

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 5th International Research and Practical Conference

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

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

У Міжнародній науково-практичній 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 5th International Research and Practical Conference

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



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

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

(м. Шостка, 20-22 жовтня 2021 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2021

Редакційна колегія:

Головний редактор Буллер М.Ф., професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, д.т.н., професор.

Заступник головного редактора Закусило Р.В., доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н., доцент

Відповідальний секретар Павленко О.В., ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н.

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 20 - 22 жовтня 2021 року. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 306 с.

ISSN 2786-4898.

Збірник містить наукові праці учасників V 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 боеприпасів, утилізації відходів виробництв різних галузей, енергозбереження, моделювання технологічних процесів, соціально-економічні аспекти виробництва та природокористування.

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.

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ THE ORGANIZERS OF THE CONFERENCE



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

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



СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
SUMY STATE UNIVERSITY



ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
SHOSTKA INSTITUTE OF SUMY STATE UNIVERSITY



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



ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ФАРМАК»
JOINT STOCK COMPANY "FARMAK"



УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ ШОСТКИНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
DEPARTMENT OF EDUCATION OF SHOSTKA CITY COUNCIL



ВИКОНАВЧИЙ КОМІТЕТ ШОСТКИНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
EXECUTIVE COMMITTEE OF SHOSTKA CITY COUNCIL

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Чорноус Анатолій Миколайович	проректор з наукової роботи Сумського державного університету, д.ф.-м.н., професор
Чепков Ігор Борисович	начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки Збройних сил України, д.т.н., професор, заслужений дияк науки і техніки України
Прокопенко Віталій Анатолійович	директор Інституту біологічної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка, професор кафедри фізичної хімії хіміко-технологічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, д.т.н.
Шукуров Азер Меджид огли	заступник Голови Департаменту, Міністерство природних ресурсів Республіки Азербайджан, Баку, Азербайджан, Ph.D
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.
Склабинський Всеволод Іванович	завідувач кафедри хімічної інженерії факультету технічних систем і енергоефективних технологій Сумського державного університету, д.т.н., професор
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, Ph.D
Кравець Віктор Георгійович	професор кафедри геоінженерії інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., професор
Зуєвська Наталія Валеріївна	професор кафедри геоінженерії інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, д.т.н.
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
Салачинський Томаш	головний редактор Центральноєвропейського журналу енергетичних матеріалів Інституту промислової органічної хімії, Варшава, Польща, Ph.D
Коростельов Олег Петрович	генеральний конструктор-генеральний директор Державного підприємства «Державне Київське конструкторське бюро «Луч»
Шарухо Ігор Миколайович	науковий співробітник Європейського гуманітарного університету, Вільнюс, Литва, голова Могильовського відділу Білоруського географічного товариства, Ph.D, доцент

Жебровська Філя Іванівна	голова Наглядової ради публічного акціонерного товариства «ФАРМАК», к.е.н.
Воеводка Анджей Тадеуш	професор Силезького технологічного університету, д.т.н., професор
Войтенко Юрій Іванович	головний науковий співробітник відділу інноваційних технологій Українського державного геологорозвідувального інституту, д.т.н., професор
Барткевич Вадим Петрович	завідувач хімічної лабораторії Інституту безпеки харчових продуктів, здоров'я тварин та навколишнього середовища «BIOR», професор аналітичної хімії хімічного факультету Латвійського університету, Рига, Латвія; Dr.chem.
Варлан Констянтин Слисєйович	завідувач кафедри хімії та хімічної технології високомолекулярних сполук Дніпропетровського національного університету ім. Олєся Гончара, к.т.н. доцент

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Тугай Наталія Олєксандрівна	директор Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.ф.н.
Шевцова Тетяна Миколаївна	заступник директора з науково-педагогічної роботи Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Лапицький Сергій Володимирович	провідний фахівець Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки Збройних сил України, д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України
Кушнірук Василь Миколайович	керівник департаменту з виробництва АФІ ПАТ «ФАРМАК», к.фарм.н.,
Лукашов Володимир Костянтинович	професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету д.т.н., ст.н.сп., професор
Буллер Михайло Фридрихович	професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, д.т.н., професор
Акуленко Віталій Лук'янович	професор кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.е.н.
Банишевський Віктор Васильович	доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Тур Олєксандр Миколайович	завідувач кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.е.н.
Худолєй Георгій Михайлович	завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.
Сєреда Віта Іванівна	завідувач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.т.н.

Бондар Наталія Юріївна доцент кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, к.філол.н.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

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

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

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

Єресь Юрій Вікторович начальник Лабораторії контролю якості АФІ ПАТ «ФАРМАК»

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

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

Тимофій Сергій Владиславович старший 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 Іван Вікторович фахівець відділу комп'ютерного обслуговування 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, Professor of Physical Chemistry Department of the Faculty of Chemical Engineering of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Azar Shukurov	Deputy Head of the Department, Ministry of Natural Resources of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan, Ph.D.
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"
Vsevolod Sklabynskiy	Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Chemical Engineering, Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies, Sumy State University
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
Viktor Kravets	Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Geoengineering Department of the Institute of Energy Saving and Energy Menegement of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Natalia Zuevskaya	Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Geoengineering Department of the Institute of Energy Saving and Energy Menegement of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Valentyn Sviderskyi	Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Composites of the Faculty of Chemical Engineering of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Tomasz Sałaciński	PhD, Managing Editor of Central European Journal of Energetic Materials, Institute of Industrial Organic Chemistry, Warsaw, Poland
Oleh Korostelov	Chief Designer-General Director of State Enterprise "State Kyiv Design Bureau "Luch"
Ihor Sharukho	PhD, Assistant Professor, Researcher at the European Humanities University, Vilnius, Lithuania, Chairman of the Mogilev Regional Department of the NGO "Belarusian Geographical Society"
Filya Zhebrowska	PhD, Chairman of the Supervisory Board of Joint Stock Company "Farmac"
Andzhei Wojewódka	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

Vadims Bartkevics	Dr.chem., Prof. of Analytical Chemistry at the Faculty of Chemistry of the University of Latvia, Head of the Laboratory of Chemistry at the Institute of Food Safety, Animal Health and the Environment “BIOR”, Riga, Latvia
Konstantyn Varlan	Ph.D., Assoc.Prof., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Macromolecular Compounds of Oles Honchar Dnipropetrovsk National University.

SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE CONFERENCE

Nataliia Tuhai	Ph.D, Director of Shostka Institute of Sumy State University
Tetiana Shevtsova	Ph.D, 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	Ph.D, head of API Production Department of Joint Stock Company “Farmak”
Volodymyr Lukashov	Doctor of Technical Science, Professor, Senior Research, Professor of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Mykhailo Buller	Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Vitalii Akulenko	Ph.D, Professor of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University
Viktor Banyshevskyi	Ph.D, Assistant Professor of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Alexander Tour	Ph.D, Head of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University
Heorhii Khudolei	Ph.D, Head of System Engineering and Information Technology Department of Shostka Institute of Sumy State University
Vita Sereda	Ph.D, Head of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Nataliia Bondar	Ph.D, Assistant Professor Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University

ORGANIZING COMMITTEE OF THE CONFERENCE

Chairman:	
Roman Zakusylo	Ph.D, Deputy Director for Research, Associate Professor of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department, Shostka Institute Sumy State University
Members of Organizing Committee:	
Oksana Pavlenko	Deputy Chairman of the Conference Organizing Committee Ph.D, Senior Lecturer of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Yuliya Skuba	Technical Secretary of the conference Specialist of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University

Yuriy Yeres'	Chief of API Laboratory of Quality Control of Joint Stock Company "Farmak"
Inna Novikova	Ph.D, Senior Lecturer of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University
Irina Prigara	Ph.D, Senior Lecturer of Economics and Management Department of Shostka Institute of Sumy State University
Serhii Tymofiiiv	Ph.D, Senior Lecturer of Chemical Technology of Macromolecular Compounds Department of Shostka Institute of Sumy State University
Mikhail Mukhin	Leading Specialist of the Department of Systems Engineering and Information Technologies, Shostka Institute, Sumy State University
Ivan Serdyuk	Specialist of Computer Service 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

2,4,6-TRINITROTOLUENE: REVIEW OF PRODUCTION METHODS AND APPLICATIONS

Edyta Gawrysiak, Tomasz Jarosz

Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
edytgaw031@student.polsl.pl

Abstract

The article presents the current state and old aspects of TNT production, along with modifications that have appeared over the years in order to improve the detonation parameters and the physical properties of the material, as well as modern improvements in the production of TNT as a crushing explosive that can be cast. The aspects of applications in the context of historical outline and their changes over the years shall also be discussed in the following paper.

1. Introduction

2,4,6-trinitrotoluene, popularly known as TNT, is a chemical aromatic nitro compound that is used as one of the most common military blasting explosives. It melts at 80.2 °C, releasing sooty, black, toxic smoke while burning. Explosive decomposition occurs above 240 °C. The difference between these temperatures provides an adequate safety margin in the event of local overheating of the melt. TNT was invented in 1863 by the German chemist Wilbrand, but it was used as an explosive 30 years later, with its commercial production in Germany occurred in 1901. During World War I, however, it was not as widely used as picric acid (2,4,6-trinitrophenol), which was related to its low sensitivity to mechanical stimuli and a relatively large critical diameter of detonation. It is obtained by three-stage nitration of toluene with a mixture of sulfuric and nitric acids. As an explosive, it is characterized by durability, low sensitivity to stroke and friction and high temperature to initiate an explosion. Thanks to these properties, it is safe in the context of usage and storage, not to say that strong detonators must be used to cause ignition. It is non-hygroscopic.

The reactivity of TNT is the sum of the possible reactions that the functional groups can enter in the molecule. These are a methyl group, nitro groups in the 2, 4 and 6 positions as well as hydrogen atoms in positions 3 and 5. Reaction on each of the TNT functional groups (oxidation or reduction) leads to the formation of compounds with a higher reaction potential than TNT alone.

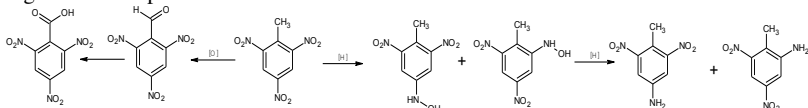


Fig. 1. Most important pathways of TNT oxidation and reduction.

Protons at positions 3 and 5 on the ring can be substituted under conditions of nucleophilic substitution (VNS), which is possible when a nucleophilic factor attaches to an electron-deficient aromatic ring contains a leaving group, located at the reaction center.

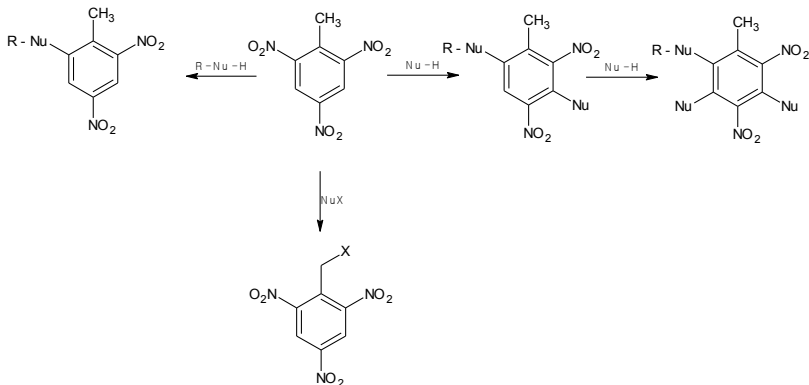


Fig.2. Most important pathways of nucleophilic substitution in TNT.

When describing the energy of very strong explosions, the parameter that can be commonly seen is the so-called TNT equivalent α_T . It is a basic characterization factor of nuclear weapons and is also used to describe the strength of other events, such as meteor strikes. It determines the mass of TNT that will release an equivalent amount of energy during an explosion as in the explosion of a given material. So it is often referred to as the power of the explosion. According to Sachs' law, a blast wave with the same characteristics is created by two charges with the same burst energies. Therefore, assuming the energy of the material of a given explosive as Q_X and Q_{TNT} , it is possible to determine what mass of this material m_X is equivalent to a given mass of TNT m_{TNT} according to the equation:

$$m_X Q_X = m_{TNT} Q_{TNT},$$

hence:

$$\alpha_T = \frac{m_{TNT}}{m_X} = \frac{Q_X}{Q_{TNT}}.$$

TNT makes it possible to compare the so-called blast ability various explosives. The higher the values of TNT equivalents of a given material, the higher the parameters of the blast wave generated after its outbreak.

Various forms of TNT are available on the market. One of them - TNT cast, has different characteristics than pressed because it does not detonate while exposed to a flame. Conventional cast explosives are based on TNT, or mixtures with hexogen (RDX) or octogen (HMX). This form can be used interchangeably with compressed TNT for filling bullets and mines. TNT produced in Polish chemical plants in Bydgoszcz and Tarnów is widely available on the defense markets. To this day, America remains the largest recipient of Polish TNT. The international brand of Polish Nitro-Chem has dominated the countries of Europe, including the countries of Africa, among others due to its extraordinary chemical purity. For example, in recent years in Bydgoszcz, the annual sales of TNT reached approximately 6,000 tons of TNT at a low unit price of approximately an estimated 20 PLN/ kg.

In the context of past applications, the significant impact of TNT on World War II cannot be overlooked. In the years 1920-1940, the production of TNT was an important branch of the armaments industry of the USSR, which contributed to the requirement of significant increase of oil production in the country, due to the fact that petroleum

products were the basic synthesis substrate. However, this did not happen, and therefore there was a sharp decline in the efficiency of the USSR's activities, resolved in 1944-1945 by supplies distributed from the United States.

2. Industrial production of TNT

2.1. Nitration of toluene

Currently used industrially, the TNT production method consists of two stages. The first is nitrating toluene to nitrotoluene with a mix of nitric and sulfuric acid. Due to the reaction, except the main product (2,4,6-TNT), unsymmetric TNT isomers (4-4.5%), tetranitromethane (0,05-0,1%), dinitrotoluene (0,05-0,5%). The qualitative criterium under which the TNT is assessed is its temperature of solidification, which is dependent on the undesirable impurities- it is required not to exceed 80.2 ° C. In the nitration of the pure TNT, the solidification temperature of 77-78 ° C is obtained, therefore it is required to introduce a second step of the process- purification from those undesirable content.

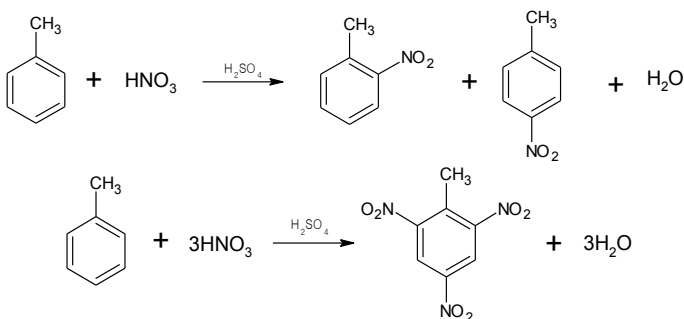


Fig.3. Reactions of the synthesis of TNT (2,5,6-trinitrotoluene) obtained by three-stage nitration with a mixture of sulphuric and nitric acids representing the main products ie TNT and the unsymmetrical o- and p-nitrotoluene isomers (without taking into account the impurities).

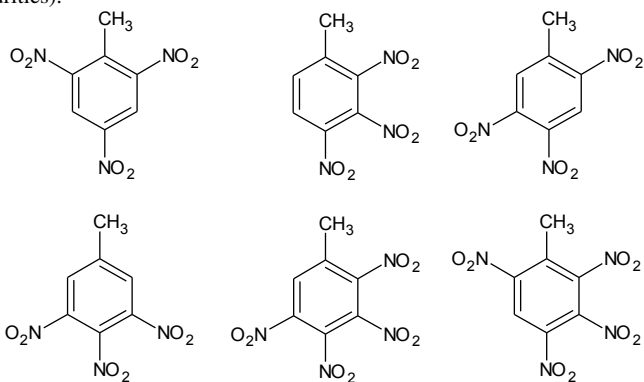


Fig.4. Possible isomers of TNT.

In order to obtain TNT with a high content of the desired isomer, the method of toluene nitration followed by purification of the product containing about 4-4.5% of unsymmetrical isomers can be used. An alternative process is the nitration of o-toluene or the nitration of a crude mixture of dinitrotoluenes, from which isomers derived from m-toluene have been removed so that the obtained product has about 1% of unsymmetrical isomers, which makes the purification much simpler and cheaper.

2.2. Purification of TNT

Purification of TNT can be done by chemical and crystallization methods. Chemical purification of crude TNT involves the usage of alkaline compounds in aqueous or alcoholic solutions. As a result of such purification, some of the nitro groups in the unsymmetrical isomers form the water-soluble salts of the corresponding sulfone derivatives. TNT also reacts with these compounds, albeit at a significantly slower rate, so that slight losses of the main product can be expected. In industrial practice, the most common purification process is cheap and simple sulphitization of raw TNT, which consists of the use of sodium sulfate. The impurities in crude TNT, so-called the "red waters", form water-soluble salts and are thus effectively removed. Other contaminants also react in this process to produce water-soluble organic products. An important pollutant is a tetranitromethane, which is formed in the last phase of trinitration because it increases the sensitivity of TNT to mechanical stimuli. The drawback of this type of treatment is the very good solubility of the aromatic salts formed in water, which makes them difficult and expensive to remove from post-production sewage. For this purpose, biological methods are used, since other methods have not found practical application.

Crystallization purification is not used in industry due to the fact that the usage of flammable and/or toxic solvents, such as ethanol, benzene, xylene, toluene, or phenol, is required, which causes considerable problems in industrial practice. There are also possible methods of purifying TNT with the use of other substances such as nitric acid, crystallization from a water emulsion by fractional crystallization, or distillation with steam or hot air blowing, but they are not used on an industrial scale.

2.3. Environmentally-friendly TNT production methods

Currently, experiments are being carried out to reduce the formation of undesirable sewage, which is more environmentally friendly. Attempts are made to nitrate o-nitrotoluene, and to purify the TNT formed by crystallization from selected solvents or by washing impurities from crude TNT, so that they accumulate on the surface of the crystals. These methods do not rely on chemical reactions that produce problematic wastewater. As a replacement, steam distillation of the raw products has been used, which proved to be effective. The solvents used for crystallization should be characterized by a high-temperature gradient, i.e. high solubility of the crystallized compound at high temperature and low solubility at low temperature. In this method, trichloroethene was considered the most appropriate, the only disadvantage of which was decomposition with the release of chloride acid causing corrosion of the equipment. The products obtained through these tests were of good quality, relatively high efficiency (approx. 87%), and easy to filter.

The washing purification method is made possible by the accumulation of impurities on the surface of the crystals, which becomes more noticeable, the slower the crystallization process is. In this method, the key is to properly prepare TNT crystals by melting them, placing water in the reactor heated to approx. 80 ° C, and then, after stabilizing the temperature, starting slow, gradually cooling to 50 ° C, filtering and drying the obtained suspension. High efficiencies of approx. 99.5% can be then

achieved. The choice of solvents is justified by the solubility of TNT and the safety of their use.

Based on the above experiments, it is possible to obtain a satisfactory quality of TNT without the sulfonation process.

3. Applications of TNT

3.1. Explosive formulations involving TNT

Initially, TNT was used on its own, but now it is commonly occurring as a component of popular explosive mixtures (including oktol, torpex, H-6, or HTA) which have reduced sensitivity to unintentional stimulation. Octole is a mixture of 70-75% octogen and 25-30% TNT, which, due to its high detonation speed, is mainly used to build warheads of cumulative missiles. The Torpedo Explosive, commonly known as the torpex, was developed during the II World War. It has about half the explosive power of pure TNT, which is included in the mixture (40%) except from the hexogen (50%) and aluminum (10%). An analogous mixture that differs only in the proportions of ingredients is HTA, which consists of 40% hexogen, 40% TNT and 20% aluminum. Another well-known mixture is Composition H-6, originally produced in the United States for use in naval weapons such as deep-sea torpedoes, sea mines, and bombs. The content of the composition differs from the country of production. The sample percentage is 30% of TNT, 45% of hexogen, 20% of aluminum, 0.5% of calcium chloride, and 5% of wax. However, TNT explosives have disadvantages as well- one of the most important ones is a significant increase in density after the mixture solidifies, which makes it possible to detach the solidifying charge from the wall of the projectile, as well as the formation of cracks or voids, the so-called caverns inside the casting. Considerable stresses, susceptibility to cracking and lack of structural homogeneity increase the sensitivity of the explosive in the context of cyclical thermal or mechanical interactions. Therefore, an accidental shock to a warhead containing such material, e.g. by a fragment or exposure to a shock wave, results in a full combat reaction or setting the material on fire.

3.2. Functional additives to TNT

With TNT-containing explosives at high temperatures, exudation of low-melting components, including TNT itself, can be observed. This is a highly disadvantageous occurrence, but it can be limited by the addition of cellulosic materials or nitrocellulose, which has a positive effect on the thermal resistance and mechanical strength of the casts, provided that the density of the composition is sufficiently low during pouring. TNT explosives are effective and cheap, but too sensitive for modern requirements.

Aluminum (Al) powder additives are also used in the case where the aim is to achieve an increase in detonation performance. The addition of aluminum significantly increases the heat of the explosion while reducing the detonation parameters, the larger the aluminum particles, the less significant is the decrease in the explosion.

The use of waxes (usually natural) is aimed at improving the flexibility of the casting and preventing cracking at low temperatures or under tensions occurring at a stroke. The preparation of such a composition consists of mixing at hot temperatures (82-84 ° C) the waxes with a plasticizer, after which the rest of the ingredients is introduced into the solution. Mixing takes place under reduced pressure and the resulting melt is poured directly into the molds. The cast is placed in incubators (70 ° C) and then gradually cooled down to room temperature (in about 10 h).

3.3. Effects of TNT on the environment

When it comes to BHP and safety, human exposure to high doses of TNT causes an increase in the tendency to develop anemia and liver dysfunction. There are also negative effects in the form of, among other, skin irritations. One should also pay attention to the significant environmental harm and the risk of explosion during production. The formation of post-production wastewater containing unsymmetrical TNT isomers characterized by a higher melting point called "red waters" is currently the subject of research into disposal methods.

4. New trends and alternatives to TNT

When it comes to fusible crushing materials in modern compositions, it is worth to notice, that the TNT has been replaced with 2,4-dinitroanisole (DNAN compositions), and hexogen or octogen substitutes are 3-nitro-1,2,4-triazole-5-one (TNTO compositions), nitroguanidine, and/or ammonium chlorate (VII). There are also compositions in which non-explosive substances, such as paraffin waxes or various types of chemo-setting or thermoplastic polymers, were used as the low-melting component (matrix). Compositions that contain energetic, thermoplastic elastomers as well as high-energy explosive compounds which have the crystal lattice with the minimal possible number of defects, are characterized by a greater degree of sophistication.

Such substitutes are characterized by different parameters. Blends incompatible with TNT such as the ones containing ammonium chlorate (VII) exhibit a decreased chemical stability of TNT. Another composition is DNAN which is a less sensitive TNT substitute. In the molten form, it shows several times greater solubility of RDX, which is responsible for reducing the viscosity of the suspensions and for obtaining more pourable compositions, even if a large contribution of non-melting components is used. It has also been shown many times that when using this material, the influence of random stimuli on the stability of the material was reduced. The disadvantages of DNAN include lower density, poorer detonation parameters compared to TNT, lower availability, and higher price.

Table 1. Fundamental properties of DNAN and TNT.

	DNAN	TNT
Molecular Formula	$C_7H_6N_2O_5$	$C_7H_5N_3O_6$
Formula weight	198,133	227,131
Composition (%)	C (42,43) H (3,05) N (14,14) O (40,38)	C (37,02) H (2,22) N (18,50) O (42,26)
Density (gcm^{-3})	1,336	1,654
Melting Point ($^{\circ}C$)	94,5	80,5
Physical Form	Needles (ethanol or H_2O), monoclinic	Orthorhombic (ethanol)
Solubility	<i>sl</i> (H_2O), <i>s</i> (ethanol, ether, acetone, benzene), <i>vs</i> (pyridine)	<i>i</i> (H_2O), <i>sl</i> (ethanol), <i>s</i> (ether), <i>vs</i> (acetone, benzene)

The methodology of producing TNT-based hot melt compositions is based on mixing the components (85-90 $^{\circ}C$) and introducing the waxes by attaching them to RDX or HMX particles or by introducing them into liquid TNT together with an emulsifier. In the next stages, the obtained suspension is poured into previously heated forms, e.g. missiles or bombs, and then gradually cooled down to obtain a homogeneous material. The inner surfaces of the molds are coated with varnishes or other substances to

consolidate the bonding of the explosive to the mold surface. It is also possible to solidify it in the form of granules, which can then be charged into explosive material by forcing or pressing.

5. Summary and conclusions

TNT has found its use, between others, in detonating fuses, and modern explosives, that are still being developed on its basis, in which it is desirable to minimize the amount of hydrogen and maximize the amount of nitrogen due to the increase in the enthalpy of formation and the increase in the volume of gaseous explosion products.

The low unit price of TNT makes it an intensively researched substrate for the production of many energetic compounds. The oldest explosive (1883) obtained from TNT is symmetrical trinitrobenzene (TNB), characterized by detonation parameters slightly higher than pure TNT, and its melting point is too high for cast explosives. Another material that can be obtained from TNT is cyano-2,4,6-trinitrobenzene, which has a better oxygen balance than pure TNT but has a significant hydrolytic susceptibility to the nitrile group, which is why it did not attract the attention of researchers. The methylation of TNT produces trinitroxylylene (TNX), i.e. 1,3-dimethyl-2,4,6-trinitrobenzene, which over time has begun to be synthesized by direct nitration of xylene to meet the needs of the petroleum industry. TNX is significantly less toxic than TNT, so it has been used extensively as a replacement for bigger explosives, despite having slightly lower detonation parameters and a higher melting point than TNT. By directly implementing amino groups into nitroaromatics such as TNT, amino-2,4,6-trinitrotoluenes were obtained, for which the stroke sensitivity is reduced. In 1964, a patent for the preparation of hexanitrobenzophenone by reaction of hexanitrodiphenylmethane (HNDM) with active oxidants was published. It has a higher melting point, but a much better oxygen balance. There are no reports in the literature about the calculated detonation parameters. A very important material that is obtained directly from TNT is E-2,2',4,4',6,6'-hexanitrostilbene (HNS), which melts upon decomposition and shows lower sensitivity to mechanical stimuli with detonation parameters similar to TNT. Due to its high melting point, HNS can also be used as a heat-resistant explosive and as an additive (0.5-1%) to reduce contraction and the risk of cavities in TNT castings. Other compounds in this category are nitro-methyl-diphenylamines obtained from the reduction of TNT. However, due to the presence of mobile hydrogen on the nitrogen bridge, these compounds are characterized by relatively high reactivity in terms of salt formation and corrosion catalysis of metals, so they have been eliminated from common military and civilian applications.

List of literature sources

1. Cudziło S., Trzciński W.A., *Topliwe kruszące materiały wybuchowe*, Biuletyn WAT Vol. LXIII nr 4, **2014**.
2. Szala M., Sałaciński T., *2,4,6-trinitrotoluen jako źródło nowoczesnych materiałów wybuchowych. Przegląd*, Materiały Wysokoenergetyczne, **2015**, 7, 125-143.
3. Balysh A.N., *Raw materials for the production of trotyl in the context of the development problems of the soviet oil industry in the 1920-1940s*, Moscow Aviation Institute (National Research University), **2019**, 8(22).
4. Steckiewicz A., Trzciński W.A., *Badanie charakterystyk fal podmuchowych generowanych przez improwizowane ładunki wybuchowe*, Biuletyn WAT Vol. LVIII nr 2, **2009**.

