога по безробіттю, освітні гранти тощо

2. Окрім порталу «Дія» та застосунку «Дія» в Україні для реалізації прав громадян на управління розвитком громади запроваджено портал E-DEM (e-dem.ua). Зокрема, через портал E-DEM відбувається подача електронних петицій, жителі громади приймають участь в так званому бюджеті участі, можуть подати скарги та пропозиції по покращанню благоустрою міста через електронну систему «Відкрите місто», а також здійснюється онлайн опитування жителів громади, консультування з ними.

Короткий огляд найбільш популярних та важливих на сьогодні інструментів електронної взаємодії між громадянами та державою у воєнний час дає підстави стверджувати, що відбувається масова тенденція до створення комунікаційних коридорів між громадянами та державними службовцями через такі інструменти як Telegram, Viber, email, WhatsApp, різного роду мобільні застосунки та онлайн платформи.

Використання інформаційних технологій для реалізації електронної демократії та отримання вкрай важливих послуг для громадян України у воєнний час є скоріше вимогою часу. Як показав час реалізація різноманітних державних програм, забезпечення своєчасних виплат податків, залучення громадян до благодійних акцій не можливо здійснити без інформаційних технологій побудованих на демократичних принципах, а саме доступності державних послуг для громадян, соціальної підтримки та забезпечення безпеки громадян, вільний доступ до інформації про стан справ в країні та недопущення дезінформації та кібертерору з боку агресора. Означені демократичні цінності є важливим базисом для встановлення тісної взаємодії, згуртованості, взаємопідтримки, громадянського спокою в державі у воєнний час.

Інформаційні технології у воєнний час рятують життя, а у мирний час можуть стати потужним двигуном до відновлення економічного потенціалу України. Розвиток інформаційних технологій у сфері державного урядування на демократичних засадах, які зокрема сповідує і європейське співтовариство, частиною якого ми воліємо стати, має стати пріоритетом у після воєнний період відновлення економіки, що дозволить суттєво прискорити цей складний і тривалий процес.

#### Список літературних джерел

5. Youtube канал TacticMedAid. Youtube: веб-сайт. URL: [https://www.youtube.com/channel/UC1KVywSYzukCpo5tJT8xnkW/videos?view=0&sort=dd&shelf\\_id=0](https://www.youtube.com/channel/UC1KVywSYzukCpo5tJT8xnkW/videos?view=0&sort=dd&shelf_id=0). (дата звернення: 19.11.2024).

6. В Україні презентували онлайн-платформу «Дія.Бізнес». Мультимедійна платформа іномовлення України «Укрінформ». URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2886310-v-ukraini-prezentuvali-onlajnplatformu-diabiznes.html>. (дата звернення 19.11.2024).

7. Допомога по безробіттю. Веб-портал «Дія». URL: <https://guide.dii.gov.ua/view/pryznachennia-dopomohy-po-bezrobittiu-65db8e5d-e8ff-4431-9383-d1b2aba632b0> (дата звернення: 19.11.2024).

8. «Оселя розширюється: купуйте за програмою приватні будинки, таунхауси та дуплекси. Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/eoselya-rozshiryuetsya-kupuyte-za-programoyu-privatni-budinki-taunkhausi-ta-dupleksi> (дата звернення: 19.11.2024).

9. «Підтримка в Дії: як власники COVID-сертифікатів про вакцинацію зможуть витратити 1000 грн. Веб-портал Міністерства охорони здоров'я України. URL: <https://moz.gov.ua/uk/epidtrimka-v-dii-jak-vlasniki-covid-sertifikativ-pro-vakcinaciju-zmozhut-vitratiti-1000-grn-> (дата звернення: 19.11.2024).

10. «Підтримка/ Допомога у 6500 гривень /Виплата внаслідок війни. Веб-портал «Дія». URL: <https://guide.dii.gov.ua/view/nadannia-dopomohy-v-ramkakh-programy-iepidtrymka-u-zviazku-iz-vtratoi-chastyny-zarobitnoi-platy-dokhodu-robotaeconomichna-dii-26fdf7fb-b3aa-4c39-a76b-29bfb660a1d9> (дата звернення: 19.11.2024).

11. Застосунок «Повітряна тривога» - завантаж вже зараз. Youtube: веб-сайт. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ZyP71FR8Bkk>. (дата звернення: 19.11.2024).

12. Застосунок TacticMedAid запрацював для користувачів Android та iOS. Pingvin.pro: веб-сайт. URL: <https://pingvin.pro/gadgets/news-gadgets/zastosunok-tacticmedaid-zapraczuuvav-dlya-korystuvachiv-android-ta-ios.html>. (дата звернення: 19.11.2024).

13. Мапа тривог по Україні. Ukrainealarm: веб-сайт. URL: <https://map.ukrainealarm.com/>. (дата звернення: 19.11.2024).

14. Перші 40 шкіл почали навчальний рік із Мрією. Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/pershi-40-shkil-pochali-navchalniy-rik-iz-mrieju> (дата звернення: 19.11.2024).

15. Подавайте заяву про ремонт пошкодженого житла в Дії: у застосунку доступна програма «Відновлення». Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/podavayte-zayavu-pro->

remont-poshkodzhenogo-zhitla-v-dii-u-zastosunku-dostupna-programa-vidnovlennya (дата звернення: 19.11.2024).

16. Послуги для внутрішньо переміщених осіб на Гіді. Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/poslugi-dlya-vnutrishno-peremishchenikh-osib-na-gidi> (дата звернення: 19.11.2024).

17. Скільки українців відкрили ФОП у «Дії» з початку війни: названо цифру. Аналітичний портал «Слово і діло». URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/12/28/novyna/biznes/skilky-ukrayincziv-vidkryly-fop-diui-rochatku-vijny-nazvano-cyfru> (дата звернення 19.11.2024).

18. Сторінка застосунку «Резерв+». URL: <https://reserveplus.mod.gov.ua/> (дата звернення: 19.11.2024).

19. Студенти вперше отримують від держави гранти на навчання – через Дію. Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/studenti-vpershe-otrimuyut-vid-derzhavi-granti-na-navchannya-cherez-diyu> (дата звернення: 19.11.2024).

20. Україна посіла 5-те місце за індексом онлайн-сервісів у глобальному рейтингу ООН. Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/ukraina-posila-5-te-mistse-za-indeksom-online-servisiv-u-globalnomu-reytingu-onn> (дата звернення 19.11.2024).

21. Цифровізація рутини військових: Міноборони запустило застосунок Армія+. Офіційний веб-портал Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/tsifrovizatsiya-rutini-viyskovikh-minoboroni-zapustilo-zastosunok-armiya> (дата звернення: 19.11.2024).

22. Янченко Г. «Прихисток» став офіційним сайтом уряду та дозволить компенсувати вартість комуналки. Інформаційне агенство Interfax-Україна: веб-сайт. URL: <https://interfax.com.ua/news/blog/819071.html>. (дата звернення: 19.11.2024).

СЕКЦІЯ 5  
Інформаційні технології,  
моделювання та автоматизація

SECTION 5  
Information technology,  
modeling and automation

## OVERVIEW OF IUPAC PROJECTS OF THE NIST THERMODYNAMICS RESEARCH CENTER TO SUPPORT THE THERMODYNAMIC AND THERMOPHYSICAL COMMUNITY

**A. Bazyleva**

Thermodynamics Research Center, Applied Chemicals and Materials Division, Material  
Measurements Laboratory, National Institute of Standards and Technology  
ala.bazyleva@nist.gov

The mission of the National Institute of Standards and Technology (NIST) is “to promote U.S. innovation and industrial competitiveness by advancing measurement science, standards, and technology in ways that enhance economic security and improve our quality of life” (cited from: <https://www.nist.gov/about-nist>). The focus area of the Thermodynamics Research Center (TRC) of the Material Measurement Laboratory at NIST is thermodynamic, thermophysical, thermochemical, transport, and related properties of substances, their mixtures, and certain high-demand materials such as alloys, ionic liquids, and clathrate hydrates. Major TRC activities are related to providing critically evaluated property data to the industrial and scientific communities as well as to developing advanced property prediction and analysis methods. Several TRC activities are conducted in collaboration with the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)—the organization that develops and delivers standards and recommendations in the field of chemistry (*e.g.*, digital standards, chemical nomenclature and terminology, standardized methods of measurement) and coordinates high-impact international efforts such as IUPAC projects. IUPAC projects may result in different deliverables, with the most common forms being IUPAC Recommendations and Technical Reports. TRC initiates or joins IUPAC projects in order to build the collaboration network and increase the impact of specific actions for wide areas of science and technology. Some major examples of completed and active IUPAC projects of TRC will be discussed herein.

A series of projects dedicated to the ThermoML data exchange format was started in 2002 [1] and resulted in the acceptance of ThermoML as an IUPAC standard in 2006 [2]. The project was motivated by the need to develop a universal format for communication of experimental, critically evaluated, and predicted thermodynamic/thermophysical data in the well-defined form that addresses the complexity of such data and is suitable for machine-readable data publication and data exchange between data sources having different internal formats. An extension of the ThermoML schema for the representation of speciation, complex equilibria, and properties of biomaterials started in 2008 [3] was successfully completed in 2011 [4]. The participants of the projects, besides the TRC and NIST staff, were top experts from the industry and academia. This clearly shows the interest in the topic from both communities. The proposed format was based on the TRC experience in data capture, and its XML schema definition (XSD) can be found at <https://trc.nist.gov/ThermoML.xsd>. It is document-centric and contains lists of compounds and data sets. Several ways of compound identification are supported. Each data set includes the following information: system identification, property identification, method identification, table of numeric values, and specification of all necessary state and non-state variables, units, and uncertainties. State variables and phases are selected from the embedded enumeration lists consistent with the IUPAC terminology. IUPAC has reserved a namespace for ThermoML. TRC provides software tools for creation [5] and reading of ThermoML files [6].

Another example of high-impact IUPAC projects with the TRC participation is related to thermodynamic studies of ionic liquids [7]. An explosive increase in the number of publications dealing with ionic liquid happened at that time, and the reported results were frequently inconsistent. The goal of that project was to reveal whether the identities and purities of the samples or measurement errors contributed to the problem and whether consistent and reliable values could be obtained. For that purpose, a large batch of 1-hexyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide was synthesized, purified, characterized, and distributed among the participating laboratories. Samples from other sources were also used for comparison. Both pure-compound and mixture properties were studied. TRC's role was collecting and analyzing the data. Two reports summarized the experimental [8] and modeling [9] results of the project with conclusions. Simultaneously, another project dedicated to ionic liquids unfolded [10]. Its objective was creation of a database on thermodynamic properties of ionic liquids. That database (ILThermo [11]) maintained by TRC currently contains about 1 million property data values and is regularly updated. It is popular among researchers studying ionic liquids and exploring machine-learning property prediction methods.

IUPAC has recommended reference materials for physico-chemical property measurements, calorimetry, and thermal analysis of pure compounds (*e.g.*, [13]). It appeared a decade ago that no similar recommended systems for phase equilibrium measurements in mixtures existed, although a significant portion of the thermodynamic research is related to such measurements due to a huge demand from industry. In general, reference systems are needed for inter-laboratory comparisons, assessment of measurement uncertainty, and initial and periodic verification of measurement equipment. To close the gap, TRC together with an international group of experts in experimental methods and data analysis initiated another specialized IUPAC project devoted to reference systems for phase equilibrium studies [12]. The project intends to provide a basis for instrument testing and bring better reproducibility and accuracy to the field of phase equilibrium studies for mixtures. The project started under the auspices of the IUPAC Physical and Biophysical Chemistry Division, but the Subcommittee on Solubility and Equilibrium Data (SSED) of the IUPAC Analytical Chemistry Division joined it and provided valuable contributions. The project consists of 3 parts: solid-liquid equilibria (SLE), liquid-liquid equilibria (LLE), and vapor-liquid equilibria (VLE). TRC Source database [14] currently containing 9.3 million property data values was used for screening and initial selection of candidate mixtures. Physical properties, availability and consistency of phase-equilibrium data as well as safety and availability of the materials were considered before the final selection. Technical reports for the LLE and SLE parts have already been published [15, 16], and the one for the VLE part is currently under preparation. The reports include the summary of the relevant phase-equilibrium data with their reliability analysis, modeling for consistency checks and interpolation, and tables of numerical values of phase equilibrium solubilities. A web-based tool for supporting phase equilibrium calculations for the selected reference systems has also been developed [17].

Another series of high-impact IUPAC projects of TRC in collaboration with expert users from industry and subject experts from academia was related to property data reporting. It was long due. Chemical industry (*e.g.*, process design, chemical and safety engineering) relies heavily on reliable and accurate property data, and most of such data are measured during scientific research funded by public money. However, it has never been defined before what should be published after a material property research project has been completed. This has already caused a loss of a tremendous amount of valuable data



because of not publishing them or publishing without necessary details. The first project was specific for the phase-equilibrium measurements [18] and resulted in developing reporting guidelines as an IUPAC Recommendation [19]. An expansion of the ideas to a wider area happened in the project dedicated to Good Reporting Practice [20]. One of the fundamental principles is publishing numerical values of the primary measured data. The meaning of the numbers should be completely and unambiguously defined. The final report [21] clarifies what information is needed and analyzes many typical cases where researchers frequently fail to find a proper way of reporting. A follow-up is an article in the magazine of the American Institute of Chemical Engineers (AIChE) [22] where typical cases of losing research data due to inappropriate reporting are discussed.

Although the understanding of the problem and the need to improve scientific reporting is growing, and similar principles for machine-readable data representation have been declared as FAIR [23], the principles do not start working automatically, and additional efforts are needed to make them function. There are several players involved in the research cycle: funding agencies, researchers, reviewers, publishers, users, and ultimately, primary sponsors (taxpayers). We have analyzed the cycle, interests, and capabilities of each party and determined that reviewers are potentially the most impactful players in dissemination of the Good Reporting Practice principles. Hence, an IUPAC project led by TRC has been initiated to support scientific reviewing [24]. One of the main expected deliverables is a checklist of frequently overlooked problems in manuscripts, covering common parts like identification of the studied compounds, properties, and methods, as well as specific features for certain types of objects and measurements. That list will also contain several examples of appropriate reporting and/or how the issues can be addressed. The other expected deliverable is a web interface for navigating through the checklist and examples and for composing a draft of reviewer's report. A video illustrating the concept is available on the project webpage [24].

In addition to developing recommendations and guidelines for scientific community, TRC participates in educational opportunities. A recent example is the IUPAC project "Assessment of Reliability and Uncertainty of Solubility Data" [25] with a goal to give fundamental and practical knowledge on data and uncertainty analysis and good practices for phase equilibria measurements. A series of seminars and workshops have been conducted and recorded within that project, and the corresponding videos are available on the project webpage [25].

To sum up, IUPAC supports and is open to high-impact initiatives, which makes the deliverables of its activities publicly available. TRC finds participation in IUPAC projects very efficient and influential and is open to feedback and proposals to further support the thermodynamic and thermophysical community.

### References

1. M. Frenkel (Task Group Chair). XML-based IUPAC Standard for Experimental and Critically Evaluated Thermodynamic Property Data Storage and Capture. IUPAC Project # 2002-055-3-024; <https://iupac.org/project/2002-055-3-024>
2. M. Frenkel, R.D. Chirico, V. Diky, Q. Dong, K.N. Marsh, J.H. Dymond, W.A. Wakeham, S.E. Stein, E. Königsberger, A.R.H. Goodwin. XML-based IUPAC Standard for Experimental, Predicted, and Critically Evaluated Thermodynamic Property Data Storage and Capture (ThermoML) (IUPAC Recommendations 2006). *Pure Appl. Chem.*, 2006, 78(3), 541–612; <https://doi.org/10.1351/pac200678030541>

3. M. Frenkel (Task Group Chair). Extension of ThermoML – The IUPAC Standard for Thermodynamic Data Communications. IUPAC Project # 2007-039-1-024; <https://iupac.org/project/2007-039-1-024>
4. M. Frenkel, R.D. Chirico, V. Diky, P.L. Brown, J.H. Dymond, R.N. Goldberg, A.R.H. Goodwin, H. Heerklotz, E. Königsberger, J.E. Ladbury, K.N. Marsh, D.P. Remeta, S.E. Stein, W.A. Wakeham, P.A. Williams. Extension of ThermoML: The IUPAC Standard for Thermodynamic Data Communications (IUPAC Recommendations 2011). *Pure Appl. Chem.*, 2011, 83(10), 1937-1969; <https://doi.org/10.1351/PAC-REC-11-05-01>
5. Guided Data Capture (GDC) Software. Thermodynamics Research Center, National Institute of Standards and Technology; <https://trc.nist.gov/GDC.html>
6. D. Riccardi, C. Muzny, V. Diky. ThermoData Engine Free Public Version. National Institute of Standards and Technology, <https://doi.org/10.18434/mds2-3179>
7. J.F. Brennecke, M. Frenkel, A. Heintz, J.W. Magee, C.J. Peters, L.P.N. Rebelo, K.R. Seddon (Project Coordinators). Thermodynamics of Ionic Liquids, Ionic Liquid Mixtures, and the Development of Standardized Systems. IUPAC Project # <https://iupac.org/project/2002-005-1-100>
8. K.N. Marsh, J.F. Brennecke, R.D. Chirico, M. Frenkel, A. Heintz, J.W. Magee, C.J. Peters, L.P.N. Rebelo, K.R. Seddon. Thermodynamic and Thermophysical Properties of the Reference Ionic Liquid: 1-Hexyl-3-methylimidazolium bis[(trifluoromethyl)sulfonyl]amide (Including Mixtures). Part 1. Experimental Methods and Results (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, 2009, 81(5), 781-790; <https://doi.org/10.1351/PAC-REP-08-09-21>
9. R.D. Chirico, V. Diky, J.W. Magee, M. Frenkel, K.N. Marsh. Thermodynamic and Thermophysical Properties of the Reference Ionic Liquid: 1-Hexyl-3-methylimidazolium bis[(trifluoromethyl)sulfonyl]amide (Including Mixtures). Part 2. Critical Evaluation and Recommended Property Values (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, 2009, 81(5), 791-828; <https://doi.org/10.1351/PAC-REP-08-09-22>
10. K.R. Seddon (Task Group Chair). Ionic Liquids Database. IUPAC Project # 2003-020-2-100; <https://iupac.org/project/2003-020-2-100>
11. A. Kazakov, J.W. Magee, R.D. Chirico, E. Paulechka, V. Diky, C.D. Muzny, K. Kroenlein, M. Frenkel. NIST Standard Reference Database 147: NIST Ionic Liquids Database – (ILThermo), Version 2.0, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899; <http://ilthermo.boulder.nist.gov>
12. A. Bazyleva (Task Group Chair). Recommended Reference Materials for Phase Equilibrium Studies. IUPAC Project # 2011-037-2-100; <https://iupac.org/project/2011-037-2-100>
13. K.N. Marsh (Editor). Recommended Reference Materials for Realization of Physicochemical Properties. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 1985.
14. M. Frenkel, Q. Dong, R.C. Wilhoit, K.R. Hall. TRC SOURCE Database: A Unique Tool for Automatic Production of Data Compilations. *Int. J. Thermophys.*, 2001, 22, 215–226; <https://doi.org/10.1023/A:1006720022161>
15. A. Bazyleva, W.E. Acree, R.D. Chirico, V. Diky, G.T. Hefter, J. Jacquemin, J.W. Magee, J.P. O’Connell, J.D. Olson, I. Polishuk, K.A.G. Schmidt, J.M. Shaw, J.P.M. Trusler, R.D. Weir. Reference Materials for Phase Equilibrium Studies. 1. Liquid–Liquid Equilibria (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, 2021, 93(7), 811-827; <https://doi.org/10.1515/pac-2020-0905>
16. A. Bazyleva, W.E. Acree, V. Diky, G.T. Hefter, J. Jacquemin, M.C.F. Magalhães, J.W. Magee, D.K. Nordstrom, J.P. O’Connell, J.D. Olson, I. Polishuk, K.A.G.

Schmidt, J.M. Shaw, J.P.M. Trusler, R.D. Weir. Reference Materials for Phase Equilibrium Studies. 2. Solid–Liquid Equilibria (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem., 2022, 94(11-12), 1225-1247; <https://doi.org/10.1515/pac-2021-1002>

17. A. Bazyleva, E. Paulechka, D. Riccardi. Calculation Support Page for IUPAC Project #2011-037-2-100: Recommended Reference Materials for Phase Equilibrium Studies. Thermodynamics Research Center, National Institute of Standards and Technology; <https://trc.nist.gov/reference-systems/>

18. R.D. Chirico (Task Group Chair). Guidelines for Reporting of Phase Equilibrium measurements. IUPAC Project # 2007-024-2-100; <https://iupac.org/project/2007-024-2-100>

19. R.D. Chirico, T.W. de Loos, J. Gmehling, A.R.H. Goodwin, S. Gupta, W.M. Haynes, K.N. Marsh, V. Rives, J.D. Olson, C. Spencer, J.F. Brennecke, J.P.M. Trusler. Guidelines for Reporting of Phase Equilibrium Measurements (IUPAC Recommendations 2012). Pure Appl. Chem., 2012, 84(8), 1785–1813; <https://doi.org/10.1351/PAC-REC-11-05-02>

20. A. Bazyleva (Task Group Chair). Good Reporting Practice for Thermophysical and Thermochemical Property Measurements. IUPAC Project # 2019-013-1-100; <https://iupac.org/project/2019-013-1-100>

21. A. Bazyleva, J. Abildskov, A. Anderko, O. Baudouin, Y. Chernyak, J.-C. de Hemptinne, V. Diky, R. Dohrn, J.R. Elliott, J. Jacquemin, J.-N. Jaubert, K.G. Joback, U.R. Kattner, G.M. Kontogeorgis, H. Loria, P.M. Mathias, J.P. O’Connell, W. Schröer, G.J. Smith, A. Soto, S. Wang, R.D. Weir. Good Reporting Practice for Thermophysical and Thermochemical Property Measurements (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem., 2021, 93(2), 253–272; <https://doi.org/10.1515/pac-2020-0403>

22. J.P. O’Connell, V. Diky, A. Bazyleva. Report Experimental Data Effectively. Chemical Engineering Progress Magazine, October 2022, 50-57. <https://www.aisce.org/sites/default/files/cep/20221050.pdf>

23. M.D. Wilkinson, M. Dumontier, I.J.J. Aalbersberg, G. Appleton, M. Axton, A. Baak, N. Blomberg, J.-W. Boiten, L.B. da Silva Santos, P.E. Bourne, J. Bouwman, A.J. Brookes, T. Clark, M. Crosas, I. Dillo, O. Dumon, S. Edmunds, C.T. Evelo, R. Finkers, A. Gonzalez-Beltran, A.J.G. Gray, P. Groth, C. Goble, J.S. Grethe, J. Heringa, P.A.C. ‘t Hoen, R. Hooft, T. Kuhn, R. Kok, J. Kok, S.J. Lusher, M.E. Martone, A. Mons, A.L. Packer, B. Persson, P. Rocca-Serra, M. Roos, R. van Schaik, S.-A. Sansone, E. Schultes, T. Sengstag, T. Slater, G. Strawn, M.A. Swertz, M. Thompson, J. van der Lei, E. van Mulligen, J. Velterop, A. Waagmeester, P. Wittenburg, K. Wolstencroft, J. Zhao, B. Mons. The FAIR Guiding Principles for Scientific Data management and Stewardship. Sci. Data, 2016, 3, 160018; <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

24. V. Diky (Task Group Chair). Supporting Scientific Reviewing of Thermophysical and Thermochemical Research Publications. IUPAC Project # 2023-008-1-024; <https://iupac.org/project/2023-008-1-024>

25. S.P. Pinho (Task Group Chair). Assessment of Reliability and Uncertainty of Solubility Data. IUPAC Project # 2022-002-2-500; <https://iupac.org/project/2022-002-2-500>

## АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ BIG DATA В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ

А.Л. Баланюк

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
[b.n.y@ukr.net](mailto:b.n.y@ukr.net)

**Вступ.** Актуальність використання Big Data в хімічній технології.

Використання Big Data в хімічній технології є надзвичайно актуальним, оскільки дозволяє обробляти великі обсяги даних, що генеруються під час досліджень, виробничих процесів та експериментів. Це сприяє точнішому прогнозуванню поведінки хімічних систем, оптимізації технологічних процесів та створенню нових матеріалів. Інтеграція Big Data у хімічну галузь відкриває нові можливості для підвищення ефективності, зменшення витрат та зниження екологічного навантаження.

Проблеми, які вирішуються за допомогою аналізу великих даних.

Аналіз великих даних дозволяє вирішувати ряд ключових проблем у різних сферах, зокрема в хімічній технології:

- Оптимізація виробничих процесів: Завдяки обробці великих обсягів даних можна вдосконалити технологічні параметри, зменшити енергоспоживання, підвищити вихід продукції та знизити витрати на сировину.
- Прогнозування поведінки хімічних систем: Використання алгоритмів для моделювання та прогнозування дозволяє передбачати результати експериментів та реагувати на зміни умов у реальному часі.
- Інноваційні розробки та створення нових матеріалів: Аналіз великих даних допомагає ідентифікувати закономірності, які можуть бути використані для розробки нових матеріалів з покращеними властивостями.
- Зменшення екологічного впливу: Аналіз даних дозволяє виявляти можливості для зменшення відходів, викидів та підвищення ефективності використання ресурсів у процесах.
- Управління ризиками: Аналіз великих даних сприяє точнішому виявленню потенційних ризиків у виробництві, що дозволяє оперативно вживати заходів для їх мінімізації.

Мета статті – дослідити методи аналізу Big Data та їх використання для класифікації бетону.

### Теоретичний огляд

Що таке Big Data: основні характеристики та технології збору даних.

Big Data – це великі обсяги структурованих та неструктурованих даних, що надходять з різноманітних джерел. Основні характеристики: обсяг (Volume), швидкість (Velocity), різноманітність (Variety), достовірність (Veracity) і цінність (Value). Технології збору даних включають використання сенсорів, Інтернету речей (IoT), соціальних мереж, а також автоматизованих систем моніторингу та збору даних у реальному часі.

Сучасні інструменти та методи аналізу даних включають [1]:

1. Машинне навчання (ML): Використовується для побудови моделей, що прогнозують чи класифікують дані. Алгоритми, як-от регресія, дерева рішень, нейронні мережі та кластеризація, допомагають у виявленні патернів і тенденцій у великих даних.

2. Хмарні платформи: Платформи, як-от AWS, Google Cloud, Microsoft Azure, надають інфраструктуру для зберігання та обробки великих обсягів даних, дозволяючи гнучко масштабувати ресурси та використовувати потужні обчислювальні можливості для аналізу.

3. Python-бібліотеки:

- Pandas – для обробки і маніпулювання даними.
- NumPy – для числових обчислень.
- SciPy – для наукових і технічних обчислень.
- Scikit-learn – для машинного навчання та моделювання.
- TensorFlow та Keras – для глибокого навчання.
- Matplotlib та Seaborn – для візуалізації даних.
- Dask – для обробки великих даних, що не вміщуються в оперативну пам'ять.