5. Matys Z., Powala D., Orzechowski A., *Badania nad zastąpieniem toluenu o-nitrotoluenem w przemysłowej metodzie otrzymywania trotylu*, CHEMIK, **2016**, 70(3), 158-160.
6. Ravi P., Badgujar D.M., Gore G.M., Tewari S.P., Sikder A.K., *Review on melt cast explosives, Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, **2011**, 36, 393-403.
7. Cudziło S., Trzeciński A. W., Dyjak S., Nita M. *Topliwe mieszaniny wybuchowe z trinitrotoluenem i dinitroanizolem – porównanie właściwości*, Biul. WAT Vol.LXI (4), **2012**, 281-292.
8. Urbański T., Hackel J., Mortka S., Szyc-Lewańska K., Ślebodziński T., Witek W., *O możliwości udoskonalenia produkcji trotylu*, Przemysł Chemiczny, **1959**, 38, 551-554.
9. Davies P.J., Provatas A., *Characterization of 2,4-dinitroanisole: An ingredient for use in low sensitivity melt cast formulations*, Defense Science and Technology Organization, Australia, **2006**.
10. Korzun M., *1000 słów o materiałach wybuchowych i wybuchu*, Wyd. MON., Warszawa, **1986**.
11. Baker L. E., Di Stasio A., *Insensitive Munitions Technology Development*, Problemy Mechatroniki. Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa **5**, **2014**, 4 (18), 7-20.
12. Brosseau P., *Nanometric Al in explosives*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, **2002**, 27, 300-306.
13. Min B.S., Baek G., Ko S.W., *Characterization of polyether-type GAP and PEG blend matrices prepared with varying ratios of different curatives*, J. Ind. Eng. Chm., **2007**, 13, 373-379.
14. Long G. T., Wight C. A., *Thermal Decomposition of a Melt-Castable High Explosive: Isoconversional Analysis of TNAZ*, J. Phys. Chem. B, **2002**, 106, 2791-2795.
15. Urbański J., *Chemia i technologia materiałów wybuchowych*, Skrypty 14, **1992**, Wyższa Szkoła Inżynierska, Radom.
16. Vadhe P.P., Pawar R.B., Sinha R.K., Asthana S.N., Subhananda Rao A., *Cast aluminized explosives (review)*, Combustion, Explosion, and Shock Waves, **44**, **2008**, 461-477.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ГОРЮЧЕ-СВЯЗУЮЩЕГО В СМЕСЕВОМ ТВЕРДОМ РАКЕТНОМ ТОПЛИВЕ

Е.Д. Петленко, Е.Ю. Нестерова

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара
katya.petlenko@gmail.com

Ферроцен и его производные [1] широко используются в химии, биологии и фармакологии, в различных отраслях промышленности, а также в научных исследованиях [2–16]. В сфере производства бензина и моторных масел ферроцен зарекомендовал себя как качественная антидетонационная присадка, которая способна эффективно повысить октановое число [2–5]. В фармакологии ферроцен входит в состав лекарственных препаратов, которые направлены на лечение железодефицитной анемии. Также ученые пытаются создать новые и более эффективные лекарственные препараты на его основе [6–8]. Ферроцен и его производные эффективно используются в процессе изготовления полимеров. Установлено, что при получении полимеров методами полимеризации введение ферроцена, позволяет значительно улучшить их физико-химические свойства [9–13]. Известно, что ферроцен в составе полимерных материалов является хорошим дымоподавителем, который в отличие от других ингибиторов, снижает не только горючесть полимерных материалов, но и обладает способностью к подавлению процесса образования дыма [14]. Использование ферроцена и его производных в качестве присадок к топливу [15] повышают скорость их горения. Регулирование процессов горения соединениями ферроцена основано на образовании при повышенных температурах каталитически-активных частиц ноль-валентного железа, частиц α -оксида железа и органических радикалов, которые способствуют дополнительному разветвлению цепных реакций, более эффективному перенесению кислорода к окисляемой молекуле, вследствие перехода кислорода в активное атомарное состояние. Это свойство ферроцена и его производных нашло применение при использовании этих соединений в качестве регуляторов скорости горения твердых ракетных топлив [16].

В настоящее время в качестве регуляторов скорости горения смесового твердого ракетного топлива (СТРТ) нашли широкое применение жидкие производные ферроцена. Основной проблемой использования ферроценосодержащих катализаторов, является их способность к миграции на поверхность топливного заряда. Экссудация катализатора значительно ухудшает физико-химические свойства, в том числе баллистические характеристики топлива.

Установлено, что высокая эффективность производных ферроцена достигается при их хорошем распределении в горюче-связующем. Важным фактором уменьшения летучести ферроценовых соединений является увеличение термодинамической совместимости жидких производных ферроцена с полимерным связующим, что предотвращает расслоение топливной массы и экссудацию отдельных компонентов.

Целью данного исследования является анализ миграционной способности жидких ферроценосодержащих катализаторов на основе теоретических расчетов их термодинамической совместимости с другими компонентами СТРТ, а именно каучуками, пластификаторами и горюче-связующим в целом.

Термодинамическая совместимость низкомолекулярных веществ и полимеров различного химического строения оценивалась на основании количественных значений параметра растворимости введенного Гильдебрандом δ [17].

$$\delta = \sqrt{\frac{\Delta E_0}{V}} \quad (1)$$

Квадрат параметра растворимости представляет собой плотность энергии когезии жидкости, т.е. величину энергии когезии деленную на мольный объем:

$$\delta^2 = \Delta E_0/V \quad (2)$$

Наилучшим растворителем для полимера является тот, параметр растворимости которого равен или близок параметру растворимости полимера:

$$\delta_p \approx \delta_n \quad (3)$$

Если $\delta_p - \delta_n \leq 2$ или $\delta_n - \delta_p \leq 2$, то растворения полимера в растворителе будет происходить лишь в 50 % случаев.

Расчет параметра растворимости производится по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_i \Delta E_i^*}{N_A \cdot \sum \Delta V_i}} \quad (4)$$

где: $\sum \Delta E_i$ – суммарная энергия когезии жидкости или повторяющегося звена полимера;

$\sum \Delta V_i$ – Ван-дер-Ваальсовый объем жидкости или повторяющегося звена полимера [18].

Параметр растворимости жидкости также можно рассчитать через скрытую теплоту парообразования L_e по формуле:

$$\delta_p = \sqrt{\frac{L_e - RT}{V_{cm}}} \quad (5)$$

Скрытая теплота парообразования рассчитывается по формуле:

$$L_e = 23.7 \cdot T_k + 0.02 \cdot T_k^2 - 2950 \quad (6)$$

где: T_k – температура кипения жидкости, К [18].

Для расчета параметра растворимости смеси уравнение записывается в виде:

$$\delta = \sqrt{\frac{\alpha_1(\sum_i \Delta E_i^*)_1 + \alpha_2(\sum_i \Delta E_i^*)_2 + \dots + \alpha_n(\sum_i \Delta E_i^*)_n}{N_A[\alpha_1(\sum_i \Delta V_i)_1 + \alpha_2(\sum_i V_i)_2 + \dots + \alpha_n(\sum_i V_i)_n]}} \quad (7)$$

При соблюдении условия (3) и разнице между параметрами растворимости не более 2, определяется критерий совместимости, с помощью которого с более высокой точностью, равной 85 % случаев, можно предсказать совместимость полимера и жидкости. Для критерия совместимости существует неравенство:

$$\mu \leq 2\rho\Phi(\Phi - \sqrt{\Phi^2 - 1 + \alpha}) \quad (8)$$

где: Φ – объемный параметр;

ρ – константа, которая равно 0,681;

α – параметр поверхностного натяжения;

μ – отношение квадрата растворимости полимера к квадрату растворимости растворителя:

$$\mu = \frac{\delta_n^2}{\delta_p^2};$$

Таким образом согласно критерию, растворимость будет наблюдаться в том случае, когда правая часть критерия будет больше левой части, причем обе части критерия вычисляются на основании химического строения повторяющегося звена полимера и молекулы растворителя.

Объемный параметр Φ рассчитывается по формуле:

$$\Phi = \frac{4(V_p V_n)^{1/3}}{(V_p^{1/3} + V_n^{1/3})^2} \quad (9)$$

где V_p и V_n – молярный объем растворителя и полимера соответственно.

Параметр поверхностного натяжения можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = \gamma_{pn} / \gamma_p \quad (10)$$

где: γ_{pn} – величина межфазного натяжения;

γ_p – величина поверхностного натяжения для жидкости, которая рассчитывается по формуле:

$$\gamma_p = A_j \frac{\sum_i \Delta E_i^*}{(\sum \Delta V_i)^{2/3}} \quad (11)$$

или через параметр растворимости жидкости:

$$\gamma_p = B_j (\sum \Delta V_i)^{1/3} \delta^2 \quad (12)$$

Для расчета поверхностного натяжения смеси формула приобретает вид:

$\gamma_{смеси}$

$$= (\alpha_1 C_{j1} + \alpha_2 C_{j2}) \frac{\alpha_1 \gamma_{п1} (\sum \Delta V_i)_1^{2/3} m_1^{1/3} / C_{j1} + \alpha_2 \gamma_{п2} (\sum \Delta V_i)_2^{2/3} m_2^{1/3} / C_{j2}}{(\alpha_1 (\sum \Delta V_i)_1 + \alpha_2 (\sum \Delta V_i)_2)^{2/3} \cdot (\alpha_1 \cdot m_1 + \alpha_2 \cdot m_2)^{1/3}} \quad (13)$$

Величина межфазного натяжения рассчитывается по формуле:

$$\gamma_{pn} = \gamma_p + \gamma_n - 2\Phi(\gamma_p \gamma_n)^{1/2} \quad (14)$$

где γ_n – величина поверхностного натяжения для полимера, которая рассчитывается по формуле:

$$\gamma_n = C_j \frac{\sum_i \Delta E_i^*}{(\sum \Delta V_i)^{2/3} \cdot m^{1/3}} \quad (15)$$

где m – число атомов в повторяющемся звене.

Затем все полученные значения подставляются в неравенство (8) [18].

На основании полученных данных по приведенным методам расчета можно значительно упростить задачу и сразу отбросить катализаторы, с которыми полимеры не будут термодинамически совместимыми.

Для оценивания термодинамической совместимости компонентов в горюче-связующем были использованы пять каучуков: бутадиеновый каучук, изопреновый каучук, эпоксидная смола, каучук СКН-10-КТР и, СКД-10-а. В таблице 1 представлены характеристики каучуков.

Таблица 1 – Характеристики каучуков

Вещество	$\sum_i \Delta E_i^*$, Дж/моль	$\sum_i \Delta V_i^*$, А ³	δ_n , (Дж/см ³) ^{0,5}	γ_n , дин/см ³	V_n , см ³ /моль
Бутадиеновый каучук	9054	64,3	15,29	33,5	56,869
Изопреновый каучук	10030	81,5	14,294	29	72,081
Эпоксидная смола	57626,232	277,9	18,555	49,713	245,784
Каучук СКН-10-КТР	21407,26	110,22	17,957	22,173	97,482
Каучук СКД-1-а	25511,94	147,9	16,923	19,839	130,808

Для определения термодинамической совместимости были проведены расчеты параметров двух пластификаторов: диоктилсебагината (ДОС) и дибутилсебагината (ДБС), характеристики которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики пластификаторов

Вещество	$\sum_i \Delta E_i^*$, Дж/моль	$\sum_i \Delta V_i^*$, А ³	$T_{кип}$, К	Le, Дж/моль	δ_n по $\sum_i \Delta E_i^*$, (Дж/см ³) ^{0,5}	δ_n по $T_{кип}$ ^{0,5} (Дж/см ³) ^{0,5}	γ_n по $\sum_i \Delta E_i^*$, дин/см ³	γ_n по $T_{кип}$ дин/см ³	V_n см ³ /моль
ДОС	72272,742	505,2	613	79887,120	15,412	13,162	32,700	23,857	446,82
ДБС	50646,483	330,2	617	80695,469	15,958	16,366	30,426	32,007	292,04

На основании данных [19], [20] нами были выбраны два состава горюче-связующих, которые применялись в качестве компонентов СТРТ. Содержание веществ в составах:

- Состав 1:
 - каучук СКН-10-КТР – 10 %;
 - эпоксидная смола – 2 %;
 - ДОС – 2 %;
- Состав 2:
 - каучук СКД-1-а – 12,45 %;
 - эпоксидная смола – 2,8 %;
 - ДБС – 1,5 %.

При расчете содержание веществ было пересчитано на 100 %. Так как расчет пластификаторов проводился двумя методами по формулам (4) и (5), соответственно расчет смесей и их термодинамической совместимости с катализаторами проводился с учетом этих двух методов. Расчетные характеристики смесей сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристики смесей

Вещество	δ , (Дж/см ³) ^{0,5}	γ , дин/см ³	V_n , см ³ /моль
Состав 1 по $\sum_i \Delta E_i^*$	17,171	28,654	168,573
Состав 1 по $T_{кип}$	16,447	25,403	168,573
Состав 2 по $\sum_i \Delta E_i^*$	17,782	27,687	139,696
Состав 2 по $T_{кип}$	17,851	28,012	139,696

В качестве растворителей были выбраны ферроценсодержащие катализаторы, такие как: диэтилферроцен (ДАФ-2), этилферроцен, n-бутилферроцен, дибутилферроцен и третбутилферроцен. В таблице 4 указаны их расчетные характеристики.

Таблица 4 – Характеристики катализаторов скорости горения СТРТ

Вещество	$\sum_i \Delta V_i^*$, А ³	$T_{кип}$, К при 760 мм.рт.ст	Le, Дж/моль	δ_k , (Дж/см ³) ^{0,5}	γ_k , дин/см ³	V_k , см ³ /моль
Диэтилферроцен	156,71	557	68851,402	18,020	30,264	204,392
Этилферроцен	134,233	537	65037,268	19,158	32,484	170,453
n-Бутилферроцен	159,375	510	59971,313	16,682	26,080	206,604
Дибутилферроцен	208,643	436	46764,120	13,024	17,391	261,087
Третбутилферроцен	156,20	398	40289,368	13,699	17,469	201,499

С учетом характеристик указных в таблице 4 рассчитаны параметры растворимости ряда алкилпроизводных ферроцена, на базе которых определена их термодинамическая совместимость с соответствующими пластификаторами, жидкими каучуками и модельными составами СТРТ, что было экспериментально подтверждено в последствии методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

Выводы:

1. Данный метод оценки термодинамической совместимости компонентов на основании параметра их растворимости помогает значительно уточнить прогноз по миграционной способности жидких ферроценосодержащих катализаторов в составе смесового твердого ракетного топлива.

2. На основании проведенных расчетов диэтилферроцен, этилферроцен и n-бутилферроцен являются термодинамически совместимы с модельными смесями горюче-связующего; соответственно скорость миграции их из топливной массы будет ниже, чем у дибутылферроцена и третбутилферроцена.

3. Результаты данного исследования могут быть использованы для оценки термодинамической совместимости компонентов в смесовом твердом ракетном топливе и усовершенствования рецептур топливной массы.

Список источников литературы

1. Несмеянов А.Н. Фероцен и родственные соединения. Избранные труды [Текст]: А.Н Несмеянов. – М.: Наука. – 1982 р. – 439 с.;

2. Голоунин А.В. Топливные композиции с железосодержащими добавками / А.В. Голоунин, О.В. Захарова // Химия и химическая технология. – 2012. – Т. 55. – №10. – С. 91–93.

3. Пат. 2058373 Российская Федерация, МПК С 10 L 1/18, С 10 L 1/22. Топливная композиция для дизельных двигателей [Текст] / Левин А. Я. ; заявитель Акционерное общество «Ачинский нефтеперерабатывающий завод». – № 94003151/04 ; заявл. 28.01.94 ; опубл. 20.04.96.

4. Mr. M. Sarath Chandra. Effect of Ferrocene as a Fuel Additive on Four Stroke Diesel Engine Performance[Текст] / Mr. M. Sarath Chandra, Mr. Madhu S. // International Journal Of Modern Engineering Research. – 2016. – P. 30-34.

5. Afotey Benjamin. Impact Assessment of Metal-Based Octane Boosters: Literature Review [Текст] / Benjamin Afotey // International Journal Of Energy Engineering. – 2018. – P. 67-88.

6. Аскарлов И.Р. Синтез новых соединений на основе амигдалина / И.Р. Аскарлов, Ф.С. Абдугаппаров, М.М. Хожиматов // Технические науки. – 2019. – №6(63).

7. Wanda I. Perez. Ferrocenes as potential chemotherapeutic drugs: Synthesis, cytotoxic activity, reactive oxygen species production and micronucleus assay / Wanda I. Perez, Y. Soto, C. Ortiz, J. Matta, E. Melendez // Bioorg Med Chem. 2015. – № 23(3). – P. 471–479.

8. Ornelas C. Application of ferrocene and its derivatives in cancer research/ C. Ornelas // New J. Chem. 2011, № 35(10), P. 1973-1985.

9. Y. Mi. Ferrocene-promoted long-cycle lithium-sulfur batteries / Y. Mi, W. Liu, K. R. Yang, J. Jiang, Q. Fan, Z. Weng, Y. Zhong, Z. Wu, G. W. Brudvig, V. S. Batista, H. Zhou, H. Wang // Angew. Chem. Int. – 2016. – P. 14818-14822.

10. X. He. Two-dimensional assemblies from crystallizable homopolymers with charged termini / X. He, M. S. Hsiao, C. E. Boott, R. L. Harniman, A. Nazemi, X. Li, M. A. Winnik, I. Manners // *Nat. Mater.* – 2017. – P. 481-489.
11. A. Alkan. Amphiphilic ferrocene-containing PEG block copolymers as micellar nanocarriers and smart surfactants / A. Alkan, S. Wald, B. Louage, B. G. De Geest, K. Landfester, F. R. Wurm // *Langmuir* – 2017 – P. 272-279.
12. X. Liu. New ROMP synthesis of ferrocenyl dendronized polymers / X. Liu, Q. Ling, L. Zhao, G. Qiu, Y. Wang, L. Song, Y. Zhang, J. Ruiz, D. Astruc, H. Gu // *Macromol. Rapid Commun* – 2017.
13. A. Hildebrandt. Electron transfer studies on conjugated ferrocenyl-containing oligomers / A. Hildebrandt, K. A. Khalyfeh, J. F. Nawroth, R. Jordan // *Organometallics* – 2016. – P. 3713-3719.
14. В.А.Ушков. Воспламеняемость и дымообразующая способность полимерных материалов, содержащих производные ферроцена// Ушков В.А., Невзоров Д.И., Копытин А.В., Лалаян В.М.// 2014. Т. 23. №7. С. 27.
15. Пат. 2276683 РФ, МКИ С10L1/18, С10L1/22. Добавка к бензину/ В.М. Капустин, Б.Х.Борзаев, С.В. Суханов (все РФ) и др.; Рессел Групп (РФ). – №2005101491/04 Заявл. 21.01.2005; Опубл. 20.05.2006 // Бюл. №14.
16. Пат 1259824 Великобритания, МКИ С06В27/00, С06В43/00, С06D5/10, С06В27/00, С06В43/00, С06D5/00. Rocket Fuels / Messerschmittbolkow-Blohm G.m.b.H. - №19681646310 Заявл. 20.01.1968; Опубл. 12.01.1972.
17. Hildebrand, I.H. / I.H. Hildebrand, R.L. Scott // *The solubility of Nonelectrolites* Reinhold Publishing Corp. – 1950. – №4. - P. 136.
18. Аскадский А.А. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1. Атомно-молекулярный уровень, 1999.
19. Пат. 2258057 Российская Федерация, МПК С06D5/06, С06В45/10. Смесевое твердое ракетное топливо [Текст] / Процун Е.Г., Звонарев Ю.В.; заявитель Процун Е.Г., Звонарев Ю.В. – № 2003131291/02; заявл. 28.10.2003; опубл. 10.08.2005.
20. Пат. 2276162 Российская Федерация, МПК С08J3/21, С08L13/00, С10L5/14, С06В29/22. Способ снижения летучести из твердотопливных композиций на основе карбоксилатного каучука жидких ферроценовых соединений и высокомолекулярная твердотопливная композиция на основе карбоксилатного каучука и жидкого ферроценсодержащего каталитически активного пластификатора [Текст] / Фельдман В. Д., Милехин Ю.М., Муркулов В.М., Козлов В.А., Перепеченко Б.П.; заявитель ФГУП Федеральный центр двойных технологий «Союз» (ФГУП ФЦДТ «Союз»). – № 2003128574/04 ; заявл. 24.09.2003 ; опубл. 10.02.2006.

ВЛАСТИВОСТІ ПІРОТЕХНІЧНИХ БАЗОВИХ СКЛАДІВ: АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дарина Закусило¹, Томаш Салачинський²

¹Сумський державний університет

²Інститут промислової органічної хімії, Варшава, Польща

d.zakusylo@ishostka.sumdu.edu.ua

Анотація: Розглянуто безгазові піротехнічні склади та їхні властивості. Описана проблема сучасного стану дослідження властивостей безгазових піротехнічних складів. Проаналізовані наукові джерела, в яких описуються дослідження безгазових піротехнічних складів на предмет повноти дослідження властивостей. Наведена оцінка аналізу стану дослідження та проаналізована її причина.

Вступ. Піротехнічні склади мають велику класифікаційну номенклатуру і широкий спектр застосування як на вітчизняному просторі, так і у світі в цілому. Серед них особливе місце займають безгазові та малогазові склади, які класифікуються як термічні склади [1, с. 4].

Визначення безгазового складу є різним для вітчизняної піротехнічної промисловості і для світової. Ця різниця виникла тому, що у світовій практиці є чітка межа між безгазовими та малогазовими піротехнічними складами. Згідно цієї межі, безгазові піротехнічні склади при горінні виділяють не більше 10 см³ газів на 1 г піротехнічної суміші [2]. У той же час, вітчизняна практика не визначає цю межу, і позначає безгазові склади як малогазові, оскільки абсолютно безгазових складів не існує [1, с. 218].

Безгазові піротехнічні склади використовуються у різних сферах промисловості. Найчастіше їх застосовують в якості уповільнюючих складів для різних систем ініціювання (наприклад, капсулів-детонаторів). У той же час, вони можуть застосовуватися як допоміжні системи ракетно-космічної техніки та для розігріву твердо-електричних осередків термічних батарей [1, с. 218].

Основною проблемою безгазових піротехнічних складів є поверхневість їх дослідження. Оскільки вони знайшли своє використання в якості уповільнюючих складів, більшість досліджень зосереджена на характеристиках, які необхідні для комерційної конкуренції з іншими складами (наприклад, час уповільнення, щільність складу, швидкість горіння). Через це інші аспекти безгазових піротехнічних складів майже не досліджуються. Також варто відмітити відносно стару базу знань про ці склади у країнах СНД. Більшість досліджень фізико-хімічних та вибухових характеристик припадає на 1970-1980 рр., і ці дослідження з тих пір майже не розширюються і не доповнюються. Це призводить до неможливості пошуку альтернативних засобів використання безгазових піротехнічних складів та відсутності шляхів вдосконалення цих складів. Ця проблема є актуальною не тільки для країн СНД, але і для світової практики.

Мета роботи. Аналітичне створення початкової бази знань для визначення фізико-хімічних та вибухових характеристик безгазових піротехнічних складів для подальшої систематизації знань та пошуку шляхів альтернативного використання цих складів.

Виклад основного матеріалу. Для початку аналітичного дослідження розглянуто та коротко описано критерії оцінювання повноти дослідження безгазових піротехнічних складів.

Серед основних фізико-хімічних та дефлаграційних властивостей піротехнічних складів виділяють наступні [1]:

1. хімічний склад;
2. щільність;
3. теплота та температура горіння;
4. об'єм газів;
5. чутливість до механічних та теплових взаємодій;
6. механізм та швидкість горіння;
7. фізична та хімічна стійкість;

Компоненти піротехнічного складу та їх відсоткове співвідношення грає ключову роль при створенні та використанні цього складу. Важливим є не тільки підбір окисника, пального та речовин технологічного призначення, але і їх відсоткове співвідношення у суміші. Також важливо проводити аналіз можливості заміни компонентів суміші у випадках, коли початкові компоненти є рідкісними, або мають високу вартість. Останнім часом набуває актуальності підбір компонентів, які не є токсичними для навколишнього середовища. З екологічних передумов, сучасні піротехнічні складу намагаються не включати в себе сполуки, що містять свинець, барій, перхлорати та хромати. Прикладами екологічних складів є V/Fe_2O_3 , Mn/MnO_2 , $Ti/C-3Ni/Al$, $V_4C/NaIO_4/PTFE$, $Si/CaSO_4$, та W/MnO_2 [3, с. 2].

Щільність піротехнічного складу завжди має бути максимально великою як у порошковому стані, так і у спресованому. Залежність швидкості горіння від щільності складу є прямо пропорційною та лінійною: чим вище досягнута щільність, тим більша швидкість горіння [3]. Також щільність складу впливає на дефлаграційні характеристики.

Теплота та температура горіння залежать виключно від компонентів піротехнічного складу. Теплота вибуху визначається теоретичним (закон Гесса) або експериментальним (калориметрична бомба) шляхом [1]. Температура горіння визначається, як правило, теоретично.

Об'єм газів для безгазових піротехнічних складів має складати не більше 10 л на 1 кг піротехнічної суміші (або 10 см^3 газів на 1 г піротехнічної суміші) [2]. Це досягається підбором компонентів таким чином, щоб кінцевими продуктами горіння були оксиди металів та сажа. Варто відмітити, що безгазовість піротехнічного складу, як правило, у дослідженнях не доводиться.

Чутливість до механічних та теплових взаємодій грає важливу роль як у працездатності піротехнічного складу, так і у безпеці його використання. Під механічними взаємодіями мають на увазі удар та тертя, а під тепловими – промінь вогню. Чутливість до удару характеризує можливість займання складів при випадковому ударі, а чутливість до тертя – при випадковому виникненню тертя. Чутливість до променя вогню характеризує можливість займання складів при випадковому попаданні на них іскри. Чутливість до механічних та теплових взаємодій залежить від компонентів складу та визначаються в спеціальних пристроях, що дозволяють отримувати відтворювані результати [1].

Швидкість горіння є непомітною властивістю, яка залежить від ряду факторів. До цих факторів відносять відношення поверхні до об'єму, вологість, доступ до кисню, температура та тиск навколишнього середовища. Властивість, притаманна більшості безгазових складів, - мала залежність швидкості горіння від

зовнішнього тиску [1, с. 247]. Механізм горіння, в свою чергу, обумовлюється хімічною реакцією, що виникає, і досліджується, як правило, теоретично.

Дослідження хімічної та фізичної стійкості проводять для визначення оптимальних умов зберігання піротехнічних складів та терміну їх придатності [1, с. 105]. Фізична стійкість включає в себе такі фактори як вологостійкість та стійкість до зміни агрегатного стану летких компонентів (наприклад, такі компоненти складу, як нафталін та гексахлоретан можуть сублімувати). Хімічна стійкість – здатність складу не змінювати свої фізико-хімічні властивості під час зберігання. Прикладами позитивної хімічної стійкості складу є відсутність корозії порошку металу та відсутність хімічної реакції між компонентами під час зберігання [1, с. 93]. Обидва види стійкості безгазових піротехнічних складів визначаються за спеціальними методиками.

Для подальшого аналізу розглянуто наукові джерела, в яких досліджуються безгазові піротехнічні склади, та проаналізовано якість дослідження визначених властивостей.

В якості першого об'єкта дослідження виступає безгазовий піротехнічний склад Fe/VaO_2 , описаний у джерелі [4]. Цей склад використовується в якості уповільнювача в системах ініціювання. Вибір компонентів піротехнічного складу пояснюється підбором компонентів таким чином, щоб продуктами реакції були тверді речовини. Варто відмітити, що цей склад не є повністю екологічним, оскільки містить перекис барію. Розрахована щільність піротехнічного складу та описано вплив відсоткового вмісту заліза на неї та товщину стінки оболонки. Детально досліджено вплив вмісту заліза у суміші на швидкість горіння, а також на механізм горіння. Визначена температура розкладу складу в залежності від вмісту заліза (що може розцінюватися як температура горіння), але не визначена теплота горіння. Визначена чутливість до тертя та удару, а також класифікований склад як вогнебезпечний. Фізична та хімічна стійкість складу не досліджуються.

У джерелі [5] розглядаються властивості вітчизняного безгазового піротехнічного складу PbO_2/Si . Цей склад використовується в якості уповільнювача в системах ініціювання. Вибір компонентів піротехнічного складу пояснюється аналізом літератури, при цьому врахування відсутності токсичності не відбувається. Це є критичним, оскільки діоксид свинцю є високотоксичною речовиною, що робить цей склад не екологічним. Описано властивості кожних компонентів складу, а також умови їх зберігання. Досліджено вплив рецептури на щільність складу та його швидкість горіння. Детально розглянута залежність температури реакції від вмісту кремнію. При цьому, теплота горіння не розглядається. Чутливість до механічних та теплових взаємодій, механізм горіння, час уповільнення та фізична і хімічна стійкості складу не досліджуються.

У джерелі [6] розглядаються властивості безгазового піротехнічного складу $\text{Mn/Vi}_2\text{O}_3$. Цей склад використовується в якості уповільнювача в системах ініціювання. Вибір компонентів піротехнічного складу є науковою новизною. Варто відмітити, що такий склад є екологічним. Детально описано механізм реакції горіння. Досліджено вплив вмісту марганцю на теплоту та температуру горіння. Чутливість до механічних та теплових взаємодій, а також фізична та хімічна стабільність складу не описується. Також відсутні дані стосовно щільності складу та його впливу на характеристики.

У джерелі [7] розглядаються властивості безгазового піротехнічного складу $\text{BaCrO}_4/\text{TiB}_2$. Цей склад використовується в якості уповільнювача в системах ініціювання. Вибір компонентів піротехнічного складу є науковою новизною та пояснюється необхідністю у повільному горінні складу. Варто відмітити, що цей склад не є екологічним через наявність хромату барію. У дослідженні відсутні дані стосовно щільності складу та її впливу на характеристики, оскільки цей склад є пресованим і представляє собою циліндр висотою 8-10 мм та діаметром 10 мм. Технологія пресування описана. Розглянуто механізм горіння та досліджено його швидкість. Розрахована температура горіння, але не надана теплота горіння. Дані стосовно чутливості до механічних та теплових взаємодій, а також фізичної та хімічної стабільності складу не надано.

Останнім об'єктом дослідження є вітчизняний піротехнічний склад Zr/BaCrO_4 , описаний у джерелі [8]. Цей склад використовується для нагрівання термічних батарей. Вибір компонентів піротехнічного складу пояснюється їх популярністю у цій промисловій сфері. Варто відмітити, що цей склад не є екологічним через наявність хромату барію. У дослідженні визначено вплив складу на щільність готового продукту, а також зазначено, що цей склад є пресованим. Він представляє собою тонкий лист, параметрами якого можна маніпулювати за допомогою прес-форм. Технологія виробництва описана. Температура горіння у дослідженні не зазначається, хоча є дані стосовно теплоти горіння та її залежності від відсоткового вмісту компонентів у складі. Дані стосовно чутливості до механічних та теплових взаємодій, а також фізичної та хімічної стабільності складу не надано.

Висновки. Виходячи з аналізу досліджень піротехнічних складів, можна зробити наступні висновки:

1. більшість безгазових піротехнічних складів (4 із 5) використовуються в якості уповільнювачів для систем ініціювання різного характеру;
2. жодний зі складів не досліджений повністю за всіма основними властивостями;
3. найчастіше за все не досліджують фізичну та хімічну стабільність складу; на другому місці – чутливість до механічних та теплових взаємодій; на третьому – теплота горіння.

Причина недостатнього дослідження піротехнічних безгазових складів частково пояснюється їх основним сучасним призначенням. Для уповільнення спрацювання системи ініціювання не є настільки важливими описані недосліджені параметри, як важливі швидкість горіння, час уповільнення та хімічний склад суміші. Це призводить до неможливості пошуку шляхів вдосконалення безгазових піротехнічних складів та пошуку їх альтернативного застосування, що, в свою чергу, змушує поле для досліджень у піротехнічній сфері.

Таким чином, проведений аналіз демонструє неповноту дослідження безгазових піротехнічних складів. Подальші дослідження у цьому напрямку допоможуть систематизувати підхід до розробок безгазових піротехнічних складів та підвищити якість їх оцінки.

Список літературних джерел

1. Шидловский А. А. Основы пиротехники. М., «Машиностроение», 1973. 285 р.
2. Charsley EL, et al. Differential thermal analysis and temperature profile analysis of pyrotechnic delay systems: ternary mixtures of silicon, boron and potassium dichromate. *Thermochim Acta*. 1980;35(2):141–52.
3. Focke, W., Tichapondwa, S., Montgomery, Y., Grobler, J., & Kalombo, M. (2021). Review of gasless pyrotechnic time delays (pp. 1-46). Wiley-VCH.
4. Gerlich, M.M., Wojewódka, A.T. Study of gasless compositions used in time-delay elements. *J Therm Anal Calorim* 139, 3473–3479 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08721-8>
5. Vashnevskiy, D.V., Sporiahin, E.O., Ustymenko, Ye.B., Kositsyna, O.S. and Plotnikov, V.V. (2015), “Doslidzhennia horinnia bezhazovykh pirotekhnichnykh kompozytsii” [Research of combustion of gasless pyrotechnic compositions], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 3(43), pp. 73-75.
6. Tichapondwa, S., Guo, S., & Roux, W. (2021). Performance of Mn/Bi₂O₃ Pyrotechnic Time Delay Compositions. *Central European Journal Of Energetic Materials*, 18(1), 46-62. doi: 10.22211/cejem/134798
7. Gabdrashova, S., Tulepov, M., Pustovalov, I., Sassykova, L., Rakhova, N., & Spanova, G. et al. (2019). Preparation and test of slowly burning energy-intensive materials with time-delay composition. *Journal Of Chemical Technology And Metallurgy*, 54(3), 650-656. Retrieved from https://dl.uctm.edu/journal/node/j2019-3/27_18-175_p_650-656.pdf
8. Піротехнічний безгазовий склад: пат. № 78930 Україна. 2012, Бюл. № 7. 7 с.

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПОСТРІЛІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ І ТИХ, ЩО ПРИДБАНІ ЗА ІМПОРТОМ

М.С. Мошковський, С.Я. Мосійчук, О.В. Князький

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

З початком застосування Збройних Сил України та правоохоронних органів в антитерористичній операції, а згодом у Операції Об'єднаних Сил, виникла гостра потреба в забезпеченні різними боеприпасами. Різка зміна в характері збройної боротьби, форм і способів застосування військ в сучасних умовах призвела до прояву так названої «гібридної війни» із добре озброєними силами противника на нашій території. Для Збройних Сил України, а також для інших військових формувань, що приймають участь в ООС, найважливішою військово-технічною проблемою сьогодення є те, що гарантійні терміни зберігання та терміни (строки) збереженості (терміни технічної придатності) вичерпані для всього масиву різних боеприпасів або близькі до закінчення. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є продовження призначених строків служби, що може на деякий час підтримувати боеготовність Збройних Сил України і забезпечувати виконання бойових завдань під час сучасних військових конфліктів. Актуальним питанням є встановлення технічного стану боеприпасів за результатами лабораторних та полігонних випробувань, перевірки технічних і балістичних характеристик після фізико-хімічних випробувань компонентів, що входять до складу боеприпасів [1 - 4].

У Збройних Силах України в основному зберігаються ракети та боеприпаси, що виготовлені за часів СРСР та мають строк зберігання 30-40 років та більше. Продукти спеціальної хімії такі як порох, тверде ракетне паливо, вибухові речовини з часом втрачають свої фізико-хімічні характеристики та можуть стати небезпечними (хімічно нестійкими). Виникла гостра необхідність проведення робіт з продовження призначених строків служби артилерійських пострілів [15 - 17].

Органам військового управління при прийнятті рішень щодо встановлення категорії ракетам та боеприпасам необхідно мати постійну інформацію про їх придатність (непридатність) до бойового застосування або подальшого зберігання. [5 - 8].

В умовах військово-політичної обстановки сьогодення, поповнення запасів засобів ураження можливо за чотирма шляхами:

- створення нових вітчизняних боеприпасів власного виробництва;
- закупівля боеприпасів та їх компонентів за кордоном;
- ремонт і модернізація існуючих запасів боеприпасів;
- продовження ресурсу боеприпасів довготривалого зберігання.

Нормативно - правовою основою прийняття таких рішень про продовження термінів технічної придатності застарілих боеприпасів є попереднє проведення експериментальної перевірки хімічної стійкості, фізичної стабільності і балістичних властивостей боеприпасів спеціалізованими організаціями Укроборонпрома, лабораторіями Озброєння Командування Сил логістики ЗС України, спеціальними лабораторіями МВС України та інших військових формувань [18-20].

При цьому необхідно відзначити, що період експлуатаційної придатності артилерійських пострілів обмежується старінням балістичних порохів і палив, що входять в їх склад. В ході старіння балістичних складів відбуваються різні процеси, що впливають на балістичні властивості і терміни безпечного зберігання боєприпасів. Період експлуатаційної придатності вклучає: безпечний термін зберігання і балістичний термін зберігання. Безпечний термін зберігання – це період часу, протягом якого балістичні пороху і палива можна зберігати без загрози самозаймання. Він обмежується процесами старіння – розкладанням нітроєфірів, реакціями продуктів розкладання із стабілізаторами хімічної стійкості, киснем повітря і вологою. Балістичний термін зберігання – це період часу, при якому порох або паливо може безпечно використовуватися і зберігати свої балістичні властивості. Основні чинники, що обмежують балістичний термін зберігання – це хімічні процеси розкладання нітратів целюлози, при яких відбувається зниження її молекулярної маси, густини, механічної міцності, а також фізичні процеси міграції (дифузії) на поверхню рідких пластифікаторів інших компонентів балістичних складів [10-12].

Основу запасів боєприпасів (артилерійських, мінометних, інженерних, до реактивних систем залпового вогню і засобів ближнього бою, авіаційних засобів ураження) складають боєприпаси, виготовлені ще до 1991 року.

Відповідно до нормативно-технічної документації гарантійні терміни зберігання ракет і боєприпасів в залежності від типу – не перевищують 12 років, а визначені строки служби, допускаючи можливість продовження бойового застосування, обмежуються 25-35 роками, а для патронів до стрілецького озброєння 40-45 роками [14-17].

Піроксилінові пороху, які є похідними органічних речовин і основу яких складають похідні природного полімеру (целюлози), поставили задачу більш глибокого дослідження процесу хімічної стійкості даних з'єднань. Виникла необхідність дослідження механізму і кінетики розкладання вибухових речовин і піроксилінових порохів і створення нормативних методів оцінки їх стійкості. Існує численна науково-технічна література, де наводиться детальний опис цих методик, а також нормативні документи ГОСТи, ОСТи, ДСТУ з питань визначення властивостей і характеристик стійкості піроксилінових і балістичних порохів для прикладу наведених на рис. 1.

Відмічається, що причини, які можуть мати особливо значний вплив на хімічну стійкість вибухових речовин бувають двох видів. Перша і найважливіша з них - ступінь чистоти одержуваного при фабрикації продукту, а саме відсутності в ньому сторонніх домішок, особливо залишків при нітрації кислот азотної і сірчаної хоча б в самих незначних кількостях. Друга причина - це умови зберігання, головним чином температура зберігання і відносна вологість атмосферного повітря при зберіганні [10-12].

Традиційно, після виготовлення піроксилінові пороху поступають на спорядження зарядів для різних боєприпасів або зберігаються в заводському пакуванні в спеціально обладнаних місцях. В процесі довготривалого зберігання з причини неоднорідності умов і тривалості зберігання починають відбуватися різні фізико-хімічні процеси, пов'язані з перерозподілом розчинника і флегматизатора, міняється щільність, кількість і хімічний склад стабілізатора хімічної стійкості – дифеніламіна (ДФА), відбуваються зміни і в основному компоненті пороху - піроксиліні. Піроксилін в результаті виділяє небезпечні речовини. Тому

необхідним є створення системи контролю і оцінки його якості. Ці вимоги виконуються проведенням аналізу пороха з визначенням в ньому вмісту летких речовин, концентрації стабілізатора хімічної стійкості, манометричною оцінкою об'єму газоподібних продуктів перетворення при підвищених температурах і визначенням фізико-хімічних характеристик пороха після прискороного («форсованого») старіння, що імітує необхідний і відповідний до нормативної документації термін технічної придатності [15-17]. Одним із найважливіших показників технологічної і екологічної безпеки при переробці і зберіганні пороха являється кількість і стан ДФА, що в ньому знаходиться. Актуальним при цьому є просторовий градієнт розподілу стабілізатора всередині порохового елемента в мікробемах і може стати осередками самозаймання.

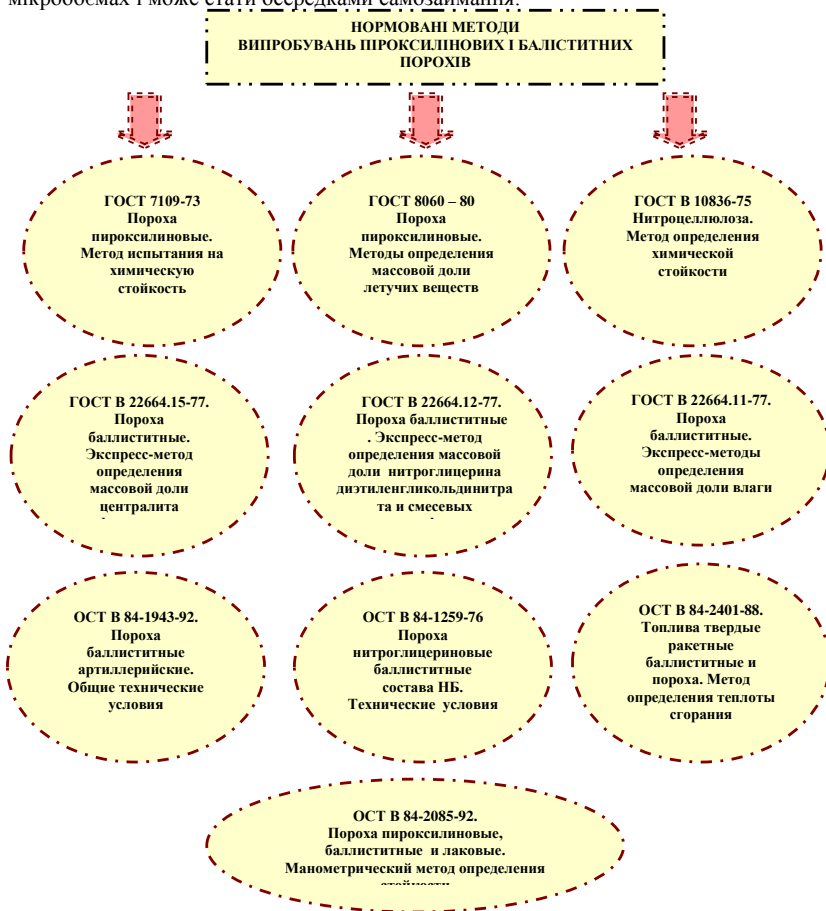


Рис. 1. Нормативні документи які регламентують випробування піроксилінових і баллістичних порохів

В роботах [10,12,13] показано, що найбільш перспективними методами досліджень цих процесів є методи тонкошарової і рідинної хроматографії і особливо вискоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ)

Старіння та погіршення якісного стану запасів артилерійських пострілів набуває прогресуючий характер. Для своєчасного визначення змін, що відбулися в технічному стані боеприпасів, виявлення непридатних і небезпечних для бойового застосування боеприпасів у арсеналах (базах, центрах, складах) існує система контролю за технічним станом боеприпасів, яка повинна забезпечувати утримання боеприпасів у постійній бойовій готовності й придатності до тривалої експлуатації

Під системою контролю за технічним станом боеприпасів розуміється сукупність взаємозалежних елементів організаційного, технічного й технологічного характеру. Контроль за технічним станом боеприпасів необхідно здійснювати на всіх етапах експлуатації і повинен включати: спостереження зі сторони Центру контролю якості боеприпасів за технічним станом всієї номенклатури боеприпасів, організацію в лабораторіях і на полігонах їх випробування, перевірку технічного стану на пусках і практичних стрільбах, узагальнення в лабораторіях Центру результатів централізованого, дослідного, підконтрольного і зовнішнього зберігання боеприпасів [5-8, 21-24].

Лабораторні випробування - заходи контролю, що проводяться в лабораторіях відповідно до щорічних планів вибіркового контролю боеприпасів і їх елементів або в науково-дослідних цілях. Методи лабораторних досліджень, їх обсяг і періодичність, а також норми оцінки результатів встановлюються відповідними структурами озброєння Командування Сил логістики Збройних Сил України й викладені в керівних документах.

Полігонні випробування – заходи контролю, що проводяться на полігонах визначених Командуванням Сил логістики ЗС України відповідно до щорічних планів вибіркового контролю боеприпасів і їх елементів або в дослідницьких цілях.

Результати лабораторних випробувань дозволяють встановити строк бойової придатності боеприпасів при їх експлуатації на арсеналах (базах, складах) і частинах бойового застосування.

За результатами полігонних випробувань складається звіт і висновок, які і є остаточним рішенням про придатність або непридатність випробовуваних боеприпасів до бойового застосування.

Проте на сьогоднішній день система технічного контролю в Збройних Силах України не функціонує в необхідному обсязі і на достатньому рівні. Одним із чинників такого стану є недостатня наповненість інструментальної випробувальної бази. У системі контролю Збройних Силах України полігонно-випробувальна складова розвинута недостатньо, що значно ускладнює процес випробувань і об'єктивної оцінки придатності боеприпасів.

Найвне у Збройних Силах України обладнання з перевірки якості продуктів спеціальної хімії виготовлялося ще за часів СРСР, періодично ремонтується та потребує оновлення (модернізації) з урахуванням сучасного досвіду проведення лабораторних досліджень.

Використання сучасного обладнання та методів контролю продуктів спеціальної хімії в тому числі з урахуванням вимог стандартів НАТО дозволить відновити (модернізувати) наявне обладнання;

збільшити об'єм перевірок за рахунок впровадження нових методів контролю та автоматизації процесів перевірки;

наблизити Збройні Сили України до взаємосумісності з партнерами НАТО з питань безпеки поводження з вибуховими речовинами та встановлення їх якості.

Аналіз існуючої у Збройних Силах України експериментальної лабораторної бази Центру контролю якості боєприпасів в/ч А2192 свідчить про наявність наступного інструментального обладнання для проведення випробувань:

- методика визначення параметрів швидкості польоту кулі та тиску порохових газів у каналі ствола у відділенні балістики стрілецького озброєння та боєприпасів;

- визначення ударної в'язкості на копрі маятниковому КМ-0,5 та випробувань вторинних вибухових речовин на чутливість до удару на приладі К-44-П;

- стенди для проведення механічних випробувань;

- випробування з визначення хімічної стійкості на обчислювальному комплексі ВОК "ВУЛКАН-ВМ." Вимірювання тиску і температури парів та газів в заданому об'ємі в ізотермічному режимі при визначенні термостабільності речовин;

- випробування для вимірювання теплоти згоряння речовини на системі КА КАЛОРИМЕТР С2000;

- вимірювання інтенсивності форсу полум'я та часу горіння піротехнічної суміші трасерів на лабораторно випробувальному стенді для визначення показників горіння матеріалів «СПОЛОХ-Т»;

- фізико-хімічний аналіз зразків вибухових речовин та порохів на приладах газового аналізу, оптичної та ІЧ - спектроскопії.

Звичайно терміни зберігання моделюють штучним («форсованим») старінням порохів при підвищеній температурі. Наприклад форсоване старіння проводять при температурі:

для піроксилінових порохів – 398 К (4,5 год. нагрівання імітують 50 років зберігання),

для баліститних порохів – 383 К (6,0 год нагрівання імітують 25 років зберігання). Глибину форсованого старіння зразків пороха контролюють по кількості газоподібних продуктів (по тиску в датчиках установки «Вулкан») продуктів розкладу. При цьому приймається, що критичний параметр хімічної стійкості для піроксилінових порохів складає 220 мм.рт.ст., а для баліститних порохів – 130 мм. рт. ст. Якщо пороха мають такі критичні параметри по газоутворенню, то вони відносяться до хімічно нестійких з аномальними по структурі фізико-хімічними властивостями [13-15].

Для прикладу важливості таких досліджень можна навести проблемні питання перевірки якості двох партій 100-мм пострілів УОФ12, придбаних в кінці 2020 р по імпорнтним закупкам. У Центрі контролю якості боєприпасів в/ч А2192 (смт. Городок, Житомирської області) комісією була проведена перевірка 100-мм пострілів з осколково-фугасним снарядом підвищеної могутності до протитанкової гармати МТ-12 на відповідність даних пострілів вимогам, що пред'являються до артилерійських пострілів 1 категорії (придатними до бойового застосування) згідно положень «Інструкції з категорювання ракетно-артилерійського озброєння», затвердженій наказом МО України від 04.01.2019 №4 та іншої нормативної документації.

Використані при цьому існуючі методи контролю боєприпасів, а саме: технічного огляду, розбирання боєприпасів, лабораторних і полігонних

випробувань, є достатніми для формування висновку про приналежність пострілів цих партій до 1 категорії та придатність до бойового застосування. Відповідно до висновків комісії у пострілах дефектів, що є підставою для переведу їх у нижчу категорію не виявлено, комплектація, захисне покриття та маркування відповідає вимогам нормативних документів. Крім того, снаряди індексу ОФ35 відносяться до снарядів підвищеної могутності за рахунок застосування вибухової речовини А-1Х-2 (гексоген 80%, алюмінієва пудра 20%, що на 25% підвищує їх фугасну дію у порівнянні із снарядами індексу ОФ-15 і були найсучаснішими снарядами часів СРСР.

З метою вивчення ступеню можливих змін бойових, фізико-хімічних, механічних характеристик елементів пострілів були проведені лабораторні випробування підривача В-429Е, металюного заряду АД-17, трасеру №12.

За результатами перевірки основні показники якості трасеру №12 та підривача В-429Е відповідають вимогам нормативно-технічної документації і відповідно до вимог Інструкції відносяться до 1 категорії.

Під час розпатрунування пострілів з виробничими даними 1-550М-20 виявлено, що на картузах нанесені дублюючі ярлики які свідчать про 1985-1987 роки виготовлення порошу, а для пострілів з виробничими даними 1-1284М-20 ярлики які свідчать про 1968-1986 роки виготовлення порошу. Тобто фактично, балістичні порохи в герметичному стані в заводському пакуванні зберігалися протягом 35 та 51 року з моменту виготовлення відповідно.

Лабораторними випробуваннями порохів визначається у першу чергу, їх безпека зберігання (хімічна стійкість) та можлива зміна балістичних характеристик, таких як початкова швидкість снаряда, максимальний тиск порохових газів за значенням теплоти згоряння порошу та інші.

Поряд зі строком технічної придатності довговічність порохів оцінюється запасом хімічної стійкості, під якою розуміють умовні часові показники (часові критерії стійкості по визначених пробах). У даному випадку хімічна стійкість визначалась по манометричній пробі за допомогою вимірювально-обчислювального комплексу «SEO VBP-01» який являє собою модернізований прототип ВОК «ВУЛКАН-ВМ» (де у процесі нагріву навіски порошу вимірюється тиск парів і газів, що виникають у герметичній чарунці).

Витяг з прикладом отриманих результатів лабораторних випробувань з перевірки металюних зарядів наведено в таблиці 1.

За результатами перевірки основні показники якості порошу різних партій і років виготовлення відповідають вимогам нормативно-технічної документації та мають достатній запас хімічної стійкості, що дозволяє довготривале зберігання і використання за призначенням.

На полігонні випробування у рамках заняття з бойової підготовки артилерійським розрахунком в/ч А0409 були представлені імпорнтні постріли в штатній укупорці з виробничими даними: 1-1284М-20 8 од.; 1-1550М-20 8 од.

У ході бойових стрільб оцінювалося функціонування пострілів і початкова швидкість снарядів за допомогою доплерівської радарної системи DRS-1 (Prototipa –ZM).

Середня початкова швидкість 16 пострілів склала 698,8 м/с.

Таблицею стрільби 100-мм протитанкової гармати МТ-12 для снаряда ОФ-15 в закінченому спорядженні таблична початкова швидкість має становити 700 м/с

на заряді спеціальному (снаряд ОФ35 по масі і геометричних розмірах аналогічний снаряду ОФ15).

За результатами стрільб відхилення середньої початкової швидкості снарядів ОФ35 склало 1,2 м/с, що входить в допустимий діапазон відхилень (до 22,6 м/с) для металевих зарядів АД17 1 категорії відповідно до вимог Інструкції.

Таблиця 1 - Результатів лабораторних випробувань з перевірки металевих зарядів

Найменування, виробничі дані боєприпасу	Найменування пороху та його виробничі дані	Види випробувань	Показник		Висновок
			За НТД	Фактично	
100-мм постріл УОФ-12 п.зб.1-1550 М-20	Метальний заряд інд.АД-17 партії 3-87-М з пороху: ДГ-3 13/1 2/87 М; 5/12 Д-25 1/85К; 8/1УГФ 15/86К				
	ДГ-3 13/1 2/87 М	Хімічна стійкість	ОСТ В 84-2085-83 ≤130 мм.рт.ст.	13,8 мм.рт.ст.	придатний
		Масова частка вологи	ОСТ В 84-2339-87 0,5-0,7 %	0,6 %	придатний
		Теплота згоряння	ОСТ В 84-2401-88 ≥800 ккал/кг	870 ккал/кг	придатний
		Температура спалаху	ОСТ В 84-1582-78 180-200°C	184°C	придатний

Таким чином, за результатами технічного огляду, лабораторних і полігонних випробувань постріли УОФ 12 та їх елементи, що були придбані Міністерством оборони України за імпортом, придатні до бойового застосування, а їх якість відповідає вимогам до боєприпасів 1 категорії. В умовах військово-політичної обстановки сьогодення, поповнення військових запасів шляхом закупівлі боєприпасів та їх компонентів за кордоном, у попередньо перевірених партнерів, є перспективним напрямом.

Підсумовуючи вищенаведене слід зауважити, що лабораторія в/ч А2192 має набір основних методик, але для проведення комплексних і тестових випробувань необхідно подальше удосконалення експериментальної бази і освоєння нових методик. Необхідне освоєння методик проведення прискорених кліматичних випробувань, що імітують вплив факторів зовнішнього середовища. Практичний

інтерес представляє освоєння зокрема методики високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ), що використовується в більшості сучасних стандартів для контролю якості балістичних порохів і ракетних палив за вмістом стабілізаторів та їх похідних і дозволяє здійснювати аналіз органічних компонентів балістичних складів таких як нітрогліцерин, диетиленглікольдинітрат, динітрололуол та дибутилфталат. Необхідна також організація системної підготовки відповідних спеціалістів і підвищення їх кваліфікації на базі спеціалізованої організації.

Для вивчення й оперативного реагування на зміни у порохів при їх довготривалому зберіганні у Збройних Силах України необхідно більш активно створювати і розвивати власну відомчу випробувальну базу обладнану сучасними автоматизованими інструментальними методами фізико-хімічного аналізу. З цією метою органам військового керівництва Міністерства оборони України представляється доцільним використати міжнародну допомогу з військово-технічного співробітництва з іноземними державами (європейські країни, НАТО) для придбання новітнього випробувального обладнання з перевірки якості, фізико-хімічних і балістичних характеристик боєприпасів з довгими термінами зберігання.

Необхідно спланувати алгоритм впровадження сучасних методів проведення лабораторних випробувань порохів, вибухових речовин, твердого ракетного палива при контролі технічного стану ракет та боєприпасів з урахуванням вимог стандартів НАТО і тим самим створити у Збройних Силах України власну передову лабораторну базу (комплекс) науково-дослідних та сертифікаційних випробувань, який був би оснащений сучасними видами обладнання світового рівня та атестований і акредитований в системі акредитації України. Особливу увагу необхідно приділяти мобільній автономній апаратурі вимірювання балістичних і траєкторних характеристик при проведенні полігонних випробувань ракетно-артилерійського озброєння.

Список літературних джерел

1. РТМА 5550-73. В/ч 64176. Руководящий технический материал. Характеристика условий эксплуатации и учет их при испытаниях специзделий на сохраняемость. М.:Военное изд. МО СССР, 1974.-105 с.
2. ГОСТ В 15.702-83 Система разработки и постановки на производство военной техники. Порядок установления и продления назначенных ресурса, срока службы, срока хранения. Основные положения.
3. Талин Д.Д. Прогнозирование сроков служебной пригодности зарядов из порохов и твердых ракетных топлив. Учебное пособие // Пермский гос. техн. университет. – Пермь, 2006. – 141 с.
4. Чепков І.Б., Лапицький С.В. Проблеми розвитку засобів ураження, боєприпасів і елементів спецхімії // Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка. 27-29 листопада 2014 р., с. 53-56.
5. Руководство для арсеналов, баз и складов ракет и боеприпасов. Ч. І. Изд. 1973г.-462 с.
6. Инструкция по техническому осмотру боеприпасов на арсеналах, базах и окружных складах. – М.: Воениздат, 1978, 56 с.