Ці інструменти дають можливість ефективно аналізувати, обробляти і візуалізувати великі обсяги даних з високою точністю.

Роль Big Data в хімічній технології: приклади застосувань (прогнозування реакцій, оптимізація складів, зменшення витрат).

Роль Big Data в хімічній технології полягає в покращенні точності та ефективності процесів. Приклади застосувань:

1. Прогнозування реакцій: Аналіз великих обсягів даних дозволяє передбачити поведінку хімічних реакцій і оптимізувати умови для досягнення бажаного результату [2].

2. Оптимізація складів: Використання Big Data для аналізу складів матеріалів допомагає розробляти нові рецептури з покращеними властивостями та зменшувати витрати на сировину.

3. Зменшення витрат: Обробка даних з виробничих процесів дозволяє знизити енергоспоживання, скоротити час виробництва і зменшити кількість відходів.

**Методологія.** Опис процесу аналізу великих даних. Процес аналізу великих даних включає:

1. Збір даних: Використання сенсорів, лабораторних експериментів і відкритих джерел для збору даних.

2. Попередня обробка: Очищення та нормалізація даних для підготовки до аналізу.

3. Аналіз і моделювання: Використання методів, як-от регресія, кластеризація та нейронні мережі, для виявлення патернів та створення моделей.

Використані інструменти: програмне забезпечення, алгоритми, платформи.

Використані інструменти включають [3]:

1. Програмне забезпечення: Python, R для аналізу даних та моделювання.

2. Алгоритми: Регресія, кластеризація, нейронні мережі, дерева рішень.

3. Платформи: Хмарні сервіси (AWS, Google Cloud, Azure), бібліотеки (Pandas, Scikit-learn, TensorFlow).

### **Практична частина**

Аналіз набору даних для прогнозування результату хімічного процесу.

Ми будемо прогнозувати, до якої категорії відноситься бетон за допомогою гіперпараметра "Value". В даному випадку, "Value" буде використовуватись як одна з ознак для моделювання, з метою класифікації зразків бетону на різні категорії. Це може включати визначення міцності, складу чи інших властивостей бетону, що дозволить автоматично відносити кожен зразок до певної категорії на основі його

числових характеристик. Для цього буде застосовано машинне навчання, зокрема методи класифікації, такі як Random Forest, для навчання моделі прогнозування.

```
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score

# Завантаження даних
df = pd.read_csv(r"C:\Users\User\Desktop\CAX_Test_Quality\CAX_Train_Quality.csv")

# Перетворення Timestamp_Shifted на datetime
df['Timestamp_Shifted'] = pd.to_datetime(df['Timestamp_Shifted'])

# Створення ознак з datetime (за потреби)
df['hour'] = df['Timestamp_Shifted'].dt.hour
df['dayofweek'] = df['Timestamp_Shifted'].dt.dayofweek

# Кодування параметра
encoder = LabelEncoder()
df['Parameter_encoded'] = encoder.fit_transform(df['Parameter'])

# Вибір ознак та цільової змінної
X = df[['Value', 'hour', 'dayofweek']] # Можна додавати більше ознак
y = df['Parameter_encoded']

# Розбиття на тренувальний та тестовий набори
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

# Навчання моделі
model = RandomForestClassifier()
```

Рисунок 1 – Приклад коду

```
model.fit(X_train, y_train)

# Прогнозування на тестових даних
y_pred = model.predict(X_test)

# Оцінка моделі
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
print(f'Accuracy: {accuracy:.2f}')
```

✓ 40s Python

Рисунок 2. – Приклад коду

	Actual	Predicted
0	Quality 8	Quality 8
1	Quality 10	Quality 10
2	Quality 6	Quality 6
3	Output Parameter	Quality 10
4	Quality 9	Quality 9

Рисунок 3 – Реальне і прогнозоване значення

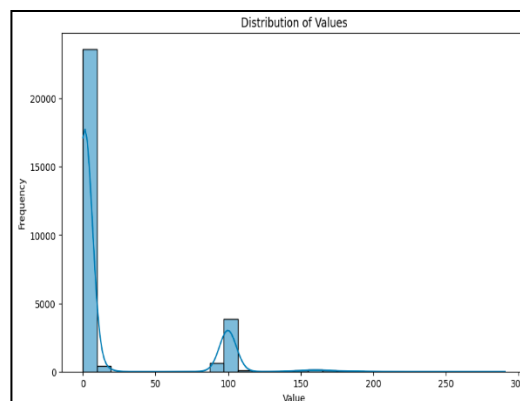


Рисунок 4 – Діаграма частоти значень

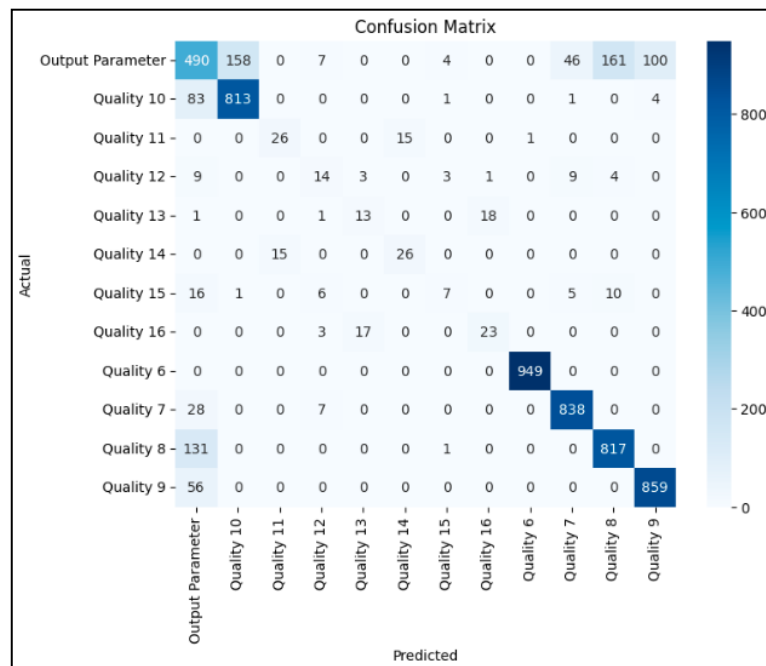


Рисунок 5 – Матриця частоти точності прогнозування

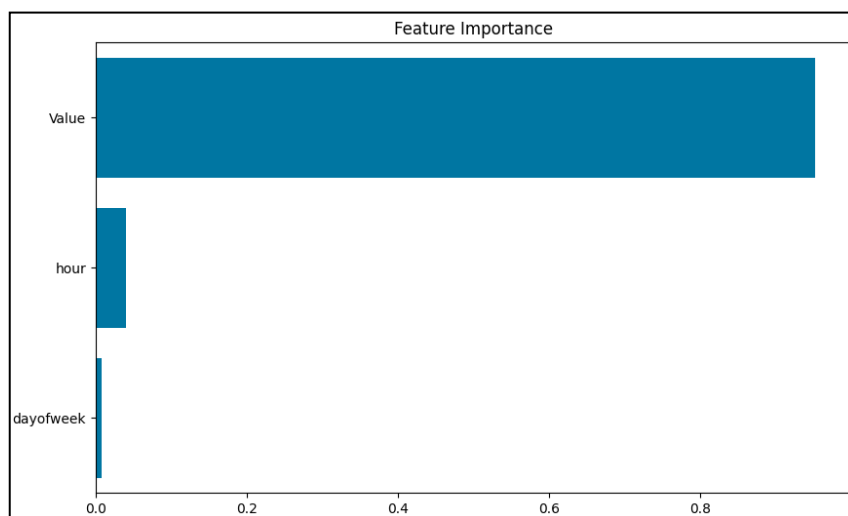


Рисунок 6 – Важливість гіпер параметрів

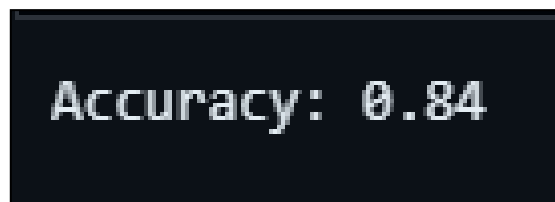


Рисунок 7 – Точність прогнозування 84%

### Обговорення результатів

1.Прогнозування за допомогою Random Forest: У вашому коді для прогнозування параметра використовується Random Forest Classifier, який є методом ансамблевого навчання, що базується на побудові кількох дерев рішень. Ця модель

комбінує прогнози з усіх дерев, що дозволяє зменшити варіативність та підвищити точність прогнозів. Вона є популярною завдяки своїй здатності обробляти великі та складні набори даних, а також не схильна до перенавчання.

## 2. Попередня обробка даних:

- перетворення `Timestamp_Shifted` на `datetime`: Спочатку перетворюється колонка з часом на формат `datetime`, щоб можна було виділити додаткові ознаки, такі як година та день тижня. Це дозволяє моделі враховувати часові фактори при прийнятті рішень;

- кодування параметра: Оскільки колонка `Parameter` містить категоріальні дані, вони кодуються за допомогою `LabelEncoder`, що дозволяє перетворити їх на числові мітки, з якими працює модель [4];

- навчання та оцінка моделі: Модель тренується на 80% даних (використовуючи `train_test_split`), а на 20% даних тестується. Ваша модель досягла 84% точності на тестовому наборі, що є високим результатом для задач класифікації.

## Пояснення таблиць та діаграм

### 1. Таблиця результатів (Actual vs Predicted):

- таблиця показує порівняння між реальними значеннями (Actual) і прогнозованими значеннями (Predicted) для кожного з тестових прикладів.

- це допомагає зрозуміти, які саме приклади були правильно класифіковані, а де модель помилилась. Такий аналіз дозволяє виявити можливі слабкі місця в прогнозах.

### 2. Гістограма для розподілу значень Value [5]:

- гістограма допомагає побачити, як розподіляються значення Value. Це дає зрозуміти, чи є які-небудь домінуючі значення або тренди, що можуть впливати на прогнозування.

- використання кривої ядерної оцінки щільності (KDE) на графіку дозволяє побачити розподіл більш плавно.

### 3. Матриця плутанини (Confusion Matrix):

- ця матриця допомагає зрозуміти, скільки правильних і неправильних прогнозів було зроблено для кожного класу.

- анотації на тепловій карті дозволяють оцінити, в яких категоріях модель мала найбільше помилок (наприклад, помилкові позитиви чи негативи).

### 4. Важливість ознак (Feature Importance):

- графік важливості ознак показує, які ознаки (наприклад, `Value`, `hour`, `dayofweek`) найбільше впливають на прийняття рішень моделлю.

- це важливо для подальшої оптимізації моделі, бо можна побачити, які з ознак є найбільш важливими для точності прогнозу.

Висока точність (84%). 84% точності є високим результатом для даної моделі класифікації, що показує її здатність правильно передбачати значення параметра. Це свідчить про те, що модель добре навчається на даних, що мають складну структуру, і може ефективно прогнозувати категорії, навіть коли дані містять шум або неповні інформації.

Такий рівень точності є досить хорошим для багатьох застосувань, і в цьому випадку ми можемо зробити висновок, що модель адекватно справляється з прогнозуванням параметрів хімічного процесу.



## Висновки

Ключові висновки та рекомендації

1. Висока точність моделі: Модель Random Forest показала точність 84%, що є хорошим результатом для задачі прогнозування параметра хімічного процесу. Це свідчить про ефективність використаної технології машинного навчання для даних з хімії.

2. Покращення моделей: Для подальшого вдосконалення можна додати більше ознак, що описують хімічні процеси, або використовувати більш складні моделі, такі як нейронні мережі, щоб підвищити точність.

3. Оптимізація обробки даних: Рекомендується проводити додаткову обробку даних для виявлення можливих аномалій або шуму, що може впливати на точність прогнозів.

Перспективи розвитку та вдосконалення технологій Big Data у хімії

1. Прогнозування результатів хімічних процесів: З використанням Big Data можна ще точніше передбачати поведінку складних хімічних систем, що дозволить автоматизувати процеси та зменшити витрати на лабораторні експерименти.

2. Вдосконалення моделювання хімічних реакцій: Розвиток глибинного навчання та більш складних моделей допоможе передбачати складні хімічні реакції з великими наборами даних, що включають інформацію про температури, тиски, концентрації реагентів та інші параметри.

3. Інтеграція з іншими технологіями: Злиття Big Data з Інтернетом речей (IoT) дозволить в реальному часі збирати та обробляти дані з лабораторій та виробничих процесів, що сприятиме кращому моніторингу та управлінню процесами.

## Список літературних джерел

1. ACD/ChemSketch. Version 2012 for Microsoft Windows. Drawing Chemical Structures and Graphical Images Tutorial. / Advanced Chemistry

Development, Inc. 2013. – 156 p.

2. Bienz S. Short Manual to the Chemical Drawing Program ChemDraw / S. Bienz. University of Zurich. 2013. – 22 p.

3. Marvin Sketch User's Guide. Available at: <https://docs.chemaxon.com/display/docs/MarvinSketch+User%27s+Guide>.

4. Український науковий портал "Наука і техніка" – статті на тему Big Data в хімії, [[www.naukatech.com.ua](http://www.naukatech.com.ua)](<https://www.naukatech.com.ua>) (дата звернення 8.11.2024).

5. Біомедика, "Big Data у хімічних дослідженнях", [[www.biomedic.com.ua](http://www.biomedic.com.ua)](<https://www.biomedic.com.ua>) (дата звернення 10.11.2024).

## TRC/NIST PUBLIC DATA DOMAIN

V. Diky

Applied Chemicals and Materials Division, Material Measurements Laboratory, National  
Institute of Standards and Technology  
[diky@nist.gov](mailto:diky@nist.gov)

Billions of dollars are allocated annually for scientific research on material and substance properties. The results of publicly funded research should be published to foster global scientific and technological progress. However, leveraging these findings presents challenges. Discovering, accessing, interpreting, parsing, and assessing the reliability of scientific information is labor-intensive and has no guaranteed way to succeed. Most data are not published in machine-readable formats [1] complicating data integrity assurance and automated indexing for easy discovery when that information is needed. The Thermodynamics Research Center (TRC) at the National Institute of Standards and Technology (NIST) is addressing those challenges by developing data communication formats, procedures and tools for data capture and conversion, infrastructure, and promoting open and efficient science principles.

A challenge in reporting thermophysical data is the complexity of definitions. It is necessary to define the object (chemical compound, mixture, or material), phase state, state variables, and the property itself. Even though strict principles exist, such as the Gibbs phase rule, researchers frequently fail to completely and unambiguously define the meaning of the data they report [2]. Proprietary data formats exist at companies and organizations dealing with material property data, but they cannot address all needs: public availability, transparency, and interoperability. That is why an XML-based format, ThermoML (<https://trc.nist.gov/ThermoML.xsd>), was developed at TRC and is accepted as an IUPAC standard [3]. The initial format covered a long (over 100) list of properties and equations, fitting those properties for pure compounds and mixtures. Phases, state variables, and properties are selected from enumeration lists ensuring compliance with the IUPAC recommendations. The only units supported are SI-based units. Extensions for biological materials, ionic systems, and polymers have been released and documented. TRC offers support in developing ThermoML formatters and readers. JavaScript Object Notation (JSON) has become popular in IT and was accepted at TRC for its flexibility and availability in several programming languages. JSON-based thermodynamic data formats are under development and testing with TRC partners.

Editors for direct entry to XML formats exist, but use of them for data entry is labor-intensive, stressful, and error prone. Specialized software for thermophysical data entry, Guided Data Capture (GDC) [4], has been developed at TRC. A free public version is available from the TRC web site (<https://trc.nist.gov/GDC.html>). The data entry is document-oriented and starts with the identification of the data source, such as a journal article, book, report, patent, etc. It continues with listing the chemical compounds, and after that data sets can be created. To facilitate traceability, most journals can be selected from the embedded list, as well as many chemical compounds. Otherwise, a valid and unambiguous chemical name should be used for identification of a compound. A common problem is identification of compounds having multiple stereoisomers. Data for them are frequently reported without proper identification, and researchers may even be unaware about stereoisomerism. The importance of knowing the stereoisomeric composition of the substances is discussed in [2]. If the compounds requiring stereoisomer identification are registered in the embedded database, GDC can alert users at the step of data capture. The

GDC interface is user-friendly and guides a user through each data entry form making sure all necessary fields are filled in a not-contradictory way. Several additional functions are provided such as ThermoML export, plotting, and detection and extraction of endpoints (e.g., pure-compound data as part of mixture data tables). A snapshot of the GDC interface is shown in Fig. 1. A new version of GDC is being prepared for public release. That version will provide JSON export and convenient features such as instantaneous processing of tables containing uniform data for multiple compounds and mixtures. Ultimately, the plan is to develop a web-based version of GDC, which will eliminate the need to install and update data capture software.

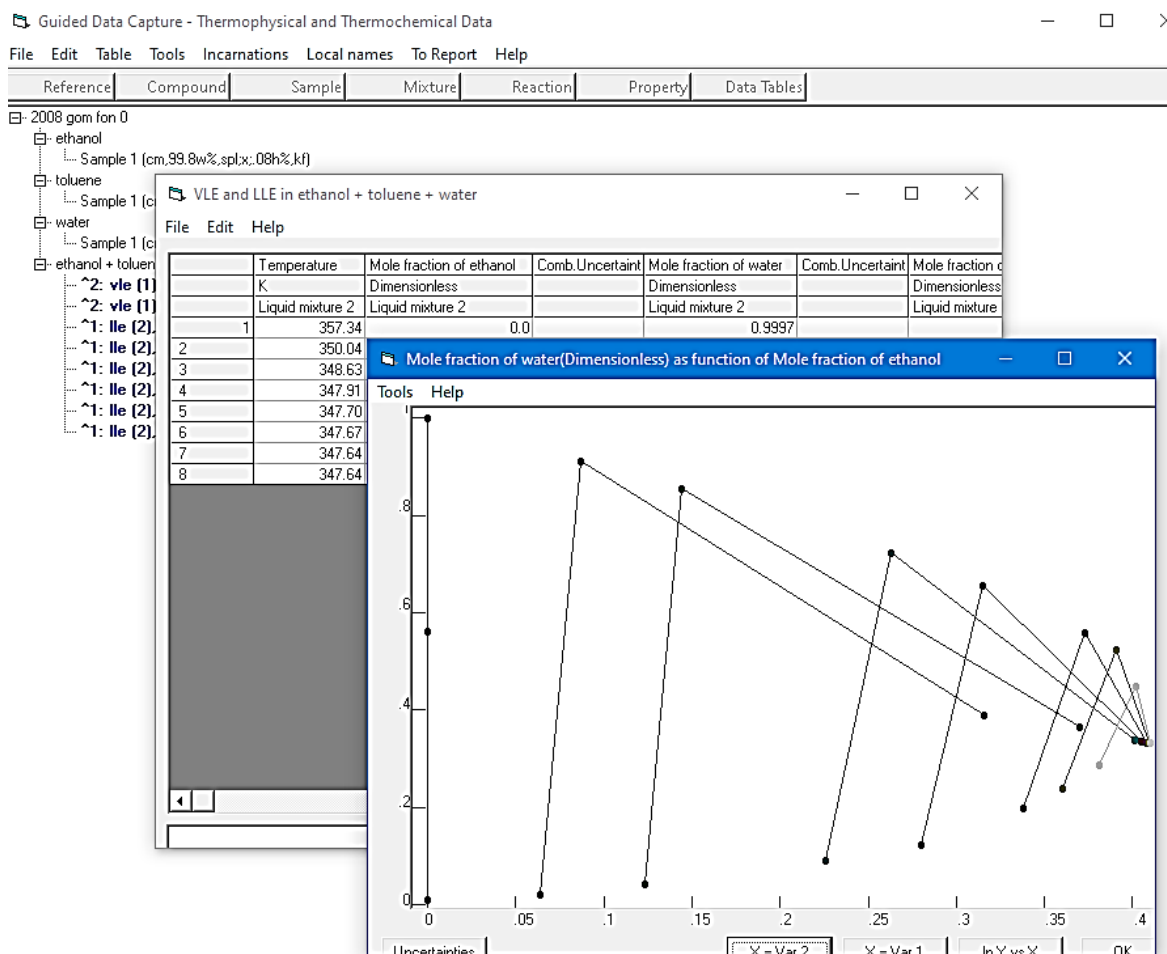


Figure 1. A snapshot of the GDC software displaying captured 3-phase equilibrium compositions for a ternary mixture (ethanol + water + toluene).

Thermophysical data captured in collaboration with the authors and five journals in the area of thermodynamics are available from the TRC public data domain in the form of document-oriented ThermoML and JSON files (<https://data.nist.gov/od/id/mds2-2422>). This data collection contains over 2 million numeric values of property data for pure compounds, binary, and ternary mixtures. The data in the TRC public data domain are easily searchable and can be used at the research planning stage to discover and access the already existing information. ThermoML or specialized JSON readers are necessary for parsing the data and converting them to a human-friendly presentation. One possible implementation of such a reader is also available from TRC. It is a free public version of

ThermoData Engine (TDE, <https://doi.org/10.18434/mds2-3179>), other versions are available for purchase as NIST standard reference databases (SRD) 103a and 103b (<https://trc.nist.gov/tde.html>). Free public TDE has an embedded compound database containing formulas and names of the chemical substances present in the public data domain. A compound or mixture components can be selected using the TDE compound selection form, and the data available for the selected system are requested online from the ThermoML data collection. The functionality of the free public TDE presently allows user to view the numeric values and references, copy the data to other applications, and build plots in different projections. A snapshot of the free public TDE is shown in Fig. 2. Further development of the free public TDE is planned, which will support thermodynamic models, property calculations by equations, and comparisons of models to data.

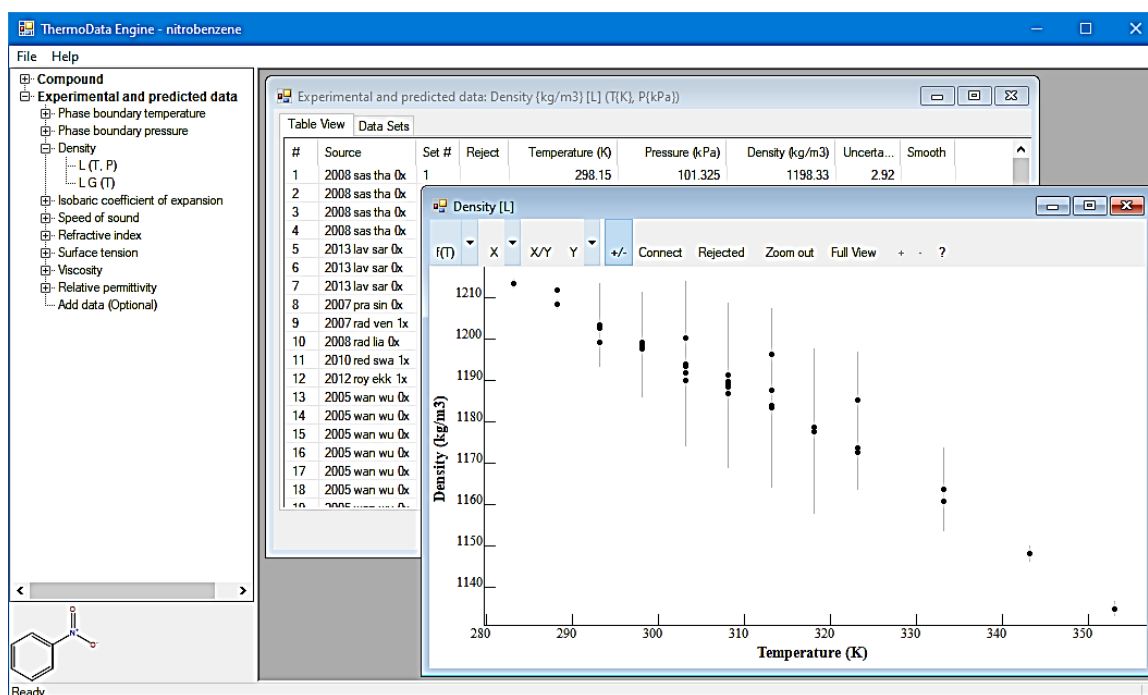


Figure 2. Density data for nitrobenzene from the TRC/NIST public data domain in the free public TDE software.

It should be noted that only the data deposited in the TRC public data domain are accessible to users of free public TDE. Capturing data from publications is an extremely labor-intensive and stressful process requiring highly skilled operators, who should understand the whole variety of thermodynamic properties and be able to interpret the information, which is frequently poorly defined. No resources are available to capture the entire huge amount of the data published nowadays. The most reasonable solution seems to be publication of scientific data in machine-readable formats. As was mentioned above, TRC provides tools for data capture and is committed to their further development, and TRC encourages researchers to use them for the creation of machine-readable data supplements to their publications. Voluntary contribution of those files to the TRC public data domain would be beneficial for both the readers and the authors because it can increase the discoverability and availability of their research and increase the number of citations, one of the main criteria of the merit of scientific research nowadays.

Besides the general-purpose collection of experimental thermophysical data, TRC provides publicly available specialized resources. The oldest of them is the ionic liquids property database ILThermo (<https://ilthermo.boulder.nist.gov/>). It was created to support research in the field of ionic liquids, and it includes the data for pure ionic liquids defined as ionic compounds with normal melting temperatures below 100 °C (373.15 K) and their mixtures. Another similar database is dedicated to gas hydrates (<https://gashydrates.nist.gov/>). Again, contributions of the researchers to the ThermoML/JSON TRC public data domain can enrich those collections and are greatly encouraged.

For the last ten years TRC has expanded from the traditional focus on molecular compounds to also collecting and analyzing properties of alloy systems. Starting within the framework of the Material Genome Initiative (<https://www.mgi.gov/>), the alloys database has evolved and is continuously updated and freely available online [5].