7. Инструкция по контролю технического состояния боеприпасов и ПТУР на артиллерийских арсеналах, базах, складах и в войсках. – М.: Воениздат, 1984. – 56 с.
8. Інструкції з категорювання ракетно-артилерійського озброєння, затверджена наказом МО України від 04.01.2019 №4.
9. М. Ф. Буллер, Т. В. Романько. «Экологические риски длительного хранения пироксилиновых порохов»// Вісник Кременчуцького національного університета імені Михайла Остроградського. - 2014. - №4 (87). - с.134-139.
10. Лукашов В.К. Технологія виробництва нітратів целюлози, навч. посібник /В.К.Лукашов//Суми: СумДУ, 2012.-229 с.
11. Буллер М.Ф., Щербань В.В. «Чувствительность артиллерийских порохов к удару при их старении» // Вісник Кременчуцького національного університета імені Михайла Остроградського.- Выпуск 6 (41). - Частина 1.- 2006. --с. 85-88.
12. Буллер М.Ф., Межевич Г.В. Производство и исследования пироксилиновых порохов. Хромотографические методы контроля // Хім. пром. України. – 2011. – № 2. – С. 48–51.
13. Межевич Г.В., Буллер М.Ф., Роботько В.А., Романько Т.В. О цвете отдельных элементов пироксилиновых порохов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2012. – № 1. – С. 29–34.
14. Роботько В.А., Буллер М.Ф., Межевич Г.В. Состояние вопроса и перспективные направления в изучении процессов старения баллистических порохов и топлив. // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка. 27-29 листопада 2014 р., с. 31.
15. Роботько В.А., Методика визначення призначених термінів зберігання металевих зарядів на основі балістичних складів. Дисертація к.т.н., Шостка.-2016, 140 с.
16. Уваров В.Н., Выбор методики оценки сроков безопасной эксплуатации зарядов из баллистического топлива после 30 лет хранения. // Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Хімічна технологія: наука та виробництво», м. Шостка.: 7-9 листопада 2012 р., с. 28.
17. Мошковський М.С., Мосійчук С.Я., Абрамсон А.Н., Аналіз впливу процесів старіння порохових зарядів на основі піроксилінових і балістичних порохів на стан живучості та вибухопожежобезпеки арсеналів, баз та складів зберігання ракет і боеприпасів / Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗС України.-вип.2 (61)-К.; ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2016, с.168-186.
18. Мошковський М.С., Мосійчук С.Я., Чернозубенко О.В., Абрамсон А.Н., Застосування закономірностей деструкції полімерів для розгляду процесів старіння порохових зарядів на основі піроксилінових і балістичних порохів/ Матеріали 6-ї науково-технічної конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки ЗС України”15-18 грудня 2015 року/ЦНДІ ОВТ ЗС України, Київ, 2015, 163-166 с.
19. Мошковський М.С., Мосійчук С.Я., Чернозубенко О.В., Абрамсон А.Н., Фесай О.О. Обґрунтування необхідності розвитку випробувальної бази стану ракет, боеприпасів, порохів при їх довгостроковому зберіганні./Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ”. Академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – Львів, 2015. – 110-111 с.

20. Аніпко О.Б., Вертелецкий В.Ф. «Изменение физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры калибров 25/80 и 30/54» // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2013. - № 2. – с. 74-80.
21. Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Бірюков І.Ю. Влияние длительности хранения боеприпасов на баллистические характеристики стрелкового оружия // Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: Изд-во НТУ “ХПІ”, 2007. – №2, С. 97–100.
22. Аніпко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения. / Монографія. – Х.: Академія ВВ МВД України, 2010. – 129 с.
23. Аніпко О.Б., Бірюков І.Ю., Баулін Д.С., Воробйов В.І. Особливості характеристик внутрішньої балістики порохових зарядів боеприпасів, які знаходяться за межами гарантійних строків зберігання. Навчально-методичний посібник. Рекомендовано Науковою радою внутрішніх військ МВС України. Проток. № 2 від 20.08.2008 р. 40 с.

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАЛОЧУТЛИВИХ БОЄПРИПАСІВ

А.Н. Абрамсон, С.Я. Мосійчук, Е.С. Остапчук

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

На сьогоднішній час боеприпаси, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України вичерпали, або майже вичерпали свій ресурс зберігання, тим самим існує необхідність у створенні нових боеприпасів та модернізації існуючих.

При створенні нових боеприпасів слід керуватися не лише вимогами щодо могутності боеприпасів, але й вимогами, щодо забезпечення безпечного зберігання та застосування за призначенням [1].

Одним з перспективних способів розв'язання цього завдання є застосування високоенергетичних вибухових речовин. При цьому у різних країнах приділяється велика увага підвищенню стійкості зарядів вибухових до зовнішніх впливів (пробиття осколками, кулями та ін.), та поліпшенню ініціюючої здатності, у тому числі й при функціонуванні біля цілі [2].

Нижче розглядається коротка характеристика малочутливих вибухових речовин та напрямки їх впровадження у Збройних Силах України зокрема для виробництва модульних металевих зарядів до сучасних артилерійських систем.

Однією з проблем під час експлуатації боеприпасів є їх недостатній рівень безпеки під час впливу високої температури, дії кумулятивного струменя, попадання осколків та куль. Актуальність визначеного питання підтверджується досвідом багатьох сучасних військових конфліктів, коли до загибелі особового складу призводили детонація боекомплекту бойових машин з названих причин, або наслідки надзвичайних подій на арсеналах, базах, складах зберігання ракет та боеприпасів ЗС України [3 - 4].

У різних країнах приділяється велика увага підвищенню стійкості вибухових зарядів до зовнішніх впливів (пробиття осколками, кулями та ін.) та поліпшенню ініціюючої здатності, в тому числі й при функціонуванні біля цілі. В країнах НАТО набуває поширення використання технологій «нечутливих» боеприпасів (Insentive Munitions) та вибухових речовин (ВР) зі зниженою чутливістю (типу RS-RDX).

Нечутливі боеприпаси завдяки використанню особливих ВР та їх зернистої структури, не детонують при влученні куль, осколків, тощо, що мають швидкість зіткнення 5-7 км/с. Вони малочутливі при зберіганні до впливу небезпечних факторів (підвищена температура, вологість, полум'я, удари при падінні).

Слід зазначити, що у Збройних Силах США сертифіковано нову вибухову речовину, що в перспективі замінить у снарядах традиційний тринітролоуол. Нова ВР отримала назву ІМХ-101 (Insentive Munitions Explosive 101, ВР боеприпаси зниженої вибухопожежобезпеки 101). На першому етапі речовина буде використовуватися у снарядах М795 калібру 155 мм. При цьому поставки аналогічних на основі тротила поступово завершаться. Перехід на ВР ІМХ-101 є частиною масштабної програми переходу на боеприпаси зниженої вибухонебезпеки.

Вважається, що якщо поруч з снарядом, оснащеним ІМХ-101 вибухне бомба, то корпус боеприпасу розпадеться на декілька частин, а вибухова речовина швидко згорить без детонації. [5].

Чутливість є однією з найважливіших характеристик вибухової речовини (ВР); вона визначає можливість і сферу практичного використання даної речовини. Занадто велика чутливість вибухової речовини робить її дуже небезпечною і незручною з урахуванням при виникненні проблемних питань між вимогами щодо забезпечення ефективності застосування боєприпасів та забезпечення безпечної експлуатації боєприпасів (рис. 1).



Рис. 1. Структура обґрунтування необхідності застосування високоенергетичних ВР з підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів

Зниження чутливості вибухових речовин може бути досягнуто за рахунок:

- введення у склад великої кількості спеціальних індивідуальних вибухових речовин з низькою чутливістю або повної заміни ними звичайних ВР;
- введення у склад великої кількості полімерних зв'язуючих та інертних матеріалів;
- введення у склад енергоємного зв'язуючого, що оптимізує чутливість і потужність ВР;
- введення у склад спеціальних добавок, що інгібують ланцюгові радикальні реакції.

Для вирішення даної проблеми в передових країнах світу проведені дослідження щодо зниження чутливості порохів, що входять до складу металевих зарядів танкових та артилерійських пострілів. За результатами досліджень прикладом розроблених малочутливих порохів першого покоління були прості суміші у складі бризантної вибухової речовини гексогену і полімерного пластифікатора (такі порох застосовувалися головним чином у танкових пострілах (порох М-39)).

У малочутливих порохів другого покоління крім пластифікаторів були застосовані енергоємні зв'язуючі, такі як нітрополімер або азидополімер в кількості 5-30% (використання окситанових еластичних термопластів, що мають азидогрупи). Заряди із подібних сумішей виконані у вигляді декількох порохових шарів з різними складами і швидкістю горіння. Це дозволило довше підтримувати високий тиск у стволі і забезпечити більш високу швидкість польоту снаряда при тій самій кількості пороху. У якості окислювача для таких порохових сумішей використані бризантні вибухові речовини: гексоген, октоген та інші [2, 6].

Використання сумішевих композицій для заміни бездимних порохів у ствольних системах також має певний інтерес з точки зору забезпечення підвищеної ефективності, технологічності і розширення експлуатаційних властивостей пороху. Крім того, подібні порохів більш термостійкі і мають знижену залежність швидкості горіння від температури на відміну від звичайних нітроцелюлозних порохів. З цією метою були розроблені спеціальні сумішеві артилерійські порохів на основі гексогену, що скріплюється полімерною матрицею. У США дані порохів отримали абревіатуру «LOVA» (Low Vulnerability ammunition, ІМ або Insensitive Munition), що перекладається як низька уразливість боєприпасів або нечутливе військове спорядження.

Результати проведених випробувань також надають можливість при створенні нових боєприпасів дотримуватися вимог меморандуму щодо балістики JBMOU (Joint Ballistics Memorandum of Understanding), в якому однією із вимог до розробки нових боєприпасів (рис. 2) є використання нечутливих вибухових речовин до детонації від зовнішнього впливу.



Рис. 2. Американські боєприпаси, що оснащені вибуховою речовиною зниженої чутливості ІМХ-101

В країнах НАТО для оцінки уразливості боєприпасів застосовують вимоги стандарту STANAG 4439 (комплекс тестів, що дозволяють визначити «ступінь малочутливості» ВР стосовно конкретного боєприпасу).

Тести включають в себе :

- тест на повільне нагрівання;
- тест на швидке нагрівання;
- тест на простріл кулею;
- тест на масову детонацію (здатність до детонації, других боєприпасів, що знаходяться поруч з підриваемим активним боєприпасом);
- тест на дію кумулятивного струменя;
- тест на пробиття уламками.

Крім наведених реакцій всі указані тести передбачають повну несприйнятливості до удару і до електростатичних імпульсів.

Порівняння стандарту STANAG 4439 щодо реакції боєприпасів із зниженою уразливістю з іншими стандартами надані у табл.1.

Таблиця 1 - Порівняння вимог стандарту STANAG 4439 щодо реакції боєприпасів зниженої уразливості з іншими стандартами

Вплив	STANAG 4439	Mil-Std-210B/C/D	Murat-1	Murat-2	Murat-3
Повільне нагрівання	V	V	III	V	V
Швидке нагрівання	V	V	IV	V	V
Простріл кулею	V	V	III	III	V
Масова детонація	III	III	III	III	IV
Кумулятивний струмінь	III	III	I	I	III
Осколковий вплив	V	V	I	II	V

Види реакції:

I - детонація (спрацьовування ВР у штатному режимі за рахунок поширення детонаційної хвилі. Характеризується найбільшим вражаючим ефектом. Утворюється безліч уражаючих осколків);

II - часткова детонація (часткове спрацьовування ВР у режимі детонації, утворюється деяка кількість осколків);

III - вибух (гази, що утворювалися, викликають руйнування оболонки з утворенням осколків. Палаючі й непрореаговані шматки ВР розлітаються);

IV - дефлаграція (руйнування боєприпасів, часто з викидом палаючого заряду ВР);

V - горіння (ВР вигорає, не руйнуючи корпус боєприпасів).

Практично результати розробки та застосування малочутливих вибухових речовин визначаються на прикладі модульних металевих зарядів (ММЗ) до нових артилерійських систем 52 калібру. При цьому перехід на модульні металеві заряди дозволив повністю автоматизувати процес заряджання і досягнути більшої швидкості стрільби та в автоматичному режимі міняти кількість порохових зарядів.

За наявною інформацією (табл. 2) застосовуються:

- з 1999 року ММЗ М231 і М232 для 155-мм самохідної гаубиці «Крусейдер» (США);
- з 1996 року ММЗ DM82, DM72 і DM92 для 155-мм самохідної гаубиці PzH-2000 (компанія «Нітрохемік» (німецьке та швейцарське відділення) і «Рейнметал»);
- з 1999 року металеві заряди на основі малочутливих вибухових речовин DADNE (FOX-7) і GUDN (FOX-12) для 155-мм самохідної гаубиці «Цезарь» (Європейська енергетична корпорація «European Energetics Corporation»);
- з 2007 року нові модульні заряди «Юніфлекс-2 ІМ» на основі малочутливої вибухової речовини, що є сумішшю GUDN (FOX-12) і RDX, до 155-мм самохідної гаубиці FH-77BW «Арчер» (фірма «Суренко бофорс АВ», Швеція).

Таблиця 2 - Сучасні модульні металеві заряди

Назва (індекс) ММЗ	Артилерійська система	Назва (індекс) пороху
М231(зелений) і М232 (бежевий) 	155-мм СГ "Крусейдер" США	М46 Гексоген –76%, целюлози ацетат-бутират 12%, пластифікатор - евтектика біс-(2,2- динитропропил) ацеталь/формаль - 7.6%, НЦ (12.6%N) -4.0%, етилцентроліт -0.4%, зшиваючий агент -0.5% понад 100%. Теплоота згорання 820 ккал/кг. Сила -1070КДж/кг. Температура горіння 3065К. Розроблений в першій половині 80-х років. М-39 має аналогічний склад М46 але замість енергоємного пластифікатора застосовується ацетилтриетилцитрат

<p>DM72/82/92 Компанії "Нітрохемік" (німецьке і швейцарське відділення) і "Рейнметалл"</p> 	<p>155-мм СГ PzH-2000, Німеччина</p>	<p>Метальні речовини на основі RDX KHP1680 Гексоген – 42,5%, нітрогуанідін – 42,5%, KNO₃ – 4%, полібутадієн – 11%. Сила – 952 Дж/г KHP264 Гексоген – 76.8 %, ТАГН -8%, KNO₃ -4%, %, полібутадієн – 11,2%. KHP290, KHP300, KHP301, KHP305, KHP306, KHP307</p>
<p>Vi-MC Європейська енергетична корпорація «European Energetics Corporation»</p> 	<p>155-мм СГ «Цезарь», Франція</p>	<p>Метальні речовини на основі низкокотливих ВВ, таких як DADNE (FOX-7), GUDN (FOX-12)</p>

Таким чином, впровадження малочутливих вибухових речовин при виробництві (експлуатації) боєприпасів дозволяє забезпечити їх безпеку та стійкість до впливу факторів бою, а саме високої температури, дії кумулятивного струменя, попадання осколків та куль. Враховуючи зазначене, вважається за доцільне оборонним підприємствам України розробку, модернізацію, закупівлю за кордоном боєприпасів проводити з урахуванням технологій виробництва принципово нових енергетичних речовин зі зниженою чутливістю, які забезпечать їх безпеку як при використанні за призначенням так і при зберіганні на арсеналах, базах та складах Збройних Сил України.

Однак, на даний час існуючі підприємства України не спроможні виробляти сучасні вибухові речовини, які б задовольняли вимогам стандарту НАТО STANAG 4439 щодо безпеки, тому роботи по створенню малочутливих ВР необхідно проводити в Україні з залученням технологій та досягнень тих країн, що мають передовий досвід власного виробництва порохів, вибухових речовин і широкої номенклатури боєприпасів.

Список літературних джерел

1. Чепков І.Б. Напрями впровадження в боеприпасах нечутливих вибухових речовин //Тези доповідей на 2-й науково-технічній конференції «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України», ЦНДІ ОВТ ЗС України, 13,15,20,22 грудня 2011 р. м. Київ – С. 80-81.

2. Жилин В.Ф., Збарский В.Л., Юдин Н.В. Малочувствительные взрывчатые вещества: учебн. пособие.М.: РХТУ им. Менделеева, 2008.-160 с.

3. Мошковський М.С., Чепков І.Б., Мосійчук С.Я. Основні тенденції розвитку малочутливих боеприпасів/ Основні тенденції розвитку малочутливих боеприпасів/ Матеріали науково-технічної конференції “Засоби ураження та боеприпаси. Стан, перспективи та шляхи розвитку”, Філія ЦНДІ ОВТ ЗС України. – Суми, 2015. – 6-9 с.

4. Мошковський М.С., Мосійчук С.Я., Абрамсон А.Н. Основні тенденції розвитку малочутливих боеприпасів/ Матеріали 6-ї науково-технічної конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки ЗС України”15-18 грудня 2015 року/ЦНДІ ОВТ ЗС України, Київ, 2015, 158-159 с.

5. АОР-39 (Видання 1). Керівництво з розробки, оцінки та проведення випробувань малочуттєвих боеприпасів // – Каталог документів НАТО, які містяться у Фонді нормативних документів Збройних Сил України, випуск № 12, частина № 2/ – Київ, Центральне управління метрології і стандартизації Збройних Сил України Озброєння Збройних Сил України МО України, 2011.

6. Пути снижения чувствительности к механическим воздействиям гексогенсодержащих взрывчатых веществ / А.Е. Колдышев, А.М. Гришкин, А.А. Фильчаков, В.А. Краснов // Физика горения и взрыва. - 1995. - Т.31, №6.-С. 140-146.

СУЧАСНІ СПОСОБИ РОЗМІНУВАННЯ

Ю.І. Войтенко¹, В.В. Бойко², Вугар Іфрат огли Оруджов³

¹Український державний геологорозвідувальний інститут

²Інститут гідромеханіки НАН України

³Республіка Азербайджан

voytenkou@gmail.com

Вступ. Проблема розмінування територій характеризується загальнопланетарним масштабом і актуальна не лише для зон діючих конфліктів. Наведемо деякі дані із роботи [1], які проілюструють масштаб гуманітарних і матеріальних втрат. На сьогоднішня в більш, ніж 70 країнах світу залишилося біля 60 млн. наземних мін. Вони щорічно убивають біля 26 тис. людей. Наприклад, в Анголі із кожних 334 людей у одного ампутована кінцівка після вибуху наземної міни. В Камбоджі 25 тис. людей з ампутованими кінцівками. Залишені наземні міни впливають на повсякденне життя більш ніж 22 млн. людей. Проблема наземних мін викликає суттєві соціально-економічні наслідки. Вона підриває мир та стабільність в країнах і цілих регіонах, призводить до переміщення людей і перешкоджає використанню землі для сільського господарства. Про це безпосередньо свідчить ситуація на сході України. Однією із основних задач для вирішення цієї проблеми є розробка техніки і технологій знешкодження (безпечного підірвання, або руйнування) мін, місця розташування яких, як правило, невідомі.

Зазначимо, що окрім розробки технічних методів і засобів розмінування в ряді робіт розвивається методологія моделювання процесу розмінування [2]. Зауважимо, що згідно відомій класифікації міни умовно можна розділити на дві великі групи: протипіхотні масою $\approx 1-2$ кг і протитанкові, противертольотні тощо масою $\approx 3-6$ і більше кг.

Мета роботи. Огляд і аналіз технічних рішень щодо пошуку і знешкодження мін.

При розмінуванні в ході бойових дій метою є якомога більш оперативна очистка (підірвання) силовими методами. При цьому прийнятним вважається розмінування на 80-90 %. Розрізняють механічні, вибухові та ручні методи розмінування.

В той же час розмінування в рамках гуманітарних операцій є справою більш важкою і небезпечною. Воно вимагає видалення всіх мін і повернення розмінованих мінних полів в нормальне використання. Тому для вирішення задач пошуку і знешкодження застосовують більш чутливі методи пошуку з використанням сучасних досягнень прикладної фізики та хімії, зокрема високочутливі радіоактивні і хімічні методи виявлення мін. Розглянемо основні методи і технічні рішення, які пропонуються до використання для вирішення цих двох задач.

Згідно патенту [3] пристрій для розмінування мінних полів, що містить наземний транспортний засіб, який був у вжитку, з автотранспортним причіпом з великою кількістю коліс, або гумових шин, призначених для утилізації, з можливістю їх кочення по опорній замінованій поверхні. Транспортний засіб при цьому рухається по мінному полю без екіпажу. Описаний пристрій має обмежені технологічні можливості і може бути застосований лише у разі розмінування мінних полів з легкими мінами типу ПОМ, ПМ тощо масою не більше ≈ 1 кг в

тритиловому еквіваленті. При підриванні важких мін масою 3-6 кг будь-яка колісна та ймовірно гусенична техніка буде зупинена.

Згідно [4] сухопутні війська Великобританії використовують систему розмінування "Пігон", яка викидає шланг, начинений вибухівкою великої потужності, на мінне поле, де він вибухає, викликаючи тим самим детонацію мін. Очевидно, що недоліком даного способу розмінування є відсутність детонації мін, які розташовані на певній відстані від заряду через послаблення дії ударної хвилі і продуктів детонації.

В армії Німеччини розроблена система дистанційного виявлення та знешкодження мінних полів MMSR, що об'єднує в себе засоби розвідки та ліквідації мінних бар'єрів [5]. Засіб розмінування представляє собою дистанційно керований мінний трал масою 8 т на спеціальній базі, що перевозиться на грузовому автомобілі. Його обладнання дозволяє імітувати магнітні, теплові, акустичні та сейсмічні поля бойових броньованих машин для імітації підриву з неконтактними детонаторами. Міни з детонаторами натискної дії підриваються спеціальними крокуючими пристроями, розташованими попереду трала. Система має середню здатність ефективно прокласти широкий прохід у мінімальному полі шириною до 2,8 м при швидкості руху до 7 км/год. Підрив мін і характер пошкоджених зарядів фіксуються відеокамерами, встановленими на машині управління. Крім того, у ФРГ розроблена малогабаритна радіокерована двохосна машина розмінування КМР-1 «Кобра» з дальністю управління до 2 км.

Провідні технологічно розвинені країни (США, Великобританія, Франція, Китай, Ізраїль, Південна Корея) активно розробляють робототехнічні комплекси, здатні з високим ступенем автономності вести бойові дії без участі людини. Так, в армії США планується до 2030 р довести частку безпілотних засобів до 30% від загального складу бойових машин. За оцінками американських військових фахівців, бойові можливості підрозділів, оснащених робототехнічними комплексами, зростуть в 2...2,5 рази [6]. Робототехнічний засіб пророблення проходів в мінно-вибухових загородах - це конструктивно відокремлений безкіпажний виріб військової техніки, призначений для виявлення мін і вибухонебезпечних предметів та їх знищення вибуховим (механічним) способом при автономному або дистанційному управлінні

Аналіз розвитку робототехніки в арміях іноземних держав (США, Німеччини, Великобританії) показує, що в них активно ведуться роботи зі створення нових вискоефективних протимінних систем, здатних виявляти загородах і зразу проводити розмінування.

З цією метою в армії США створені:

- система розмінування JAMC;
- авіаційна система розвідки протидесантних загородах COBRA;
- авіаційна система виявлення і розвідки AMDAS;
- система розмінування DEMNS.

Інший розробкою є система для розмінування «Міні-Флейл». Трал розроблено для легких формувань і призначається для знищення протипіхотних мін. Машина виконана на базі колісного навантажувача «Джон Дір 375» і оснащена обертовим валом з ланцюгами, укріпленим на підпружиненій рамі. Управління машиною здійснюється дистанційно оператором, розташованим на рухомому на деякому віддаленні автомобілі. Дослідні зразки трала багаторазово випробовувалися і удосконалювалися. Два зразка 1996 р були відправлені в

Боснію для застосування в реальній обстановці миротворчими силами США (16-м інженерним батальйоном 130-ї інженерної бригади) [6].

Вважається, що найбільш перспективним напрямком розвитку засобів подолання мінно-вибухових загороджень є створення для цих цілей повітряного робото-технічного комплексу, який, можливо, дозволить вирішити актуальну на сьогоднішній день проблему подолання військами мінних загороджень. На відміну від наземного, повітряний комплекс може знайти своє застосування при вирішенні більшості тактичних завдань. Крім того, малі габарити дронів будуть ускладнювати їх ураження як засобами ППО, так і стрілецькою зброєю. Висока швидкість дронів і їх незалежність від умов місцевості забезпечить їх швидке переміщення до місця виконання завдання. Окрім виконання завдань виявлення місць розташування мін і передачі інформації кожен дрон може нести заряд ВР з дистанційним підривачем.

За матеріалами відкритих джерел [6], застосування рою дронів для вирішення військових задач активно розвивається в арміях найбільш розвинених країн світу. На авіаційній базі в Каліфорнії (США) 25 жовтня 2016 року пройшли успішні випробування найбільшого в світі рою дронів, що складався з 103 апаратів Perdix, надрукованих на 3D принтері. На думку військового керівництва США, такі групи з дешевих одноразових дронів здатні ефективно виконувати складні завдання, для яких зараз застосовуються великі, дорогі апарати. Більш того, у відсутності людини рій діє набагато ефективніше, оскільки швидше приймається рішення і слід миттєва реакція на зовнішні фактори. Результати експерименту були визнані задовільними.

В Україні розроблено пристрої, вибухові речовини та запропоновано спосіб приготування водонаповненого спіненого вибухового композиту безпосередньо на місці проведення робіт. Застосування даного способу можливо для розмінування місцевості шляхом човникового переміщення пінного ствола уздовж фронту робіт протяжністю 100 – 200 м за один цикл з покриттям шару піносуспензії 50 – 70 мм смужки ґрунту шириною 5 – 10 м і подальшим підривом вибухового композиту ниткою ДШ. Запропоновано для розмінування пересіченої місцевості та для розмінування мінних полів [7]. Не заперечуючи новизну і оригінальність даного методу, відмітимо ряд недоліків, які вказують на необхідність доопрацювання методу в режимі дослідно – конструкторської роботи:

- для формування шару однорідного вибухового композиту необхідна ретельна підготовка поверхні ґрунту (убрати рослинне покриття, сторонні предмети); для цього необхідний роботизований пристрій для підготовки поверхні ґрунту; або визначити рецептуру ВР, яка буде детонувати навіть на рослинному покритті;
- розробити спосіб переміщення пінного ствола;
- розробити спосіб і обладнання для подачі і укладки детонуючого шнура в сформований шар ВР по всій його довжині для забезпечення стабільної детонації;
- оцінити надійність детонації міни через шар ґрунту та дію повітряної і сейсмічної хвилі на довкілля і допустиму масу заряду.

Висновок. Короткий огляд технологій розмінування показує, що для повного вирішення проблеми безпечного розмінування, особливо в частині знешкодження важких мін необхідна подальша розробка методів дистанційного визначення

мість їх розташування з подальшим підриванням кожної, або груповим підриванням накладними зарядами.

Список літературних джерел

1. Розенгард У., Долан Т., Миклуш Д., Самией М. Разминирование в рамках гуманитарных операций// Бюллетень МАГАТЭ 43/2/2001.
2. Шишанов О.М., Коцюруба В.І, Гусяков О.М. Комплексне моделювання процесу розмінування з використанням засобів інженерного озброєння//Озброєння та військова техніка. – 2014. - №4. - С. 42-44.
3. Семенов А.Г. Способ разминирования минных полей и устройство для его осуществления. МПК F 41 Н 11/16 2511755 RU № 2511755, бюл. № 10, 25.02.2014.
4. Пентагон успешно применил рой из 103 беспилотников: [//habr.com/ru/post/400507/](https://habr.com/ru/post/400507/).(дата обращения 28.11.2019).
5. Робототехнические средства (комплексы) и системы военного назначения: лекция. — М.: ФГБУ «ГНИИЦР», 2017
6. Дементьев И., Рыжиков С. Роботы и мины: противостояние// <https://army.ric.mil.ru/>
7. Бойко В. В., Хлевнюк Т. В., Лавренов Л. В., Ган О. В., Приходько Ю. П. “Спосіб приготування водонаповненого спіненого вибухового композиту для ущільнення ґрунтів та розмінування місцевості”, МПК E21C 37/00 F41H 11/00, UA № 140360, бюл. № 4, 25.02.2020.

ОБ ЭНЕРГИИ КУМУЛЯТИВНЫХ СТРУЙ И КОМПАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ УДАРНЫХ СВОЙСТВ

Ю.И. Войтенко¹, Р.В. Закусило²

¹Украинский государственный геологоразведочный институт

²Шосткинский институт Сумского государственного университета

voytenkou@gmail.com

Взрывные устройства кумулятивного действия широко используются в военном деле в качестве средств поражения легкобронированной и тяжелой бронированной техники [1 - 5]. В промышленности используют преимущественно кумулятивные заряды (КЗ) калибром до 100 мм и весьма редко заряды большего калибра. Известно, что глубина проникания и объем каверны пропорциональны энергии кумулятивной струи (КС) как, впрочем, энергии других ударников, а величина обратная объему кратера пропорциональна твердости материала преграды [6]. По этому оценка энергии КС для различных видов кумулятивных устройств является полезной при решении задач как в прикладных, так и в фундаментальных исследованиях.

При схлопывании кумулятивных облицовок (КО) в форме низкосферических сегментов формируются ударные ядра (УЯ), в которые переходит ~ 80 – 100% массы облицовки. Скорость ударного ядра при этом составляет ~ 1,5 – 3 км/с в зависимости от свойств взрывчатого вещества и плотности метаемого лайнера.

При схлопывании конических и близких к ним по форме и конфигурации КО в КС переходит 10 – 20% массы облицовки. Скорости кумулятивных струй при этом составляют ~ 5 – 10 км/с для КО из материалов с плотностью ~ $(2,5 - 11) \cdot 10^3$ кг/м³.

При схлопывании КО более сложной формы, чем конус или сферический сегмент, образуются высокоскоростные компактные элементы (КЭ), которые двигаются в свободном полете со скоростями, сравнимыми со скоростями КС [5]. Эти КЭ лишены недостатков КС, которые при формировании на больших расстояниях от мишени при движении в свободном полете растягиваются, разрушаются и распыляются с уменьшением глубины канала в мишени.

Практический интерес представляет сравнительный анализ отношения энергии КЭ к приведенной массе заряда, который характеризует степень отбора энергии взрыва КЭ или КС и их ударные свойства.

Поскольку энергия КС определяется массой и скоростью, то для ее определения необходимо знать распределение скоростей вдоль КС. Это в свою очередь требует проведения специальных баллистических экспериментов.

Для инженерной оценки энергии КС без проведения таких экспериментов, используются только данные о скорости головной части КС. Для этого воспользуемся экспериментальными и расчетными данными, полученными для КО из порошков Al, Cu-Pb и W-Cu-Pb [6]. Количество компонентов в исходной смеси было 90/10 и 70/20/10 (% масс). Скорость головной (лидирующей) части КС – медно-свинцовой КС составляет 7...7,5 км/с, КС из композита W-Cu-Pb – 6,4...6,6 км/с (эксперимент), Al и Cu-Al – 8-10 км/с (расчет).

Для численной оценки приняты следующие допущения:

1. Плотность КС в момент формирования практически остается равной начальной плотности облицовки.

2. Распределение скорости элементов КС вдоль нее описывается линейным законом.

3. Радиальное расширение хвостовой части КС начинается на поздней стадии ее движения.

Примем закон распределения скоростей вдоль струи в следующем безразмерном виде:

$$\bar{V}_j = 1 + (n-1)l, n = \bar{V}_{jm} / \bar{V}_{jc}; l = 0 \dots 1.$$

Кинетическая энергия струи длиной l_0 и диаметром d_j при постоянстве плотности вдоль нее ρ_j равна

$$E_{КЭ} = \frac{\pi}{8} d_j^2 \rho_j l_0 [V_{jm}^2 - V_{jm} V_{jc} + V_{jc}^2], \quad (1)$$

где V_{jm} , V_{jc} - скорости головной и хвостовой части КС.

Диаметр струи определяли по известной формуле [1]

$$d_j = D_0 \frac{1}{V_j} \sqrt{\frac{2\sigma}{\lambda} \frac{\sqrt{\rho_t} + \sqrt{\rho_j}}{\sqrt{\rho_t \rho_j}}}, \quad (2)$$

где D_0 - входной диаметр кратера (из эксперимента); σ - предел статический прочности материала мишени; ρ_t , ρ_j - плотность материалов мишени и струи; $\lambda = 1$ - для сплошных струй с невысокой скоростью; $\lambda = 2$ - для разорванных высокоскоростных струй. В расчетах использовались экспериментальные справочные данные [1, 6]. Расчет кинетической энергии ударных ядер и КЭ рассчитывали по известной формуле.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

В таблице приведены следующие обозначения: d_c - калибр (диаметр) заряда; m_{exp} - масса взрывчатого вещества (ВВ); $V_{КЭ}$ - скорость КЭ или КС; $m_{КЭ}$ - масса компактного элемента; $m_{КО}$ - масса лайнера; $E_{КЭ}$ - энергия КЭ.

Анализ расчетных данных, в частности параметра $E_{КЭ} / \sqrt[3]{m_{\text{exp}}}$ показывает, что некоторые формы лайнеров обеспечивают формирование высокоскоростных КЭ, характеризующихся более высокой энергией при движении в свободном полете, чем классические КС и ударные ядра (строчки №№ 2, 3, 10).

Химическое воздействие между компонентами композита ударника Cu-Al возможно при скорости удара ≥ 2 -3 км/с и пористости материала струи/ударника ≥ 29 -30%. В случае уменьшения пористости в 2 раза скорость удара должна составлять не менее 5...6 км/с [8].

Выводы

1. При прочих равных условиях (состав и масса ВВ) имеются два пути повышения энергии, выделяющейся в преграде при взаимодействии с ней КС и КЭ:

- изменение формы облицовки и конструкции заряда;
- использование для изготовления КО пористых композитов, которые кроме механического действия в преграде, выделяют в ней дополнительную энергию в результате физического эффекта разогрева и химических реакций между компонентами композита.

Таблиця 1 Результати расчетов

№ п/п	d_c мм	m_{exp} кг	BB, D, м/с	V_{KC} м/с	$m_{KЭ}$ г	m_{KC} / m_{KO}	$E_{KЭ}$, кДж	$E_{KЭ} / \sqrt[3]{m_{\text{exp}}}$	Матл КО	Форма, КО	Исто чник
1	30	0,072	ТГ-40, 7600	2000-3000	12,9	≈0,5	20,2	48,5	сталь	полу-сфера	[1]
2*	30	0,01	НМХ ≈9000	2200,- 2050, 1360.3640 , 2200	~ 10,0	~ 1,0	24,2	112,0	сталь, Cu, Ta, Al, Fe	низко-сфер. сегмент	[2]
3	40	0,01-0,03	RDX 8100	1800	20-30	~ 1,0	32,4... 48,6	150... 156	Cu	-"	[3]
4	50	0,314-0,4	ТГ-50 8000 - 8050	1750-1780	43	~ 1,0	69,7	95,5 102,5	Cu	-"	[4]
5*	90	1,489	RDX 8000	6000	20-40	0,12 8- 0,25 6	360	318	сталь	сфера-цилиндр, (СЦ)	[5]
6*	-"	-"	-"	6000-6500	10-15	0,06 4- 0,09 6	210... 270	185... 238	-"	полуэллипсоид вращения – цилиндр	[5]
7*	-"	-"	-"	6000-8500	10-20	0,07-0,13	360	318	-"	усеч. сфера-цилиндр	[5]
8* 9*	-"	-"	-"	7600 10000	15-16	0,09 6 0,10	433... 462	382... 407	-" -"	СЦ СЦ-1	[5]
10	26	0,01	RDX 8100	7000- 74000860 0-9800 6400- 6600		0,1 ... 0,2	27,6..29,9	127,8 238,4	Cu, Al, W- Cu-Pb	конус	[6]
11	10	0,0005-0,03	KClO ₄ +Mg 2100	3660		≈0,5	6,7-10,2	23,8... 32,4	Al	полу-сфера	[7]

* Расчет. Остальное – экспериментальные данные

2. Для решения некоторых прикладных задач более предпочтительными являются такие формы КО, которые образуют высокоскоростные КЭ вместо низкоскоростных УЯ, поскольку высокоскоростной режим проникания позволяет реализовать эффект выделения дополнительной энергии в преграде.

Список литературных источников

1. Физика взрыва/ Под ред. Л.П. Орленко. – в 2 т. Т. 2 - М.: Физматлит, 2004. - 956 с.
2. Hyssain G., Sanaulbah K. The simulation studies of explosively formed projectiles // J. eng. & appl. Sci. - Vol. 28. - #2. – 2009. – P. 11-21.
3. Математическое моделирование формирования компактных ударников из низкосферических облицовок/ Колпаков В.М., Савенков Г.Г., Рудометкин К.А., Григорьев А.Ю. // Журнал технической физики. – 2016. – Т. 86, вып.8, - С. 21-25.
4. Тимошенко А.Б., Чепков И.Б. Моделирование функционирования боевых частей, содержащих снарядоформирующиеся элементы // Військово-технічний збірник. - 2011. - №2 (5). – С. 73-81.
5. Федоров С.В., Баянова Я.М., Ладов С.В., Численный анализ влияния геометрических параметров комбинированной кумулятивной облицовки на массу и скорость формируемых взрывом компактных элементов//Физика горения и взрыва. - 2015. – т. 51, №1. – С. 151-164.
6. Войтенко Ю.И., Бугаец В.П. О влиянии алюминия на ударные свойства композитных кумулятивных струй // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». – 2016. - Вип.30. – С. 36-48.
7. Гонтар П.А., Терентьев О.М., Шукюров А. Энергетичні параметри кумулятивного вибухового ядра під час вибухо-механічного буріння // Науковий вісник КПІ. – 2016. - №5. – С.17-23.
8. Voitenko, Y., Zakusylo R., Zaychenko S. Influence of the Striker Material on the Results of High-Speed Impact at a Barrier // Central European Journal of Energetic Materials. – 2021. – V. 18(3). – P. 405-423.

В ОГНЕЗАХИСТ ЛЕГКО ЗВЕДЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ТЕКСТИЛЬНИХ ЗАЙМИСТИХ ВИРОБІВ

М.С. Мошковський¹, Ю.О.Сарапін², Ю. В. Цапко³, О. Ю. Цапко⁴

¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України
cndi_ovt@mil.gov.ua

²Центральне управління безпеки військової служби Збройних Сил України

³Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д.Глуховського
Київський національний університет будівництва і архітектури
juriyts@ukr.net

⁴Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс"
alekseysapko@gmail.com

Текстильні вироби з природних волокон все частіше використовуються в різних типах будівельних конструкцій, як у постійних, так і зокрема в тимчасових спорудах. Під час проживання і опалювання таких споруд можливе займання та швидке поширення пожежі, оскільки, тканина утворює значне пожежне навантаження. З огляду на той факт, що саме цей матеріал чутливий до впливу високої температури, підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з текстильних матеріалів, можливо за допомогою їх вогнезахисного оброблення.

Для комплексного захисту текстильних матеріалів від загоряння запропоновано використовувати суміші водорозчинних неорганічних солей, але вогнезахисне оброблення цими речовинами для текстильних матеріалів не придатне, тому що на поверхні спостерігається утворення висолів, які осипаються, а з часом матеріал втрачає захисні властивості, що приводить до займання горючих конструкцій при дії високотемпературного полум'я.

Необхідність вогнезахисту актуальна для об'єктів масового перебування людей, які виготовлені з горючих текстильних матеріалів. Нижче наведені приклади пожеж характерних для наметових містечок у Збройних Силах України.

Зокрема, 23 лютого 2017р. на Прикарпатті (Івано-Франківська обл., м. Коломия) сильна пожежа виникла в наметовому містечку 10-ї окремої гірсько-штурмової бригади на території військової частини (рис.1).

Однією з причин швидкого розвитку пожежі була відсутність протипожежного захисту подібних виробів з текстильних матеріалів.

В результаті загорання знищені 15 50-містних великих польових наметів, де бійці проживали поки йшов ремонт стаціонарних казарм. з причини прилягання до димової труби клапана отвору для її встановлення. Під час гасіння пожежі 2 військовослужбовця отримали травми. Пожежею знищено 15 наметів УСБ-56, майно служб РАО, КЕС, зв'язку, а також речової та медичної служб.

Збитки від пожежі становлять 8 млн. 113 тис. 679 грн. Швидкому поширенню вогню сприяв сильний вітер.

Незначні травми (легкі опіки рук) при рятуванні майна отримали п'ять військовослужбовців, які забирали особисті речі і частину майна та техніку.



Рис. 1 Наслідки пожежі 23 лютого 2017 р о 04.58 в Прикарпатті (Івано-Франківська обл. м. Коломия) у військовому містечку на території в/ч 3950 10-ї окремої гірсько-штурмової бригади

Статистика пожеж у Збройних Силах України свідчить про те, що не припиняються пожежі з причини порушення правил обладнання й експлуатації печей. З цієї причини у 2017 року сталося 15 % пожеж.

Так, 26 січня сталася пожежа в наметі для розміщення особового складу в/ч А4279 (СВ ЗС України). В наслідок пожежі отримав опіки 1 військовослужбовець. Збитки від пожежі становлять 10 тис. 769 грн.

18 лютого з причини застосування легкозаймистих речовин під час розпалювання печі сталася пожежа в наметі УСБ-56 для розміщення особового складу на території наметового містечка в/ч А4590 (СВ ЗС України). На пожежі загинули 2 військовослужбовця та 1 військовослужбовець отримав опіки. Пожежею знищено намет УСБ-56 та інше майно речової та квартирно-експлуатаційної служб. Збитки від пожежі становлять 338 тис. 777 грн.

З причини необережного поводження з вогнем сталося 12 % пожеж.

Так, 08 березня 2017 р. з цієї причини сталася пожежа у наметі УСТ-56 медичного пункту, розташованого на території наметового містечка “Вольдорф” Міжнародного центру миротворчості та безпеки (СВ ЗС України). У наметі розміщувалися військовослужбовці військової частини А4520, які були направлені до наметового містечка для проведення санітарної обробки. На пожежі травмовано 2 військовослужбовці військової частини А4520. Пожежею знищено намет медичного пункту УСТ-56. Збитки від пожежі становлять 66 тис. 142 грн.

Вивчення обставин загибелі людей на пожежах свідчить, що більшість з них загинула під час пожеж у житлових будинках, розташованих у військових містечках. Прогнозування основних причин виникнення пожеж свідчить про те, що головними з них залишається: необережне поводження з вогнем, порушення правил монтажу та експлуатації електрообладнання та електро побутових приладів. Основним об'єктом виникнення пожеж залишиться житловий сектор.

Крім того, через проведення бойових дій в зоні конфлікту на сході України, з'явилася нова категорія характерних пожеж у наметових містечках, пов'язаних із застосуванням пічного опалення у зимовий період та пожежі викликані застосуванням різних запальновальних сумішей з використанням ударних БПЛА (таблиця 1).

Таблиця 1 - Приклади пожеж в брезентових наметах для розміщення військовослужбовців у Збройних Силах України в 2019-2020 рр.

№ з/п	Подія	Дата, час	Ймовірна причина	Наслідки
1	пожежа у наметі військової частини А2802	19.01.2019, 09 год. 45 хв.	порушення правил обладнання й експлуатації печей	знищено 2 намети УСТ-56, особисті речі військовослужбовців
2	пожежа у наметі військової частини А1872	24.03.2019, 01 год. 43 хв.	порушення правил обладнання та експлуатації печей	знищено намет УСТ-56, особисті речі військовослужбовців
3	пожежа у наметі військової частини А1516	27.11.2019, 00 год. 22 хв.	порушення правил обладнання та експлуатації печей	знищено намет УСТ-56, особисті речі військовослужбовців
4	пожежа у наметі військової частини А0139	28.02.2020, 01 год. 45 хв.	порушення правил обладнання та експлуатації печей	отримали опіки 3 військовослужбовця, знищений намет УСБ-56, майно речової служби та служби зв'язку. Збитки від пожежі становлять 106 тис. 43 грн.
5	пожежа у наметі військової частини А3546	08.03.2020, 12 год. 30 хв.	порушення правил обладнання та експлуатації печей	знищено намет ПМХ, 2 намети УСБ-56, 3 намети УСТ-56, майно продовольчої служби. Збитки від пожежі становлять 90 тис. 872 грн.
6	пожежа у наметі військової частини А0998	04.04.2020, 00 год. 30 хв.	порушення правил обладнання та експлуатації печей	отримали опіки різного ступеню важкості 2 військовослужбовця, знищений намет УСБ-56, майно речової служби та служби зв'язку. Збитки від пожежі становлять 30 тис. 97 грн.

Значна кількість пожеж та загорянь на об'єктах Збройних Сил України виникає у нічний час, що свідчить про недостатній контроль за особовим складом

з боку посадових осіб військових частин та низьку організацію служби добовим нарядом.

Статистика пожеж у Збройних Силах України свідчить про необхідність формування ефективної системи забезпечення живучості та вибухопожежобезпеки військових об'єктів, особливо місць зберігання запасів боєприпасів, приведення її до стану, спроможного забезпечити надійний захист особового складу та об'єктів Збройних Сил України від пожеж і вибухів [7].

Велике значення для покращення стану техногенної безпеки, живучості, вибухопожежобезпеки, запобігання та своєчасного і ефективного реагування на такого роду події, має проведення спеціальних заходів по охороні і захисту військових об'єктів в зоні ООС, а на іншій території обладнання спеціальними системами технічних засобів охорони, оборони, захисту, пожежної сигналізації, системами раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення про них людей, а також проведення заходів профілактичного спрямування, насамперед вогнезахисна обробка целюлозних горючих матеріалів [8].

Тому дослідження, що направлені на визначення закономірностей шляхів вогнезахисту брезентових тканин, що використовуються для виготовлення військових наметів є актуальним. Одним з таких перспективних напрямів є вивчення утворення шару пінококсу при вогнезахисті тканини композицією на основі модифікованих фосфорно-амонійних солей.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Робота [1] зосереджена на поведінці текстильних мембран на реакцію вогню. Класифікаційні випробування проводились із типовими текстильними виробами. Асортимент продукції був випробуваний двома різними тестами малого полум'я, на які чинні шведські класифікаційні тести. Деякі продукти були випробувані згідно з EN 13823 що являє середній метод випробування для визначення швидкості виділення тепла, утворення диму та розповсюдження полум'я. Крім того, були проведені широкомасштабні випробування, щоб отримати інформацію про поведінку вогню в реальному застосуванні та використовуватись як еталон при оцінці інформації, отриманої в результаті класифікаційних випробувань. Були розроблені різні сценарії тестування, які моделювали поведінку зразків в будівлях та захисту від кліматичних впливів. Масштабні випробування показали важливість вимірювання димоутворення та виникнення цюлум'яних крапель у класифікаційній схемі. Але не наведені відповідні фізико-хімічні дані щодо зміни тканини в процесі експлуатації.

У статті [2] розглядається використання водно-спиртового розчину тетраетоксисилану, водного розчину силікату натрію, фосфоровмісних антипіренів для надання вогнезахисних властивостей целюлозним текстильним матеріалам. Досліджуються швидкість тепловиділення, час та пікова швидкість тепловиділення, які є найважливішими факторами при прогнозуванні швидкості зростання пожежі. Однак не вказано, як витримують дані композиції зміну температурно-вологісних впливів.

В роботі [3] показано, що смоли на основі меламіну, широко використовуються в тканинах для надання вогне- і теплостійкості. Змодельовані експерименти з пранням зразків припускають, що за один цикл прання водою 76–90% меламіну було видалено з одягу. А тому постає задача стабілізувати і зафіксувати антипірен у матеріалі.

Розкладання вогнестійких матеріалів через підвищену температуру або контакт з полум'ям призводить до виділення ряду хімічних продуктів, деякі з яких можуть бути досить токсичними для людини [4]. У минулому проводились невеликі або стендові випробування продуктів розкладання, але завжди виникали питання щодо того, чи були вони репрезентативними для повномасштабних результатів випробувань на горіння. Щоб визначити, чи достатньо для вимірювання продуктів розпаду та чи будуть різні вогнестійкі матеріали утворювати “класичний фірмовий” набір сполук, було проведено повномасштабне тестування. Однак механізм спучення покриття при цьому не вказаний та не виявлені умови експлуатації покриття.

Досліджено вплив ступеня однорідності золю SiO_2 на тривалість періоду індукції та якість вогнестійких покриттів на текстильних матеріалах [5]. Перспективи використання ІЧ-спектроскопії як експрес-методу для вивчення фазового складу гелевого покриття, ступеня завершення гідролізу кремнійорганічного компонента та коригування параметрів для отримання високоякісного вогнестійкого бінарного покриття золі показана на прикладі системи антипірену SiO_2 . Однак не наведені сфери застосування цих виробів.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що вогнезахисні покриття здатні захищати поверхню текстильного матеріалу від впливу вогню при експлуатації, але не визначені параметри, які забезпечують стійкість до втрати вогнезахисних властивостей. Недостатньо розроблено математичних моделей для пояснення і опису процесу вогнезахисту тканин, недостатньо широке застосування органічних речовин для утворення еластичних покриттів, призводить до загорання конструкцій з деревини а також текстильних матеріалів під дією полум'я [6-7]. Тому встановлення параметрів захисту текстильних матеріалів і впливу покриттів на цей процес, обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Мета досліджень

Метою роботи є визначення вогнезахисної ефективності зразків елементів намету, виготовлених з парусинової (брезентової) тканини. Це дає можливість обґрунтувати застосування вогнезахисного покриття на неорганічній основі з додаванням полімерного в'язучого на об'єктах з застосуванням текстильних матеріалів.

Об'єкт випробувань: модельні зразки елементів намету, виготовлених з парусинової (брезентової) тканини (рис. 2, 3), які було оброблено вогнезахисними засобами:– необроблений контрольний (експериментальний зразок 2а);

– оброблений зразок вогнезахисним покриттям на неорганічній основі з додаванням полімерного в'язучого (експериментальний зразок 2б). В якості пального для випробувань використовувалась рідка запалювальна суміш (бензин).

Методика визначення показників вогнезахисту елемента намету

Визначення вогнезахисної ефективності проводили за тимчасовою робочою методикою.

Метод експериментального визначення ефективності вогнезахисту елементів намету, виготовлених з парусинової тканини, які було оброблено вогнезахисними засобами полягає у впливі на зразок полум'я бензину (модельна запалювальна речовина) з заданими параметрами та реєструванні часу до займання і визначення втрати маси зразка після випробування.

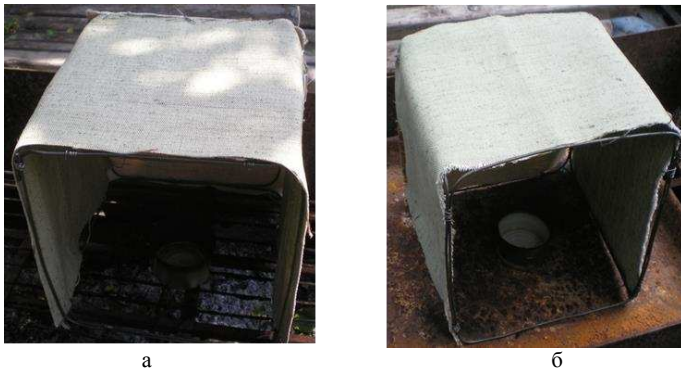


Рис. 2. Модельні зразки елементів намету, виготовлених з парусинової тканини:
а – необроблений контрольний; б – зразок який було оброблено вогнезахисним засобом на неорганічній основі з додаванням полімерного в'язучого.

Зразок намету, що виготовлений з парусинової тканини встановлювали на підставку. Під зразок елемента намету встановлювали ємність діаметром 40 мм і висотою 30 мм, в якій поміщали запалювальну суміш у кількості 30 г (Рис. 3).

Підпалювали пальне і зразок намету витримували у полум'ї пального протягом часу вигорання та до відсутності самостійного горіння і тління.

Критерієм визначення ефективності вогнезахисту зразка намету є відсутність займання та поширення полум'я поверхнею, значення показника втрати маси зразка намету, яка повинна становити не більше 10%.



Рис. 3. Модельний осередок пожежі

Результати дослідження процесу вогнезахисту елементів намету

На рис. 4 показано результати вогневих випробувань вихідного необробленого зразка елементів намету, виготовлених з парусинової тканини, на

рис. 5, 6 – зразка елементів намету, виготовлених з парусинової тканини, обробленого неорганічним засобом з додаванням полімерного в'язучого.



Рис. 4. Результати вогневих випробувань необробленого модельного зразка елементів намету, виготовлених з парусинової тканини: а – запалювання модельного вогнища; б – початок розкладу тканини; в – займання тканини;

г – горіння тканини; д – вогнище після горіння; е – повністю згорілі залишки тканини у вигляді попелу.



Рис. 5. Результати вогневих випробувань вогнезахисного модельного зразка елементів намету, виготовлених з парусинової тканини: а – запалювання модельного вогнища; б – початок розкладу покриття; в – руйнування конструкції; г – вогнище після горіння

В таблиці 2 приведено результати втрати маси та час горіння модельного вогнища.

Таблиця 2 - Результати вогневих випробувань модельного зразка елементів намету, виготовлених з парусинової тканини

Модельний зразок намету виготовленого з парусинової тканини	Маса зразка, кг		Час горіння зразка, с	Втрата маси зразка після випробувань $\Delta m, \%$	Спучення, мм
	до випробувань	після випробувань			
необроблений	0,2140	0,002	114	100	-
Оброблений засобом на неорганічній основі з додаванням полімерного в'язучого	0,374	0,345	576 (час повного вигорання пального)	7,75	3...5



Рис. 6. Результати вогневих випробувань вогнезахисного модельного зразка елементів намету, виготовлених з парусинової тканини: утворення захисного шару коксу при дії полум'я пожежі

В результаті проведених вогневих випробувань встановлено:

– при дії полум'я на необроблені модельні зразки елементів намету, виготовлених з парусинової тканини призводить до займання на 40÷45 с та поширення полум'я поверхнею, що призводить до його швидкого і повного згорання протягом 105÷120 с з повною втратою механічної цілісності зразка тканини;

– модельний зразок елементів намету, виготовлених з парусинової тканини, обробленого неорганічним засобом з додаванням полімерного в'язучого, при запалюванні речовиною на основі бензину, не загорівся, поширення полум'я не відбулося. При цьому зафіксовано остаточне горіння протягом всього 3 с, а також спучення захисного покриття, що сягало 3...5 мм товщиною та відбулося обуглення поверхні тканини на площі близько 80 % з внутрішньої сторони, без значної втрати її механічної цілісності.

Висновки

1. Проведено натурні вогневі випробування елемента намету та встановлено повне згорання необробленого зразка тканини за короткий проміжок часу від 40 до 120 сек., що фактично унеможливило безпечну евакуацію особового складу без ризику загинути чи травмуватися, особливо в нічний час під час сну.

2. Натомість для вогнезахищеного зразка встановлено відсутність загорання та стійкого поширення полум'я протягом всього процесу підпалювання (10 хвилин), що дозволить здійснити своєчасну евакуацію особового складу та здійснювати ефективні заходи щодо пожежогасіння та локалізації пожежі.

3. Показано особливості гальмування процесу передавання тепла до матеріалу, що оброблений композицією на основі модифікованих фосфорно-амонійних з'єднань, які полягають в утворенні на поверхні тканини теплозахисного шару спіненого коксу товщиною 3-5 мм.

Список літературних джерел

1. Blomqvist, P., Bergstrand, A., Neumann, N., Thureson, P., Bengtsson, S. [Text]. Fire safety of textile membranes in temporary structures. Fire and Materials. 14th International Conference and Exhibition, Proceedings. 2015. 554-567.

2. Takey, Y., Taussarova, B.R., Burkytbay, A. [Text]. Investigation of heat processed cellulose textile materials of sol-gel composition. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. (6). 236-240.

3. Zhu, H., Kannan, K. [Text]. Determination of melamine and its derivatives in textiles and infant clothing purchased in the United States. Science of the Total Environment. 2020. 710. 136396.

4. Ackerman, M., Batcheller, J., Paskaluk, S. [Text]. Off gas measurements from FR materials exposed to a flash fire. AATCC Journal of Research. 2015. 2(2). 1-12.

5. Skorodumova, O., Tarakhno, O., Chebotaryova, O., Hapon, Y., Emen, F.M. [Text]. Formation of fire retardant properties in elastic silica coatings for textile materials. Materials Science Forum. 2020. 1006 MSF. 25-31.