It should be noted that publications of the research performed at NIST are also freely available from the National Center for Biotechnology Information (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>)

### References

1. V. Diky. Scientific publications and data evaluation in the digital age (a perspective of a thermodynamics researcher). *Fluid Phase Equilibria* 564 (2023) 113607. DOI: [10.1016/j.fluid.2022.113607](https://doi.org/10.1016/j.fluid.2022.113607)
2. J.P. O'Connell, V. Diky, A. Bazyleva. Report Experimental Data Effectively. *Chemical Engineering Progress Magazine*, October 2022, 50-57. <https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20221050.pdf>
3. M. Frenkel, R. D. Chirico, V. Diky, Q. Dong, K. N. Marsh, J. H. Dymond, W. A. Wakeham, S. E. Stein, E. Königsberger, and A. R. H. Goodwin. XML-based IUPAC standard for experimental, predicted, and critically evaluated thermodynamic property data storage and capture (ThermoML) (IUPAC Recommendations 2006). *Pure Appl. Chem.*, Vol. 78, No. 3, pp. 541–612, 2006. DOI: [10.1351/pac200678030541](https://doi.org/10.1351/pac200678030541)
4. V. V. Diky, R. D. Chirico, R. C. Wilhoit, Q. Dong, and M. Frenkel. Windows-Based Guided Data Capture Software for Mass-Scale Thermophysical and Thermochemical Property Data Collection. *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 2003, 43, 15-24. DOI: [10.1021/ci025534t](https://doi.org/10.1021/ci025534t)
5. B. Wilthan, V. Diky, A. Kazakov, K. Kroenlein, C. Muzny, D. Riccardi, S. Townsend. NIST Alloy Data, Home Page: [https://trc.nist.gov/metals\\_data](https://trc.nist.gov/metals_data) (accessed 10, 22, 2024), DOI: [10.18434/M32153](https://doi.org/10.18434/M32153)

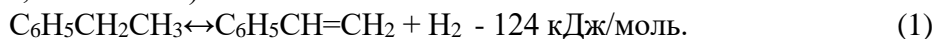
## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ДЕГІДРУВАННЯ ЕТИЛБЕНЗОЛУ ДО СТИРОЛУ

Г.М. Худoley, Б.С. Яскевич

Шосткинський інститут Сумського державного університету  
[hudoley1951@gmail.com](mailto:hudoley1951@gmail.com)

Стирол являється однією з найважливіших речовин основного органічного синтезу, яка в значних кількостях використовується як сировина (мономер) для виробництва синтетичних каучуків та пластмас [1]. Так за даними [2] в 2024 році обсяг виробництва стиролу в світі оцінюється в 34,44 мільйонів тон з середньорічним приростом приблизно 5,32% за рахунок збільшення попиту на нього в таких галузях промисловості як упаковка, будівництво, виробництво автомобілів та інше.

За хімічним складом ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) стирол відноситься до групи ароматичних вуглеводнів. Близько 90% світового виробництва стиролу отримується в результаті оборотної ендотермічної каталітичної реакції дегідрування етилбензолу, яка відбувається при 550-650 °С в присутності гетерогенного каталізатора (зазвичай це оксиди металів Fe, Mn та інше) за основною схемою



Одночасно з основною протікає низка побічних реакцій деструкції (крекінгу) етилбензолу і взаємодії їх продуктів, що приводить до утворення бензолу, толуолу, а також метану, етану і оксиду вуглецю в відносно незначних кількостях.

**Технологічний процес отримання стиролу.** Процес отримання стиролу в виробничих умовах протікає в дві стадії:

беспосередньо дегідрування етилбензолу в двоступеневих адіабатичних контактних реакторах;

виділення стиролу з суміші продуктів дегідрування етилбензолу (пічної оливи) в процесі ректифікації.

Виконаємо конструктивно-технологічний аналіз стадії дегідрування етилбензолу як такої, що визначає основний вплив на ефективність технологічного процесу. Технологічна схема процесу дегідрування етилбензолу в двоступеневому адіабатичному контактному реакторі продемонстрована на рис. 1.

Етилбензол (сировина для отримання стиролу) подається в теплообмінник 1, де попередньо підігрівается до 80 °С відпрацьованим водяним конденсатом з наступних стадій виробництва з метою утилізації теплоти і направляється для подальшого нагріву в випарник 2, в якому перегрітою водяною парою випаровується і нагрівається до температури 210 °С. Одночасно частина (приблизно 10%) пари змішується з етилбензолом, а залишок після віддачі теплоти в випарникові 2 направляється в пароперегрівач ба, в якому нагрівається за рахунок спалювання природного газу до температури 630 °С.

Нагрітий у випарникові 2 етилбензол перегрівається в перегрівачеві 3 до майже робочої температури 550 °С за рахунок відпрацьованої пари з теплообмінника адіабатичного реактора 4 і подається в верхню його частину 5, в якій розбавляється перегрітою парою з температурою 630 °С для того, щоб знизити парціальний тиск пари етилбензолу і змістити реакцію в сторону отримання стиролу.

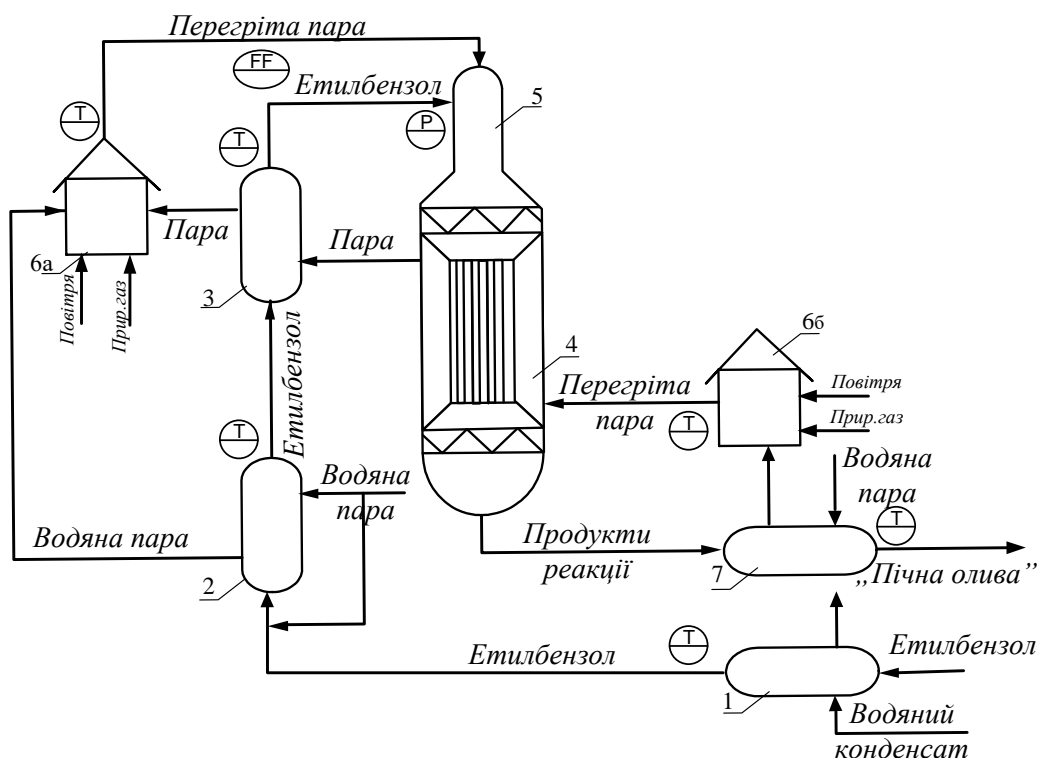


Рис.1 - Технологічна схема стадії дегідрування етилбензолу в виробництві стиролу:

- 1 - теплообмінник; 2 - випарник; 3 - перегрівач; 4 - міжступінчатий теплообмінник; 5 - адіабатичний реактор; 6а, 6б - пароперегрівна піч; 7 - котел-утилізатор

Суміш перегрітої пари та етилбензолу надходить в верхній шар каталізатора реактора 5, де в результаті реакції дегідрування етилбензолу температура продуктів реакції зменшується до 585 °С. Проміжний теплообмінник 4, що знаходиться в одному корпусі з реактором 5, забезпечує підвищення температури продуктів реакції до 630 °С за допомогою перегрітої пари, що поступає з пароперегрівної печі 6б. Продукти реакції після проходження другого шару каталізатора мають необхідну ступінь перетворення етилбензолу і поступають в котел-утилізатор 7, де їхня температура зменшується, а теплота повертається в процес. Отримані продукти реакції в вигляді так званої «пічної оливи» поступають на склад або на ректифікацію.

**Аналіз процесу дегідрування як об'єкту управління.** Для створення ефективної системи управління будь-яким складним технічним об'єктом необхідна наявність достовірної (адекватної) математичної моделі, або, як мінімум, глибокої вивченості фізико-хімічних явищ, що протікають в ньому, а також раціонального вибору критеріальної стратегії управління.

З цієї точки зору процес дегідрування етилбензолу до стиролу в адіабатичному реакторі являє собою деякий «сірий ящик» [3] в силу недостатньої вивченості основних закономірностей та факторів, що впливають на ступінь перетворення етилбензолу та на селективність основної хімічної реакції (1).

Аналіз літературних джерел дозволяє сформулювати деякі головні узагальнені висновки:

ступінь перетворення етилбензолу зростає при збільшенні температури реакційної суміші (шихти) в адіабатичному реакторі (див. рис. 2) [4]. Разом з тим зі

збільшенням температури в зоні реакції збільшується вихід продуктів побічних реакцій, що приводить до таких негативних наслідків, як [1,5,6]:

відповідне зменшення кількості стиrolу в продуктах реакції;

надлишкова витрата енергії як на протікання побічних ендотермічних реакцій, так і на необхідність підтримання більш високої температури;

зменшення активності каталізатора через утворення на його поверхні коксової плівки, що приводить до зменшення періоду роботи реактора між циклами регенерації;

так як об'єм продуктів реакції в два рази більший ніж об'єм вихідного етилбензолу, то реакцію дегідрування етилбензолу (1) бажано вести при зменшеному парціальному тискові етилбензолу [1]. Цього ефекту досягають розбавленням вихідної сировини інертною речовиною (звичай це водяна пара), яка одночасно виконує роль теплоносія. Для зменшення парціального тиску етилбензолу на 0,01 МПа необхідно 1 кг етилбензолу розбавити 2,6 кг перегрітої водяної пари. Залежність рівноважного ступеня дегідрування етилбензолу в стиrol від величини співвідношення водяна пара:етилбензол при температурі 580 °C наведена в табл.2 [8].

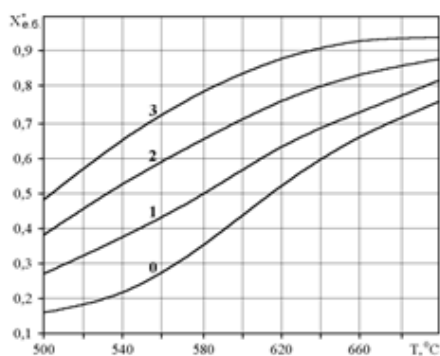


Рис. 2 - Залежність рівноважного ступеня перетворення етилбензолу від температури в реакторі при різному масовому співвідношенні водяної пари до етилбензолу (0, 1, 2, 3)

Таблиця 1 - Залежність рівноважного ступеня перетворення етилбензолу від величини співвідношення водяної пари до етилбензолу при температурі в реакторі 580 °C

Відношення $H_2O:C_8H_{10}$	Рівноважний ступінь дегідрування, %
0	35
16	47
19	78
20	79

Необхідно зауважити, що незважаючи на теоретичну можливість завдяки відповідному розбавленню етилбензола водяною парою, досягнення величини рівноважного ступеню перетворення етилбензолу близько 79% (див. табл. 1), на практиці обмежуються величиною співвідношення  $H_2O$ :етилбензол, що дорівнює (4-2):1, що очевидно пов'язане з необхідністю мінімізації витрати енергії на нагрівання додаткової кількості водяної пари.

#### Постановка задачі оптимального управління.

Питанням автоматизації та розробки математичних моделей технологічного процесу дегідрування етилбензолу в стиrol в літературних джерелах приділяється не дуже багато уваги [3,5,9].

В основному автоматизація процесу отримання стиrolу зводиться до стабілізації основних регламентних змінних на тих рівнях, що визначились в результаті багаторічних спостережень, тобто основаних на практичному досвіді. І лише в окремих роботах автори торкаються питань оптимального управління розглянутим вище процесом на постановочному рівні. Так в [9] пропонується використовувати екстремальне управління, але при цьому не вказується яка технологічна змінна володіє екстремальними характеристиками. В роботі [3] автори рекомендують



виконувати регулювання витрат паливного газу на підігрів пари (поз. ба, бб; на рис.1) з урахуванням прогнозу динаміки управляемого об'єкта за математичною моделлю на кінцевому відтинку часу (горизонті прогнозування), однак, на жаль, така модель, або хоча б принципи її створення не наводяться.

Маючи на увазі результати аналізу процесу дегідрування етилбензолу як об'єкта управління, зформульовані вище, нескладно дійти висновку, що для досягнення якомога більшого ступеню перетворення етилбензолу в стирол (тобто збільшення виходу кінцевого продукту) бажано максимально підвищувати температуру в зоні реакції та збільшувати співвідношення  $H_2O$ :етилбензол. Але, оскільки при цьому будуть зростати витрати енергії на побічні реакції і, відповідно, зменшиться вихід стиролу, то з'являється необхідність обмеження цих змінних на «розумному» рівні, що фактично і виконується на практиці методом проб та помилок. Щоб надати цій процедурі об'єктивний характер, необхідно формалізувати процес визначення оптимальних величин змінних ведення технологічного процесу шляхом вибору відповідного критерію оптимальності.

Якщо звернути увагу на те, що реакція отримання стиролу (1) протікає в одну стадію, то можна припустити, що тепловий ефект цієї реакції ( $\Delta H = 124$  кДж/моль) власне і є тією мінімально-необхідною енергією, яка використовується на синтез корисного продукту. Вся інша енергія, що витрачається понад величину теплового ефекту – це невиробничі витрати, пов'язані з протіканням побічних реакцій та безповоротними тепловими втратами. Таким чином, цілком логічно було б поставити задачу мінімізації надлишкових витрат енергії, але в цьому випадку оптимальні значення змінних процесу дегідрування етилбензолу в стирол будуть зміщуватись в бік мінімальних значень, що негативно позначиться на продуктивності. Але якщо мінімізацію надлишкових витрат енергії вести при умові збереження заданої величини ступеню перетворення етилбензолу, то знайдені значення змінних процесу конверсії етилбензолу набувають смислу оптимальних. Крім того, подібний підхід надає можливість автоматично корегувати режим роботи реактора в залежності від зменшення активності каталізатора, забезпечуючи постійність продуктивності між циклами регенерації.

Таким чином, як критерій оптимізації доцільно використати вираз

$$R(\vec{X}) = E_{\phi}(\vec{X}) - \Delta H \vec{\rightarrow}_{\vec{X}} \min \quad (2)$$

$$\text{при умові } S_{EB} = S_{EB}^* \text{ та рівняннях зв'язку } \varphi(\vec{X}) = 0, \quad (3)$$

де  $\vec{X}$  – вектор незалежних змінних (в цьому випадку це температура в реакторі і співвідношення  $H_2O$ :етилбензол;  $E_{\phi}(\vec{X})$  - фактична витрата енергії в реальному процесі отримання стиролу (на 1 кг);  $\Delta H$  – тепловий ефект реакції (1);  $S_{EB}^*$  - задана мінімальна ступінь перетворення етилбензолу;  $\varphi(\vec{X})$  – математична модель статичного режиму роботи об'єкта.

З урахуванням (2) і (3) функціональна схема системи оптимального управління процесом дегідрування етилбензолу в статичному режимі може бути представлена в вигляді, показаному на рис. 3.

В режимі реального часу ведеться спостереження за вхідними  $\vec{X}_E$  та вихідними  $\vec{Y}_E$  змінними об'єкта управління та їх усереднення на деякому інтервалі часу  $\Delta T$ , який формується таймером.

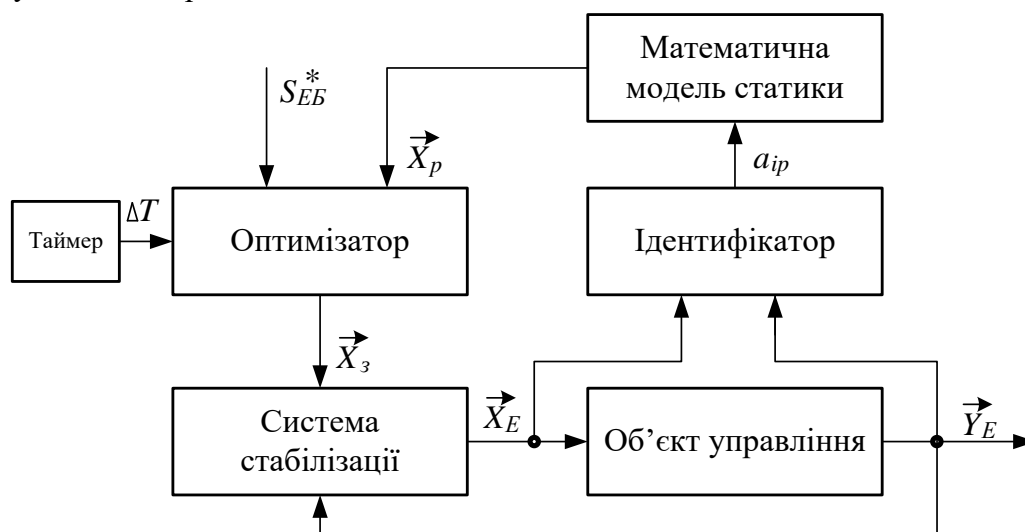


Рис. 3 - Функціональна схема системи оптимального управління процесом дегідрування етилбензолу в стирол

На кожному відтинку часу  $\Delta T$  ідентифікатор виконує ідентифікацію параметрів  $a_{ip}$  математичної моделі статички процесу за усередненими даними спостереження з метою їх актуалізації. На основі уточнених значень параметрів  $a_{ip}$  з використанням математичної моделі розраховуються невимірювані змінні процесу, а оптимізатор розраховує оптимальні значення уставок для локальних систем стабілізації, завданням яких є підтримання оптимального режиму.

#### Висновки.

Виконано аналіз процесу дегідрування етилбензолу в стирол як об'єкта управління: показана відсутність у об'єкта екстремальних властивостей.

Запропоновано як критерій оптимізації процесу використати величину надлишкової витрати енергії при фіксованому мінімальному значення співвідношення  $H_2O$ :етилбензол.

Запропонована функціональна схема системи оптимального управління процесом дегідрування етилбензолу в стирол з використанням стабілізації незалежних змінних на рівні, що обчислюється оптимізатором, який використовує змінні, розраховані за математичною моделлю статички з періодичним уточнення параметрів моделі за допомогою ідентифікатора.

Список літературних джерел.

1. Зыков Д. Д. и др., Общая химическая технология органических веществ, М.: Химия, 1966.
2. Анализ размера и доли рынка стирола – тенденции роста и прогнозы (2024–29 г.) [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/styrene-market>.
3. Попов А. П., Битюков В. К. и др. Системный анализ реактора дегидрирования этилбензола как объекта управления // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. - С. 77–85.
4. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Виробництво стиролу каталітичним дегідруванням етилбензолу» з дисципліни «Загальна хімічна технологія». / Укл.: В.А.Мазін. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2003 – 20 С.

5. Управление процессом дегидрирования этилбензола в стирол в нестационарных условиях [Электронный ресурс] / [А. М. Алиев, И. И. Османова, А. Р. Сафаров та ін.]. – 2016. – С. 17–22 - Режим доступу до ресурсу: <https://akj.az/ru/journals/339>.

6. Битюков В.К., Жатова И.А и др. Разработка математической модели кинетики процесса дегидрирования этилбензола в двухступенчатом адиабатическом реакторе непрерывного действия // Вестник ВГУИТ. Серия: информационные технологии, моделирование и управление. 2015. № 2 (64). С. 55–60.

7. Журавлева К.А., Назаров А.А. Получение стирола дегидрированием этилбензола // Вестник Казан. технол. унив., 2012. С. 149.

8. Получение стирола дегидрированием этилбензола. Режим доступу до ресурсу: [https://studref.com/515273/matematika\\_himiya\\_fizik/poluchenie\\_stirola](https://studref.com/515273/matematika_himiya_fizik/poluchenie_stirola)

9. Автоматизация процесса получения стирола из этилбензола [Электронный ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://www.engineer-oht.ru/avtomatizaciya-tp/avtomatizaciya-tehnologii/573-avtomatizaciya-processa-polucheniya-stirola>

СЕКЦІЯ 6  
Хімія та фармацевтика

SECTION 6  
Chemistry and pharmaceuticals

## MOLECULARLY IMPRINTED POLYMER AS POTENTIAL SENSOR FOR PICRIC ACID DETECTION?

**Karolina Glosz, Agnieszka Stolarczyk, Tomasz Jarosz**

Department of Physical Chemistry and Technology of Polymers,  
Silesian University of Technology, 44-100 Gliwice, Poland  
karolina.glosz@polsl.pl

Nitroaromatic compounds including 2,4,6-trinitrophenol (picric acid) are gaining more and more interest among scientists. Nowadays picric acid (PA) is commonly used in analytical chemistry as standard material for HPLC method. However due to high toxicity and can carcinogenic properties of picric acid it is important to detect even traces of PA [1]. There are many methods used for detection of PA like mass spectrometry [2], the use of field-effect transistors [3], and fluorescence spectroscopy [4], however those methods are not selective due to similarity of PA structure to other nitroaromatic compounds. On the other hands selective sensors for Pa was already described in literature, however those sensors mostly based on metal–organic frameworks [5,6] or carbon dots [7], so the manufacturing of those sensors are complex and expensive.

In this article, we have presented research on molecularly imprinted polymer (MIP) and non-imprinted polymer (NIP) as potential sensors for picric acid (PA) detection. MIP and NIP layers were produced using electrochemical polymerisation, conducted via cyclic voltammetry with platinum constant-surface-area as working electrode in acetonitrile solutions containing 0.1 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate a supporting electrolyte and 20 mM carbazole as monomer. NIP layer was obtained directly from this solution, however MIP layer were obtained from solution containing also 80 mM PA. Morphology of obtained layers were investigated by scanning electron microscope (SEM), showed in figure 1.

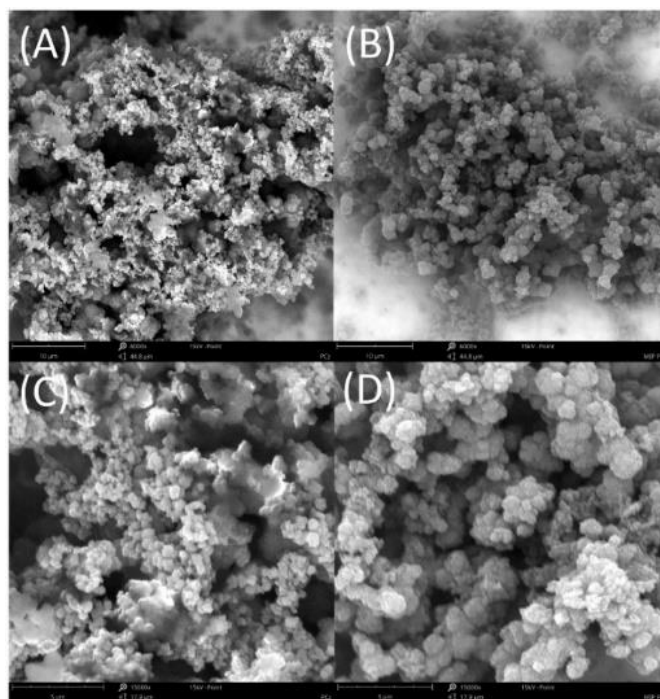


Figure 1. SEM images showing NIP polycarbazole (A,C) and MIP polycarbazole (B,D), magnification: A,B 6000x; C,D 15000x

We conducted picric acid detection studies for concentrations ranging from 0.05 mM to 0.80 mM in acetonitrile solution containing 0.1 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate as supporting electrolyte. During these studies, picric acid reduction was carried out using differential pulse voltammetry with three different electrodes (platinum, MIP, and NIP) to detect picric acid. For all three systems, we observed signals of electrochemical reduction of PA. Both platinum and MIP showed a decrease in peak current with decreasing analyte concentration in the sample.

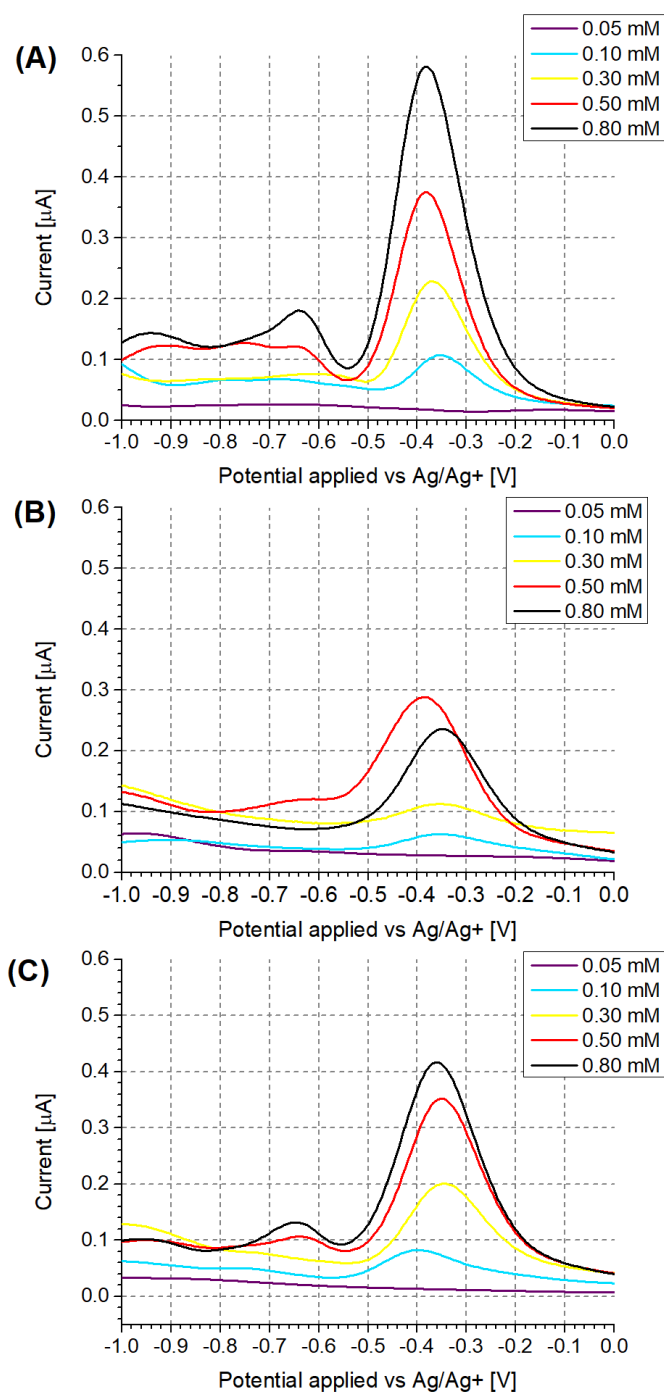


Figure 2. DPV recorded for A: unmodified platinum electrode, B: NIP polycarbazole, C: MIP polycarbazole.

From our further calculations presented in Table 1, it appears that the best limit of detection is for unmodified platinum. This is because platinum is a very good catalyst for reduction processes. However, we can also observe that MIP layers have a much lower LOD for PA than NIP layers.

Table 1: Summary of calculated values of the limit of detection for PA and the b factors.