6. Цапко Ю.В., Цапко О.Ю. Встановлення ефективності вогнезахисту деревини органо-неорганічною композицією. Науковий Вісник НЛТУ України, 2018, т.28., №5, с.88-92.

7. Браун М.П. Пожарная профилактика. - М., Воениздат, 1960, -704 с.

8. Мошковський М.С., Беспалов А.В., Климчук В.І. Обґрунтування рекомендацій щодо підвищення пожежної безпеки у Збройних Силах як складової частини воєнної безпеки України // 36. наук. праць. Національний науково-дослідний центр оборонних технологій і воєнної безпеки України. – 2004. – Вип. 3(23). – С. 141-149.

9. Мошковський Н.С., Анпёнов В.В., Мончаковский В.Л., Подольский В.И., Зеленов Н.Б. Приоритетные направления повышения эффективности функционирования системы пожарной безопасности на взрывоопасных военных объектах Вооруженных Сил Украины // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – К., 2008. – Вип. 2(23). –С. 48-52.

ЗМІНИ ІЧ СПЕКТРУ КРОХМАЛЮ ПРИ ЙОГО НІТРУВАННІ АЗОТНОЮ КИСЛОТОЮ

С.Д. Тищенко¹, В.К. Лукашов²

¹Сумський державний університет

²Шосткинський інститут Сумського Державного університету

khmts@ishostka.sumdu.edu.ua

Крохмаль – один з найбільш розповсюджених полісахаридів, хімічний склад якого аналогічний целюлозі, та має такі переваги порівняно з іншими природними полімерами:

- широка сировинна база наявна в багатьох країнах.
- відносна простота хімічної модифікації для надання йому корисних у практиці властивостей.
- швидка (щорічна) відновлюваність сировини для його одержання.
- менша порівняно з целюлозою вартість.

Реакція крохмалю з азотною кислотою призводить до утворення нітрату крохмалю. Останній використовується в якості вибухової речовини або для виготовлення бездимних порохів та інших полімерних матеріалів, в яких може слугувати заміником нітрату целюлози [1].

На практиці для нітрування крохмалю використовують нітрувальну суміш, яка складається з азотної та сірчаної кислот [2-3]. Однак така технологія призводить до утворення сірчаноокислих ефірів в одержуваному нітраті крохмалю, які знижують його хімічну стійкість. Ця проблема може бути вирішена при використанні в якості нітрувального середовища однієї азотної кислоти. Для створення такої технології необхідно знати закономірності нітрування крохмалю тільки азотною кислотою. В той же час інформація про зміну хімічного складу крохмалю, що нітрується, відсутня. Таку зміну можливо визначити за допомогою ІЧ спектроскопії.

Метою цього дослідження є встановлення характеру змін ІЧ спектру крохмалю, який нітрується азотною кислотою та зв'язку цих змін з хімічним складом молекул одержуваного нітрату крохмалю.

Експериментальна частина

В цьому дослідженні використовували крохмаль картопляний ТОВ «Олімп» (м. Харків). Перед нітруванням для видалення пектинових та жирових включень крохмаль промивали спочатку 0.25 % содовим розчином, потім двічі дистильованою водою кімнатної температури. Промитий крохмаль сушили до постійної маси при температурі <60°C.

Зразки нітрату крохмалю одержували шляхом обробки підготовленого крохмалю нітрувальною сумішшю азотної кислоти з водою вибраної концентрації, яка забезпечувала заданий ступінь заміщення (вміст азоту). Наважку кислоти поміщали в трьохгорлу круглодонну колбу, встановлювали термометр з притертою пробкою, термостатували до вибраної температури та завантажували наважку крохмалю, встановлювали мішалку й нітрували протягом певного часу при періодичному перемішуванні та постійному контролі температури. Після закінчення процесу нітрування продукт відділяли від нітрувальної суміші шляхом висадження його у великий об'єм води кімнатної температури. Осад нітрату крохмалю, що утворився, промивали спочатку гарячою (90-95 °С) водою потім дистильованою водою кімнатної температури,

фільтрували та сушили до постійної маси при температурі 55°C в сушильній шафі з відчищеною дверцею. Висушений нітрат крохмалю аналізували на вміст азоту феросульфатним методом [4].

ІЧ спектри вихідного крохмалю та одержаного після нітрування нітрату крохмалю реєстрували на Фур'є спектрометрі моделі Cary 630 FTIR Agilent з приставкою порушеного повного внутрішнього відбиття (ППВВ) в спектральному діапазоні 4000-700 cm^{-1} з роздільною здатністю 8 cm^{-1} . Підготовка зразків для аналізу полягала в їх подрібненні та подальшому висушуванні до постійної маси. Підготовлені зразки поміщали на кристал приставки ППВВ за допомогою мікрошпателью, та прижимали їх головкою преси після чого розпочинали аналіз. Тривалість запису одного спектру складає приблизно 1 хвилину.

Обговорення результатів

ІЧ спектри вихідного крохмалю та нітратів крохмалю представлені на рисунках 1-3.

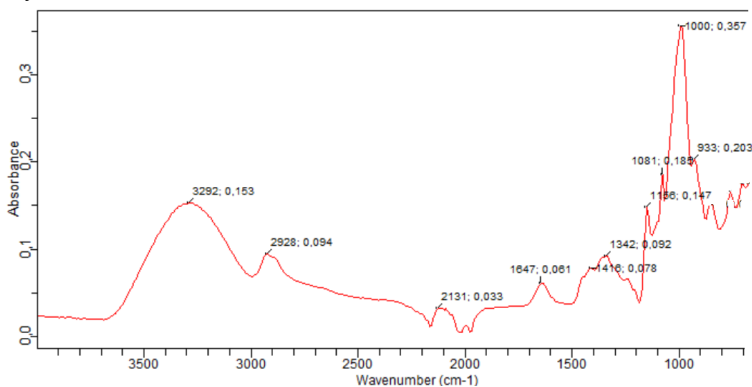


Рисунок 1. ІЧ спектр вихідного крохмалю.

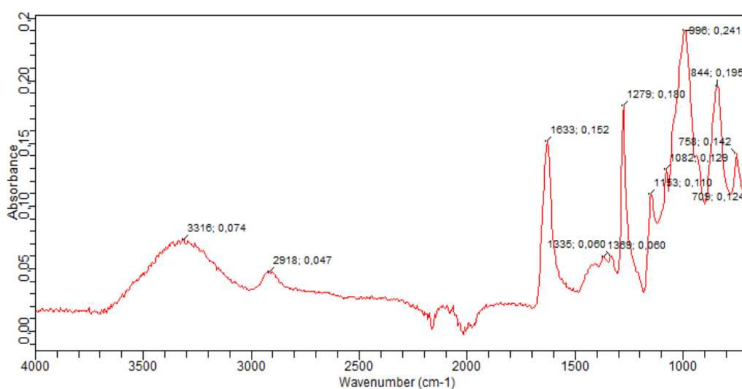


Рисунок 2. ІЧ спектр низькоазотного нітрату крохмалю (N=5.78%).

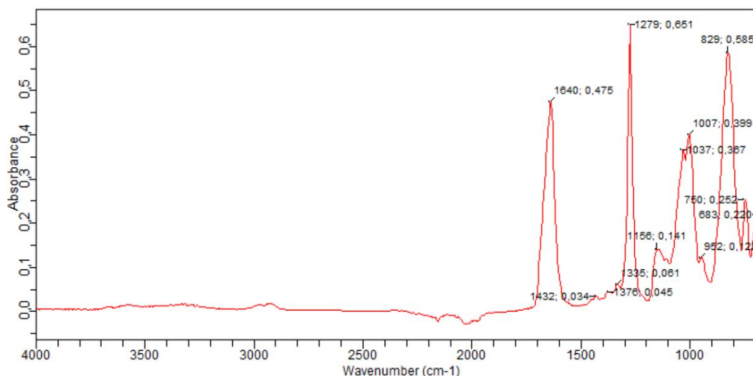


Рисунок 3. ІЧ спектр високоазотного нітрату крохмалю (N=12.98%).

В ІЧ спектрі вихідного крохмалю (рис. 1) були визначені смуги поглинання коливання груп атомів, які характерні для хімічного складу молекул крохмалю: валентні коливання воднево зв'язаних гідроксильних груп у діапазоні частот 3650-3000 cm^{-1} , валентні коливання груп С-Н, що мають максимум інтенсивності з частотою 2928 cm^{-1} , деформаційні коливання груп О-Н в адсорбованих молекулах води у діапазоні частот 1700-1500 cm^{-1} , деформаційні коливання С-О-Н, CH_2 , С-Н, С-О-О у діапазоні 1500-1300 cm^{-1} [5-7].

В ІЧ спектрі низькоазотного нітрату крохмалю, одержаного при нітруванні 70% водним розчином азотної кислоти (рис. 2) порівняно з вихідним крохмалем смуга поглинання у діапазоні частот 3650-3000 cm^{-1} стає менш інтенсивною, але не зникає, що свідчить про низький ступінь заміщення гідроксильних груп. У результаті заміщення гідроксильних груп, з'являються смуги поглинання з максимумом інтенсивності з частотою 1633 cm^{-1} , що аналогічно нітрату целюлози, відповідає валентним коливанням нітрогруп [8]. Смуга поглинання з максимумом інтенсивності з частотою 1279 cm^{-1} , яку можна пов'язати з валентним симетричним коливанням нітратних груп. Спектр нітрату крохмалю також характеризується інтенсивною смугою поглинання з максимумом інтенсивності з частотою 844 cm^{-1} , та смугами середньої інтенсивності з частотами 758 cm^{-1} , 709 cm^{-1} , які відповідають поза площинним та площинним маятниковим коливанням нітратних груп [9].

В ІЧ спектрі високоазотного нітрату крохмалю, що було одержано нітруванням 98% водним розчином азотної кислоти (рис. 3), повністю зникає смуга у високочастотній області спектру в діапазоні частот 3650-3000 cm^{-1} , яка характерна для гідроксильних груп. Смуги поглинання у низькочастотній області спектру високоазотного нітрату крохмалю, які характеризують нітратні групи, є біль інтенсивними ніж у низькоазотного нітрату крохмалю, що вказує на високий ступінь заміщення високоазотного нітрату крохмалю. Всі вони за виключенням смуги з частотою 1279 cm^{-1} дещо зміщені відносно смуг низькоазотного нітрату крохмалю (мають максимуми інтенсивності з частотами 1640 cm^{-1} , 829 cm^{-1} , 750 та 683 cm^{-1}). Це може бути пов'язано із високим вмістом води в азотній кислоті та протіканням побічних реакцій під час одержання низькоазотного нітрату крохмалю.

Висновки

В роботі були одержані та проаналізовані ІЧ спектри вихідного крохмалю й нітрату крохмалю з різним вмістом азоту (ступенем заміщення), одержаного при нітруванні крохмалю азотною кислотою. Встановлено, що інтенсивність смуги поглинання, яка характерна для вихідного крохмалю та відповідає валентним коливанням гідроксильних груп у високочастотній області спектру нітрату крохмалю зменшується та з'являється ряд нових смуг поглинання в низькочастотній області, які відповідають коливанням нітратних груп. Зі збільшенням ступеню заміщення одержуваного нітрату крохмалю інтенсивність смуг поглинання нітратних груп зростає, а смуга поглинання коливання гідроксильних груп майже повністю зникає. Низка смуг поглинання нітратних груп цього нітрату крохмалю дещо зміщені за частотою відносно аналогічних смуг низькоазотного нітрату крохмалю.

Список літературних джерел

1. Liu J. Nitrate Esters Chemistry and Technology / Jiping Liu. – Beijing, China: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2019. – 684 с.
2. Israelashvili S. Mechanism of the Nitration of Starch / S. Israelashvili // *Nature*. 1950. – № 165. – р. 686.
3. Urbanski T. Some remarks of the theory of nitration / T. Urbanski, J. Hackel. // *Tetrahedron*. – 1958. – №2. – С. 300–303.
4. Тищенко С.Д., Лукашов В.К. Розробка методики визначення вмісту азоту в нітраті крохмалю / *Матеріали III Всеукраїнської науково – методичної конференції (м. Шостка 19 квітня 2018 р.)*. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – С. 29-30.
5. Synthesis and characterization of cationized starches for application in flocculation, finishing and sizing / A.Hebeish, A. A. Aly, A. El-Shafei, S. Zaghoul. // *Egyptian Journal of Chemistry*. – 2009. – №52. – С. 73–89.
6. Structure and Functional Properties of Arenga Starch by Acetylation with Different Concentrations of Acetic Anhydride / [A. Rahim, G. S. Hutomo, N. Rahman та ін.]. // *Asian Journal of Scientific Research*. – 2019. – №12. – С. 220–228.
7. Kohli D. Synthesis of cross-linked starch based polymers for sorption of organic pollutants from aqueous solutions / D. Kohli, S. Garg, A. K. Jana. // *Indian Chemical Engineer*. – 2012. – №54(3). – С. 210–222.
8. Денисова М.Н., Онищенко А.Г., Будаєва В.В. Исследование структур мискантуса, гидротропной целлюлозы и нитратов, полученных из нее // *Химия растительного сырья*. – 2012. – №4. – С. 19-27.
9. Получение и стабилизация нитратов целлюлозы из плодовых оболочек овса / А. А. Якушева, В. В. Будаева, Н. В. Бычин, Г. В. Сакович. // *Ползуновский вестник*. – 2013. – С. 211–215.

ОЦІНКА ОБОРОННО-ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ, ЯК ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОЄННОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ У ВОЄННО- ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СФЕРІ

І.Б. Чепков¹, О.В. Докучасв²

¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки

Збройних Сил України

²Управління СБ України в Луганській та Донецькій областях

csndi_ovt@mil.gov.ua

Оборонно-промисловий комплекс (ОПК) як сектор економіки, призначений для розроблення і виробництва продукції військового призначення, фактично є фундаментом воєнної безпеки та обороноздатності країни. Підтримання високого рівня його розвитку є одним із пріоритетних воєнно-економічних завдань політики національної та воєнної безпеки держави. Незважаючи на широке використання в законодавчих та нормативно-правових актах терміну "оборонно-промисловий комплекс" (наприклад, закон України від 16 червня 2011 р. №3531 - VI "Про особливості управління об'єктами державної власності в оборонно-промисловому комплексі" та інш.), сам термін до цього часу не має законодавчого визначення. На нормативно-правовому рівні його визначення надано лише у 2015 р. у Воєнній доктрині України, затвердженій Указом Президента України від 24 вересня 2015 р. № 55/2015 (далі - Воєнна доктрина-2015): *оборонно-промисловий комплекс* - сукупність підприємств, установ і організацій промисловості та науки, що розробляють, виробляють, модернізують і утилізують продукцію військового призначення, виконують послуги в інтересах оборони для оснащення та матеріального забезпечення сил безпеки і оборони, а також здійснюють постачання товарів військового призначення та подвійного використання, надання послуг військового призначення під час виконання заходів військово-технічного співробітництва України з іноземними державами. Функціонально ОПК складається з двох частин: науково-технічної (науково-дослідної) та виробничої. До виробничої відносяться промислові підприємства, що займаються виробництвом продукції військового призначення. До науково-технічної - науково-дослідні інститути, конструкторські бюро та експериментально-випробувальні центри (бази). Сучасний оборонно-промисловий комплекс України створений на основі підприємств ОПК колишнього Радянського Союзу, що були розташовані на території України. В Україні вироблялося лише 3% необхідних для ЗС кінцевих зразків озброєння та військової техніки, в той час як загальний обсяг продукції військового призначення (ПВП) становив 20% сумарного обсягу військового виробництва колишнього СРСР. Але обсяг випуску ОВТ на 80% залежав від зовнішніх поставок комплектуючих елементів з інших республік колишнього Радянського Союзу. Тобто кількість замкнених циклів виробництва складних систем зброї в Україні була дуже невелика. Розпад СРСР, що супроводжувався руйнуванням єдиного господарського механізму і технологічних ланцюжків, спадом економічного виробництва, а також природним відходом на другий план питань обороноздатності держави в 90-ті р. XX ст. привели до ослаблення воєнно-економічного потенціалу України. Прагнення України з неформованим ринковим господарським комплексом інтегруватися до європейського і світового економічного простору не знайшло підтримки з боку західних країн і також негативно відбилося на воєнно-економічному потенціалі країни. Спад економічного виробництва, розрив коопераційних технологічних

зв'язків призвели до скорочення поставок на зовнішній ринок технологічної продукції. Це серйозним образом вплинуло на розвиток оборонно-промислового комплексу України, привело до втрати багатьох закордонних ринків. Цьому сприяла також нескоординована політика виходу на світовий ринок озброєння країн СНД із надлишками ОВТ радянського виробництва, які виявилися в їхньому розпорядженні. Все це привело до скорочення отримання ресурсів з-за кордону, а з іншого боку, - до скорочення як обсягів, так і самих цих виробництв у країні. На цей час у загальному обсязі експорту України сировинних ресурсів і продукції з різним ступенем переробки, частка високотехнологічної продукції становить менше 3%. При цьому половина з цих 3% - експорт озброєння і комплектуючих до систем військового і подвійного призначення. Отже, експорт продукції оборонної промисловості певною мірою забезпечує присутність України на високотехнологічних ринках. Це вже не кажучи про забезпечення безпеки держави. В українському машинобудуванні, як і в інших галузях промисловості, зношування виробничих фондів становить на більшості підприємств 60 - 80 % [4]. Моральне старіння обладнання досягає 50 років і більше. Так, на заводі ім. Малишева в 2013 р. визнали, що доведеться списати 11,5 тис. з 16,5 тис. наявних верстатів, оскільки вони вже ні до чого не придатні. На сьогодні перед ОПК держави стоїть багато проблем. Економічний стан підприємств характеризується незбалансованістю структури оборонних виробництв, високим рівнем зношеності основних фондів, низькою рентабельністю роботи більшості підприємств, низьким рівнем завантаження виробничих потужностей. Коефіцієнт оновлення основних виробничих фондів дуже низький, становить не більше 2,5% на рік [4], а це визначає наростаюче технологічне відставання вітчизняної економіки. Причинами такого становища стали: різке скорочення оборонного бюджету та падіння обсягів виробництва продукції військового призначення, дезінтеграція технологічно пов'язаних виробництв та конструкторських і науково-дослідних організацій, погіршення якісного складу наукових і виробничих кадрів, відсутність у підприємств мотивації до виробництва високотехнологічної продукції тощо. В даний час Україна має розгалужений, нерівномірно розвинений, недостатньо скоординований ОПК. Значна кількість виробництв потребує масштабної реконструкції і технічного переоснащення. Більшість підприємств ОПК все ще знаходяться у власності держави: в організаційній структурі ОПК України превалюють державні та казенні підприємства. Належність більшості підприємств ОПК до власності держави, з одного боку, визначає його особливий статус і теоретично можливість преференцій, а, з іншого, перешкоджає інтеграції провідних підприємств комплексу до міжнародних науково-промислових об'єднань, розвитку проєктного міжнародного співробітництва, вкладанню інвестицій. Фактично сучасний вітчизняний ОПК є сукупністю сегментів з підприємств, які належать до сфери управління різних центральних органів виконавчої влади. До його складу входять і державні посередники, яким надані повноваження для здійснення експорту товарів військового призначення, а також приватні підприємства. Відповідно до Указу Президента України від 09.12.2010 № 1085 «Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади» були реорганізовані центральні органи виконавчої влади, у тому числі ті, що забезпечували вироблення та реалізацію державної політики у оборонно-промисловому комплексі, переглянуто їх функції. У системі центральних органів виконавчої влади Указом Президента України від 31.05.2011 № 634

Мінекономрозвитку України було визначено головним органом з формування та забезпечення реалізації промислової політики та розвитку військово-технічного співробітництва. Основою ОПК України став Державний концерн «Укроборонпром» (далі - Концерн) створений постановою Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2010 р. №1221 «Про утворення Державного концерну «Укроборонпром» на виконання Указу Президента України від 28 грудня 2010 р. №1245/2010 «Про заходи щодо підвищення ефективності діяльності оборонно-промислового комплексу України». На сьогодні до складу «Укроборонпрому» входять 137 підприємств, 21 з них знаходиться на невідконтрольних територіях Криму і Донбасу. Створення Концерну - перший вітчизняний досвід централізації управління оборонно-промисловою сферою, головною метою якої полягала в корінному поліпшенні роботи оборонної промисловості України. Нажаль, ці очікування не виправдалися. Результати аналізу динаміки розвитку державних підприємств, а також їх фінансового стану та рівня зносу основних виробничих фондів свідчать про недостатню ефективність здійснюваною державою управління підприємствами та необхідність зміни орієнтирів розвитку оборонно-промислового комплексу шляхом впровадження вертикально-інтегрованих виробничих структур, здійснення незалежного контролю за діяльністю державних підприємств оборонно-промислового комплексу та перегляду частки державного сектору. У 2020 р. було прийнято ряд державних рішень, якими передбачалась реалізація заходів щодо зміцнення обороноздатності, зокрема: з метою розвитку оборонно-промислового комплексу вирішено створити центральний орган виконавчої влади, відповідальний за формування та забезпечення реалізації державної військово-промислової політики та функцій з управління об'єктами державної власності в оборонно-промисловому комплексі; реформувати концерн «Укроборонпром». Постановою Кабінету Міністрів України від 22 липня 2020 р. № 624 було створено Міністерство з питань стратегічних галузей промисловості України (Мінстратегпром України). Міністерство визначено головним органом у системі центральних органів виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну промислову політику, державну військово-промислову політику, державну політику у сфері державного оборонного замовлення, у сфері оборонно-промислового комплексу, у літакобудівній галузі та забезпечує формування і реалізацію державної політики у сфері космічної діяльності. Планується, що в 2021 році державний концерн «Укроборонпром» припинить своє існування, замість нього буде створено нові холдингові компанії, які будуть працювати за принципами корпоративного управління та прозорості. 65 підприємств сформують новий холдинг з робочою назвою Оборонні системи України, він в свою чергу буде складатися з шести субхолдингів. Особливо буде сформований Аерокосмічний холдинг, який об'єднає три галузевих субхолдингів. Автори реформи сподіваються, що вона дозволить втілювати спільні проекти з міжнародними партнерами, забезпечувати прозорий трансфер технологій, щоб випускати якісне озброєння, в першу чергу, для ЗС України. Як відомо, основним завданням розвитку оборонно-промислового комплексу є забезпечення його ефективного функціонування як високотехнологічного багатопрофільного сектора економіки країни, здатного задовольнити потреби Збройних Сил та інших військ в сучасному озброєнні, військової та спеціальної техніки і забезпечити стратегічну присутність України на світових ринках високотехнологічних продукції і послуг. Сприяти вирішенню цього завдання повинне виконання Державної цільової

оборонної програми розвитку озброєння та військової техніки на період до 2022 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 2016 року № 284-6 (в редакції-постанови Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2018 року № 66-1); Державної цільової програми створення та освоєння виробництва боеприпасів та продуктів спеціальної хімії на період до 2021 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 29 березня 2017 року № 197-3; Державної цільової програми реформування та розвитку оборонно-промислового комплексу на період до 2021 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 24 травня 2017 року № 366-6. У відповідності до Указу Президента України від 27 лютого 2020 року № 59/2020 «Про основні показники державного оборонного замовлення на 2020 рік та 2021, 2022 роки» строк виконання цих програм буде продовжений до 2024 року. На сьогодні замкнених циклів виробництва по всій основній номенклатурі зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) в Україні не існує. А тому серед можливих шляхів забезпечення ЗС України потрібним ОВТ слід розглядати і такі: розробка та виробництво зразків ОВТ у співробітництві з іншими країнами; ліцензійне виробництво систем озброєння іноземного виробництва з використанням механізмів лізингу або офсетних схем; придбання зразків ОВТ в інших країнах. Найпривабливішим шляхом є розробка і виробництво найскладніших зразків ОВТ у співробітництві з іншими країнами. Цей шлях є практично єдиною можливістю брати активну участь у розробці й серійному виробництві зразків ОВТ, їх складових (комплектуючих елементів), вилити на їхні характеристики, а також використовувати новітні технології, якими володіють країни-учасники кооперації. Спільне виробництво ОВТ в кооперації з іншими країнами забезпечує, при однозначному зменшенні витрат на створення ОВТ, збереження науково-технічного і виробничого потенціалів ОГЖ, надає можливість розвивати його за пріоритетними напрямками, сприяє міжнародній інтеграції у сфері воєнно-технічної політики та прискорює адаптацію до світових умов і стандартів. Ліцензійне виробництво ОВТ доцільно використовувати при відсутності науково-технічної, технологічної і виробничої бази для створення потрібного для власних Збройних Сил ОВТ. Воно дає можливість отримати відсутні в країні технології і, в перспективі, по мірі накопичення відповідного досвіду перейти к створенню даного виду (типу) ОВТ власними силами. Лізинг ОВТ використовувати доцільно, як правило, для отримання занадто дорогого озброєння, коли немає необхідних коштів для його закупівлі. Придбання зразків ОВТ за кордоном потрібно використовувати тоді, коли немає можливості самостійно або в кооперації з будь-ким створити ОВТ, а також при незначній потребі в даному зразку ОВТ. Проблема реформування вітчизняної оборонної промисловості не втратила своєї актуальності, а навпаки стала першочерговою необхідністю, проблемою граничної злободенності. Для збереження існуючого виробничо-технологічного потенціалу і забезпечення створення високотехнологічного перспективного ОВТ в ОПК України необхідно реалізувати комплекс заходів за такими напрямками: створення великих науково-виробничих інтегрованих структур, орієнтованих на випуск високотехнологічної продукції військового, подвійного й цивільного призначення; інтенсифікація інноваційної діяльності з відтворення високих технологій, а також підтримка й розвиток базових воєнних і критичних технологій, що передбачають розробку й реалізацію інноваційних проєктів з пайовим фінансуванням держави, підприємств і недержавних інвесторів; нарощування науково-технічного й виробничого

технологічного потенціалів в інтересах створення перспективних зразків озброєння; технічне переозброєння науково-виробничої бази, орієнтоване, насамперед, на реалізацію державної програми розвитку озброєння та військової техніки, розвиток стендової й випробувальної бази; створення й просування на ринки імпортозаміщуючої і експортоорієнтованої високотехнологічної продукції цивільного призначення, інтенсифікація взаємного трансферу технологій з воєнної сфери в цивільну й навпаки, що повинно сприяти підвищенню обороноздатності за рахунок розробки й виробництва нових зразків ОВТ; підвищення кваліфікації кадрового потенціалу, що включає вдосконалення системи підготовки (перепідготовки) кадрів, стимулювання залучення висококваліфікованих фахівців до ОПК.

Список літературних джерел

1. Про особливості управління об'єктами державної власності в оборонно-промисловому комплексі: Закон України від 16.06.2011 р. № 3531 -VI. Дата оновлення: 05.08.2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/3531-17>

ADVANCES IN THE DESIGN OF EXPLOSIVES DETONATORS

A.T. Wojewódka^{1*}, M.M. Gerlich^{2,3}

¹ Explo Expertyza Andrzej Wojewódka, Wiśniowa 5, 44-105 Gliwice

² Wojskowa Akademia Techniczna, Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

³ NITROERG S.A., Plac Alfreda Nobla 1, 43-150 Bieruń

exex@neostrada.pl

Abstract

The common use of explosives to break rock for excavation leads to the constant detonators development, that over past two decades significantly increased their precision in order to improve effectiveness of the blasting works. The following article presents key achievements and milestones of detonators development as well as the directions of research aimed at improving their accuracy. The construction of detonators that are currently used for civilian purposes is shown. The requirement that should be followed during the development of time delay compositions are presented, as well as the current trends in the research of gasless compositions, the burn rate of which is independent of the pressure inside the detonator.

Introduction

A number of ground breaking solutions, which had a significant effect on the development of blasting agents and technology, can be identified [1,2], i.e.: the evolution of the architecture and elements of the detonator, the development of electric detonator, the introduction of methane- and carbon-safe detonators in mines at risk of methane or coal dust explosions, the development of the NONEL® shock tube and non-electric detonators for initiating hole and surface charges with a broad range of applications and, recently, the development of programmable electronic detonators (such as i-kon® by Orica Mining Ltd, Daveytronic® by Davey Bickford Ltd or the latest product of NITROERG S.A. which is ERGONIC-II). Despite these accomplishments, in the span of those past decades, the greatest focus and, consequently, effort was dedicated to the development of a variety of delay compositions to be used in detonators for mining and in delay elements for military applications. Due to the persistent and significant price advantage over modern electronic delay elements, initiating agents based on chemical delay systems currently constitute a large majority of the global market (approximately 95% of global consumption).

Design of time-delay detonators

Modern detonators, both electric and non-electric, widely used in engineering and mining industry are composed of a primer and an initiating element. A general scheme of a detonator is presented in Fig. 1. Each detonator is encased in a metal shell that is sealed on one end. In the case of rock detonators, the shell is made from aluminium (Al), whereas in methane-/coal-safe (for use in areas at risk of methane/coal dust explosions) detonators the shell is made of either copper or special brass alloys. Within the shell, a number of layers are found; starting from the sealed end, they are:

- The main secondary explosive charge (typically 700÷800 mg of pressed pentaerythritol tetranitrate (PETN), followed by 120÷200 mg bulk dose of PETN),
- The primary explosive charge (typically 100 mg of lead azide or of a mixture of lead azide and lead styphnate) sensitive to thermal and mechanical stimuli and capable of initiating the secondary charge,
- A bulk dose of a delay composition, ensuring the continuity of the charge in the shell,

- Cylindrical delay element pressed into the shell. This component consists of a zinc-aluminium (Zn-Al) alloy (other alloys are also used, depending on the required heat and electrical conductivities), encasing a set amount of a pressed delay composition, which determines the length of the time delay,
- Initiating relay element capable of initiating the delay composition: – in a non-electric detonator - NONEL® shock tube, – in an electric detonator - initiating head of an initiating system, composed of resistance wire with a resistivity in the range of $0.1\div 0.7 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$, onto which a special initiating composition is deposited. This composition includes both a thermally-sensitive initiating material (such as lead styphnate, lead dinitro-ortho-cresolate or barium dinitroditetrazenephenolate) and oxidising supplements,
- Rubber or synthetic plug, sealing the entire device and providing conditions for initiating the delay composition.

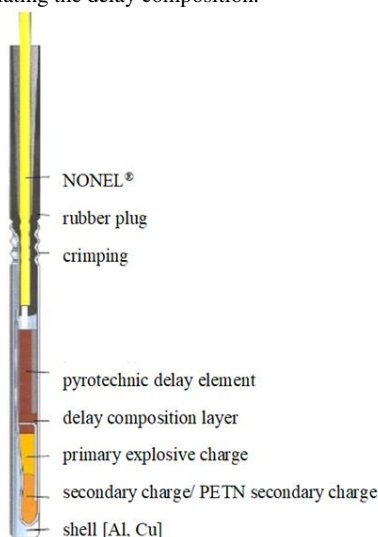


Figure 1 Scheme of a non-electric detonator for mining, equipped with a NONEL® shock tube

a high density, beyond comparison with commonly used metals, therefore providing very beneficial conditions for the burning of delay compositions. The above was particularly important for delay compositions with low rates of burning, because such a feature promotes transfer of the heat, generated during burning of the delay composition, to the surrounding environment. This in turn may result in stopping the burning reaction prematurely - before the entirety of the delay composition encased within a delay element is consumed. The recent decades, due to increasingly restrictive environmental law and the gradual retirement of lead from industrial application, have brought about a need to find alternatives, such as metal alloys, for producing delay elements. Currently, Zn-Al alloys, containing 3÷7% Al, are the most commercially prominent group of those alternative materials. The Zn-Al alloys are used in the

In terms of the parameters of the delay composition, the existence of a variety of delay element designs should be noted. It provides space for the burning of the pyrotechnic composition and protects the components of the detonator from the effects of the heat and chemicals produced during the burning of the composition. It also significantly reduces the amount of delay composition in the detonator, which improves the cost-efficiency of the detonators. The material of the delay element shell should exhibit appropriately low heat conductivity, in order to limit the amount of heat transferred from the burning delay composition to the bulk of the delay element and the shell of the detonator. Early delay elements were made of lead, which has a heat conductivity of $35.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, relatively low specific heat capacity of $129 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,

production of delay elements and feature less beneficial properties than those of lead: their heat conductivities are in the range of $116\div 130 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ and specific heat capacities in the range of $390\div 430 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. The presence of aluminium in the Zn-Al alloy is used to improve the mechanical properties and resilience of the delay elements. It is recommended, however, that alloys used for the production of delay elements contain a limited amount of aluminium, below 5%, due to its undesirably high heat conductivity and adverse effect on the burning rate of delay compositions. Due to the possibility of inter-grain corrosion of Zn-Al alloys and in order to improve its mechanical properties, the composition of the alloy is often supplemented with 0.1–0.3% magnesium (Mg) or silicon (Si). Often, the design of the delay element also includes a space for a primary explosive, which is in contact with the delay composition. Consequently, delay elements made from alloys containing copper are prohibited from use, because copper can react with primary explosives, i.e. lead azide and produce the extremely hazardous copper azide.

Requirements for time delay compositions

In regards to the cost-efficiency of the production of compositions, the choice of fuels, oxidising agents and auxiliary substances is primarily a question of availability and price. The choice of a component for producing a pyrotechnic composition and, delay composition in particular, is based on its quality and availability. The availability and purity of a component are two primary factors in terms of its price, therefore, directly affecting the production profitability. The quality of a component is determined by its purity, grain size and its distribution. The fineness and grain size distribution have an indirect impact on the price of a given component, as the desired grain size distribution can be achieved for many substances through simple unit operations (crushing, milling). Whereas the use of a particular component, but of lesser purity (or contaminated with another component), may appear beneficial due to reduced cost, it often results in a final pyrotechnic compositions whose operating parameters are significantly deteriorated (such as accelerated deactivation of the system) or, even worse, reducing the chemical stability of the system, which results in increased sensitivity to stimuli such as sparks, friction or impacts.

The existence of a relatively wide array of substances and compounds useable as components is a characteristic feature of all pyrotechnic compositions, including pyrotechnic delay compositions. This variety of substances, which fulfil or can fulfil the role of fuels and oxidising agents in a pyrotechnic composition means that during burning, some reagents will remain in the solid phase, others may melt or thermally decompose, producing a liquid phase, and some can evaporate, forming gaseous products. The kinetic mechanisms of the burning of pyrotechnic compositions, that determine the stages of the reaction, i.e. mass diffusion and energy transfer within the burning front, often involve reactions between the components of a pyrotechnic composition that exist in various phases [3]. Initial assumptions, about the occurrence of exothermic reactions, in pyrotechnic systems, only between reagents existing in the solid state, have turned out to be imprecise. Typically, it is the stability of an oxidising agent in the composition which determines the decomposition conditions and the reactivity of the entire composition. Energy supplied to the system causes a strong increase in the temperature of the reagents, resulting in: rapid melting, evaporation and thermal decomposition of oxidising agents, leading to further reaction of the solid phase (fuels) with the liquid and gaseous reagents (including oxygen released into the reaction environment). The following schemes of reaction between the components of the

composition are possible: solid phase/solid phase; solid phase/liquid phase; solid phase/gas phase. These are accompanied by the likely consecutive reactions, occurring in liquid phase/liquid phase and liquid phase/gas phase systems. The final products of the reaction, dependent on the initial contents of the composition and conditions of the reaction (temperature and pressure of the reaction environment, contact of the reagents) are no less of an important issue. It should be noted that the formation of products at temperatures of about 1000°C to 3000°C (in the case of thermite compositions) usually are multi-stage and take place in multiple phases, rarely yielding the simple and most stable forms of the expected products. Reactions taking place in ternary and multicomponent systems usually yield various amounts of between several and several dozen individual products of the reactions [4].

Among substances and inorganic compounds acting as fuels in delay compositions, the following have found the widest use:

a) Metals and metal alloys: zinc, aluminium, magnesium, nickel, molybdenum, manganese, strontium, iron, chromium, as well as expensive metals, such as titanium, zirconium, beryllium and tungsten,

b) Metalloids and non-metals: antimony, boron, germanium, silicon and phosphorus,

c) Compounds:

- Simple, e.g. metal sulphides, such as Sb_2S_3 , FeS_2 ,
- Complex: Ti-C, Cu-C.

Among organic compounds, the following are particularly noteworthy:

a) Aliphatic (alkanes) and aromatic hydrocarbons,

b) Carbohydrates, such as cellulose, starch, lactose, sucrose and their derivatives,

c) Functional compounds, such as amines and carboxylic acids,

d) Metallorganic complexes, such as vanadium, iron or lead tannates.

Currently, metal alloys (such as Zr-Ni, Fe-Ni) and composite systems (Ti-C, Zr-C) find wide use as fuels for delay compositions, due to providing the ability to control the burning process through changing the composition of the alloy. Through changing the ratios of the components of the alloy, sharply varying rates of alloy oxidation can be achieved, without the need to alter its grain size distribution. The use of the Zr-Ni alloys allows, provided an adequate grain size distribution, parameters, similar to those obtained for compositions based on pure and expensive zirconium, to be achieved. This feature of such alloys is invaluable, particularly when expensive fuel components (zirconium, titanium) would otherwise need to be used. Table 1 presents the key properties of fuels used in pyrotechnic compositions.

Table 1 Physicochemical properties of the most common fuels used in the production of pyrotechnic delay compositions [5]

Fuel	Molar mass [g/mole]	Density [g/cm ³]	Melting point [°C]	Boiling point [°C]
Zr	91.22	6.52	1530	2900
Ni	58.22	8.90	1455	3177
Mg	24.32	1.74	650	1102
Ti	47.90	4.50	1727	3000
W	183.90	19.32	3380	6000

Fuel	Molar mass [g/mole]	Density [g/cm ³]	Melting point [°C]	Boiling point [°C]
B	10.82	1.73	2050	2550
Si	28.09	2.33	1440	2630
C	12.01	2.25	4350	-
S	32.06	2.07	112.8	444.6
P	30.97	2.2	590 (4.3MPa)	-

Due to the need to fulfil the requirement for producing low volumes of gaseous products during burning, mainly inorganic substances are used for the production of delay compositions. The use of nitrates (V) and salts, containing the ammonium ion, in delay compositions is not recommended because such oxidants produce increased amounts of gases. The above is also the reason why organic substances find application, but mostly as combustible supplements to compositions, typically present in small amounts (up to 5% of the composition), most often acting as auxiliary fuels in the composition. Among the substances and inorganic compounds acting as oxidising agents in delay compositions, the following have found the widest application:

a) Salts:

- Nitrates (V): NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$,
- Chlorates (V): KClO_3 , NaClO_3 ,
- Chlorates (VII): KClO_4 , NaClO_4 ,
- Manganates (VII): $\text{Ca}(\text{MnO}_4)_2$, KMnO_4 ,
- Chromates (VI): K_2CrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, BaCrO_4 , PbCrO_4 ,
- Sulphates (VI) BaSO_4 , SrSO_4 ,

b) Metal and non-metal oxides: Fe_2O_3 , Pb_3O_4 , PbO_2 , CuO , Cu_2O , MnO_2 ,

c) Inorganic peroxides, such as SrO_2 , BaO_2 , CaO_2 .

The decomposition temperature is a particularly important physicochemical property of the oxidising agent. Temperature near or slightly above the decomposition temperature induces their rapid decomposition. The decomposition temperature provides some information about the oxidising agent as a chemical species, however, its thermal decomposition in the presence of a reducing agent, constituting a pyrotechnic composition typically occurs in significantly lower temperatures. Numerous works have investigated the above and proven that the activity of oxidising agents increases upon mixing them with combustible substances. In order to utilise the full heat yield of a unitary mass of a pyrotechnic composition, oxidising agents featuring high oxygen contents and relatively low decomposition temperatures should be used. Table 2 presents the key properties of oxidising agents used in the production of pyrotechnic compositions.

Table 2 Physicochemical properties of oxidising agents most often used in the production of pyrotechnic delay compositions [5]

Oxidising agent	Molar mass [g/mole]	Density [g/cm ³]	Melting point [°C]	Boiling point [°C]
KNO_3	101.11	2.11	339	400 (decomposition)
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	261.38	3.24	592	-

NaNO ₃	85.00	2.25	312	-
KClO ₄	138.65	2.52	610 (decomposition)	-
BaO ₂	169.36	4.96	450	795
PbO ₂	239.21	9.37	290 (decomposition)	-
Pb ₃ O ₄	685.63	9.10	500 (decomposition)	-
K ₂ Cr ₂ O ₇	294.18	2.68	398	500 (decomposition)
PbCrO ₄	323.22	6.12	844	-

An important aspect of selecting the oxidising agent for a delay composition is to match the oxidising agent and fuel in such a way that avoids producing significant volumes of final gaseous products. This is important both in terms of the exothermicity of the reaction and in terms of the burning parameters of the composition. A good example of a composition featuring low gas emission is a composition devised by Boberg and composed of boron and bismuth (III) oxide, which yields less than 8 ml of gaseous products per 1g of the pyrotechnic composition [6]. An increased amount of released gases, apart from oxygen, significantly limits the amount of released heat, due to its consumption in the expansion and heating of the gaseous phase. Furthermore, the gaseous phase forming during the decomposition of the oxidising agent hinders contact between the oxygen and fuel components in the condensed state. This is important in the case of oxidising agents which do not release a large amount of oxygen from a unitary mass. In the case of most oxidising agents, this parameter is in the range of 10÷50%. In the case of Pb₃O₄ and BaO₂, the maximum amount of oxygen released during decomposition is respectively 10% and 18%.

Development of time delay compositions

The development of pyrotechnic compositions, with the desired combustion profile, should begin with the selection of components, based on their physicochemical and thermochemical properties, followed by estimating their optimal shares, which will allow the desired parameters to be achieved. The requirements for obtaining accurate and reproducible delay times, high chemical stability of the pyrotechnic system, whose performance after a given time is reliable, make designing an ideal delay composition difficult. Boberg postulates that a defined, stable and accurately reproducible combustion rate is a basic requirement for delay compositions, alongside with its resistance to the influence of various external factors, which can deactivate the chemical system [6]. Nakahara, based on his numerous studies of delay composition systems, notes that the combustion time of a composition is dependent on many external factors, whose sources are found not only in the chemical properties of the system. The factors, which influence the stability of the parameters of the system, are usually a complex function of the constancy of the contents of the composition, which is dependent on the purity, hygroscopicity and humidity of components, temperature, external pressure, loading conditions and others. The types of components used in the composition and their gradations have the largest influence on the nature and rate of combustion. The type of fuels and oxidising agents directly decides the energetics of the combustion reactions. The heat of the reaction, defined by the contents of the composition, largely

influences the ability of this system to develop a reaction and has an indirect effect on its rate [7]. The heat of the combustion reaction, depending on the requirements posed to the system, should provide, in the given conditions, an appropriate surplus of energy, allowing the combustion reaction to be self-sustaining and to maintain a stable combustion rate, within the defined boundaries [8].

Patent descriptions, pertaining to the production of delay compositions, present several ideas of compositions, for which the components are mixed in an aqueous medium [6,9]. These systems often contain silicon, as a fuel, and oxidising agents that are insoluble in water, such as: Bi_2O_3 , MnO , SnO_2 or BaSO_4 . The systems proposed by Boberg and Davitt do not contain any carcinogenic or toxic substances and, therefore, fulfilling the basic work health and safety requirements. This is in line with the legal regulations in this area, which tend to eliminate carcinogens and toxic substances, i.e. lead and potassium chromates (VI) and lead oxides: PbO , PbO_2 and Pb_3O_4 , from delay compositions.

In the case of delay compositions, which are used in delay elements of detonators, the type of products obtained after their combustion should be taken into consideration. Due to the large influence of pressure and temperature on the combustion propagation rate and profile of the composition along the length of a delay element, the addition of modifying substances, which decompose into high-melting or high-boiling products and do not release large amounts of gaseous products, should be considered [10,11]. Objectively, substances, whose melting point in the reaction phase is relatively low, but whose boiling point is sufficiently high, are desired in the system. Some oxides are readily fusible (Bi_2O_3 , Pb_3O_4) and even at mildly high temperatures, depending on the fuel content in the composition, form complex alloys or slags with other products that comprise the incipient solid phase. Moreover, it is favourable to include components, which produce high-boiling metal oxides and more complex intermetallic compounds with oxygen, in the system.

Low-melting oxides, which exhibit relatively low heats of formation (i.e. Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , Pb_3O_4 , SnO_2), are often included in compositions, because upon decomposition they produce alloys and slags, which substantially increase contact between the components of the composition in the reaction phase [8]. Their presence, even in small amounts, intensifies mass exchange in the reaction zone, which may contribute to accelerating the diffusion-limited reaction. Furthermore, a high content of slag-forming compounds increases the viscosity of incipient alloys and helps "freeze" the gases, which are released from the reaction medium, in the bulk of the products. Oxidation products, which melt in temperatures that are not achieved by the chemical system during the course of the reaction, play an important role in the increase of the viscosity of the melt. These products (i.e. BaO , SrO , ZnO , ZrO_2 , TiO_2 , Cr_2O_3) remain stable at high temperatures. The mentioned oxides may be introduced as additives to compositions or be formed during the oxidation of corresponding metallic fuels (Ti, Zr, Cr), present in the delay composition. The course of the combustion reaction can be controlled, through careful selection of high-energy fuels and oxidising agents, to yield oxidation products not only in the form of oxides, but also other, high-melting compounds, such as silicides, borides and nitrides [8].

Research continues on the use of alternative fuels, which provide a stable combustion rate, when combined with various low-hazard oxidising agents. Earlier patents have used an array of fuels, exhibiting various heats of combustion and having a wide range of melting and oxidation temperatures, to control the combustion rates of

compositions. In the U.S. Patent No. 3,111,438, Ball uses an addition of silicon or Ti-Ni alloy fuel, containing 50% titanium, in his Zn/KMnO₄ delay composition [12]. The composition is highly stable; it is, however, highly prone to changes in rate, along the length of the delay element. The varying combustion rate of the Zn/Ti-Ni/KMnO₄ composition stems from the fact that the composition releases a large amount of gaseous products during its combustion. Recently, the use of metallic iron and zinc in pyrotechnic compositions, which exhibit a low combustion rate, was studied [13,14]. The use of zinc in delay compositions is of lesser importance, because of the specific nature of this metal. Its melting point at 419°C is very low, effectively contributing to increasing the degree of contact between the reagents in the liquid phase. On the other hand, molten zinc exhibits relatively high viscosity, and due to significant tension occurring at the zinc/oxidising agent interface, the contact between the two phases is hindered [13]. Molten metallic zinc rather easily undergoes oxidation, only on its surface, forming the stable zinc oxide, which effectively suppresses the chemical reaction. Iron, in comparison with zinc, has a much higher melting point, but its rapid oxidation occurs even at about 250°C. Conversely, the oxidation of zinc takes place rapidly only above its melting point.

Compositions that contain iron can also be used as igniting or signalling compositions. Compositions based on Teflon[®], as an oxidising agent, and iron, silicon or ferrosilicon, as a fuel, can be an example of the above [15]. The use of metallic iron in the production of delay compositions appears to be more interesting in terms of physicochemical properties.

References

1. S.O. Olofsson, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, APPLIX AB, Årila, Sweden, 2004
2. U. Langefors, B. Kihlström, The modern technique of rock blasting, John Wiley & Sons, New York, 3rd Ed, 1978.
3. M. W. Beck, M. E. Brown and R. H. M. Cross, *Electron Microscopic Study of Intersolid Pyrotechnic Reactions*, Electron Microscopy Society of Southern Africa – Proceedings, 11 (12), 1982.
4. M. W. Beck, M. E. Brown and R. H. M. Cross, *Electron Microscopic Study of Intersolid Pyrotechnic Reactions*, Electron Microscopy Society of Southern Africa – Proceedings, 11 (12), 1982.
5. B. Berger, B. Haas, G. Reinhard, *Influence of the Particle Size of the Reducing Agent on the Reaction Parameters of Pyrotechnic Redox Systems*, 27th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 1996
6. T. Boberg, S. Calsson, B.M. Ekman, B. Karlsson, Nitro Nobel AB, *Delay Charge and Element, and Detonator Containing such a Charge*, U.S. Pat. No 5,654,520, 1997.
7. J. A. Conkling, *Chemistry of pyrotechnics, Basic Principles and Theory*, Marcel Dekker, New York, 1985.
8. H. Ellern, *Military and civilian pyrotechnics*, Chemical Publishing, New York, 1968.
9. A. L. Davitt, K.A. Yuill, CXA Ltd., *Delay Composition for Detonators*, U.S. Pat. 4,419,154, 1983.
10. R. Aube, *Delay compositions and detonation delay device utilizing same*, Orca Explosive Technology Pty Ltd, U.S. Pat. 8,066,832, 2011.

11. Gerlich, M. M., A. T. Wojewodka. "*Study of gasless compositions used in time-delay elements.*" *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 139.6 (2020): 3473-3479.
12. T. Z. Ball, W. D. Trevorrow, Atlas Chemical Industries, *Delay Compositions for Delay Electric Detonators*, U.S. Pat. No 3,111,438, 1963.
13. M. J. Tribelhorn, D.S. Venables, M.E. Brown, *Combustion of some zinc-fuelled binary pyrotechnic systems*, *Termochimica Acta* 256, 1995, 309-324.
14. M. J. Tribelhorn, M.G. Blenkinsop, M.E. Brown, *Combustion of some iron-fuelled binary pyrotechnic systems*, *Thermochemica Acta* 256, 1995, 291-307.
15. A Książczak, H. Boniuk, S. Cudziło, *Thermal decomposition of PTFE in the presence of silicon, calcium silicide, ferrosilicon and iron*, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 74 (2), 2003, 569-574.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КЕРУВАННЯ КРАЙОВИМИ ЯВИЩАМИ В УМОВАХ МАСОВОГО ВИБУХУ

В.Г.Кравець¹, А.М.Шукуров², Р.В.Закусило³, Б.С.Сагало¹

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Міністерство природних ресурсів Республіки Азербайджан

³Шосткинський інститут Сумського державного університету
kravets@geobud.kiev.ua

Анотація. Технологічні переваги нижнього розміщення проміжного ініціатора в свердловинному заряді на уступі і в науковому, і в промисловому сенсі ґрунтовно доведені. На відміну від пропозицій щодо маніпулювання формою торця заряду або донної частини свердловини в роботі пропонується технологічно більш просте рішення – замінити традиційний циліндричний або призматичний бойовик зарядом в формі усіченого конуса масою 0,7 кг. Після впровадження розроблених рекомендацій об'єм виходу негабариту скоротився до 5 %.

Відомі принципи проектування та виконання масових вибухів основані на традиційних схемах короткосповільненого висадження (КСВ), коли ряди зарядів, або групи підриваються в певній послідовності. Черговість та часовий інтервал підривання груп виходить з умови зіткнення суміжних мас порід в міжсвердловинному просторі. Це означає, що в практиці побудови схем КСВ при визначенні періоду сповільнення пропускаються швидкі в часі чинники - ударні хвилі і хвилі напружень. Вони на початкових етапах деформування масиву лише створюють короткотривале силове поле та ініціюють явища передруйнування масиву.

Тому слід вже на стадії ініціювання окремого свердловинного заряду втручатись в процес формування зони руйнування. Як показано в [1, 2], від вибуху складного за формою проміжного ініціатора – бойовика виникає силове поле, інтенсивність і форма якого залежать від його маси і геометрії та одночасно позначаються на характері наступних деформаційних процесів, які відбуваються із значно меншою швидкістю.

Провідною ідеєю роботи є вивчення і розробка методів коригування крайових ефектів, які особливо яскраво проявляються в техніці і технології ведення масових вибухів в умовах розробки родовищ на гірських схилах. Ці умови суттєво обмежують можливості призначення раціональних параметрів вибухових робіт, які рекомендуються традиційними та сучасними науковими дослідженнями, а також практичним досвідом проектування і ведення масових вибухів на відкритих роботах. Основним ускладненням таких робіт є обмеження у призначенні висоти уступу, яка не досягає 10 м, та яка тягне за собою низку інших обмежень.

В практиці відкритих гірничих робіт, особливо при розробці гоподарськи важливої сировини, БВР мають забезпечити високу продуктивність робіт, яка в свою чергу пов'язана зі зростанням об'ємів кожного масового вибуху. При малій потужності уступу корисної копалини, яка часом може досягати навіть 3 м, вимоги до збільшення об'єму окремого масового вибуху можна задовольнити лише збільшенням площі висаджуваного блока, а отже, - збільшенням числа свердловин та загальної потужності вибуху. Це в свою чергу призводить до включення в схему БВР свердловин з вказаним широким рядом довжини свердловинних зарядів без зміни геометрії мережі їх розташування.

Зрозуміло, що в таких умовах якість подрібнення гірської маси можна покращити через зменшення діаметра свердловин та відповідно параметрів мережі їх розташування. Однак тут вступають в дію такі обмеження, як детонаційні характеристики промислової ВР (її чутливість до ініціюючого імпульсу, критичний діаметр детонації), а також економічна доцільність її застосування. Останній чинник також обмежує призначення діаметра свердловин. При наведених висотах уступів з точки зору геодинаміки вибуху їх слід було б замінити системою шпурів, але проти такого рішення постають організаційні та економічні обмеження.

Нарешті, зменшення висоти уступу – це зменшення глибини свердловини та довжини заряду, що призводить до зростання ролі негативних крайових ефектів вибуху. В цих умовах будь-які заходи з ослаблення або запобігання крайових ефектів здатні суттєво покращити техніко-економічні показники гірничого підприємства.

При зростанні кількості зарядів в системі масового вибуху за умов гірських схилів зростає значення безпекового чинника – сейсмостійкості схилу, яку можна забезпечити призначенням нестандартних загальних схем комутації вибухової мережі, об'єднанням свердловинних зарядів в групи з призначенням певної послідовності їх висадження із застосуванням такого прийому сейсмозахисту, як контурне підривання.

Отже, розробка або удосконалення техніки масового висадження на гірських схилах має передбачати комплексний підхід до розробки ефективних параметрів та прийомів ведення БВР, в яких домінує увага до крайових ефектів вибуху окремих свердловинних зарядів, а також до прояву цих ефектів в системі. Якщо за традиційних висот уступів, що перевищують 10...14 м, крайові ефекти складають не основну проблему щодо якості подрібнення гірської маси і не призводять до перевищення прийнятних показників (наприклад, виходу негабаритної фракції), то в досліджуваних умовах цей показник згідно з практикою ведення БВР складає понад 8...10 %. Слід враховувати, що найбільш вірогідним джерелом виходу негабариту є не так бічні похилі шари висаджуваного блоку, як особливо – його поверхневий шар з потужністю, що співмірна з висотою набійки. Набійка із зменшенням висоти уступу до 3-х і менше метрів при незмінному мінімально допустимому діаметрі зарядів 105 мм для ВР типу ANFO не завжди може бути меншою 2 м. Тоді при висоті уступу 3,0 м довжина заряду складе близько 1,1 м, з яких згідно з даними додатку С сумарна довжина торцевих частин складе не менше 0,4 м. Якщо не застосувати заходи щодо компенсації негативного крайового ефекту на обох торцях заряду, енергетичні втрати вибуху складуть понад 20 % енергії заряду, з них в області набійки – понад 10 %, що не може не позначитись на якості подрібнення породи.

Виходячи з наведених міркувань, в роботі виконано комплекс досліджень, що мають за кінцеву мету обґрунтування технологічних параметрів конструювання та розташування свердловинних зарядів в системі масового вибуху, а також рішення методичних питань проектування основних та допоміжних елементів вибухових робіт в умовах обмеженої висоти уступів на гірських схилах. Ці умови призводять до зростання ролі крайових ефектів вибуху свердловинних зарядів, тобто до помітних енергетичних втрат вибуху та погіршення якості руйнування гірської маси в крайових ділянках висаджуваного об'єму блоку. Відповідно потрібен акцентований підхід до певних технологічних елементів, де крайові ефекти

набувають значної ваги. Це в основному механічний ефект вибуху на кінцевих ділянках свердловинного заряду, в породному масиві між цими ділянками та між зарядами і прилеглими вільними поверхнями висаджуваного породного блоку.

В залежності від положення в заряді досліджуваного елемента в динаміці розвитку механічного ефекту вибуху може переважати одна із наступних фаз вибуху за аналогією з [3]: випромінювання і поширення силового фронту (хвильова фаза), формування вибухової порожнини (камуфлетна фаза), масові зрушення слідом за хвилею напружень (квазістатична фаза), взаємодія зустрічних або послідовних різношвидкісних масових потоків (фаза зіткнення). Названі фази в динаміці розвитку загального деформаційного процесу присутні на кожній ділянці заряду, але їх вага в кожному технологічному елементі може змінюватись. З найбільш дискусійних і проблемних ділянок свердловинного заряду обрано його торцеві ділянки і саме для них виконано основний масив досліджень. В подальшому розглянуто аналогічні питання в умовах взаємодії зарядів в системі. Відповідно можна представити основні моменти, що відображають етапи впровадження у виробництво виконаних розробок.