Electrode	b Factor <sup>a</sup>	Limit of Detection (LOD) <sup>b</sup>
Unmodified platinum	$9.8 \times 10^{-7}$	0.09 mM
NIP polycarbazole	$3.8 \times 10^{-7}$	0.62 mM
MIP polycarbazole	$7.6 \times 10^{-7}$	0.26 mM

<sup>a</sup> calculated based on modeling the experimental data using function:  $y=b*\ln(x-a)$ .

<sup>b</sup> calculated from  $LOD= 3\sigma/s$

The final stage of our research was to compare the selectivity of NIP and MIP layers. For this purpose, we examined the detectability of two potential interferents: nitrobenzene and nitromethane (Fig. 3)

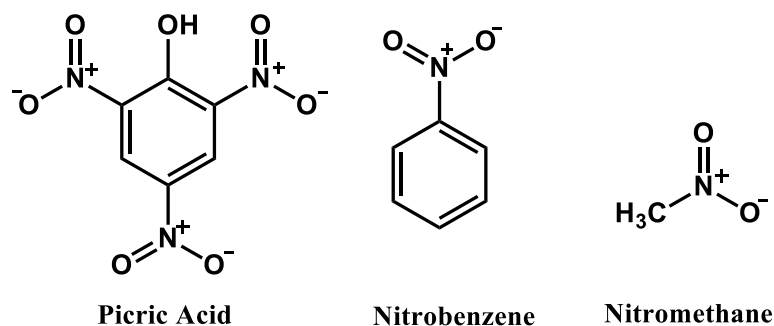


Figure 3 Chemical structure of Picric acid and potential interferents.

The MIP layer exhibited high selectivity towards nitromethane, whose structure differs significantly from picric acid; unfortunately, the layer was not selective towards nitrobenzene, whose structure is more similar to picric acid (Table 2). On the other hand, the NIP layers showed greater selectivity for nitrobenzene than for nitromethane.

Table 2. Comparison of reduction current values observed during DPV measurements.

Compound	NIP polycarbazole	MIP polycarbazole	IF Pt
Pa (0.8 mM)	0.235 $\mu$ A	0.416 $\mu$ A	1.77
Nitrobenzene ( 9 mM)	0.056 $\mu$ A	0.319 $\mu$ A	5.70
Nitromethane (18 mM)	0.136 $\mu$ A	0.080 $\mu$ A	0.59

The slight improvement in PA detection using MIP layers may be due to the fact that conjugated polymer chains are highly rigid and during the continuous doping and dedoping process, they undergo dearomatization and rearomatization, significantly changing their

arrangement in space. This process likely leads to the gradual deformation of any pores remaining after the removal of the template. In conclusion molecular imprinted polymers has potential as sensors for detection of PA, however they need to be subjected to further research.

### **Bibliography**

1. Stringer, R.C., Gangopadhyay, S., Grant, S.A., 2010. "Detection of nitroaromatic explosives using a fluorescent-labeled imprinted polymer." *Anal. Chem.* 82, 4015-4019.
2. Barron, L.; Gilchrist, E. Ion chromatography-mass spectrometry: A review of recent technologies and applications in forensic and environmental explosives analysis. *Anal. Chim. Acta* 2014, 806, 27–54.
3. Yan, F.; He, Y.; Ding, L.; Su, B. Highly ordered binary assembly of silica mesochannels and surfactant micelles for extraction and electrochemical analysis of trace nitroaromatic explosives and pesticides. *Anal. Chem.* 2015, 87, 4436–4441
4. Ma, Y.; Li, H.; Peng, S.; Wang, L. Highly selective and sensitive fluorescent paper sensor for nitroaromatic explosive detection. *Anal. Chem.* 2012, 84, 8415–8421.
5. Wang, S.; Wang, Q.; Feng, X.; Wang, B.; Yang, L. Explosives in the cage: Metal–organic frameworks for high-energy materials sensing and desensitization. *Adv. Mater.* 2017, 29, 1701898.
6. Acharyya, K.; Mukherjee, P.S. A fluorescent organic cage for picric acid detection. *Chem. Commun.* 2014, 50, 15788–15791.
7. Zheng, Y.; Wang, S.; Li, R.; Pan, L.; Li, L.; Qi, Z.; Li, C. Highly selective detection of nitroaromatic explosive 2,4,6-trinitrophenol (TNP) using N-doped carbon dots. *Res. Chem. Intermed.* 2021, 47, 2421–2431.
8. Głoz, K., Fabin, M., Janasik, P., Kołodziej, W., Stolarczyk, A., & Jarosz, T. 2024. "The Failure of Molecular Imprinting in Conducting Polymers: A Case Study of Imprinting Picric Acid on Polycarbazole." *Sensors*, 24(2), 424.



## СИНТЕЗ АФІ В СТРУКТУРІ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА. ОБЛАДНАННЯ ТА УМОВИ ВИКОНАННЯ ПРОЦЕСІВ

О.М. Тарасенко<sup>1,2</sup>, А.В. Мигаль<sup>1</sup>, В.В. Рудюк<sup>1</sup>, О.С. Кухтенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Акціонерне товариство «Фармак»

<sup>2</sup> Національний фармацевтичний університет

E-mail: o.tarasenko@farmak.ua

Активний фармацевтичний інгредієнт (лікарська речовина, діюча речовина, субстанція) (далі - АФІ або діюча речовина) - будь-яка речовина чи суміш речовин, що призначена для використання у виробництві лікарського засобу і під час цього використання стає його активним інгредієнтом. Такі речовини мають фармакологічну чи іншу безпосередню дію на організм людини, у складі готових форм лікарських засобів. Їх застосовують для лікування, діагностики чи профілактики захворювання, для зміни стану, структур або фізіологічних функцій організму, для догляду, обробки та полегшення симптомів [1].

Виробництво АФІ у більшості випадків являє собою хімічне виробництво, яке можна описати як систему взаємозв'язаних технологічних процесів, у тому числі і синтез речовин з певними властивостями, в результаті яких використану сировину (мінеральну, органічну, тощо) перероблюють у продукти споживання та засоби виробництва за допомогою хімічних перетворень. До хімічного виробництва України належать такі галузі, як: гірничо-хімічна, основна хімія, хімія органічного синтезу, хімія полімерів, хіміко-фармацевтична, хімічних волокон, лакофарбова, нафтохімічна, нафтопереробна, тощо. Хімічне виробництво поділяється на 2 основні групи (Рис. 1): неорганічна хімічна технологія та органічна хімічна технологія.

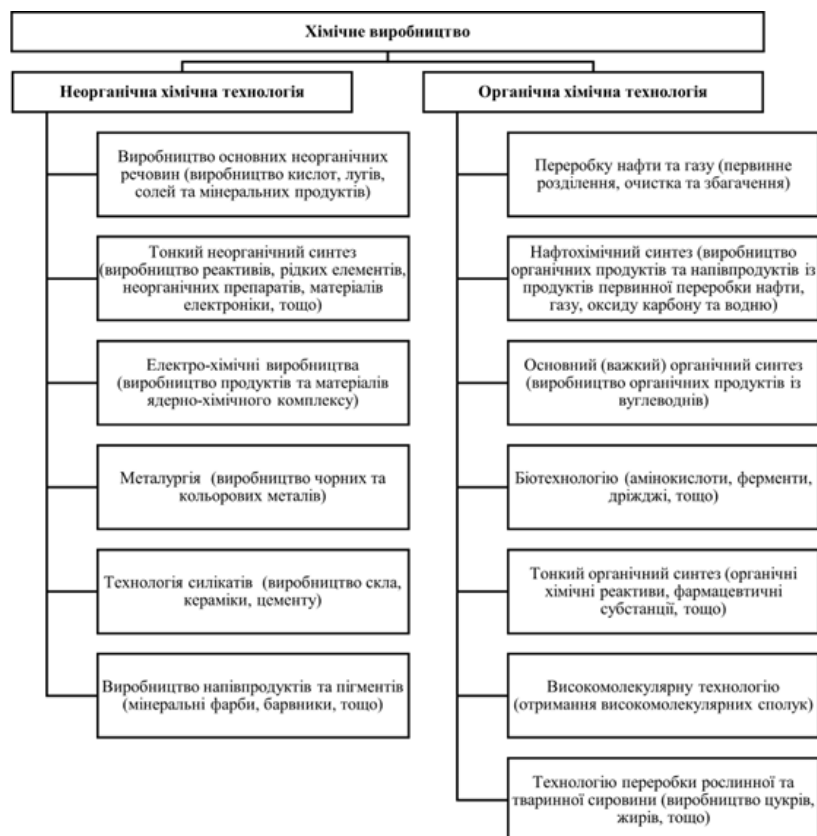


Рис. 1. Класифікація хімічних виробництв в Україні

Всі групи та підгрупи формують єдину хіміко-технологічну систему, що являє собою взаємозалежність технологічних потоків та обладнання (апаратів), в яких відбуваються технологічні операції: підготовка сировини, хімічне перетворення, отримання та очищення кінцевого продукту. Будь-який технологічний процес можна розділити на три основних стадії (рис. 2) [3].



Рис. 2. Схема послідовних етапів виконання процесу отримання субстанції

Проаналізувавши рисунок 2 можна зробити висновок, що наявність стадії хімічного перетворення є ознакою належності процесу до хімічного виробництва. Виробництво АФІ, що використовується у якості діючих речовин у фармацевтичній промисловості, відноситься до підгрупи «Виробництво тонкого органічного синтезу» (див. рис. 1) та є однією з важливіших галузей хімічного виробництва України[5]. У такому випадку виробництво субстанцій – це, по суті, і є хімічне перетворення, тому і підходи до напрацювання субстанцій від самого початку (планування виробництва, підбір обладнання, розрахунок вентиляційних систем, хімічне перетворення, поводження з відходами, тощо) повинні включати в себе не тільки вимоги Належної Виробничої Практики (Good manufacturing practice – GMP), а й вимоги до планування та проведення безпечного хімічного виробництва.

Але, на сьогоднішній день, з розвитком промисловості, з'являються нові вимоги до всіх хімічних виробництв. Їхньою метою є не тільки отримання цільового продукту, а і безпосереднє дотримання сучасних технологічних принципів, які охоплюють, окрім вищезазначених головних стадій хімічного процесу, допоміжні підсистеми: забезпечення виробництва паливно-енергетичними ресурсами і раціональне їх використання, достатньою кількістю води у якості теплоносія, водопідготовка та водоочищення, комплекс утилізації та очищення відходів, керуючись підходами до захисту довкілля від шкідливих промислових викидів і стоків, комплексного використання сировини, створення безвідходних виробництв, тощо [8]. Таким чином у структурі кожного хімічного виробництва повинні бути дільниці з очищення стічних вод і викидів, а також необхідно передбачити комплекс заходів по утилізації хімічних відходів.

Окрім цього для забезпечення повного хімічного перетворення, при проведенні складних, або навіть і найпростіших хімічних реакцій, зазвичай використовуються розчинники. В якості розчинника може бути вода, спирти, ефіри, кислоти, кетони,

бензол, толуол, тощо. Більшість з них відноситься до легкозаймистих речовин (ЛВЖ), які здатні займатись від іскор, але інші – це кров'яні яди, лакриматори, корозійні речовини, тощо. Таким чином, при плануванні напрацювання хімічної речовини на виробництві, необхідно обов'язково враховувати фізико – хімічні властивості будь – якої сировини, що буде приймати участь у хімічному перетворенні та керуватись основними шляхами охорони праці та пожежної безпеки (ОП і ПБ) на виробництві. Настанова з GMP в цілому не поширюється на питання охорони праці персоналу, зайнятого у виробництві, а також не порушує питань захисту навколишнього природного середовища [1], [2]. Контроль, що здійснюється в цьому випадку, є безпосереднім обов'язком виробника та регламентується в інших областях законодавства.

Також важливим аспектом є грамотний і коректний підбір обладнання, яке буде задіяне при майбутньому промисловому напрацюванні субстанції – це врахування матеріалу, з якого зроблене обладнання (сталь або емаль) [6], розрахунок робочого об'єму, можливість використання апаратів та допоміжного обладнання під тиском, при нагріві та охолодженні, матеріал та пропускна спроможність матеріальних ліній подачі, завантаження та відведення сировини, розчинників, продуктів синтезу – готового продукту та маточного розчину, тощо. Будь-що з вище переліченого може впливати на якість та вихід кінцевого продукту (Рис.2) [4], [7].

Таблиця 1 Вплив параметрів та матеріалів обраного обладнання на якість кінцевого продукту та охорону праці і пожежну безпеку. Аналіз ризиків та можливостей

Технічні параметри та характеристики обладнання	Оцінка впливу	
	Можливості	Ризики
Матеріал обладнання (сталь, емаль, тефлон)	Гарантує отримання кінцевого продукту відповідно до регламентних показників	- ризик отримання у кінцевому продукті побічних домішок; - ризик виведення обладнання з ладу (корозія)
Використання реакторів та допоміжного обладнання з оптимальним робочим об'ємом	Гарантує отримання кінцевого продукту відповідно до регламентних показників	Ризик перезавантаження обладнання, що призведе до виведення обладнання з ладу та отримання продукту невідповідної якості та кількості
Використання обладнання з підвищеними вимогами до ПБ	Гарантує, що всі процеси з використанням ЛВЖ (завантаження, вивантаження, перегонка розчинника, робота під тиском, тощо) не призведуть до виникнення пожежі та вибуху	Ризик виникнення пожежі та вибуху на виробництві
Використання теплоносіїв (вода, пара, масло) для обігріву реакторів та допоміжного обладнання	- зменшення часу процесу нагріву; - гарантоване додержання необхідних температурних режимів при проведенні синтезу; - забезпечення повного хімічного перетворення відповідно до регламентних показників	Ризик не повного хімічного перетворення, в наслідок чого утворений продукт буде гарантовано містити суміш зі кінцевого продукту, початкової сировини, що не вступила у реакцію, та побічні домішки
Наявність перемішуючого	- гарантує забезпечення повного хімічного	Ризик не повного хімічного перетворення, в наслідок чого

Технічні параметри та характеристики обладнання	Оцінка впливу	
	Можливості	Ризики
пристрою у комплектації обладнання	перетворення відповідно до регламентних показників; - прискорення перебігу хімічної реакції; - рівномірний розподіл твердих частинок в об'ємі рідини; - інтенсифікація теплообміну	утворений продукт буде гарантовано містити суміш зі кінцевого продукту, початкової сировини, що не вступила у реакцію, та побічні домішки
Наявність завантажувального пристрою у комплектації обладнання	Гарантує коректне та повне завантаження сировини, відповідно до регламентного значення	Ризик не повного завантаження сировини, що може призвести до отримання продукту невідповідної якості та кількості
Матеріальні лінії (трубопровідна система) – діаметр умовного проходу та умовний тиск	Гарантує повну доставку розчину з продуктом з умовної точки А в умовну точку Б, зменшує теплові витрати при фільтрації гарячих розчинів продукту, що забезпечує повне хімічне перетворення відповідно до регламентних показників	Ризик не повного завантаження, або втрати продукту, що може призвести до отримання продукту невідповідної якості та кількості

В результаті теоретичного опрацювання підходів до масштабування та трансферу АФІ з «колби» на виробниче обладнання, як до проектування складного хімічного виробництва, можна зробити наступні висновки:

– Виробництво АФІ у більшості випадків являє собою хімічне виробництво і відноситься до підгрупи «Виробництво тонкого органічного синтезу», кожна окрема схема потребує окремого пропрацювання на визначення критичних параметрів процесу, поводження з реагентами/вихідними матеріалами, інтермедіатами, кінцевим продуктом та відходами;

– Виробництво субстанцій – це хімічне перетворення, тому і підходи до напрацювання АФІ від самого початку (планування виробництва, підбір обладнання, розрахунок вентиляційних систем, хімічне перетворення, поводження з відходами, тощо) повинні включати в себе не тільки Вимоги Належної Практики, а й вимоги до планування та проведення безпечного хімічного виробництва;

– Обов'язково при плануванні масштабування та трансферу технології АФІ комплексно підходити до обрання обладнання, шляхом врахування всіх його технічних параметрів та характеристик.

#### Список літературних джерел

1. Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020 Лікарські засоби. Належна виробнича практика. (The Rules Governing Medicinal Products in the European Union. Volume 4. EU Guidelines to Good Manufacturing Practice Medicinal Products for Human and Veterinary Use, MOD («Правила, що регулюють лікарські засоби в Європейському Союзі. Том 4. Європейські правила з належної виробничої практики лікарських засобів для людини та застосування у ветеринарії»)).

2. Настанова СТ-Н МОЗУ 42-3.0:2011 Лікарські засоби. Фармацевтична розробка (ICH Q8) Компендіум, режим доступу: <https://compendium.com.ua/uk/clinical-guidelines-uk/standartizatsiya-farmatsevtichnoyi-produktsiyi-tom-1/st-n-mozu-42-4-3-2011/>.

3. Онищук О. Основи проектування хімічних виробництв: курс лекцій для студентів спеціальності «Хімічна технологія та інженерія» / О. Онищук. – Луцьк : Вежа-Друк, 2020. – 38 с.
4. Трофімов І. Спеціальні процеси та апарати хімічних виробництв уклад. / І. Трофімов, В. Руденко, Ю. Босак. – Нац. авіац. ун-т : «НАУ-друк», 2021. – 72 с.
5. Трофімов І. Процеси та апарати хімічних виробництв: лабораторний практикум уклад. / І. Трофімов, О. Матвєєва, Т. Гаєвська. – Нац. авіац. ун-т : «НАУ-друк», 2021. – 68 с.
6. Технологія соди та лугів : навчальний посібник / Л. Іванченко [та ін.]. – Одеса : ОП, 2021. – 207 с.
7. Варлан К. Хімія та фізика високомолекулярних сполук. Частина 1. Синтез полімерів : навч. посібник / К. Варлан. – [Б. м.] : Ліра, 2020. – 104 с.
8. Процеси та апарати хіміко-фармацевтичних виробництв. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. Ч. 1 / О. В. Кутова [та ін.], 2023. - 121 с.

**COMPARISON OF PROPERTIES  
OF NON-POROUS VS. POROUS ROCKET PROPELLANT**  
**Kinga Janowska, Sylwia Waśkiewicz, Agnieszka Stolarczyk, Tomasz Jarosz**

<sup>1</sup> Department of Physical Chemistry and Technology of Polymers,  
Silesian University of Technology, Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Poland  
kinga.janowska@polsl.pl

### 1. Introduction

Solid rocket propellants are systems consisting of a binder, oxidizer and additives. Currently used solid rocket propellants often contain ammonium perchlorate as an oxidizer and polybutadiene terminated with hydroxyl groups as a binder. A significant disadvantage of such a system, is the release of toxic gaseous substances, following the combustion of propellants in rocket engines. For this reason, new systems with similar high parameters relevant to rocket propellants and with less environmental harm are currently being sought.

One of the recent advantages in the field of solid rocket propellant is to obtain propellants with porous structure – often called foamed solid rocket propellants. Foamed solid rocket propellants have gained attention in recent years due to their potential advantages over traditional solid rocket propellants. [1]

Obtaining porous rocket propellants lead to [2-4]:  
obtaining a statistically homogeneous surface  
increasing the combustion rate  
stabilizing the combustion process  
developing a specific surface area.

The aim of this study was to compare thermal properties of porous and non-porous propellant samples.

### 2. Materials and methods

Samples of porous and non-porous rocket propellants had the same composition (Tab.1). The only difference was the method of preparing propellants with a porous structure. The process of foaming the rocket propellants was carried out without additional porophore - for this process low-boiling solvents (mainly dichloromethane) were used, specially left after the synthesis of the polymer glycidyl azide (acting as a binder in the system). The foaming process was carried out at a higher temperature, which made it possible to suspend bubbles of boiling solvent in the viscous matrix.

Table 1. Materials used in the project.

Ingredient	% wt.	
	Non-porous rocket propellant	Porous rocket propellant
GAP	25	25
PSAN <sup>1</sup>	54	54
NQ <sup>2</sup>	2	2
Mg	16	16
MDI <sup>3</sup>	3	3

1 – phase-stabilised ammonium nitrate [5]

2 – nitroguanidine

3 – methylene diphenyl diisocyanate

GAP was synthesized according to the literature [6]. Nitroguanidine was prepared according to [7].

### 2.1 Determination of explosion/ignition temperature of prepared SRP

The ignition/explosion temperatures of the solid propellant samples were determined using an Automatic Explosion Temperature. The ignition/explosion temperature measurement was repeated five times for each sample, and the result is presented as an average. Samples of  $50 \pm 1$  mg were used to determine the ignition/explosion temperature. The measurement was carried out in the range of 100–400 °C, with a heating rate of 5 K/min.

#### Measurement of friction sensitivity of prepared SRP.

Friction sensitivity values were determined according to the relevant international standard [8].

### 2.2 Study of the thermal decomposition process

Differential scanning calorimetry (DSC) was used to study the thermal decomposition processes of the rocket propellant samples. The measurements for each of the samples were performed for approximately  $1 \pm 0.1$  mg of sample. The samples were heated between in a range of 20–450° for different heating rates of 3, 5, 7, 10, 12, and 15 K/min.

## 3. Results

### 3.1 Determination of explosion/ignition temperature

Table 2. Determined explosion/ignition temperature

Ignition/explosion temperature [°C]	Non-porous rocket propellant	Porous rocket propellant
		221

The higher ignition temperature (Tab. 1) of porous rocket propellant can relate to presence of residual chlorinated solvents – their presence makes the burning process occurs more difficult.

### 3.2 Determined friction sensitivity of prepared rocket propellants.

Table 3. Determined friction sensitivity

FS <sup>1</sup> [N]	Non-porous rocket propellant	Porous rocket propellant
		324

<sup>1</sup> – Friction sensitivity

Higher friction sensitivity of porous solid rocket propellant (Tab. 2) can be related to increased specific surface area – it can result in increased contact with material, which can increase the friction. On the other hand, the lower friction sensitivity of non-porous rocket propellants can relate to the presence of smoother surface.

### 3.3 Determined activation energy

Table 4. Determined activation energy of high-energy transformation

Ea <sup>2</sup> [kJ/mol]	Non-porous rocket propellant	Porous rocket propellant
		91.6

<sup>2</sup> – Activation energy

Activation energy was calculated with a Kissinger method. Interestingly, activation energy calculated for non-porous rocket propellants turned out to be lower compared to

porous propellants. It may be related to the presence of chlorinated solvents - make the process of burning of propellants more difficult, by increasing the activation energy.

#### 4. Conclusions

During the research, a significant effect of the surface of the prepared solid rocket propellant samples on their properties was noted. Foamed solid rocket propellants have higher ignition temperature than non-foamed rocket propellants. It showed that usage of solvents, remaining after the synthesis of glycidyl azide polymer, to obtain a porous structure increases the explosion/ignition temperature. The same relationship was observed for the activation energy measurements. It can be concluded that the remaining chlorinated solvents act as flame retardant. It turned out, that porous rocket propellants have higher friction sensitivity – due to bigger specific area, foamed rocket propellants turned out to be more sensitive to friction. It is important to compare other methods of obtaining porous rocket propellants and determine the impact of the foaming method used on sample properties.

#### References

1. Li, M. M., Hu, R., Xu, M. H., Wang, Q. L., & Yang, W. T.: *Defense Technology*, Burning characteristics of high density foamed GAP/CL-20 propellants, 2022, 18(10), 1914-1921
2. Böhnlein-Mauß, Jutta, and Hartmut Kröber. "Technology of foamed propellants." *Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials* 34.3 (2009): 239-244.
3. Böhnlein-Mauß, Jutta, Angelika Eberhardt, and Thomas S. Fischer. "Foamed propellants." *Propellants, Explosives, Pyrotechnics: An International Journal Dealing with Scientific and Technological Aspects of Energetic Materials* 27.3 (2002): 156-160.
4. Fischer, Thomas S., et al. "Burning characteristics of foamed polymer bonded propellants." *International Annual Conference-Fraunhofer Institut für Chemische Technologie*. Berghausen; Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie; 1999, 2002.
5. Hamilton, B.K. Phase-Stabilized Ammonium Nitrate. US Patent 6,872,265, 29 March 2005.
6. Vandenberg, E.J. Polyethers Containing Azidomethyl Side Chains. US Patent 3,645,917, 29 February 1972.
7. Cetner, W. *Preparatyka Materiałów Wybuchowych i Produktów Pośrednich*; Military University of Technology: Warszawa, Poland, 1986.
8. EN 13631-3:2005; *Explosives for Civil Uses—High Explosives—Part 3: Determination of Sensitiveness to Friction of Explosives*. European Union: Brussels, Belgium, 2005



**АНТИМІКРОБНА РЕЗИСТЕНТНІСТЬ:  
ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я**

**В. М. Кальваровська, А. О. Зульфїгаров, Н. Є. Власенко**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

[bluepantiesss@gmail.com](mailto:bluepantiesss@gmail.com)

В наш час, швидка поява мультирезистентних мікробних патогенів є серйозною проблемою для здоров'я людини в усьому світі та накладає великий економічний та клінічний тягар [1]. Враховуючи значні проблеми у відкритті класів антимікробних препаратів, розробка нових антимікробних методів лікування для боротьби з бактеріальними патогенами з множинною лікарською стійкістю є критично важливою [2]. Хоча механізми дії та резистентності багатьох протимікробних агентів ще недостатньо досліджені, вони, ймовірно, значно складніші, ніж традиційна модель, коли кожен препарат спрямований на конкретну мішень в організмі і діє через один чітко визначений спосіб. Ці знання є критично важливими, але їхня часткова відсутність гальмує подальшу розробку нових антимікробних засобів. Вирішення проблеми стійкості до антимікробних препаратів стало ключовим обов'язком охорони здоров'я, що вимагає швидких і синхронізованих зусиль. Тому я вважаю доцільним дослідити наразі цю тему.

Метою цього дослідження є всебічне дослідження антимікробної резистентності, окреслення її історичного контексту та оцінка її глибокого впливу на популяцію людей.

Стійкість до антимікробних препаратів виникає, коли такі мікроорганізми, як бактерії, віруси, грибки та паразити, протистоять антимікробним препаратам, що робить стандартне лікування неефективним і підвищує ризик інфікування [3]. Еволюція цього явища є природною, однак людський вплив різко прискорив і посилив його розвиток протягом останніх десятиліть. Бактерії та інші мікроби мають дивовижну здатність швидко адаптуватися, мутувати та обмінюватися адаптивними генетичними елементами за допомогою горизонтальних механізмів передачі генів, що дозволяє їм розвивати різноманітні механізми стійкості. Мікроорганізми, які розвивають цю стійкість, можуть ускладнити лікування захворювань. Резистентність продовжує хворобу, збільшує ризик поширення, продовжує перебування в лікарні, вимагає більш дорогої терапії та підвищує рівень смертності.

Історія використання антимікробних препаратів для боротьби з інфекціями багата, починаючи з часів стародавніх цивілізацій, де застосовувалися різноманітні природні екстракти через їхні цілющі властивості. Деякі з цих екстрактів, отриманих з рослин і цвілі, виявляли антибактеріальні властивості ще до того, як був введений термін «антибіотики» [4]. Введення терміну «антибіотики» стало результатом новаторської роботи американського мікробіолога Селмана Ваксмана та його команди, які успішно виділили з мікроорганізмів хімічні речовини, здатні пригнічувати ріст інших мікробів [5]. Хоча концепція використання мікроорганізмів для боротьби з інфекціями має давнє коріння, саме випадкове відкриття Олександром Флемінгом пеніциліну в 1928 році стало початком сучасної антибіотикотерапії [6]. Відкриття Флемінга пододало розрив між стародавніми знаннями, такими як використання єгиптянами запліснявілого хліба для лікування інфекції, та ерою антибіотиків [6].

Історія стійкості до антимікробних препаратів таки бере свій початок із відкриття пеніциліну в 1928 [7] і подальшого масового виробництва та використання антибіотиків у 1940-х роках. Майже одразу після цього з'явилися стійкі організми. Перші випадки стійкості до пеніциліну Золотистого стафілококу (*Staphylococcus Aureus*) були зареєстровані в 1942 році [8], разом із стійкістю до тетрацикліну в 1953 році [9]. У 1980-х роках спалахнула глобальна епідемія мультирезистентного туберкульозу [10].

Зростання кількості резистентних до антибіотиків зменшило кількість доступних ефективних антибіотиків і призвело до того, що тоді фармацевтичні компанії припинили дослідження антибіотиків.

Типові механізми резистентності (Рисунок 1) включають ферментативну модифікацію або деградацію антибіотиків, обмеження надходження антибіотиків у клітини для запобігання їх накопиченню, зміни метаболічних шляхів, модифікацію місць зв'язування, таких як рибосоми, для зниження ефективності ліків. Бактерії також можуть створювати біоплівки, поверхневі спільноти з різними рівнями харчування та обмеженим проникненням антибіотиків [11].

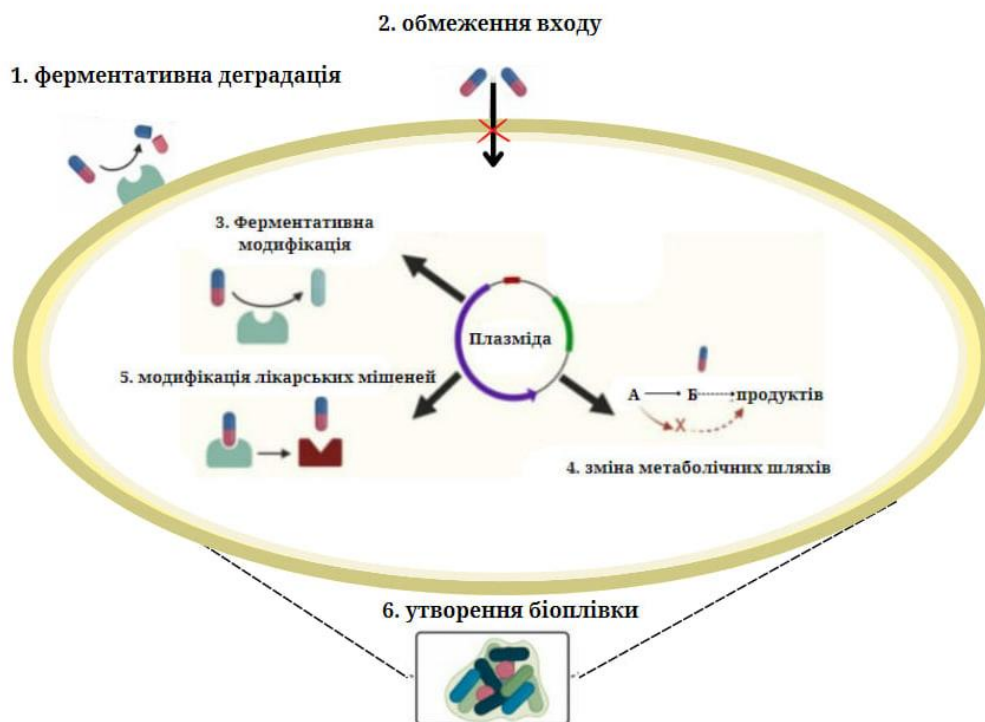


Рисунок 1. Механізми антимікробної резистентності бактерій.

Біоплівки забезпечують додатковий захист бактерій. Крім того, бактерії вміють отримувати гени резистентності з сусідніх клітин або навіть різних видів за допомогою горизонтального переносу генів, якому сприяють плазмідні та інші мобільні генетичні компоненти [12].

Ці набуті гени часто включають кілька складних механізмів резистентності всередині однієї одиниці, що забезпечує швидке поширення стійкості серед мікробних популяцій. Здатність до ефективної горизонтальної передачі генетичної інформації надає мікроорганізмам широкий спектр стратегій резистентності, які

можуть бути адаптовані за потреби, щоб забезпечити виживання всупереч поточним прогресам і використанню антимікробних методів лікування в галузі медицини.

Наприклад, кишкова паличка, стійка до широкого спектру антибіотиків, включаючи пеніцилін та цефалоспорин, завдяки отриманню генів  $\beta$ -лактамази, які їй надають бактеріям резистентність до пеніцилінів, як правило, через плазмідів. Мутації в ДНК Мікобактерій туберкульозу (*Mycobacterium tuberculosis*) зробили їх стійкими до багатьох протитуберкульозних препаратів [13]. Також, не менш важливе: вірусні інфекції, такі як ВІЛ і грип, також регулярно розвивають мутації резистентності до доступних противірусних препаратів [14]. Тривожний сплеск цих мікробних штамів MDR підкреслює здатність патогенних бактерій, вірусів, грибків і найпростіших швидко обходити хімічні агенти, спрямовані на їх знищення.

Стійкість мікроорганізмів до антимікробних препаратів є критичним викликом для світової медицини. Якщо не вживати рішучих заходів для подолання цієї проблеми, вже протягом декількох років більшість антибіотиків втратять свою ефективність, а до 2050 р., за оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), антимікробна резистентність (АМР) забиратиме щороку 10 млн людських життів у всьому світі.

Особливої актуальності ця проблема набула для України з початком повномасштабного вторгнення росії – вибухові, осколкові та вогнепальні поранення з відсутністю доступу до фахової медичної допомоги в зонах бойових дій, а також інші фактори призводять до неконтрольованого та нераціонального застосування антимікробних препаратів та, як наслідок, до поширення АМР.

На цю ситуацію також накладаються «традиційні» проблеми – самолікування антибіотиками, недотримання рекомендацій лікарів та інші. Для подолання АМР Міністерством охорони здоров'я України за участю Центру громадського здоров'я та міжнародних партнерів був розроблений та затверджений у 2019 р. Національний план дій щодо боротьби зі стійкістю до протимікробних препаратів, і наразі очікується його оновлення для організації заходів до 2030 р [15].

Підсумовуючи, дослідження антимікробної резистентності (АМР) показує, що це явище має глибокий і всебічний вплив на здоров'я населення. АМР призводить до збільшення захворюваності та смертності, ускладнює лікування інфекцій, підвищує витрати на охорону здоров'я та ставить під загрозу результати медичних процедур. Боротьба з появою цього явища представляє складні виклики, які не мають легких рішень. АМР виходить за межі географічних кордонів і має глобальний вплив на населення. Щоб пом'якшити наслідки, необхідна комплексна стратегія, яка охоплює численні сектори та залучає різні зацікавлені сторони. Насамперед, існує потреба в покращенні систем епідагляду для ефективного спостереження та відстеження появи та розповсюдження резистентних патогенів. Важливо, щоб уряди, фармацевтичні компанії та дослідницькі установи брали участь у спільних зусиллях, спрямованих на стимулювання та впорядкування процесу розробки інноваційних протимікробних засобів, на розробку стратегій контролю резистентності, просування раціонального використання антибіотиків і проведення просвітницької роботи для населення, щоб запобігти подальшому поширенню цього явища.

#### **Список літературних джерел:**

1. H.D. Marston, D.M. Dixon, J.M. Knisely. Antimicrobial resistance, (2016)  
URL:<https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2553454>

2. Хайтович М.В, Полякова Д.С, (2023). URL: <https://umj.com.ua/uk/publikatsia-239951-antimikrobna-rezistentnist-ta-organizatsijni-pitannya-administruvannya-antimikrobnih-preparativ-v-ukrayini>
3. B. Aslam, W. Wang, M.I. Arshad, M. Khurshid, S. Muzammil, M.H. Rasool, M.A. Nisar, R.F. Alvi, M.A. Aslam, M.U. Qamar, M.K.F. Salamat, Z. Baloch. Antibiotic resistance: a rundown of a global crisis *Infect. Drug Resist*, 11 (2018), pp. 1645-1658. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2147/IDR.S173867>
4. Gould, K. Antibiotics: From prehistory to the present day. *J. Antimicrob. Chemother*, (2016), p 572–575. URL: <https://academic.oup.com/jac/article/71/3/572/2364412>
5. Clardy, J.; Fischbach, M.A.; Currie, C.R. The natural history of antibiotics. *Curr. Biol.* (2009), 19, pp. 437–441.
6. Конвісар А.С. Олександр Флемінг. Відкриття пеніциліну, (2021), с. 13-18. URL: [https://pgf.sspu.edu.ua/images/2024/docs/biomnb/naukovi\\_zakhody/chitannya\\_2021\\_compressed\\_4f079.pdf](https://pgf.sspu.edu.ua/images/2024/docs/biomnb/naukovi_zakhody/chitannya_2021_compressed_4f079.pdf)
- A. Fleming. On the antibacterial action of cultures of a penicillium, with special reference to their use in the isolation of *B. influenzae*. 1929 *Bull. World Health Organ*, 79 (2001), pp. 780-790. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2048009/?page=1>
7. C.H. Rammelkamp, T. Maxon. Resistance of *Staphylococcus aureus* to the Action of Penicillin *Proc. Soc. Exp. Biol. Med*, 51 (1942), pp. 386-389. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3181/00379727-51-13986>
8. V. Knight, A.R. Holzer. Studies on staphylococci from hospital patients. I. Predominance of strains of group III phage patterns which are resistant to multiple antibiotics *J. Clin. Invest*, 33 (1954), pp. 1190-1198. URL: <https://dm5migu4zj3pb.cloudfront.net/manuscripts/102000/102992/JCI54102992.pdf>
9. P. Steiner, M. Rao, M. Mitchell, M. Steiner. Primary Drug-Resistant Tuberculosis in Children: Correlation of Drug-Susceptibility Patterns of Matched Patient and Source Case Strains of *Mycobacterium tuberculosis* *Am. J. Dis. Child*, 139 (1985), pp. 780-782. URL: <https://jamanetwork.com/journals/jamapediatrics/article-abstract/512265>
10. C. Uruén, G. Chopo-Escuin, J. Tommassen, R.C. Mainar-Jaime, J. Arenas. Biofilms as promoters of bacterial antibiotic resistance and tolerance *Antibiotics*, 10 (1) (2021). URL: <https://www.mdpi.com/2079-6382/10/1/3>
11. A.J. Weisberg, J.H. Chang. Mobile Genetic Element Flexibility as an Underlying Principle to Bacterial Evolution *Annu. Rev. Microbiol*, 77 (2023), pp. 603-624. URL: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-micro-032521-022006>
12. R. Mishra, P. Shukla, W. Huang, N. Hu. Gene mutations in *Mycobacterium tuberculosis*: Multidrug-resistant TB as an emerging global public health crisis *Tuberculosis*, 95 (2015), pp. 1-5.
13. S. Mason, J.P. Devincenzo, S. Toovey, J.Z. Wu, R.J. Whitley. Comparison of antiviral resistance across acute and chronic viral infections *Antiviral Res*, 158 (2018), pp. 103-112. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166354218301219>
14. О.В Устінов. Уряд затвердив Національний план боротьби з антибіотикорезистентністю, (2019). URL : <https://umj.com.ua/uk/novyna-139112-uryad-zatverdiv-natsionalnij-plan-borotbi-z-antibiotikorezistentnistyu>

**VIRAL GENE THERAPIES. AAV VIRUS VECTORS IN CURING GENETIC DISEASES: OVERVIEW, HISTORY AND MODERN RESEARCH.**

**I.I. Bilek, A.O. Zulfiharov, N.E. Vlasenko**

National Technical University of Ukraine  
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
[iirabilek@gmail.com](mailto:iirabilek@gmail.com)

Gene therapy has become an increasingly popular topic due to ongoing scientific research and clinical trials, which show promise in treating a wide range of diseases. This approach aims to cure genetic conditions previously deemed incurable by introducing new genetic material into targeted cells. Gene therapy now is considered also for many non-life-threatening conditions, including those adversely affecting a patient's quality of life. [1] Viral vectors have been employed for the treatment of diseases such as metabolic, cardiovascular, muscular, hematologic, ophthalmologic, and infectious diseases and different types of cancer. [11] Gene therapy has been especially successful in the treatment of combined immunodeficiency syndromes, showing lasting and remarkable therapeutic benefits.[4][5]

The first clinical trial of gene therapy was conducted in 1990 using a retroviral vector to treat severe combined immunodeficiency (SCID). Since then, numerous advancements have been made. Notably, China became the first country to approve a gene therapy, *Gendicine*, for treating head and neck cancer in 2003.[2] Despite their success, early setbacks raised significant safety concerns of gene interventions. In 1999, a clinical trial at the University of Pennsylvania resulted in the death of Jesse Gelsinger, an 18-year-old patient, due to a massive immune response to an adenoviral vector (Ad5) used to deliver the ornithine decarboxylase gene.[3] Similarly, a 2000 trial led to cancer development in four patients following retroviral gene therapy[6]. These incidents prompted stricter regulations for all gene therapy trials and changed how we view gene therapies.

While non-viral vectors in gene therapies are considered safer, they currently lack efficiency in gene delivery. Notably, the majority of these gene therapy trials, almost 70%, are based on viral vectors [10].Viral vector expression cassettes can be engineered with elements to enhance target specificity and increase transgene expression. [7] These features have been explored and refined to develop efficient methods for delivering genes of interest into mammalian cells. Five main classes of viral vectors have been tested for clinical applications: retroviruses (RV), adenoviruses (AV), adeno-associated viruses (AAV), lentiviruses (LV), and herpes simplex viruses (HSV) (Table 1).[8] The 5 main classes of viral vectors can be categorized in 2 groups according to whether their genomes integrate into host cellular chromatin (on retroviruses and LV) or persist in the cell nucleus predominantly as extrachromosomal episomes (AAV, AV, and herpes viruses). [11]

Table 1. Comparison of different viral vector types [9]

Vector	Toxicity	Persistence of express.	Capacity (kb)	Postmitotic cells	Virion size	Difficulty of production <sup>a</sup>
rAAV	No	>1 year	≤5 <sup>b</sup>	Yes	20 nm	Medium
Ad	Some	>1 year <sup>c</sup>	≤37	Yes	80 nm	Difficult
MoMLV	No	Persistent	≤8	No	100 nm	Easy
Lentiviral	No	Persistent	≤9	Yes	100 nm	Easy
HSV-1	Some	Months	≤150 <sup>d</sup>	Yes	150 nm	Difficult

The undesired properties of some viral vectors, including their immunogenic profiles or their propensity to cause cancer have resulted in serious clinical adverse events and, until recently, limited their current use in the clinic to certain applications, for example vaccines and oncolytic strategies.[13] While LV vectors are now preferred for ex vivo gene correction, AAV has emerged as the preferred vector for in vivo gene transfer due to its favorable safety profile compared to other vectors, ability to transduce a variety of tissues, and availability of a large number of viral capsids with different tropism.[12]

This paper focuses on AAV (adeno-associated virus), the most widely used viral vector in gene therapy research. AAV was discovered over 50 years ago and has since become one of the leading gene delivery vectors in clinical development, it's a versatile vector technology that can be engineered for very specific functionality in gene therapy applications, so that is essential to understand biology and structure of AAVs.

AAVs are single-stranded DNA non-enveloped viruses whose viral genome is approximately 4.7 kilobases (kb) long and consists of two inverted terminal repeats (ITRs), in between which there are three genes, Rep (Replication), Cap (Capsid), and aap (Assembly) (Figure 1). These three genes give rise to at least nine gene products through the use of three promoters, alternative translation start sites, and differential splicing. The ITR plays a fundamental role in the life cycle of AAV by containing the replication origin, packaging signals, and the ability to confer persistence to AAV genomes after infection. AAV belongs to the parvovirus family and is dependent on co-infection with other viruses, mainly adenoviruses or herpes simplex, in order to replicate. Initially Through the use of alternative splicing and start codons, the rep gene can produce four overlapping proteins (Rep78/Rep68 and Rep50/Rep42) that play crucial roles in viral replication, integration, transcriptional regulation, and assembly. The cap gene can produce three structural proteins (VP1, 2, and 3) that come together to form a ~26 nm icosahedral particle. [14] Additionally, the assembly-activating protein (AAP) can help in capsid formation through an alternative reading frame. The only elements essential for viral packaging are the inverted terminal repeats, which have palindromic sequences forming a T-shaped hairpin structure with specific binding sites for Rep proteins. Therefore, rep and cap can work together in trans to aid in the assembly of virions and the creation of vectors carrying altered genetic material. The significant advantage of AAVs is that the resulting vector can transduce both dividing and nondividing cells, with stable transgene expression in the absence of the helper virus in postmitotic tissue.[16]

In gene therapies wild type AAV is not being used, instead a recombinant AAV (rAAV), which lacks viral DNA was engineered for therapeutic purposes. That way, in the absence of Rep proteins, ITR-flanked transgenes encoded within rAAV can form circular concatemers that persist as episomes and do not integrate in the human genome. [15] Additionally, various AAV serotypes have exhibited remarkably different expression patterns due to differences in cell entry and intracellular activities. For example, AAV9 has a preference for primary cell binding through galactose as a result of unique amino acid differences in its capsid sequence [18]. Moreover, different serotypes of AAVs can transduce genes to different organs or tissues (Table 2).

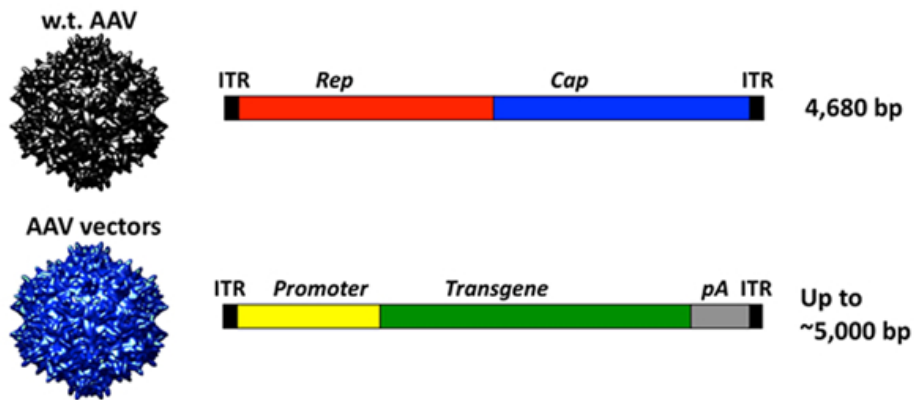


Figure 1. Schematic representation of the basic components of a genome of AAV and rAAV vectors. [18]

Table 2. Characterization of AAV natural serotypes. [19]

Serotype	Origin	Primary Receptor	Secondary Receptor	Natural Tropism
AAV1	Non-human primate	Sialic acid	AAV receptor (AAVR)	Muscle, CNS, heart, liver, lungs
AAV2	Human	Heparan sulfate proteoglycan (HSPG)	Integrin, fibroblast growth factor receptor (FGFR), hepatocyte growth factor receptor (HGFR), laminin receptor (LamR)	Heart, CNS, liver, lungs, retina
AAV3	Non-human primate	HSPG	LamR, FGFR, HGFR, AAVR	Liver
AAV4	Non-human primate	Sialic acid	Unknown	Retina, lungs, kidney
AAV5	Human	Sialic acid	Platelet-derived growth factor receptor (PDGFR), AAVR	Retina, CNS, liver
AAV6	Human	HSPG, sialic acid	EGFR, AAVR	Heart, liver, muscle, retina
AAV7	Non-human primate	Unknown	Unknown	Liver

A vast majority of AAV studies were carried out with AAV serotype 2, the most prevalent strain found in the human population.[20]

The first step in AAV infection requires binding to cell surface glycan receptors[21]. This key step mediates cell surface attachment of virions and triggers subsequent cellular internalization and trafficking leading to transduction. Cellular uptake of AAV particles into endocytic vesicles is thought to be mediated by integrins and/or different transmembrane receptors.[22] After entering into the cell, rAAV travels to the nucleus in order to deliver its genetic material. Although intracellular transport strategies of rAAV are not yet fully understood and there is room for debate about our current understanding of those processes, researchers are developing new hypotheses and extending our knowledge.

<b>AAV8</b>	<b>Non-human primate</b>	<b>Unknown</b>	<b>LamR, AAVR</b>	<b>Muscle, heart, CNS, liver</b>
<b>AAV9</b>	<b>Human</b>	<b>Galactose</b>	<b>LamR, AAVR</b>	<b>Heart, CNS, liver</b>
<b>AAV10</b>	<b>Non-human primate</b>	<b>Unknown</b>	<b>Unknown</b>	<b>Muscle, myoblast tissue</b>
<b>AAV11</b>	<b>Non-human primate</b>	<b>Unknown</b>	<b>Unknown</b>	<b>Muscle, myoblast tissue</b>
<b>AAV12</b>	<b>Non-human primate</b>	<b>Unknown</b>	<b>Unknown</b>	<b>Salivary glands, muscle</b>

AAV vectors, although having ideal characteristics for applications as gene therapy agents, have certain limitations. The main point of consideration is its small packaging size, which greatly limits the number of genes it can carry, or, with large enough coding sequences, they just won't work effectively. An additional consideration relates to the biology of the single-stranded AAV-delivered transgenes. After delivery to the nucleus, the single-stranded transgene needs to be converted into a double-stranded transgene, which is considered a limiting step in the onset of transgene expression.[23] However, there are ways to introduce self-complementary AAV, which has a double-stranded genome of complementary strands, thereby bypassing that process. The downside is that while the expression of genes will be more rapid, the packaging capacity will drastically shrink. Moreover, some researchers say that self-complementary AAV tends to be more immunogenic.

The production of rAAV is still very expensive, despite years of research. Transfection of plasmid DNA into eukaryotic cells was the first way to produce rAAV and still remains a main protocol for clinical uses. The most traditional approach is a calcium phosphate plasmid precipitation on human embryonic kidney 293 cells (HEK293)7 or HEK293-T8 with equimolar amount of the vector construct plasmid (prAAV-promoter-transgene) and the helper plasmid that provide the AAV Rep and Cap functions as well as the Ad5 genes (VA RNAs, E2A, and E4OEF6). Cells are amplified in Corning cellstacks or roller bottles. The biggest challenge with that model is a lack of scalability, though new approaches can be used to deal with that problem.

The first commercially approved gene therapy product in the Western world was Glybera (alipogene tiparvovec), which is based on an adeno associated viral (AAV) vector for the treatment of the inherited metabolic disorder lipoprotein lipase (LPL) deficiency (LPLD).[24]

The versatility and safety profile of AAV vectors have firmly established their significance in the progression of gene therapy. With advancements in manufacturing technologies, it is anticipated that costs may decrease, thereby enhancing accessibility to these pioneering treatments. Future research will undoubtedly refine AAV-based therapies, broadening their therapeutic potential while addressing existing limitations. Consequently, pharmaceutical research and development has placed a great deal of emphasis on finding



safe and efficient gene delivery systems, and will want to bring about a change in the way we think about disease-state intervention.

**References:**

1. Cotrim AP, Baum BJ. Gene Therapy: Some History, Applications, Problems, and Prospects. *Toxicologic Pathology*. 2008;36(1):97-103.
2. Pearson S, Jia H, Kandachi K. China approves first gene therapy. *Nat Biotechnol*. 2004 Jan;22(1):3-4. doi: 10.1038/nbt0104-3. PMID: 14704685; PMCID: PMC7097065.
3. Raper, S.E.; Chirmule, N.; Lee, F.S.; Wivel, S.A.; Bagg, A.; Gao, G.P.; Wilson, J.M.; Batshaw, M.L. Fatal systemic inflammatory response syndrome in a ornithine transcarbamylase deficient patient following adenoviral gene transfer. *Mol. Genet. Metab.*(2003).
4. Marina Cavazzana-Calvo et al.,Gene Therapy of Human Severe Combined Immunodeficiency (SCID)-X1 Disease.*Science*288,669-672(2000).
5. Cavazzana-Calvo M, Hacein-Bey S, Yates F, de Villartay JP, Le Deist F, Fischer A. Gene therapy of severe combined immunodeficiencies. *J Gene Med*. (2001)
6. Hacein-Bey-Abina S, Garrigue A, Wang GP, Soulier J, Lim A, Morillon E, Clappier E, Caccavelli L, Delabesse E, Beldjord K, Asnafi V, MacIntyre E, Dal Cortivo L, Radford I, Brousse N, Sigaux F, Moshous D, Hauer J, Borkhardt A, Belohradsky BH, Wintergerst U, Velez MC, Leiva L, Sorensen R, Wulffraat N, Blanche S, Bushman FD, Fischer A, Cavazzana-Calvo M. Insertional oncogenesis in 4 patients after retrovirus-mediated gene therapy of SCID-X1. *J Clin Invest*. 2008 Sep;118(9):3132-42. doi: 10.1172/JCI35700. PMID: 18688285; PMCID: PMC2496963.
7. Eliot Marshall,Viral Vectors Still Pack Surprises.*Science*294,1640-1640(2001).DOI:10.1126/science.294.5547.1640
8. Srivastava A. Gene therapy with viral vectors: the hope, the problems, and the solution. *J Hematother Stem Cell Res*. 2001 Apr;10(2):321-2. doi: 10.1089/15258160151135123. PMID: 11359681.
9. Osten P, Grinevich V, Cetin A. Viral vectors: a wide range of choices and high levels of service. *Handb Exp Pharmacol*. 2007;(178):177-202. doi: 10.1007/978-3-540-35109-2\_8. PMID: 17203656.
10. Eisenman D. The United States' regulatory environment is evolving to accommodate a coming boom in gene therapy research. *Applied Biosafety*. 2019;24(3):147–152.
11. Lundstrom K. Viral Vectors in Gene Therapy. *Diseases*. 2018 May 21;6(2):42. doi: 10.3390/diseases6020042. PMID: 29883422; PMCID: PMC6023384.
12. Shirley JL, de Jong YP, Terhorst C, Herzog RW. Immune Responses to Viral Gene Therapy Vectors. *Mol Ther*. 2020 Mar 4;28(3):709-722. doi: 10.1016/j.ymthe.2020.01.001. Epub 2020 Jan 10. PMID: 31968213; PMCID: PMC7054714.
13. Cotter MJ, Muruve DA. The induction of inflammation by adenovirus vectors used for gene therapy. *Front Biosci*.2005;10:1098–105.
14. Samulski RJ, Muzyczka N. AAV-mediated gene therapy for research and therapeutic purposes. *Annu Rev Virol*.2014;1(1):427–51. doi:10.1146/annurev-virology-031413-085355.
15. Choi VW, McCarty DM, Samulski RJ. Host cell DNA repair pathways in adeno-associated viral genome processing. *J Virol*.2006;80(21):10346–56. doi:10.1128/jvi.00841-06.

16. Earley LF, Powers JM, Adachi K, Baumgart JT, Meyer NL, Xie Q, Chapman MS, Nakai H. Adeno-associated Virus (AAV) Assembly-Activating Protein Is Not an Essential Requirement for Capsid Assembly of AAV Serotypes 4, 5, and 11. *J Virol.* 2017 Jan 18;91(3):e01980-16. doi: 10.1128/JVI.01980-16. PMID: 27852862; PMCID: PMC5244341.

17. Qiu J., Pintel D.J. Alternative polyadenylation of adeno-associated virus type 5 RNA within an internal intron is governed by the distance between the promoter and the intron and is inhibited by U1 small nuclear RNP binding to the intervening donor. *J. Biol. Chem.* 2004;279:14889–14898. doi: 10.1074/jbc.M312734200.

18. Bell CL, Gurda BL, Van Vliet K, Agbandje-McKenna M, Wilson JM. Identification of the galactose binding domain of the adeno-associated virus serotype 9 capsid. *J Virol.* 2012;86(13):7326–33. doi:10.1128/JVI.00448-12.

19. Korneyenkov, M.A.; Zamyatnin, A.A., Jr. Next Step in Gene Delivery: Modern Approaches and Further Perspectives of AAV Tropism Modification. *Pharmaceutics* 2021, 13, 750. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13050750>

20. Asokan A, Schaffer DV, Samulski RJ. The AAV vector toolkit: poised at the clinical crossroads. *Mol Ther.* 2012 Apr;20(4):699-708. doi: 10.1038/mt.2011.287. Epub 2012 Jan 24. PMID: 22273577; PMCID: PMC3321598.

21. Huang LY, Halder S, Agbandje-McKenna M. Parvovirus glycan interactions. *Curr Opin Virol.* 2014;7C:108–118. doi: 10.1016/j.coviro.2014.05.007.

22. Berry GE, Asokan A. Cellular transduction mechanisms of adeno-associated viral vectors. *Curr Opin Virol.* 2016 Dec;21:54-60. doi: 10.1016/j.coviro.2016.08.001. Epub 2016 Aug 18. PMID: 27544821; PMCID: PMC5138113.

23. McCarty DM, Monahan PE, Samulski RJ. Self-complementary recombinant adeno-associated virus (scAAV) vectors promote efficient transduction independently of DNA synthesis. *Gene Ther.* 2001;8(16):1248–54. doi:10.1038/sj.gt.3301514

24. Gaudet, Daniela; Méthot, Julia; Kastelein, Johnb. Gene therapy for lipoprotein lipase deficiency. *Current Opinion in Lipidology* 23(4):p 310-320, August 2012. | DOI: 10.1097/MOL.0b013e3283555a7e

## **ПРОБЛЕМА НАЯВНОСТІ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ У ВОДОПРОВІДНІЙ ТА ПИТНІЙ ВОДІ**

**М.В. Бондаренко, А.О. Зульфїгаров, Н.Є. Власенко**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

[bondmatvey2007@gmail.com](mailto:bondmatvey2007@gmail.com)

Фармацевтичні препарати – лікарські засоби, що зазвичай складаються з діючих речовин, які можуть бути комбіновані з допоміжними речовинами; виготовляються у вигляді дозованої форми, придатної для її передбачуваного застосування, за необхідності, після відновлення; випускаються у підходящій, відповідним чином маркованій упаковці [1].

В сучасному світі люди використовують найрізноманітніші ліки, і велика частина з них потрапляє в воду. Це не могло залишитися непомітним, тому починаючи з дев'яностих років двадцятого століття почали виходити дослідження щодо можливої небезпеки.

Звіт ВОЗ за 2012 на тему наявності фармацевтичних препаратів у воді. Аналіз показав, що суттєвий вплив на здоров'я людини від впливу слідових концентрацій фармацевтичних речовин, які можуть потенційно міститися в воді є мало ймовірним. У звіті використовувалися такі підходи, прийнятне добове споживання, мінімальна терапевтична доза, які використовували як відправні точки для оцінювання ризиків від впливу фармацевтичних препаратів у питній воді. Хоча поточні оцінки ризику вказують на те, що дуже низькі концентрації фармацевтичних препаратів у питній воді навряд чи становлять ризик для здоров'я людини, все ще існують прогалини в знаннях, пов'язані з оцінкою ризиків, які можуть виникати внаслідок тривалого впливу навіть малих доз фармацевтичних речовин. Це особливо стосується можливих комбінованих ефектів хімічних сумішей, включаючи лікарські засоби. Подальші дослідження, спрямовані на вивчення можливих адитивних або синергетичних ефектів цих сумішей, допоможуть точніше оцінити вплив таких речовин і, можливо, виявити ризики для здоров'я, враховуючи чутливі групи населення [2].

Не варто забувати і про вплив на тварин. Так наприклад за даними Геологічної служби США головне занепокоєння мають викликати водні дикі тварини. Це пов'язано з тим що водні тварини проводять в воді більшу частину свого життя, тому вплив забрудненої води на них буде більш руйнівним [3]. Схожу інформацію надають також Європейська комісія, яка зазначає вплив фармацевтичних препаратів на поведінку тварин, розмноження [4].

Стійкість до антибіотиків є проблемою яка на даний момент є однією з найбільших в галузі медицини, медики вимушені збільшувати концентрації ліків, збільшувати різноманітність антибіотиків які використовують під час лікування. Однак, непаривльно утилізовані ліки є причиною того що в бактерій поступово розвивається резистентність до антибіотиків, це в свою чергу буде призводити до того, що з часом буде збільшуватися кількість хворих яких просто не буде чим лікувати. [4] Концентрація яка потрібна для того щоб резистентність до антибіотиків набула занчення є мінімальна інгібіторна концентрація, то вона буде створювати селективний тиск, це в свою чергу може призвести до утворення резистентності. На практиці це було задокументовано в каналізаціях які, приймали води від стічні фармацевтичних заводів. [5] Вплив на інші нецільові організми. Так цілий ряд

досліджень показують, що діатомові водорості, зелені водорості, ціанобактерії, пригнічують свій ріст під дією антибіотиків. Коловратки та мікроракообразні теж страждають, так наприклад під дією таких антибіотиків як еритроміцину, окситетрацикліну, сульфаметоксазолу, флоксациноу, лінкоміцину та кларитроміцину значення L(E)C50 для всіх сполук коливаються в межах 10,23–64,50 мг/л для коловерток і ракоподібних вже при цих значеннях була показана гостра токсичність [5,6]. Уповільнення розвитку жаб через дію антидепресантів.[7]

Небезпеку ще сильніше збільшує той факт що вплив може бути розтягнутий у часі, тому в нас ще немає достатніх даних для того щоб говроити про те наскільки насправді руйнівним може бути вплив на екосистему.

Найголовнішою причиною потрапляння фармацевтичних речовин у воду є люди та тварини що проходять лікування, відходи виробництва, фільтрати звалищ та неправильна утилізація невикористаних ліків. Розглянемо причини кожного пункту. Людина фізично нездатна метаболізувати ліки які вона використовує, через це частина ліків потрапляє в каналізацію, що в свою чергу призводить до забруднення. Скотарство потребує концентрації великої кількості худоби на відносно невеликій площі, що в свою чергу є ідеальним місцем для поширення інфекції. Тому для лікування часто потребують велику кулькуість антибіотиків. Окрім лікування інфекцій, на тваринницьких фермах часто застосовують антибіотики профілактично при зміні сараю. Крім того, деякі антибіотики використовуються як стимулятори росту і тому постійно додаються до корму. Ці стимулятори росту, такі як спіраміцин, тилозин, карбадокс, вірґініаміцин або монензин, не використовуються в медицині, але підозрюють, що вони викликають перехресну резистентність до інших антибіотиків [4,5,10,11]. Однак варто зазначити що з 2006 року ЄС заборонив використання антибіотиків для стимуляції росту.[8] Тим не менш це показує що скотарство має вплив на забруднення навколишнього середовища. Звалища теж можуть бути джерелом забруднення, люди незнаючи що викинута ними упаковка ліків може нашкодити навколишньому середовищу можуть неправильно утилізувати ліки, що в свою чергу може призвести до забруднення. Неправильна утилізація частково повязна з минулим пунктом, наприклад утилізація відходів може відбуватися через раковину чи унітаз.

Таким чином ми виділили два основні способи потрапляння фармацевтичних речовин у воду, перший це міський а другий сільський.

Отже підсумуємо міський шлях забруднення середовища.

Лікарські засоби виділяються, викидаються, змиваються домогосподарствами, лікарнями, промислових об'єктів. Після чого потрапляють у стічні води а потім безпосередньо у поверхневі води або транспортуються каналізацією до очисних споруд, і тут виникає проблема згідно зі звітом воз та ЕРА непристосовані для того щоб очищувати фармацевтичні речовини, вони більше пристосовані для видалення великих забруднювачів, органічні та неорганічні частинки патогенні мікроорганізми тощо [2,3,5]. Це створює проблему у вигляді того що фармацевтичні препарати не піддаються стандартним методам очищення а саме, осадження, фільтрація, біологічне очищення. Деякі фармацевтичні речовини є хімічно стабільними або стійкими до біологічного розкладу, через що вони проходять через системи очищення практично незмінними. Наприклад, антибіотики, гормони та деякі анальгетики мають структури, які не руйнуються під час стандартного біологічного очищення, оскільки вони розроблені для того, щоб витримувати метаболічні процеси в організмі. Інші речовини можуть розкладатися, але утворюють стійкі метаболіти,

які теж не видаляються звичайними методами [9]. Однак існують способи виділення навіть настільки специфічних речовин а саме процес озонування або зворотній осмос. Озонування – це метод очищення води, що використовує озон (O<sub>3</sub>) як окислювач для видалення забруднювачів. Озон, будучи потужним окислювачем, ефективно розкладає органічні речовини, зокрема фармацевтичні сполуки, гормони, пестициди, віруси та бактерії. Цей процес вважається одним із найефективніших для дезінфекції та усунення хімічних забруднювачів, які важко видалити традиційними методами очищення.

Як працює озонування

Озон утворюється за допомогою спеціальних генераторів озону, що пропускають кисень або повітря через електричний розряд або ультрафіолетове світло. У процесі озонування озон взаємодіє із забруднювачами, викликаючи їхнє окислення та розпад на менш шкідливі речовини. Оскільки озон є нестабільним і швидко розпадається на кисень, він не залишає залишків, що є його додатковою перевагою для очищення питної води [9]

Зворотній осмос - є методом фільтрації, який дозволяє видалити з води до 99% різноманітних домішок, включаючи солі, важкі метали, хімічні забруднювачі а також мікроорганізми. Це досягається завдяки напівпроникній мембрані, яка пропускає лише молекули води, блокуючи більші молекули забруднювачів [2,3].

Однак головна проблема що озонування що зворотнього осмосу є ціна. Це основна проблема.

Наприклад під час зворотнього осмосу витрачається велика кількість води, а також видаляються корисні для людини мінерали.

Озонування має проблему з нестабільністю самого озону, через це його потрібно виготовляти безпосередньо на місці застосування, це в свою чергу призведе до того що виникає потреба у великій кількості спеціалістів, які виконували достатньо специфічну функцію, а питання звідки їх в потрібній кількості взяти залишається відкритим. [2,3].

Методи боротьби з забрудненням які можуть бути застосовані

Першим кроком буде збільшення фінансування розробок нових методів очищення, або зменшення ціни вже існуючих. Але це всього навсього боротьба з наслідком, головною причиною забруднення все ще залишається недбале ставлення людини до свого здоров'я. На це вказує структура речовин які були знайдені у воді. Переважно це є анальгетики та протизапальні препарати,антибіотики, контрацептиви, протигрибкові засоби,проти судомні та антидепресанти препарати для зниження рівня холестерину, зокрема статини, також часто зустрічаються у воді. Серед них найпоширенішими є аторвастатини, симвастатин та розувастатин. Ці препарати широко застосовуються для лікування гіперхолестеринемії, а їхні залишки потрапляють у водні системи через побутові та лікарняні стоки.

Якби люди вживали менше алкоголю, тютюнових виробів, наркотичних засобів, неякісної їжі. В такому разі булоб менша кількість хворих, а разом з цим зменшилась кількість необхідних для використання ліків. Тому що алкоголь наркотики та ожиріння, прямо впливають на всі процеси життєдіяльності в організмі.

Висновок

В роботі були розглянуті такі питання

1 Чи існує небезпека фармацевтичних препаратів у воді? Так, існує прямий негативний вплив на людину ще не доведений повноцінно, але негативний вплив на тварин та рослини фіксується. А також проблема з резистентністю мікроорганізмів.

2 Причини виникнення - міський та сільськогосподарський, в міському через надмірне використання ліків в сільськогосподарському через непарвильне утилізації відходів тварин які проходять курс лікування.

3 Способи очищення та їх проблеми - розглянуте озонування та зворотній осмос, пояснений механізм роботи та проблеми його використання

4 Методи боротьби з забрудненням - робота з суспільством та розробка нових методів очищення разом з новими типами ліків.

**Список літературних джерел.**

1. Монографія Державна фармакопея України 2.3

2. Звіт ВОЗ <https://www.who.int/publications/i/item/9789241502085>

3. Агенція з охорони довкілля США (англ. *U.S. Environmental Protection Agency; EPA, USEPA*), <https://www.epa.gov/household-medication-disposal/impact-pharmaceuticals-released-environment>

4. Звіт Європейської комісії Pharmaceuticals in the environment: Commission defines actions to address risks and challenges [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_1597](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_1597)

5. Огляд появи антиінфекційних засобів у забруднених стічних водах, природних і питних водах <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.11776>

6. Marina Isidori, Margherita Lavgna, Angela Nardelli, Luigia Pascarella, Alfredo Parrella, Toxic and genotoxic evaluation of six antibiotics on non-target organisms, *Science of The Total Environment*, Volume 346, Issues 1–3, 2005, Pages 87-98, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.017>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704007545>)7.

8. Стаття про використання антибіотиків на тваринницьких фермах – проблеми для здоров'я та довкілля

<https://epl.org.ua/human-posts/vykorystannya-antybiotykyv-na-tvarynnytskyh-fermah-problemy-dlya-zdorov-ya-ta-dovkillya/>

9. <https://www.who.int/publications/m/item/information-sheet-pharmaceuticals-in-drinking-water>

10 <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/antimicrobial-resistance>

11 <https://www.who.int/news/item/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>

## **ВИГОТОВЛЕННЯ ЕВТЕКТОГЕЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З НАНОЧАСТИНКАМИ МЕТАЛІВ ТА ОЦІНКА ЇХ СТАБІЛЬНОСТІ В УМОВАХ СЕРЕДОВИЩ З РІЗНИМ ЗНАЧЕННЯМ pH**

**К.О. Позняк, В.І. Воробйова**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
[kyrpoz@ukr.net](mailto:kyrpoz@ukr.net)

Використання гідрогелів останніми десятиріччями поступово зростає в багатьох сферах, оскільки їх унікальна структура, що утворює порожнини різних розмірів і форм, проміжний стан між твердим та рідким станом, біорозкладність та нетоксичність надають можливості до використання їх для адресної доставки ліків [1]. Окрім цього, їх також використовують в якості біосенсорів, у косметиці, для покриттів тощо [2].

Проте, гідрогелі також мають певні недоліки, зокрема: погана термічна стійкість, погана стабільність та, переважно, такі гелі не проводять електричний заряд. Тому значна частина досліджень направлені на пошук методів покращення властивостей, зокрема заміну наповнювача [3, 4, 5]. Таким чином, при заміні води на органічні рідини утворюються органогелі, термостабільність яких може бути регульована завдяки підбору органічної рідини за температурою кипіння, та забезпечити гідрофобність чи стійкість до льодоутворення [3]. Окрему цікавість викликають олеогелі, тобто гелі, в яких наповнювачем виступає масляна основа, такі гелі, через їх гідрофобність представляють інтерес для розділення водної та масляної фаз, уловлення надмірних жирів в харчових продуктах та використання для трансдермальної доставки ліків в якості носіїв, оскільки мають полегшений механізм перенесення ліків та наночастинок під шкіру [4].

Для окремих задач, такі як біосенсори чи використання в електроніці, найголовнішими параметрами є електропровідність, гнучкість та стабільність гелю. Для рішення цих задач використовують іонні рідини (IP) [5]. При додаванні іонних рідин в гелеву структуру досягаються унікальні властивості завдяки нековалентним взаємодіям, зокрема: водневим зв'язкам, Кулонівським, Ван-дер-Ваальсовим взаємодіям тощо. Вони утворюють стійку структуру за рахунок поперечного «зшивання» та деякі з них навіть мають здатність до самовідновлення за 3-4 години контакту [6].

Ключовою проблемою іонних рідин, зокрема, для використання їх в медичних цілях, є їх токсичність, багато досліджень вказують на те, що іонні рідини здатні шкодити навколишньому середовищу та накопичуватись в клітинах бактерій і негативно впливати на їх життєдіяльність [7, 8], тому зараз їм на заміну приходять низькотемпературні евтектичні розчинники (НЕР) [5]. Евтектичні розчинники – це рідкі суміші, які утворені змішуванням двох чи більше твердих компонентів, серед яких щонайменше один виступає в якості донору водневого зв'язку (ДВЗ), та один – акцептору водневого зв'язку (АВЗ). Їх рідка фаза спостерігається, коли встановлюється рівновага системи тверда речовина–рідина і утворюється евтектична система, через що значно знижується температура плавлення. Термін «низькотемпературний» якраз і підкреслює те, що температура плавлення евтектичного розчинника є значно нижчою, ніж температура плавлення окремих речовин, що є прекурсорами НЕР. НЕР аналогічні IP, бо вони мають схожі властивості та характеристики з IP, проте вони мають такі переваги, як низька

летючість, нетоксичність, негорючість, біорозкладність та простота виготовлення [9].

Окрім покращення властивостей гелю, НЕР також приймають важливу участь при зеленому синтезі наночастинок металів, зокрема, і в якості використання для розчинення поліфенолів, флавоноїдів та інших речовин, що часто використовуються для такого методу синтезу, так і в якості стабілізуючого агенту, що унеможливають розростання наночастинок понад 100 нм [10]. Тому використання НЕР дозволяє досягти комплексної дії і для покращення властивостей гелю, і в якості медіатора при синтезі наночастинок.

НЕР синтезують різними методами, зокрема: вакуумним випаровуванням, нагріванням суміші до приблизно 80 °С, або ж, нагріванням до приблизно 50 °С з невеликим додаванням води (для термічно малостабільних компонентів).

В даній роботі для синтезу НЕР були використані холін хлорид (98 %, отримано від Sigma Aldrich) та ксилітол (99 %, отримано від Sigma Aldrich) в молярному співвідношенні 1:2 та був використаний метод нагрівання, без додавання води. Для цього компоненти були поміщені в колбу (50 мл) та колба була нагріта до 85 °С на водяній бані. Нагрівали до повного розчинення компонентів. У результаті отримали в'язку та, практично, безбарвну, прозору рідину.

Для синтезу наночастинок золота та срібла були використані розчини  $\text{HAuCl}_4$  та  $\text{AgNO}_3$  відповідно. Для цього розчини-прекурсори наночастинок були поміщені в колби (100 мл) та перемішувались при 50 °С. Після чого до них поступово, по краплинам, додавався НЕР і розчини набували характерного кольору (бордовий для  $\text{HAuCl}_4$  та сіро-бурий для  $\text{AgNO}_3$ ). Перемішування продовжувалось протягом ще 30 хвилин і в результаті були отримані трохи в'язкі розчини відповідних кольорів.

Для синтезу евтектогелю з наночастинами металів в якості гелеутворювача був використаний полівініловий спирт (99%, отримано від Sigma Aldrich). Для цього, в колби помістили 100 г дистильованої води і нагріли до 90 °С на водяній бані, та поступово, повільно додавали 20 г полівінілового спирту при перемішуванні 100-200 об/хв. Після додавання полівінілового спирту, у колбу через шприц, по краплинам, вводилося 20% (від загальної маси розчину полівінілового спирту) системи НЕР-наночастинок. Компоненти перемішували протягом 2 годин. Отримали прозорі, дуже в'язкі рідини з вкрапленням бульбашок та з рожево-фіолетовим та сіро-бурим відтінком (при системі з наночастинами золота та срібла відповідно). Рідини відлили у форму та помістили під вакуум для видалення бульбашок повітря, що потрапили при перемішуванні. Після цього зразки охолоджували протягом години за температури -30 °С. Отримані гелі були достатньо еластичними та прозорими.

Для визначення стабільності гелів до дій середовищ з різним рН, зразки гелю були розрізані до маленькі шматки (менше 1 г), зважені та занурені в буферні розчини з різними значеннями рН, від 3,56 до 9,18. Кожні 7 днів зразки оцінювались візуальним методом та після 14 днів з початку експерименту зразки були вилучені з середовища, видалений надлишок буферних розчинів з зразків за допомогою паперових рушників та зразки були зважені. Для розрахунку набухання використовувалась формула:

$$\text{Swelling} = \frac{W_s - W_d}{W_d},$$

де  $W_s$  – маса набряклого гелю;

$W_d$  – маса сухого гелю.



Усі зразки набухали, що перебували в буферних розчинах з рН від 3,56 до 6,86 (Рис. 1, a, b, c, e, f, g) мали візуальні зміни (набухання) лише в перші 7 днів, після чого практично не змінювались, в цей же час зразки, що перебували в буферному розчині при рН = 9,18 (Рис. 1, d, h) показали кратне збільшення маси та об'єму, зміну своїх властивостей (втрата еластичності) та часткове розчинення у буферному розчині.

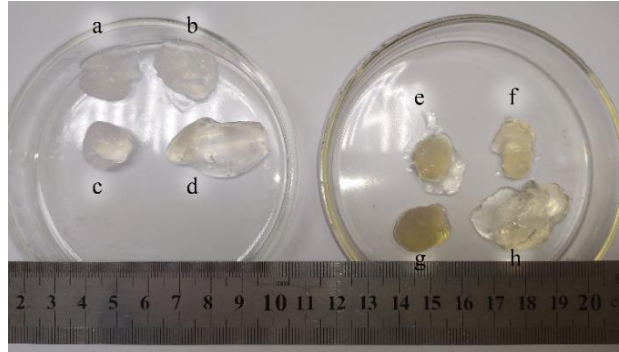


Рисунок 1 Евтектогелі після набухання протягом 14 днів, із золотими наночастинками (AuNP): a) рН = 3.56, b) рН = 4.01, c) рН = 6.86, d) рН = 9.18; зі срібними наночастинками (AgNP): e) рН = 3.56, f) рН = 4.01, g) рН = 6.86, h) рН = 9.18.

Розрахунок сприйнятливості до набухання представлений у таблиці:

Таблиця 1 Сприйнятливість зразків гелю до набухання.

Позн.	Тип наночастинок	рН	$W_d$	$W_s$	Swelling
a	AuNP	3.56	0,5947	1,6528	1,7792
b		4.01	0,7690	2,0300	1,6398
c		6.86	0,6875	1,7439	1,5366
d		9.18	0,7490	4,2178	4,6312
e	AgNP	3.56	0,7515	1,5628	1,0796
f		4.01	0,6987	1,3430	0,9221
g		6.86	0,8486	2,1437	1,5262
h		9.18	0,6901	3,6465	4,2840

Дані таблиці відображені на графіку (Рис. 2):

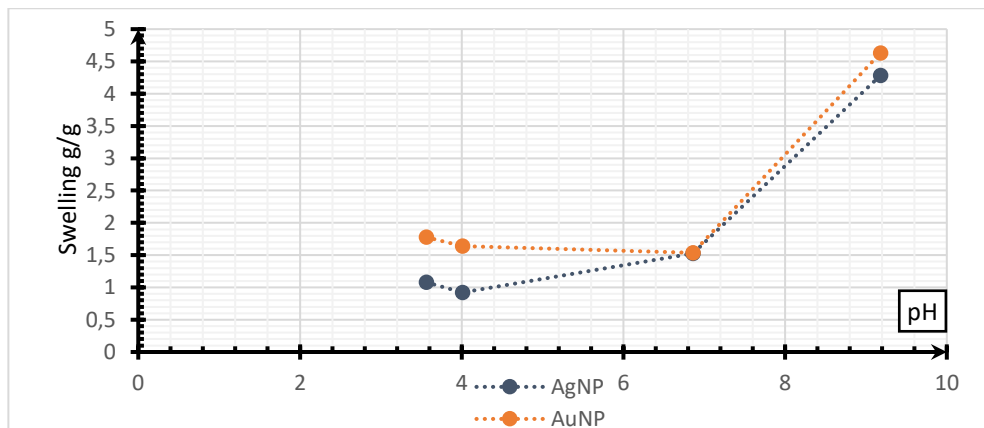


Рисунок 2 Сприйнятливість до набухання зразків гелю з наночастинками срібла та золота у розчинах з різними значеннями рН.

Згідно з даними, набування при кислому та нейтральному середовищі коливається в межах 0,92...1,78, при цьому при лужному середовищі воно є більш ніж 4-х кратним. Ці результати корелюють з дослідженням Siti та ін. [11], що також показали, що при зростанні значення рН евтектгель підвищує свою здатність до набування. Це може бути пояснено тим, що в лужному середовищі полегшується утворення водневих зв'язків між групами –ОН в ксилітолі та полівініловому спирті, в той час як при кислому середовищі ці групи набувають слабкого позитивного заряду, що заважає утворенню водневих зв'язків. Оскільки гелі показують достатню стабільність при нейтральному та слабо-кислому значенні рН вони можуть бути використанні в біомедичних цілях.

#### **Список літературних джерел**

1. M. Chelu, A. M. Musuc. *Polymer Gels: Classification and Recent Developments in Biomedical Applications*. Gels, 2023, 9, 161.
2. J. Zhu, Y. Pan, H. Peng, J. Fang, G. Du, A. Tatke, B. Lian. Chapter 17 - In situ gel based on gellan gum, Editor(s): T. Kumar Giri, B. Ghosh, H. Badwaik. *Polysaccharide Hydrogels for Drug Delivery and Regenerative Medicine*, Elsevier, 2024, 261-272.
3. B. Hashemi, M. Varidi, E. Assadpour, F. Zhang, S. M. Jafari. Natural oleogelators for the formulation of oleogels by considering their rheological and textural perspective; a review, *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024, 259, 2, 129246
4. S. Dhal, K. Dhal, S. Giri. Transdermal Delivery of Gold Nanoparticles by a Soybean Oil-Based Oleogel under Iontophoresis. *ACS Appl. Bio Mater.* 2020, 3, 10, 7029–7039.
5. M. J. Panzer. Holding it together: noncovalent cross-linking strategies for ionogels and eutectogels. *Mater. Adv.* 2022, 3, 7709-7725.
6. P. Wang, G. Li, W. Yu, C. Meng, S. Guo. Color-Customizable, Stretchable, Self-Healable and Degradable Ionic Gel for Variable Human-Motion Detection via Strain, Pressure, and Torsion. *Adv. Mat. Int.*, 2022, 9, 11, 2102426.
7. R. J. Cornmell, C. L. Winder, G. J. T. Tiddy, R. Goodacre, G. Stephens. Accumulation of ionic liquids in *Escherichia coli* cells. *Green Chem.*, 2008, 10, 836-841.
8. M. Matsumoto, K. Mochiduki, K. Kondo. Toxicity of ionic liquids and organic solvents to lactic acid-producing bacteria. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2004, 98, 5, 344-347.
9. M.A.R. Martins, S.P. Pinho, J.A.P. Coutinho, Insights into the nature of eutectic and deep eutectic mixtures, *J. Solut. Chem.* 2019, 48, 962–982.
10. V. I. Vorobyova, Plant Extract Based on Deep Eutectic Solvent-Mediated Biosynthesis of Silver Nanoparticles: Cytotoxicity and Antibacterial Effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2023, Volume 2023, Issue 1, 9672432
11. N. A. M. R. Siti, R. Yusof, R. M. Hanaphi, M. A. W. Chik. Enhanced water absorption in pectin-chitosan hydrogel via modification with deep eutectic solvent: Optimisation and characterization.

## ВПЛИВ ГІДРОКСИПРОПІЛЦЕЛЮЛОЗИ НИЗЬКОЗАМІЩЕНОЇ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТАБЛЕТОК

О.В. Панишева, О.О. Юр'єва, С.М. Гурєва

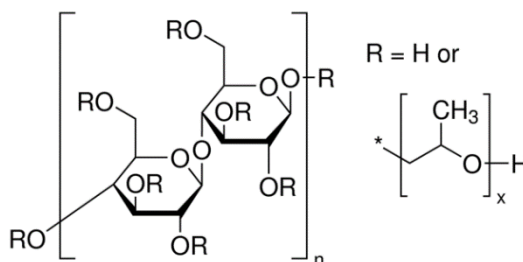
АТ «Фармак»

o.tryhubchak@farmak.ua

Гідроксипропілцелюлоза низькозаміщена – Low-substituted hydroxypropil cellulose (USPNF); син.: Hypromellose, L-НРС; Cellulose, 2-hydroxypropyl ether (low-substituted).

Емпірична формула:  $[C_6H_7O_2(OR)]_n$

Структурна формула:



Опис – білий або біло-жовтуватий порошок чи гранули, без запаху або з легким характерним запахом без смаку.

Фармакопея США 23 описує як низькозаміщений гідроксипропіловий етер целюлози в межах невеликої частини гідроксипропілових груп у глюкозній одиниці. Ступінь заміщення 0,2-0,4. Після висушування (при 105 °С) протягом 1 год вона має не менше 5 % і не більше 16 % ( $-OCH_2CH(OH)CH_3$ ) гідроксипропокси груп. Питома вага – 1,46; Тпл – 275 °С (з розкладанням), вологовміст ~8 % при 33 %, у повітрі; 1 % водна суспензія має рН 5,0-7,5.

Практично нерозчинна в спирті (95 %) і етері, розчиняється в розчині натрію гідроксиду (1:10) з утворенням в'язких розчинів. Нерозчинна, але набрякає у воді. Є стабільним, але гігроскопічним продуктом.

Існує декілька марок гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної, які мають різні розміри частинок і різні рівні заміщення (таблиця 1).

Таблиця 1 Основні властивості гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної різних марок

Марка	Вміст гідрокси-пропокси груп	Кут природного укусу (°)	Середній розмір частинок (мм)	Насипна вага до усадки (г/см <sup>3</sup> )	Насипна вага після усадки (г/см <sup>3</sup> )	Середній розмір часток (мкм)	90 % кумульований розмір часток (мкм)
LH-11	11	49	50	0,32	0,56	55	175
LH-21	11	45	40	0,36	0,62	45	135
LH-31	11	49	25	0,28	0,59	н/в	н/в
LH-22	8	48	40	0,36	0,62	45	135

Марка	Вміст гідрокси-пропокси груп	Кут природного укусу (°)	Середній розмір частинок (мм)	Насипна вага до усадки (г/см <sup>3</sup> )	Насипна вага після усадки (г/см <sup>3</sup> )	Середній розмір часток (мкм)	90 % кумульований розмір часток (мкм)
LN-32	8	53	25	0,28	0,59	н/в	н/в
LN-20	13	48	40	0,36	0,62	н/в	н/в
LN-30	13	51	25	0,28	0,59	н/в	н/в

Застосування у фармацевтичних рецептурах та технології – в основному використовується при таблетуванні як розпушувальна і зв’язувальна речовина при вологому гранулюванні. Застосовується при виготовленні таблеток, що швидко розпадаються, методом прямого таблетування, а також для пролонгування АФІ (при вивільненні із матрикса таблетки) [1].

Враховуючи час змочування, час дезінтенрації та коефіцієнт водопоглинання, загалом ефективність дезінтегруючої дії гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної поступається кросповідону, натрію крохмальгліколяту і натрію кроскармелозі [2].

LN-11 має середній рівень заміщення та найбільший розмір заміщених частинок, використовується як дезінтегрант при прямому пресуванні та вологій грануляції (має антипідлипаючий ефект).

LN-21 – помірно волокниста речовина зі звичайною швидкістю набухання. Використовується як зволожуюча речовина і дезінтегрант для таблеток при прямому пресуванні та вологому гранулюванню таблетної маси.

LN-31 має невеликого розміру частинки й використовується для гранулювання (гранули мають невеликий розмір і легше просіюються).

Менше заміщені частинки LN-22 і LN-32 використовуються у тому разі, якщо сила зв’язування таблетованих частинок не має значення. LN-22 є помірно волокниста з високою швидкістю набухання, призначена для прямого пресування і вологої грануляції, іноді покращує розпад [1].

Згідно Handbook of pharmaceutical excipients загальноприйнята концентрація гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної в формуляції складає 5 – 25 % [3].

Результати випробування фармако-технологічних показників різних марок гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної показано у таблицях 2 і 3.

Таблиця 2 Фармако-технологічні показники досліджуваних допоміжних речовин

Назва допоміжної речовини	Втрата в масі при висушуванні, %	Насипна густина, г/мл	Густина після ущільнення, г/мл	Текучість, г/с	Кут природного укусу, °
L-НПС LN-11	1,74	0,362	0,539	3,7±1,4	39,2±0,6
L-НПС LN-21	4,85	0,427	0,596	3,3±1,5	40,1±0,9
L-НПС LN-31	2,85	0,320	0,529	3,0±1,9	41,4±1,3
L-НПС LN-22	1,76	0,428	0,636	3,4±1,3	40,9±3,4

Таблиця 3 Фракційний склад різних марок гідроксипропілцелюлози  
 низькозаміщеної

Розмір сита	L-НПС LH-11	L-НПС LH-21	L-НПС LH-31	L-НПС LH-22
2,0 мм	0,00	0,00	0,00	0,01
1,0 мм	0,01	0,00	0,04	0,02
710 мкм	0,03	0,01	0,11	0,05
500 мкм	0,10	0,07	0,16	0,08
355 мкм	0,16	0,04	0,32	0,08
180 мкм	0,23	0,05	0,34	1,23
125 мкм	7,73	0,04	2,94	5,68
90 мкм	13,96	0,10	4,66	3,70
63 мкм	39,82	50,52	29,87	30,07
піддон	37,97	49,18	61,54	59,07

При розробці препарату досліджено різні марки і кількість гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної.

Для вибору марки гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної напрацьовано серії препарату з чотирма різними марками допоміжної речовини. Результати досліджень показано в таблиці 4.

Таблиця 4 Характеристика при виборі марки гідроксипропілцелюлози  
 низькозаміщеної

Марка гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної	L-ГПЦ LH-11	L-ГПЦ LH-21	L-ГПЦ LH-31	L-ГПЦ LH-22
Серія препарату	1	2	3	4
Опис таблеток-ядер	блискучі	блискучі	блискучі	блискучі
Стійкість до роздавлювання таблеток-ядер	110,21 Н	99,40 Н	106,95 Н	128,80 Н
Розпадання таблеток-ядер	7 хв 48 с	4 хв 32 с	6 хв 05 с	3 хв 07 с
Опис таблеток в/о	цілі	цілі	цілі	цілі
Стійкість до роздавлювання таблеток в/о	160,70 Н	149,15 Н	163,20 Н	175,22 Н
Розпадання таблеток в/о	17 хв 59 с	12 хв 04 с	9 хв 57 с	5 хв 55 с

Досліджувані марки гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної відрізнялися часом розпадання таблеток-ядер і таблеток в/о, стійкість до роздавлювання коливалася в межах похибки визначення. Для вивчення розчинення отриманих таблеток в/о на рисунку показано профілі розчинення досліджуваних серій в середовищі рН 6,8.

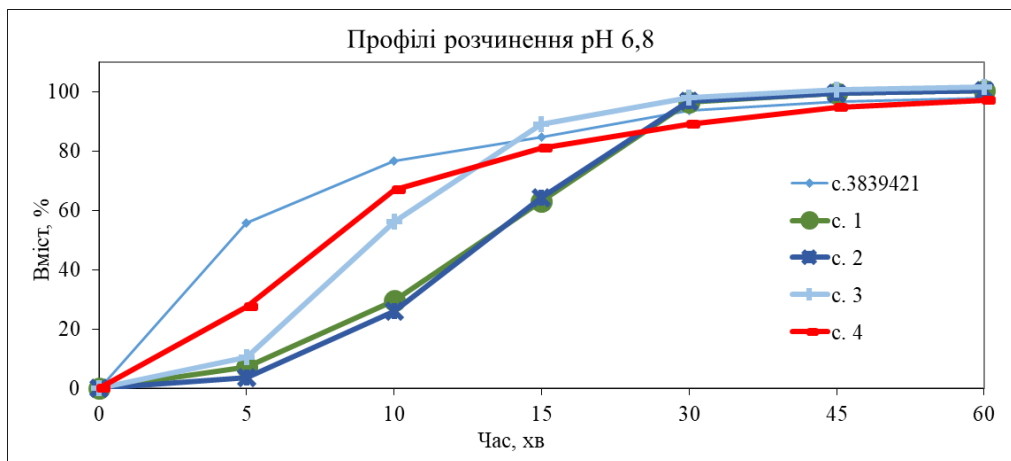


Рисунок 1 Профілі розчинення активного фармацевтичного інгредієнта в середовищі pH 6,8 при виборі марки гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної

Як видно з кривих вивільнення с. 1-3 демонструють гірше вивільнення активного фармацевтичного інгредієнту в порівнянні з референтним препаратом. Фактор подібності ( $f_2$ ) в порівнянні з референтним препаратом с. 3839421 для с. 1 складає 29,2; для с. 2 – 27,7; для с. 3 – 29,7; а для с. 4 рівний 50,9. Тому можна зробити висновок, що серія 4 з гідроксипропілцелюлозою низькозаміщеною марки LH-22 показує найбільше співпадіння з референтним препаратом.

На основі проведених досліджень встановлена доцільність введення гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної марки LH-22 до якісного оптимального складу розроблюваного препарату.

При введенні різної кількості гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної критичні показники досліджуваного препарату не змінювалися, вони варіювалися в межах похибки вимірювання (табл. 5).

Таблиця 5 Дослідження впливу кількості гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної марки LH-22

Кількість L-ГПЦ LH-22	18,00 %	19,60 %	22,00 %
Опис таблеток-ядер	поверхня з дефектами після підлипання і приклеювання	деякі таблетки з ознаками підлипання	поверхня з дефектами після підлипання і приклеювання
Стійкість до роздавлювання таблеток-ядер	115 Н	129 Н	117 Н
Розпадання таблеток-ядер	0 хв 57 с	1 хв 13 с	0 хв 37 с

З таблиці видно, що додавання 19,60 % гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної марки LH-22 супроводжується меншою кількістю сколів.

Тому оптимальною кількістю гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної марки LH-22 обрано 19,60 % по відношенню до маси таблетки-ядра.

Отже, за результатами проведених досліджень досліджено вплив різних марок і кількості гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної на показники якості таблеток.

При розробці препарату доведено доцільність введення 19,60 % гідроксипропілцелюлози низькозаміщеної марки LH-22.

**Список літературних джерел:**

1. Ishikawa, T., Mukai, B., Shiraishi, S., Utoguchi, N., Fuji, M., Matsumoto, M., & Watanabe, Y. (2001). Preparation of rapidly disintegrating tablet using new types of microcrystalline cellulose (PH-M series) and low substituted-hydroxypropylcellulose or spherical sugar granules by direct compression method. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 49(2), 134-139.

2. Белкіна, Є. О. Вибір супердезінтегранту у складі орально диспергованих таблеток фамотидину / Є. О. Белкіна, Т. Є. Колісник // Технологічні та біофармацевтичні аспекти створення лікарських препаратів різної направленості дії : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., м. Харків, 11-12 листоп. 2021 р. - Харків : Вид-во НФаУ, 2021. - С. 235-236.

3. Sheskey Paul J, Cook Walter G, Cable Colin G, editors. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. 8th edition. London: The Pharmaceutical Press and American Pharmacists Association; 2017. 1216 p.

**ВПЛИВ НОВИХ СИНТЕТИЧНИХ АЗАГЕТЕРОЦИКЛІЧНИХ СПОЛУК,  
ПОХІДНИХ ТІЕНОПІРИМІДИНУ НА ФОТОСИНТЕЗ У РОСЛИН СОРГО  
ЗЕРНОВОГО (*SORGHUM BICOLOR L.*)**

**В.А. Циганкова, В.М. Копіч, Н.М. Василенко, Я.В. Андрусевич, С.Г. Пільо  
С.В. Попільніченко, В.С. Броварець**

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім.В.П. Кухаря НАН України  
e-mail: [vtsgankova@ukr.net](mailto:vtsgankova@ukr.net)

**Резюме.** Досліджено регуляторний ефект нових синтетичних низькомолекулярних азагетероциклічних сполук, похідних тієнопіримідину на процес фотосинтезу у рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor L.*) сорту Одеське 202. Регуляторний ефект похідних тієнопіримідину, застосованих у концентрації  $10^{-7}$  М, порівнювали з ефектом гормону рослин ауксину ІОК (1*H*-індол-3-оцтова кислота) та синтетичними регуляторами росту рослин, похідними натрієвої і калієвої солей 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину (Метіур і Каметур), застосованих в аналогічній концентрації. Встановлено, що похідні тієнопіримідину підвищують біосинтез фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а та б, а також каротиноїдів) в листках рослин сорго, порівняно з аналогічними показниками контрольних рослин. Запропоновано практичне застосування регуляторів росту Метіуру та Каметуру, а також найбільш біологічно активних синтетичних сполук, похідних тієнопіримідину для підвищення процесу фотосинтезу у рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor L.*) сорту Одеське 202.

**Ключові слова:** сорго зернове, ауксин ІОК, регулятори росту Метіур та Каметур, похідні тієнопіримідину.

**Вступ.** Вельми актуальним питанням для аграрної галузі є пошук нових біологічно активних синтетичних сполук, які спроможні підвищувати біосинтез у листках рослин фотосинтетичних пігментів хлорофілів та каротиноїдів, які як відомо, відіграють ключову роль у фотосинтезі та фотозахисті рослин, а також забезпечують їх продуктивність [1, 2]. Відомо також, що рослинні пігменти каротиноїди, такі як каротин-β, каротин-α, лютеїн, зеаксантин, лікопін є важливими для організму людини біологічно активними сполуками, які знайшли практичне застосування як терапевтичні агенти для профілактики та лікування різних захворювань людини [3, 4].

На сьогодні проводиться пошук нових ефективних синтетичних сполук, серед похідних піримідину, що спроможні виявляти споріднений гормонам рослин ауксином та цитокінінам регуляторний ефект на ріст та розвиток рослин, а також підвищувати фотосинтетичні процеси у листках рослин. До цих класів сполук належать відомі регулятори росту рослин, похідні 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої та калієвої солей (Метіур та Каметур), які поліпшують ріст та розвиток зернових, зерно-бобових, овочевих та технічних культур і підвищують їх продуктивність [5 - 7].

Метою цієї роботи є вивчення впливу нових синтетичних низькомолекулярних азагетероциклічних сполук, похідних тієнопіримідину на процес фотосинтезу у рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor L.*) сорту Одеське 202, вирощених у лабораторних умовах протягом періоду вегетації.

**Матеріали та методи.** Проводили порівняльний аналіз регуляторного ефекту похідних тієнопіримідину (сполук № 1 – 13): № 1 – 5-Феніл-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=228,274, № 2 – 5-Феніл-3-(тетрагідрофуран-2-ілметил)-3*H*-



тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=312,393, № 3 – 3-Циклопентил-5-феніл-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=296,394, № 4 – 5-Феніл-3-піридин-3-ілметил-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=319,388, № 5 – 3-[2-(4-Метоксифеніл)-етил]-5-феніл-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=362,454, № 6 – 3-(2-Метоксиетил)-5-*p*-толіл-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=300,382, № 7 – 3-(3-Метоксипропіл)-5-*p*-толіл-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=314,409, № 8 – 6-Етил-2-меркапто-3-феніл-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=288,393, № 9 – (6-Етил-4-оксо-3-феніл-3,4-дигідротієно[2,3-*d*]піримідин-2-ілсульфаніл)оцтова кислота, MW=346,43, № 10 – 3-Бензил-5-метил-4-оксо-3,4-дигідротієно[2,3-*d*]піримідин-6-карбонова кислота, MW=300,339, № 11 – 5-Метил-4-оксо-3-піридин-4-ілметил-3,4-дигідротієно[2,3-*d*]піримідин-6-карбонова кислота, MW=301,326, № 12 – 5-(4-Хлорофеніл)-3-фуран-2-ілметил-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=342,806, № 13 – 3-Бензил-5-(4-хлорофеніл)-3*H*-тієно[2,3-*d*]піримідин-4-он, MW=352,845, з ефектом гормону рослин ауксину ІОК (1*H*-індол-3-оцтова кислота) та відомими регуляторами росту рослин, створеними в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України на основі похідних натрієвої і калієвої солей 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину (Метіур і Каметур), на процес фотосинтезу у рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) сорту Одеське 202, вирощених у лабораторних умовах протягом періоду вегетації.

З цією метою, рослини сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) сорту Одеське 202, вирощували у лабораторних умовах протягом 4-х тижней у пластикових кюветах з перлітом, просоченим водними розчинами синтетичних сполук, похідних тієнопіримідину у концентрації  $10^{-7}$ М, або водними розчинами синтетичних регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру, або ауксину ІОК у аналогічній концентрації  $10^{-7}$ М. Визначали вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, б та каротиноїдів) в листках рослин сорго відповідно методу [1, 2].

Екстракцію фотосинтетичних пігментів проводили з листків рослин сорго шляхом розтирання наважки листків (500 г) у фарфоровій ступці в охолодженому 96 %-ому етанолі у співвідношенні 1 : 10 (маса : об'єм) із додаванням 0,1–0,2 г СаСО<sub>3</sub> (для нейтралізації середовища). Отримані гомогенати (об'ємом 1 мл) центрифугували протягом 5 хв при 8000 г та температурі 4 °С на рефрижераторній центрифугі К24D (MLW, Engelsdorf, Німеччина). Одержані осаді тричі промивали 1 мл 96 %-го етанолу та центрифугували за вищезазначених умов. На наступному етапі проводили спектрофотометричний аналіз вмісту хлорофілу а, хлорофілу б та каротиноїдів в отриманому екстракті з використанням спектрофотометру Spesord M40 (Carl Zeiss, Німеччина).

Кількість хлорофілу а та б, а також каротиноїдів розраховували за формулами:

$$C_{\text{хлор.а}} = 13,36 \times A_{664,2} - 5,19 \times A_{648,6},$$

$$C_{\text{хлор.б}} = 27,43 \times A_{648,6} - 8,12 \times A_{664,2},$$

$$C_{\text{хлор.(а+б)}} = 5,24 \times A_{664,2} + 22,24 \times A_{648,6},$$

$$C_{\text{кар.}} = (1000 \times A_{470} - 2,13 \times C_{\text{хлор.а}} - 97,64 \times C_{\text{хлор.б}}) / 209,$$

де

$C_{\text{хлор.}}$  – концентрація хлорофілів (мкг/мл),

$C_{\text{хлор. а}}$  – концентрація хлорофілу а (мкг/мл),

$C_{\text{хлор. б}}$  – концентрація хлорофілу б (мкг/мл),

$C_{\text{кар.}}$  – концентрація каротиноїдів (мкг/мл),

$A$  – абсорбція хвилі відповідної довжини.

Розрахунок кількості хлорофілу та каротиноїдів в мг/г сирової маси проводили за наступною формулою (окремо для хлорофілу а, хлорофілу б та каротиноїдів):

$$A_1 = (C \times V) / (1000 \times a_1),$$

де

$A_1$  – кількість хлорофілу а та б, та каротиноїдів в мг/г сирової маси;

$C$  – концентрація пігментів (мкг/мл),

$V$  – об'єм витяжки (мл),

$a_1$  – наважка рослинного матеріалу (г).

Співвідношення вмісту хлорофілів а та б, а також каротиноїдів, визначених в листках дослідних рослин сорго, вирощених на водному розчині синтетичних сполук, похідних тієнопіримідину, або синтетичних регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру, або фітогормону ауксину ІОК, відносно аналогічних показників, визначених в листках контрольних рослин, вирощених на дистильованій воді, виражали у %.

Усі досліди проводили у трьох повторах. Статистичну обробку даних проводили за допомогою дисперсійного критерію Стьюдента з рівнем значущості  $p \leq 0,05$ , значення є середніми  $\pm$  стандартне відхилення ( $\pm$  SD).

**Результати досліджень.** Проведені дослідження показали, що під впливом деяких синтетичних сполук, похідних тієнопіримідину підвищувався вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, б та каротиноїдів) в листках рослин сорго. Регуляторний ефект цих сполук був аналогічним, або перевищував ефект ауксину ІОК та синтетичних регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру.

Серед синтетичних сполук, похідних тієнопіримідину найвищий регуляторний ефект за вмістом фотосинтетичних пігментів у листках рослин сорго виявили сполуки 1, 2, 4 – 10, 12 та 13, дещо нижчий регуляторний ефект виявили сполуки № 3 та 11 (рис. 1).

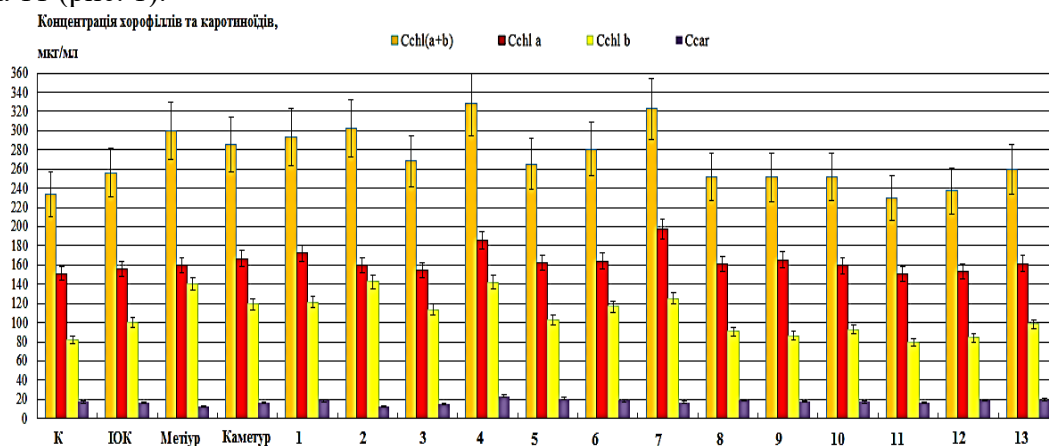


Рисунок 1. Вплив ауксину ІОК, регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру, а також синтетичних сполук, похідних тієнопіримідину (№ 1 – 13) у концентрації  $10^{-7}$  М на вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілу а, хлорофілу б, хлорофілів а+б, каротиноїдів, (мкг/мл)) в листках 4-тижневих рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) сорту Одеське 202, порівняно з контрольними рослинами, вирощеними на дистильованій воді (К).

За показниками вмісту хлорофілів а та б в листках рослин сорго найвищий регуляторний ефект виявили регулятори росту Метіур, Каметур та синтетичні сполуки, похідні тієнопіримідину № 1, 2, 4 – 7, 10 та 13, під впливом яких підвищувався вміст хлорофілу а: на 5,31 – 30,55 %, хлорофілу б: на 13 – 74,24 %,

хлорофілів а+б: на 8,02 – 40,73 %, відповідно, порівняно з аналогічними показниками контрольних рослин сорго (рис. 1).

Ауксин ІОК та синтетичні сполуки, похідні тієнопіримідину № 3, 8 та 9 виявили дещо нижчий регуляторний ефект. Під їх впливом підвищувався вміст хлорофілу а: на 2,3 – 9,27 %, хлорофілу б: на 5,6 – 38,62 %, хлорофілів а+б: на 7,98 – 15,05 %, відповідно, порівняно з аналогічними показниками контрольних рослин сорго.

Синтетичні сполуки, похідні тієнопіримідину № 11 та 12 не виявили регуляторний ефект, вміст хлорофілів а, б, а+б статистично достовірно не відрізнявся від аналогічних показників контрольних рослин сорго (рис. 1).

За показниками вмісту каротиноїдів у листках рослин сорго, найвищий регуляторний ефект виявили синтетичні сполуки, похідні тієнопіримідину № 1, 4 – 6, 8, 9, 12 та 13, під впливом яких підвищувався вміст каротиноїдів на 7,99 – 37,59 %, відповідно, порівняно з аналогічними показниками контрольних рослин сорго (рис. 1).

Ауксин ІОК, регулятори росту Метіур, Каметур та синтетичні сполуки, похідні тієнопіримідину № 2, 3, 7, 10, 11 не виявили регуляторний ефект. Вміст каротиноїдів статистично достовірно не відрізнявся від аналогічних показників контрольних рослин сорго (рис. 1).

**Висновки.** Таким чином, проведені дослідження свідчать про перспективу практичного застосування регуляторів росту Метіуру та Каметуру, а також нових синтетичних азаетероциклічних сполук, похідних тієнопіримідину № 1, 2, 4 – 10, 12 та 13 для підвищення біосинтезу фотосинтетичних пігментів у листках рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) сорту Одеське 202 протягом періоду вегетації.

#### Список літературних джерел

1. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA). John Wiley and Sons, New York, 2001. F4.3.1–F4.3.8.

2. Lodish H., Berk A., Zipursky S.L., Matsudaira P., Baltimore D., Darnell J. Molecular Cell Biology. Section 16.3, Photosynthetic Stages and Light-Absorbing Pigments. 4th Edtn. New York: W.H. Freeman and Company, 2000.

3. Tapiero H., Townsend D.M., Tew K.D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. Biomedicine & Pharmacotherapy. 2004. Vol. 58, № 2. P. 100–110. doi: 10.1016/j.biopha.2003.12.006.

4. Bhatt T., Patel K. Carotenoids: Potent to Prevent Diseases Review. Natural Products and Bioprospecting. 2020. Vol. 10. P. 109–117. <https://doi.org/10.1007/s13659-020-00244-2>.

5. Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Kopich V.M., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Studying the effect of plant growth regulators Ivin, Methyur and Kamethur on growth and productivity of sunflower. Journal of Advances in Agriculture. 2023. Vol. 14. P. 17–24. <https://doi.org/10.24297/jaa.v14i.9453>.

6. Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Pilyo S.H., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Enhancing Sorghum Productivity with Methyur, Kamethur, and Ivin Plant Growth Regulators. Biology and Life Sciences Forum. 2023. Vol. 27, №1. P. 36. <https://doi.org/10.3390/IECAG2023-15222>.

7. Tsygankova V.A., Kopich V.M., Vasylenko N.M., Golovchenko O.V., Pilyo S.G., Malienko M.V., Brovarets V.S. Increasing the productivity of wheat using synthetic plant growth regulators Methyur, Kamethur and Ivin. Znanstvena misel journal. 2024. No 94. P. 22 - 26. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13860706>

## ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ СУЧАСНИМИ ОКИСНИМИ МЕТОДАМИ

**М.О. Коряшкіна, І.В. Косогіна**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
[koriashkina.maryna@iit.kpi.ua](mailto:koriashkina.maryna@iit.kpi.ua)

Фармацевтична галузь відіграє критичну роль у забезпеченні охорони здоров'я населення та є одним із стратегічно важливих секторів економіки України. За даними Державної служби статистики, у 2021 році в Україні функціонувало понад 110 фармацевтичних підприємств, які виробляли широкий спектр лікарських засобів [1]. Однак, з початком повномасштабного військового вторгнення Росії в Україну в лютому 2022 року, фармацевтична промисловість зіткнулася з безпрецедентними викликами.

В умовах війни виробництво лікарських засобів набуло особливого значення для забезпечення національної безпеки та охорони здоров'я. Фармацевтичні підприємства були змушені адаптуватися до нових реалій: перебої з постачанням сировини, проблеми з логістикою, енергетичні обмеження та загрози безпеці персоналу. Незважаючи на ці труднощі, українська фармацевтична промисловість продемонструвала неймовірну стійкість та гнучкість, продовжуючи забезпечувати населення необхідними ліками.

Водночас, в умовах економічної нестабільності та обмежених ресурсів, особливої актуальності набуло питання ощадливості виробництва. Фармацевтичні підприємства змушені оптимізувати свої виробничі процеси, мінімізувати витрати та максимально ефективно використовувати наявні ресурси. Це стосується не лише виробництва лікарських засобів, але й супутніх, проте не менш важливих процесів, зокрема очищення стічних вод.

Процес виробництва фармацевтичної продукції є багатоступеневим і високотехнологічним. На кожному етапі, від синтезу активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ), які є основними компонентами лікарських засобів, до стерилізації кінцевого продукту, у стічні води підприємства потрапляють різноманітні забруднення.

Склад стічних вод таких підприємств відображає складність виробничих процесів. У воді можуть міститися органічні розчинники, як-от етанол, метанол і ацетон, які активно застосовуються на різних стадіях виробництва. Особливо небезпечними є залишки АФІ та їхні метаболіти, серед яких антибіотики, анальгетики та гормональні препарати [2]. Навіть у незначних кількостях ці речовини здатні негативно впливати на навколишнє середовище. Окрім цього, стічні води можуть містити неорганічні компоненти, зокрема важкі метали [3].

До складу стічних вод також входять допоміжні речовини: целюлоза, крохмаль і цукри, дезінфікуючі та миючі засоби, що використовуються для обробки обладнання, хлорвмісні сполуки, четвертинні амонієві сполуки і поверхнево-активні речовини [4]. Також у стічних водах можуть бути міститися залишки буферних розчинів, барвників, ароматизаторів, мікрочастинки активних та допоміжних речовин, а також біологічні забруднювачі – білки, ферменти та мікроорганізми [5]. Варто відзначити, що склад стічних вод значно залежить від специфіки виробничого процесу на кожному окремому підприємстві.

Дослідження, описане у роботі, зосереджено на видаленні зі стічної води барвників, що широко використовуються при виробництві таблетованих лікарських засобів, сиропів тощо.

У цьому контексті особливої актуальності набувають сучасні окисні методи очищення стічних вод. Ці методи базуються на генерації високореактивних частинок, здатних окиснювати широкий спектр органічних забруднювачів, особливо демонструють високу ефективність у розкладанні барвників та органічних лікарських додатків, які часто присутні у стічних водах фармацевтичних підприємств. Наприклад, дослідження показують, що застосування передових окисних процесів може забезпечити деградацію до 99% таких стійких забруднювачів, як антибіотики та гормональні препарати [6].

Серед найбільш перспективних окисних методів очищення стічних вод фармацевтичних підприємств виділяються озонування та реактив Фентона. Озонування базується на використанні озону ( $O_3$ ) як потужного окисника. Озон здатний реагувати з широким спектром органічних сполук, розкладаючи їх до простіших і менш токсичних форм. Перевагами озонування є висока ефективність видалення кольору та запаху зі стічних вод, відсутність утворення хлорорганічних сполук, а також додатковий дезінфікуючий ефект [6]. Однак, метод має і певні недоліки, такі як високі енергетичні витрати на генерацію озону та необхідність точного контролю процесу для запобігання утворенню токсичних побічних продуктів.

Реактив Фентона, в свою чергу, є системою, що складається з пероксиду водню ( $H_2O_2$ ) та іонів заліза ( $Fe^{2+}$ ) як каталізатора. Ця система генерує високореактивні гідроксильні радикали ( $OH\cdot$ ), які здатні окиснювати широкий спектр органічних забруднювачів. Перевагами реактиву Фентона є відносно низька вартість реагентів, простота застосування та висока ефективність при очищенні стічних вод з високим вмістом органічних забруднювачів. Проте, метод вимагає точного контролю рН середовища та може призводити до утворення значної кількості залізовмісного осаду, що потребує подальшої утилізації [7].

Обидва методи - озонування та реактив Фентона - мають потенціал для ефективного очищення стічних вод фармацевтичних підприємств, особливо в комбінації з іншими методами очищення. Їх застосування дозволяє досягти високого ступеня деградації специфічних фармацевтичних забруднювачів, які не піддаються ефективному видаленню традиційними методами.

У світлі вищезазначеного, дослідження та впровадження сучасних окисних методів очищення стічних вод фармацевтичних підприємств набуває особливої актуальності для України. Це не лише сприятиме підвищенню екологічної безпеки виробництва лікарських засобів, але й дозволить оптимізувати використання водних ресурсів, що є критично важливим в умовах економічних обмежень та екологічних викликів, з якими стикається країна [7].

Таким чином, метою даної роботи є дослідження ефективності та оптимізація застосування сучасних окисних методів, зосереджуючись на методі із застосуванням реактиву Фентона, для очищення стічних вод фармацевтичних підприємств України, з урахуванням специфіки їх складу, економічних аспектів та екологічних вимог. У рамках експерименту було досліджено співвідношення компонентів реактиву Фентона для мінімізації кількості окисника та часового ресурсу обробки стічних вод.

Дослідження проводились на модельних зразках води з вмістом барвника активного блакитного  $1 \text{ мг/дм}^3$  в статичних (рис. 1) та динамічних (рис. 2) умовах. Окисна обробка проводилась з використанням УФ-опромінювача.

Як каталізатор використовували розчин  $\text{FeSO}_4$  з концентрацією  $1 \text{ мг/дм}^3$ .

Першим етапом експерименту обрано дослідження впливу вмісту каталізатора  $\text{Fe}^{2+}$  для доочищення фармацевтичних стічних вод та вибір оптимальної кількості окисника у співвідношенні до іонів заліза задля ефективного та ресурсозберігаючого очищення стічної води у статичних умовах з використання ультрафіолетового опромінення УФ-лампи марки Ecosoft UV E-360 потужністю 24 Вт.

У ході дослідження виявлено, що оптимальним співвідношенням концентрацій пероксиду водню та іонів  $\text{Fe}^{2+}$   $[\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{Fe}^{2+}] = 1,4 \cdot 10^6$ . Тривалість окиснення – 5 хв. Менша концентрація заліза не забезпечує достатнього для скиду у каналізацію ступеня очищення води, а надлишок іонів заліза провокує появу додаткового забарвлення води, що знижує показник ступеня очищення. Ступінь очищення модельних зразків води оцінювався спектрофотометричним методом на приборі марки ULAB 101 (виробник Китай), довжина хвилі 640 нм. Вимір проводився у кюветі з товщиною шару 50 мм.

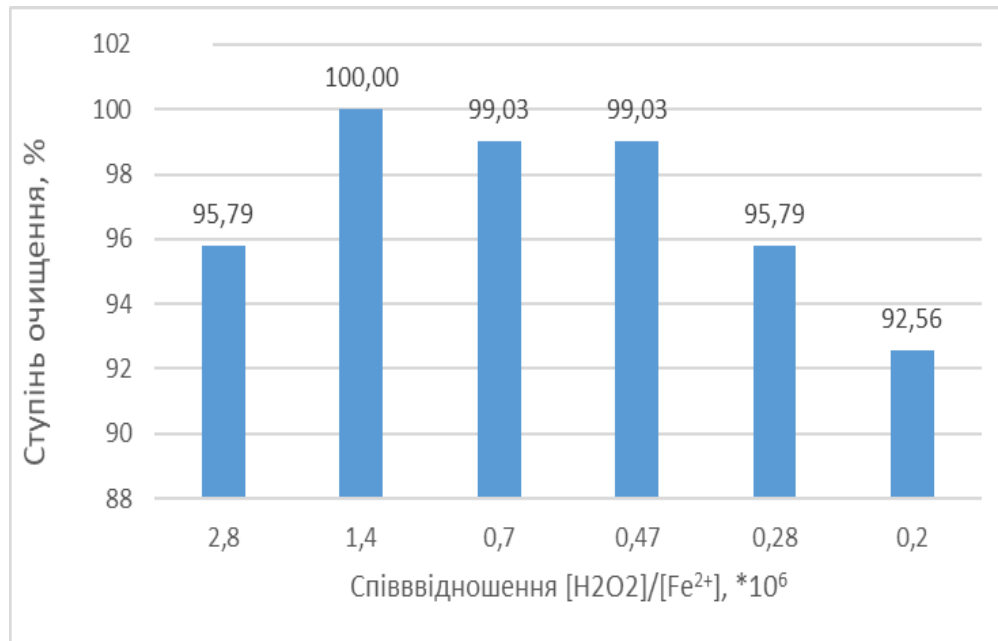


Рисунок 1 – Вплив співвідношення компонентів окисної системи на ефективність очищення модельних зразків води від барвника активного блакитного концентрацією  $1 \text{ мг/дм}^3$  в статичних умовах

Подальші дослідження присвячені вибору оптимальної тривалості окиснення у динамічних умовах, також із використанням проточної УФ-лампи марки Ecosoft UV E-360 з потужністю 24 Вт, та довжиною хвилі 360 нм.

Аналізуючи отримані дані (рис. 2) можна стверджувати, що в динамічних умовах доцільним співвідношенням реагентів також є використання співвідношення компонентів окисної системи  $\text{Fe}^{2+} [\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{Fe}^{2+}]$  на рівні  $1,4 \cdot 10^6$ . Максимальний ступінь очищення, рівний 100%, було досягнуто вже через 5 хвилин контактування. Отже, продовжувати процес далі або збільшувати концентрацію реагентів є недоцільним.

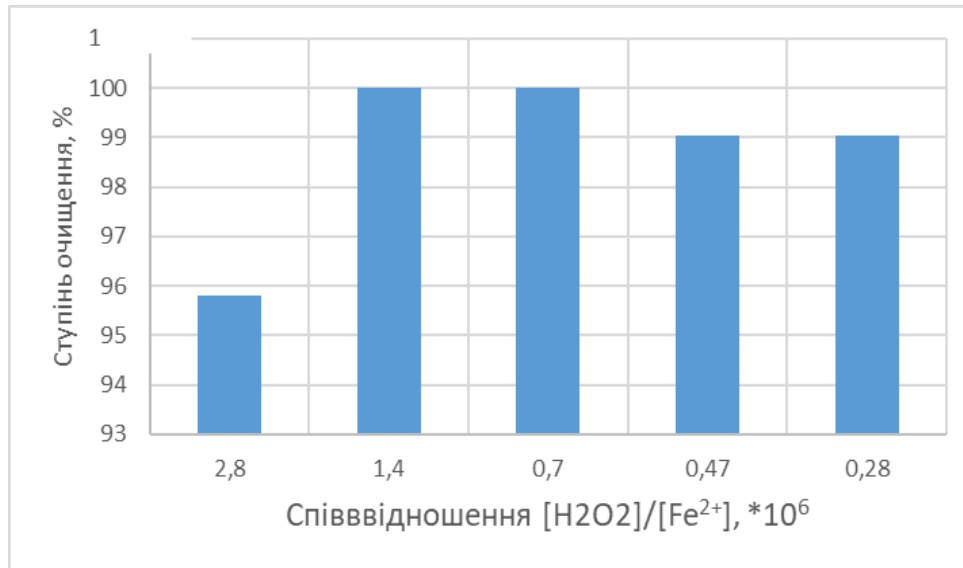


Рисунок 2 – Вплив часу окисної обробки на ефективність очищення модельних зразків води від барвника активного блакитного концентрацією 1 мг/дм<sup>3</sup>

Отже, максимальний ступінь очищення, рівний 100% реально досягти при співвідношенні  $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$  на рівні  $1,4 \cdot 10^6$ , як для статичних, так і для динамічних умов експерименту. Подальше збільшення вмісту іонів заліза в системі провокує вторинне забруднення випробуваної води.

#### Список літературних джерел

1. Державна служба статистики України. URL: : [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)
2. ТОКСИКОЛОГІЧНА ХІМІЯ // Ніженковська І.В., Вельчинська О.В., Кучер М.М. – К.: ВСВ «Медицина», 2012. – 372 с.
3. ATSDR — Case Studies in Environmental Medicine: Toluene Toxicity U.S. Department of Health and Human Services (public domain). URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/toluene/>
4. УкрХімАналіз. Отруйні речовини у воді. URL: <https://himanaliz.ua/uk/otruyni-rechovini-u-vodi/>
5. УкрХімАналіз. Ліки в питній воді. URL: <https://himanaliz.ua/uk/liki-v-pitniy-vodi/>
6. Khetan S.K., Collins T.J. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry // 2007. Chem. Rev. №107, P.2319-2364.

Технологія активного окислення (АОП). URL: <https://www.waterlight.pro/uf-i-ozonovi-tehnologiyi/tehnologiya-aktyvnogo-okyslennya-aops/>

## ЗМІСТ

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ .....	3
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 .....	10
ХАРАКТЕРИСТИКИ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ РОСІЙСЬКОГО СИГНАЛІЗАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРУ «РАДІОБАР'ЄР» Мошковський М.С., Мельник Б.О., Гаврилюк А.О. ....	11
PRZEGLĄD METOD BADAWCZYCH WYKORZYSTYWANYCH DO OZNACZANIA WRAŻLIWOŚCI MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH NA FALE UDERZENIOWĄ J. Borda <sup>1</sup> , J. Targosz <sup>1</sup> , S. Wojak <sup>1</sup> , K. Szydło <sup>1,2</sup> , S. Waśkiewicz <sup>1</sup> .....	16
ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНКИ ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ НІТРАТИВ ЦЕЛЮЛОЗИ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ С.Д. Тищенко, В.А. Роботько.....	30
BADANIE WPŁYWU TLENKÓW METALI NA WŁAŚCIWOŚCI STAŁYCH PALIW RAKIETOWYCH J. Targosz <sup>1</sup> , A. Ignaszewska <sup>1</sup> , K. Janowska <sup>2</sup> , T. Jarosz <sup>2</sup> .....	34
ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСУ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН Е.С. Остапчук, Л.Л. Морозовський, М.А. Мустафін, А.І. Заплішна .....	39
ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВОГО ПОЛЯ ВИБУХУ СИСТЕМИ СУМІЖНИХ ЗАРЯДІВ В. Кравець <sup>1</sup> , Р. Закусило <sup>1</sup> , А. Шукуров <sup>2</sup> , Д. Закусило <sup>1</sup> .....	43
ZASTOSOWANIE WYSOKOENERGETYCZNYCH ZWIĄZKÓW KOORDYNACYJNYCH JAKO ALTERNATYW DLA TETRAAZOTANU(V) PENTAERYTRYTOLU (PETN) W ZAPALNIKACH K. Pawlus, T. Jarosz, A. Stolarczyk .....	49
ОЛЕОХІМІЧНІ ПРОДУКТИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ КОМПОНЕНТИ СУМІШЕВИХ РАКЕТНИХ ТВЕРДИХ ПАЛИВ К.Є. Варлан, О.В. Черваков, К.М. Сухий, О.А. Беляновська.....	53
ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН Ю.І. Войтенко <sup>1</sup> , Р.В. Закусило <sup>2</sup> .....	58
ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ 300-ПМХС РАДІОГІДРОАКУСТИЧНОГО БУЯ «РГБ-НМ- 1» РОСІЙСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА І.В. Аверичєв, М.С. Мошковський, А.О. Гаврилюк, М.В. Бик ....	62
ОЦІНКА ЧАСУ РОЗВИТКУ ТЕПЛООВОГО ВИБУХУ ЗАРЯДУ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ В ОБОЛОНЦІ ПРИ ІНТЕНСИВНІЙ ТЕПЛОВІЙ ДІЇ Ю.І. Войтенко <sup>1</sup> , Р.В. Закусило <sup>2</sup> .....	66
СЕКЦІЯ 2 Загальна хімічна технологія, екологія проблеми утилізації та розмінування SECTION 2 General chemical technology, ecology, recycling and demining problems .....	70
АНАЛІЗ ВОДИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ М.Г., Коваль <sup>1</sup> , І.М. Куліш <sup>2</sup> , М.В. Яковенко <sup>1</sup> .....	71
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕВОДНЕННЯ: ПЕРЕВАГИ РОЛИКОВИХ ПРЕСІВ ДЛЯ ОСАДІВ ІЗ НЕОРГАНІЧНИМИ ДОМІШКАМИ А.О Василенко, М.А. Лук'яненко, В.Ф. Моїсєєв .....	75
LEACHING KINETICS OF POLYDISPERSE PARTICLES OF DIFFERENT SHAPES A.L. Kontsevov, S.A. Kontsevoi .....	80
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ МЕТАЛІВ М.В. Марченко <sup>1</sup> , В.А. Потаскалов <sup>2</sup> , Н.Є. Власенко <sup>2</sup> , І.В. Коваленко <sup>2</sup> ....	84



INTEGRATING ENVIRONMENTAL EDUCATION INTO A GENRE-BASED ENGLISH FOREIGN LANGUAGE WRITING CLASS Y.V. Pomogaibo.....	88
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ ЗА РАХУНОК ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ І.В. Перемітько <sup>1</sup> , В.А. Потаскалов <sup>1</sup> , Н.Є. Власенко <sup>1</sup> , І.В. Коваленко <sup>1</sup> , Я.М. Черненко <sup>2</sup> , Н.О. Непошивайленко <sup>3</sup> .....	94
РОЗВИТОК НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГУМИ Ю.В. Гаврилюк, К.М. Сухий, Н.М. Євдокименко .....	98
КОАГУЛЯЦІЙНО-ФЛОКУЛЯЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ШКІРЯНИХ ВИРОБНИЦТВ М.Є. Шляхова, Н.М. Толстопалова, Т.І. Обушенко, О.В. Сангінова .....	102
ENVIRONMENTALLY SAFE REMOVAL OF NUTRIENTS FROM WASTEWATER О. А. Nikitina <sup>1</sup> , А. V. Kostenko <sup>1</sup> , G. V. Krymets <sup>1</sup> , О. V. Pavlenko <sup>2</sup> ....	107
АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ СУЛЬФАТНОЇ КИСЛОТИ ДЛЯ МАЛОТОННАЖНИХ ВИРОБНИЦТВ С.М.Романько .....	111
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING NITROCELLULOSE FROM SEA GRASS Kira Malishok Oksana Pavlenko .....	115
СЕКЦІЯ 3 Енергозбереження та альтернативні палива, запобігання енергетичній кризі. SECTION 3 Energy efficiency and alternative fuels, prevention of energy crisis. ....	123
РУХ КРАПЕЛЬ У ЗОНІ КОНТАКТУ ВИХРОВОГО ПОТОКУ ПРИ РОБОТІ ПЛІВКОВИХ ВІДЦЕНТРОВИХ РОЗПИЛЮВАЧІВ РІДИНИ Т.М. Шевцова, С.О. Фалько.....	124
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ І.О. Махненко <sup>1</sup> , В.А. Потаскалов <sup>2</sup> , Н.Є. Власенко <sup>2</sup> , І.В. Коваленко <sup>2</sup> .....	130
ІЗОТОП ГЕЛІЮ-3 І СОНЯЧНА ЕНЕРГОСТАНЦІЯ МІСЯЧНОГО БАЗУВАННЯ А.Л. Баланюк, Ю.М. Мар’їнських .....	134
СЕКЦІЯ 4 Післявоєнна відбудова та управління економікою України SECTION 4 Postwar reconstruction and management of Ukrainian economy .....	139
ПІСЛЯВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ Ю.М. Мануйлович.....	140
ПЕРСПЕКТИВИ КРАХУ РОСІЙСЬКОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ЕКОНОМІКИ Т.С. Лук’яненко <sup>1</sup> , Р.В. Закусило <sup>2</sup> .....	147
СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ КРИПТОБІРЖ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ Н.В. Барбара, К.О. Баргєнева.....	155
МІСЦЕ БУХГАЛТЕРСЬКОГО ОБЛІКУ ПІДПРИЄМСТВА В ПОТРЕБАХ МАКРОЕКОНОМІЧНОГО РАХІВНИЦТВА І.В. Вареник, Н.М. Осадча.....	160
ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ЦІННОСТЕЙ ТА РОЗВИТОК Е-ДЕМОКРАТІЇ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ЧАС О.М. Тур, І.В. Новикова, І.О. Пригара, Ю. М. Мануйлович.....	165
СЕКЦІЯ 5 Інформаційні технології, моделювання та автоматизація SECTION 5 Information technology, modeling and automation .....	173
OVERVIEW OF IUPAC PROJECTS OF THE NIST THERMODYNAMICS RESEARCH CENTER TO SUPPORT THE THERMODYNAMIC AND THERMOPHYSICAL COMMUNITY А. Bazyleva.....	174
АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ BIG DATA В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ А.Л. Баланюк.....	179
TRC/NIST PUBLIC DATA DOMAIN V. Diky.....	185

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ДЕГІДРУВАННЯ ЕТИЛБЕНЗОЛУ ДО СТИРОЛУ Г.М. Худолей, Б.С. Яскевич..	189
СЕКЦІЯ 6 Хімія та фармацевтика SECTION 6 Chemistry and pharmaceuticals...	195
MOLECULARY IMPRINTED POLYMER AS POTENTIAL SENSOR FOR PICRIC ACID DETECTION? Karolina Głoz, Agnieszka Stolarczyk, Tomasz Jarosz	196
СИНТЕЗ АФІ В СТРУКТУРІ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА. ОБЛАДНАННЯ ТА УМОВИ ВИКОНАННЯ ПРОЦЕСІВ О.М. Тарасенко <sup>1,2</sup> , А.В. Мигаль <sup>1</sup> , В.В. Рудюк <sup>1</sup> , О.С. Кухтенко <sup>2</sup> .....	200
COMPARISON OF PROPERTIES OF NON-POROUS VS. POROUS ROCKET PROPELLANT Kinga Janowska, Sylwia Waśkiewicz, Agnieszka Stolarczyk, Tomasz Jarosz .....	205
АНТИМІКРОБНА РЕЗИСТЕНТНІСТЬ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я В. М. Кальваровська, А.О. Зульфiгаров, Н.Є. Власенко .....	208
VIRAL GENE THERAPIES. AAV VIRUS VECTORS IN CURING GENETIC DISEASES: OVERVIEW, HISTORY AND MODERN RESEARCH. I.I. Bilek, A.O. Zulfiharov, N.E. Vlasenko .....	212
ПРОБЛЕМА НАЯВНОСТІ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ У ВОДОПРОВІДНІЙ ТА ПИТНІЙ ВОДІ М.В. Бондаренко, А.О. Зульфiгаров, Н.Є. Власенко.....	218
ВИГОТОВЛЕННЯ ЕВТЕКТОГЕЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З НАНОЧАСТИНКАМИ МЕТАЛІВ ТА ОЦІНКА ЇХ СТАБІЛЬНОСТІ В УМОВАХ СЕРЕДОВИЩ З РІЗНИМ ЗНАЧЕННЯМ рН К.О. Позняк, В.І. Воробйова .....	222
ВПЛИВ ГІДРОКСИПРОПІЛЦЕЛЮЛОЗИ НИЗЬКОЗАМІЩЕНОЇ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТАБЛЕТОК О.В. Панишева, О.О. Юр'єва, С.М. Гурєєва	226
ВПЛИВ НОВИХ СИНТЕТИЧНИХ АЗАГЕТЕРОЦИКЛІЧНИХ СПОЛУК, ПОХІДНИХ ТІЕНОПРИМІДИНУ НА ФОТОСИНТЕЗ У РОСЛИН СОРГО ЗЕРНОВОГО (SORGHUM BICOLOR L.) В.А. Циганкова, В.М. Копіч, Н.М. Василенко, Я.В. Андрусевич, С.Г. Пільо С.В. Попільніченко, В.С. Броварець .....	231
ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ СУЧАСНИМИ ОКИСНИМИ МЕТОДАМИ М.О. Коряшкіна, І.В. Косогіна .....	235

Наукове видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**  
**VIII Міжнародної науково-практичної конференції**  
**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:**  
**НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**

(м. Шостка, 27-29 листопада 2024 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. Харківська, 116, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.