З загальних параметрів масового вибуху виділяються наступні.

Промислова ВР. В сучасній практиці вибухових робіт на кар'єрах Азербайджану найбільш популярні ВР – це емульсійні і типу ігданіту. На наш погляд, обираючи ЕВР для промислового використання, проєктанти і технологи залишають поза увагою один важливий чинник, мало досліджений науковцями, але відмічений практикою вибухової справи. Слід взяти до уваги здатність ЕВР ущільнюватись під дією стискуючих хвиль напружень з наступним відновленням її структури на протязі певного часу. Густина будь-якої ВР є визначальним показником, що впливає на її детонаційну здатність. В умовах масового вибуху з використанням техніки коротких сповільнень кожна наступна група зарядів спочатку піддається механічному впливові силового поля, випроміненого попередньо висадженою групою, та ущільнюється. Теоретично на основі використання рішення з динаміки трикомпонентної моделі [4] з використанням рішень в роботі [5] доведено [6], що газонаповнена емульсійна ВР в системі зарядів діаметром 200 мм при відстані між ними 5,0м здатна ущільнитись від вихідного значення в 1200 кг/м^3 до рівня 1480 кг/м^3 . Згідно з даними рис.1, таке перевищення граничного значення щільності реально загрожує частковою або повною втратою цією ЕВР детонаційних властивостей.

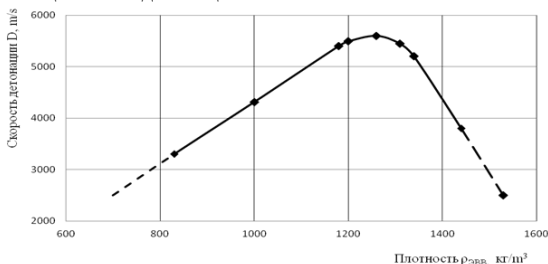


Рис.1 Залежність швидкості детонації Пореміту діаметром 80мм від його щільності [7, 8]

Відповідно до практики масових висаджень зарядів ЕВР [9] для відновлення їх вихідного стану потрібно близько 70 мс. За цей час газонаповнена ВР під дією

розширеного газового компонента та в'язкості емульсії частково повертається до вихідного стану. На відміну від БВР будь-яка інша ВР без газових включень або не ущільнюється до вказаних значень, або набагато швидше відновлюється. Однак намагання створити ВР без газогенеруючих або аеруючих домішок через сенсбілізацію спученим перлітовим піском, скляними кульками, мікросферами (в кількості до 4%) помітно збільшує її граничний діаметр [7].

Виходячи з викладеного, для виправлення ситуації можна піти двома шляхами - застосувати миттєве підривання кількох суміжних груп зарядів, об'єднаних у більшу групу або обрати промислово ВР, мінімально схильну до попереднього ущільнення. В роботі запропоновано і впроваджено у виробництво в промисловому масштабі поєднання обох пропозицій. Можна попередньо відзначити, що якщо врахувати викладені вище вимоги до ефективності і безпеки масових вибухових робіт та додати економічні міркування, найбільш прийнятною слід вважати ВР типу ANFO, особливо заводського приготування в рукавах, як це широко доведено українським досвідом [10] на залізорудних родовищах та кар'єрах з видобутку будівельної сировини в умовах підвищеної вологості.

Форма, склад та спосіб ініціювання бойовика. Технологічні переваги нижнього розміщення проміжного ініціатора в свердловинному заряді на уступі і в науковому, і в промисловому сенсі ґрунтовно доведені, однак пошуки підсилення механічного ефекту на рівні підшви уступу не закінчуються. На відміну від пропозицій щодо маніпулювання формою торця заряду або донної частини свердловини в роботі пропонується технологічно більш просте рішення – замінити традиційний циліндричний або призматичний бойовик зарядом в формі усіченого конуса масою 0,7 кг, виготовленим в заводських умовах пресуванням тротилу.

Бойовик з похилою бічною поверхнею під кутом 70° до широкої основи, підвішують на детонаційному хвилеводі співвісно з зарядом широкою основою вгору. Вибух бойовика забезпечує розвиток грушоподібного силового поля. Воно спрямовує значну частину потоку енергії переважно в радіальному напрямку в кутову область дна свердловини [11]. Створювана при цьому деформована область в кутовій зоні дна свердловини слугує зародком радіальної тріщини, яка розвивається на рівні підшви уступу під час вибуху основного свердловинного заряду. В якості елемента техніки підривання в роботі запозичено рішення з праці [12], в якій доведено, що залишений в дні свердловини шар бурового шламу висотою близько діаметра свердловини працює як захисна прокладка в осьовому напрямку. Успішність застосованого методу ведення масових вибухів з використанням технологічних результатів досліджень в роботі підтверджено серією промислових масових вибухів в рудоносних кварцитах, за яких повністю ліквідовано потребу в перебурі.

Параметри мережі свердловинних зарядів. У розглянутому в роботі механізмі формування зони дроблення на рівні верхніх торців суміжних зарядів врахований тільки механізм взаємодії у процесі воронкоутворення в області набійки. Відповідно призначаються параметри БВР, які б одночасно задовольняли вимогам до якості дроблення міжсвердловинного породного масиву і забезпечували аналогічний результат на рівні набійки. При цьому можливі технологічні рішення, які, виходячи з акценту на вибір параметрів БВР, ефективних для основного масиву породи між свердловинами, призведуть до

невигідних умов дроблення масиву у верхньому шарі на рівні набійки. Іншими словами, при призначенні технічно і економічно раціональних параметрів мережі розташування свердловин, які враховують всі 4 стадії взаємодії зарядів, необхідно зберегти такий же підхід для шару на рівні набійки. У зв'язку з цим розглянуто прояви крайових ефектів в області верхніх торців свердловинних зарядів як результат дії фізичних процесів і явищ, закладених на початковій стадії планування масового вибуху.

Наприклад, принципова зміна умов генерування ініціюючого пульсу в свердловинному заряді, напрямки розвитку детонаційного процесу, послідовності підривання зарядів у системі має одночасно збагатити можливості технології руйнування породи в міжсвердловинному просторі і забезпечити необхідну якість масового вибуху на периферії масиву.

Перевага нижнього ініціювання свердловинних зарядів із застосуванням кінцевих проміжних детонаторів, крім більш повного використання енергії промислового заряду в області перебуру і вздовж колонки заряду, полягає в можливості орієнтації силових і деформаційних фронтів у вертикальному напрямку, тобто в напрямку шару породи на рівні набійки.

Розглянуто можливі позитивні і негативні сторони орієнтації фронтів і послідовності їх взаємодії. У звичайних методиках розрахунку параметрів БВР стосовно до масових вибухів умовно вважається, що свердловинні заряди в системі взаємодіють у напрямку, нормальному до їх осей. Аналогічно і в теоретичних побудовах закладено це допущення, тобто для спрощення приймається, що заряди детонують одночасно по довжині. Такий підхід дозволяє максимально спростити рішення задачі розподілу поля напружень у міжсвердловинному масиві і в першому наближенні оцінити механічний ефект вибуху.

Завдяки специфічній «грушоподібної» формі випромінюваного кінцевим бойовиком енергетичного поля його вибух на стадії ініціювання основного (свердловинного) заряду направляє вектор фронту хвилі напружень у бік верхньої вільної поверхні, тобто в бік поверхневих шарів, розташованих на рівні набійки. Ця область не піддається безпосередньому впливу системи стискаючих радіальних і тангенціальних напружень від вибуху заряду в свердловині. Отже, зміна напрямку розвитку силового поля в бік верхніх шарів масиву має сприяти більш якісному подрібненню цієї частини масиву.

Таким чином, найбільшого ефекту від такої переорієнтації силового поля можна досягти нижнім ініціюванням суміжних свердловинних зарядів, за умови їх практично одночасного ініціювання. Оскільки відповідні заряди суміжних рядів будуть ініційовані одночасно, фронти полів напружень зустрінуться строго в міжзарядному просторі, а сумарний вектор силового поля у разі такої взаємодії буде спрямований по нормалі до вільної поверхні блоку.

Враховуючи, що технічно такі умови забезпечити досить складно через високу швидкість поширення хвиль напружень і її певну зміну під впливом породних порушень, особливо у вивіреному масиві кварцитів, більш реально розраховувати на відомий механізм взаємодії породних мас, що переміщуються назустріч і додатково руйнуються аналогічно умовам короткоуповільненого підривання за врубовою схемою, тобто на механізм взаємодії на рівні більш повільного процесу - зіткнення мас, спрямованого в бік верхньої вільної поверхні. Одночасне нижнє ініціювання подовжених зарядів в сусідніх рядах

породжує зустрічні нахилені до вільної поверхні уступу фронти. Фактично в цьому випадку пропонується схема вертикального клинового врубу, орієнтованого замість вільної бічної поверхні в бік покрівлі уступу, яка через її значні розміри є джерелом негабаритної фракції.

Зрозуміло, що наведена нова схема взаємодії груп зарядів суперечить традиційним прийомам конструювання схеми короткосповільненого підривання. Вона виключає механізм горизонтального послідовного переміщення окремих мас гірського масиву і переорієнтовує рух цих мас від горизонтального зсуву на вертикальний. Однак при цьому вона збільшує ризики за чинником сейсміки.

З метою об'єднання цих рухів і враховуючи значну щільність мережі свердловин малого діаметра (102 мм при мережі 3м x 3м), в роботі і на практиці випробувано і впроваджено компромісну схему комутації, яка полягає в одночасному паралельному висадженні трьох суміжних рядів свердловинних зарядів в якості однієї групи (рис. 2), з наступним короткосповільненим вибухом суміжної трирядної групи з періодом сповільнення 100 мс.

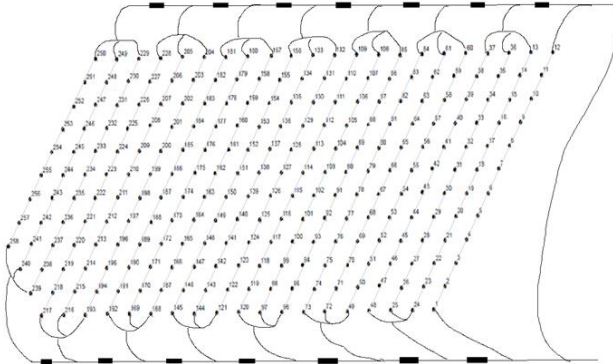


Рис. 2 Комбінована схема комутації вибухової мережі

Реалізація такої схеми дозволяє використати її переваги завдяки поєднанню механізмів переміщення мас у вертикальному напрямку з традиційним зіткненням ділянок масиву в горизонтальному напрямку. Переваги застосування змішаної схеми комутації мережі доведені промисловими випробуваннями методу в умовах, безпечних за сейсмічним чинником. Згідно з даними по Човдарському кар'єру, що розробляє рудоносні кварцити із природно порушеною структурою, при максимальному розмірі негабаритної фракції 0,8 м (визначається за шириною приймального отвору дробарки) вихід негабариту в умовах підривання за традиційними схемами складає 10 %. Після впровадження розроблених рекомендацій об'єм виходу негабариту скоротився до 5 %.

Слід звернути увагу на те, що запропонована схема підривання типу «вертикальний клиновий вруб» виявляє свою ефективність саме в межах верхнього шару уступу на рівні набійки. Що стосується розробки родовищ на схилах, схема потребує вдосконалення техніки контурного підривання шляхом поєднання в контурному ряді захисної тріщини, оточеної зоною підвищеної тріщинуватості, розвинутою переважно в бік висаджуваного блоку [6].

Висновки

В умовах масових вибухів на кар'єрах із застосуванням коротких свердловинних зарядів набуває великого значення керування крайовими ефектами при формуванні силових і деформаційних полів. Основні пропозиції щодо техніки і технології виконання буровибухових робіт на гірських схилах спрямовані на:

- орієнтацію фронту силового поля вибуху свердловинних зарядів в напрямку покрівлі уступу шляхом їх нижнього ініціювання;
- ліквідацію перебуру шляхом буріння свердловин до рівня підшови уступу та використання проміжних ініціаторів конічної форми для орієнтації силового потоку при вибуху бойовика в напрямку кутової зони дна свердловини;
- організацію взаємодії суміжних силових полів у верхньому шарі масиву на рівні набійки для запобігання підвищеного виходу негабаритної фракції;
- впровадження раціональних параметрів розташування свердловинних зарядів обмеженої довжини в системі масового вибуху з метою досягнення мінімальних енергетичних втрат в торцевих зонах зарядів;
- розробки комбінованої схеми підривання з групуванням кількох рядів свердловинних зарядів, що підриваються в групі одночасно з формуванням масового руху породи за принципом вертикального врубку та з підриванням груп в режимі коротких сповільнень;

Список літературних джерел

1. Technological applications of border effects by hole charges system explosion/Viktor Kravets, Azer Shukurov, Roman Zakusylo, Andriy Kovtun / *Materialy Wysokoenergetyczne*. 2019.11(2) – p. 21–30.
2. Regularities of Energy Field Formation in the Explosion of a Conical Charge /Viktor Kravets, Roman Zakusylo, Yuri Sydorenko, Azer Shukurov, Tomasz Sałaciński, Daryna Zakusylo / *Central European Journal of Energetic Materials/* 2019,16, (4): p. 533–546.
3. Казаков Н.Н. Разрушение породы камуфлетной и волновой фазами взрыва в верхнем слое карьерного уступа / Н.Н.Казаков, А.В.Шляпин/Горный информационно-аналитический бюллетень. М – 2015. – С. 103–123. (4)
4. Ляхов Г.М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах / Г.М.Ляхов/ – М.: Наука, 1982. – 286 с.
5. Лучко І.А. Математичне моделювання дії вибуху в грунтах і гірських породах / І.А.Лучко, Н.С.Ремез, А.І.Лучко / К: НТУУ «КПІ», 2011. – 264с.
6. Explosive wave propagation in the presence of antiseismic protective curtain / Viktor Kravets, Natalia Remez,Andrii Kovtun, Azer Shukiurov/ *Ukrainian School of Mining Engineering XII International Scientific and Practical Conference, E3S Web of Conferences, Beldiansk: Ukraine, 4 – 8 September 2018 / Vol/60, 2018. – 8 p.*
7. Поплавський В. А.Фізико-технічні аспекти безпеки вибухових робіт на відкритих гірничих розробках / В.А.Поплавський / К.: ННДІОП. 2006. – 116 с.
8. Соснин В.А. Исследование процесса детонации в эмульсионных промышленных взрывчатых веществах / В.А. Соснин, Е.В. Колганов / *Химическая физика*. – 2003. – Т. 22. – № 8. – С. 100–107.
9. Манаков В.Ф. Применение эмульсионного взрывчатого вещества «Украинит» в карьерах Кривбасса/ В.Ф. Манаков, А.В.Ивахненко, О.В.Колтунов / *Украинский союз инженеров-взрывников. Информационный бюллетень*, 2009, №1. – С. 8–12.

10. Прокопенко В.С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах / В.С.Прокопенко / К.: НТУУ «КПИ», 2010. – 208 с.

11. Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини при проведенні масових вибухів / В.В.Бойко, В.Г.Кравець, А.М.Шукюров, Т.В.Хлевнюк, А.Л.Ган / Декл. пат. № 135668 публ. 10.07.2019р. Бюл. №13.

12. Гапоненко І.Л. Підвищення ефективності відбійки гірських порід зарядами з повітряною порожниною в донній частині свердловин на залізорудних кар'єрах. Автореферат дисертації канд.техн.наук / І.Л.Гапоненко / Кривий Ріг: Криворізький нац. університет, 2016. – 20 с.

ОТБОР ПРОБ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦХИМИИ БОЕПРИПАСОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ В УКРАИНЕ И ЗА РУБЕЖОМ

Л.Н. Кириченко, В.Н. Уваров

Государственный научно-исследовательский институт химических продуктов
ndikhp@ukroboronprom.com

В процессе длительного хранения и эксплуатации боеприпасов изменяются в той или иной степени их физико-химические, баллистические и механические характеристики, т. е. боевые качества. При некоторых особенно неблагоприятных условиях хранения и эксплуатации, а иногда и вследствие дефектов производственного или конструктивного характера эти изменения могут привести к непригодности боеприпасов для боевого использования или сделать их опасными для хранения.

Для своевременного установления изменений, происшедших в техническом состоянии боеприпасов, и выявления негодных и опасных для боевого использования отдельных элементов и номенклатур боеприпасов, хранящихся в запасах, необходимо осуществлять постоянный контроль их технического состояния в течение всего срока службы и эксплуатации.

Наиболее эффективным контролем являются лабораторные испытания боеприпасов, которые позволяют установить как факт боевой пригодности безопасности в служебном обращении, так и сроки очередных переиспытаний и сроки боевой пригодности боеприпасов при их эксплуатации и хранении.

Для изучения состояния боеприпаса необходимо его разобрать и отобрать пробу материала спецхимии на физико-химический анализ, что представляет серьезную проблему с точки зрения безопасности.

Материалы спецхимии – это разнообразные пороха, взрывчатые вещества (ВВ) и пиротехнические материалы, которыми снаряжены составные части ракет и бомб. Все они характеризуются высокой концентрацией энергии в единице объема и способны к быстрым превращениям с выделением значительного количества тепла и газообразных продуктов.

При разработке материалов спецхимии к ним предъявлялись достаточно высокие эксплуатационные требования и требования по безопасности в служебном обращении. Например, они должны иметь высокую химическую стойкость и физическую стабильность, иметь низкую чувствительность к механическим, тепловым и прочим импульсам. Им назначается гарантийный срок хранения, обычно 10-15 лет сохранения стабильных баллистических и эксплуатационных характеристик. Но при длительном хранении происходят закономерные изменения физико-химических и баллистических характеристик. При работе с материалами спецхимии длительного хранения необходимо помнить, что они наполнены взрывопожароопасными, чувствительными к воздействию определенного количества энергии:

- механической (удар, накол, трение);
- тепловой (искра, пламя, нагревание);
- электрической (искровой разряд, статический заряд);
- химической (реакции с интенсивным выделением тепла).

Во время первых работ по продлению сроков службы боеприпасов отбор материалов спецхимии проводился заземленной ручной дрелью. Однако в процессе дальнейшей работы пришло понимание необходимости дистанционного отбора, так как существуют большие боевые части, наполненные опасными

взривчатими сумісями. Становина їх після довгого зберігання невідомо. Маса до кількох сотень кілограмів, наприклад, бомба КАБ-1500.

Перші зразки установок відбору проб з'явилися в початку 2000 року. Конструктора проробляли різні технічні рішення, перевіряли і уточнювали швидкість обертання і подачі сверла. Перші установки мали вузол для охолодження сверла при відборі проб. Але якість відібраних зразків при цьому була поганою. Після багатьох перевірок відмовилися від охолодження сверла водою, визначили оптимальну швидкість подачі і обертання сверла. Само сверло виготовлялося з латуні і мало по центру отвір: зменшилося опору при сверленні, а в отвір вилітав матеріал спеціалізованими.

Визначені складнощі були і в виборі електричного двигуна, він повинен бути во взривоопасном виконанні. К йому був сконструйований редуктор, забезпечуючий оптимальну швидкість обертання і подачі сверла.

Перевірка конструкторських рішень проводилася при проведенні робіт по продовженні термінів служби боєприпасів в г. Шостка. Кліматичні умови міста в основному задовольняють вимогам нормативних документів по безпеці проведення робіт з вибуховими матеріалами. Одним з основних вимог – це вологість повітря повинна бути не менше 65%, температура повітря не більше 30 °С. Багаторічна експлуатація установки відбору проб показала правильність вибраних рішень.

В рамках міжнародного співробітництва кілька екземплярів установки відбору проб були виготовлені і доставлені в країни, клімат яких значно відрізнявся від клімату України. Це В'єтнам (2010 і 2012 роки) з високою температурою, але і високою вологістю і Алжир (2021 рік) з високими температурами і вологістю менше 65%. Порівняльні характеристики установок для відбору проб, застосовуваних в Україні і доставлених во В'єтнам, наведені на малюнку 1. Во В'єтнамі був рекомендований режим відбору проб в ранні години при температурі незначно вище 30 °С. Вологість повітря була не менше 65 °С. Звершень по установці відбору проб не було.

В процесі накоплення досвіду проведення робіт в Україні і во В'єтнамі відбувалося подальше вдосконалення конструкції установки і її технічних характеристик в напрямку універсальності (стапеля для кріплення боєприпасів різної маси і діаметрів), пульта для дистанційного управління і дистанційного спостереження з допомогою відеокамери. Також було показано, що кількість обертів вихідного валу і швидкість руху фрези можна збільшити в 1,5-2 рази без зниження ступеня безпеки робіт, що було підтверджено багаторазовими відборами проб в кліматичних умовах України.



а



б

Рисунок 1. Установка отбора проб: а- Украина, б - Вьетнам 2012 год

Україна		Вьетнам 2012 год	
Привод	- мотор-редуктор M24-63M-630-2.4-51- 1-3Ц-У1	Привод	- мотор-редуктор M24-63M-630-2.4-51-1- 3Ц-У1
Исполнение	- взрывобезопасное	Исполнение	- взрывобезопасное
Число вращений инструмента, об/мин.	- 2,2	Число вращений инструмента, об/мин.	- 2,2
Подача инструмента, мм/об.	- 1,3	Подача инструмента, мм/об.	- 1,3
Габариты:		Габариты:	
- длина, мм	- 1100 (max)	- длина, мм	- 2100 (max)
- ширина, мм	- 700	- ширина, мм	- 700
- высота, мм	- 590	- высота, мм	- 600

С учетом накопленного опыта в Алжир была поставлена усовершенствованная установка отбора проб со следующими техническими характеристиками:

- электрический мотор-редуктор	R47/112GDEDRS71S4/3GD/KCC/AL;
- мощность	250 Вт;
- скорость перемещения выходного вала с насадками	5,6 мм/мин;
- глубина сверления	125 мм.
- число оборотов выходного вала, об/мин	7,9
- род тока переменный, трехфазный	
- частота, Гц	50
- напряжение, В	380
Габариты (по выступающим частям):	
- длина, мм	3987
- ширина, мм	846
- высота, мм	1355
Масса установки, кг	1332

Установка имеет ступень № 1 для стыковки БЧ КАБ 1500 и ступень № 2 (№ 3) и хомуты для проведения демонтажа крышек БЧ и РДТТ разных диаметров и стыковки их с установкой. Усовершенствованная установка для отбора проб, поставленная в Алжир, приведена на рисунке 2.

Для отбора проб применяют специальные сверла разной длины и диаметра: 50x30мм, 60x40мм, 70x50мм, резьбовая часть которых изготовлена из цветного металла.

В Алжире в месте проведения отбора проб температура в дневное время всегда была выше 30 0С, а влажность опускалась до 10 %. Даже во время дождя влажность не поднималась до 65 %. Известно, что в случае высокой температуры и низкой влажности (сухой воздух) повышается вероятность образования статического электричества. Для проведения работ в таких климатических

умовлях було прийнято рішення введення додаткових заходів по техніці безпеки і дані рекомендації:

- об збільшенні вологості в приміщенні, де проводився відбір проб, с помощью воды, разлитой по полу;
- недопущенні збільшення маси отобранної проби, т.е. несколько раз останавливать установку отбора проб и убирать образец с латунного лотка;
- перед отбором проверять заземление латунного сверла, так как оно съемное и может быть не заземлено из-за загрязнения хвостовой части.

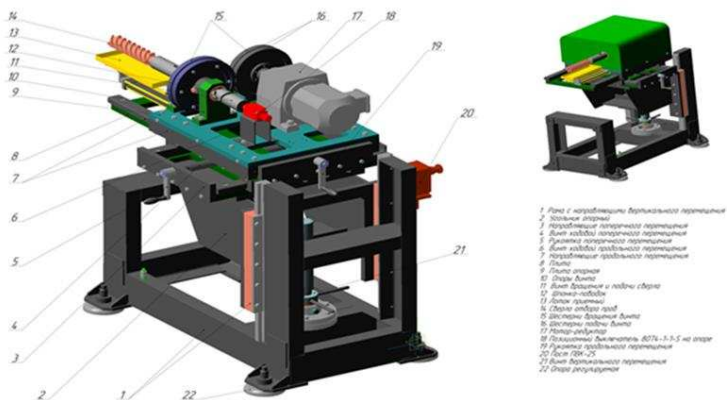


Рисунок 2 Усовершенствованная установка для отбора проб

Результаты работ в Алжире по отбору проб с дополнительными мерами безопасности подтвердили правильность конструкторских решений.

Выводы:

1 Положительные результаты работ в климатических условиях Вьетнама и Алжира показали правильность технических решений при усовершенствовании установки отбора проб.

2 Увеличение скорости подачи сверла установки позволяет использовать ее не только при отборе проб, но и при утилизации боеприпасов (дистанционное высверливание материала спецхимии).

Список литературных источников

1. Конструкторская документация 194.12.000.060.0. Установка для відбору проб з комплектом спецінструменту
2. Руководство по эксплуатации. Установка отбора проб взрывчатого вещества с комплектом инструмента КО-1-60МК РЭ, 2010
3. Руководство по эксплуатации. Установка для разборки и отбора проб КО-1-25М РЭ, 2012
4. Руководство по эксплуатации. Установка для отбора проб материалов спецхимии 194.12.000.060.0, 2021

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ В ДОСЛІДЖЕННЯХ І ПРОЕКТУВАННІ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ

К.С. Варлан, О.С. Косіцина, І.Є. Шапило

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
konstvarlan@meta.ua

Дослідження, розробка та застосування високоенергетичних матеріалів (ВЕМ), зокрема ракетних твердих палив, стикаються з низкою об'єктивних складнощів. Перед усім, вони пов'язані з небезпечністю ВЕМ, що потребує суворого дотримання правил поводження з ними та пов'язаних з цим значних матеріальних витрат. Тому завдання щодо зменшення ризиків, які мають місце на всіх стадіях обігу ВЕМ, починаючи з експериментальних досліджень, є без сумніву актуальним. До проблем, пов'язаних з вагомими технічними та економічними витратами, пов'язаними із забезпеченням належного поводження з ВЕМ, додана ще одна, актуальність вирішення якої помітно загострюється останнім часом. Загальновизнаним є факт негативного впливу сучасної ракетної техніки на довкілля, особливо ракетних двигунів на сумішковому твердому паливі (РДТП), які застосовують, зокрема, в системах Minotaur I, Minotaur IV, Minotaur C, Pegasus, Antares (II ступінь), Чанчжен-11, Куайчжоу, Епсілон, Шавіт (RSA-3), Vega (I-III ступені). Збільшення кількості комерційних запусків з використанням РДТП супроводжується помітним погіршенням екологічної ситуації у Світі [1].

Із вищенаведеного можна зробити висновок, що інтенсифікація діяльності із освоєння Космосу, а також збільшення обсягів виробництва високоенергетичних матеріалів, пов'язане з перебуванням України в умовах відбиття та стримування зовнішньої агресії, супроводжуються актуалізацією проблеми із екологічною, економічною та технічною складовими. Її усунення або хоча б часткове нівелювання, на переконання авторів, потребує комплексного підходу, починаючи з досліджень в цій галузі. З огляду на це, серед завдань, що потребують вирішення в рамках таких досліджень, були визначені:

- розробка та застосування дослідницьких методик, які дозволяють мінімізувати безпосередній контакт з небезпечними речовинами;
- пошук та обґрунтування доцільності використання екологічно прийнятних компонентів ВЕМ, зокрема окиснювачів, що не містять атомів хлору.

Вирішення цих завдань можливо через застосування розрахункових методів визначення основних енергетичних характеристик ВЕМ та їх окремих складових. Такий підхід дозволяє звзвити коло дослідних об'єктів до найбільш перспективних та спрогнозувати доцільні шляхи і дії щодо регулювання властивостей ВЕМ.

Розрахунки виконувалися із застосуванням модифікованих методик, за основу яких взяті відомі методи розрахунків енергетичних характеристик вибухових речовин, зокрема методи ВІА, [2], Маллара-Ле-Шательє та Бринклі-Вільсона [3, 4].

З метою визначення прийнятності запропонованої методики для прогнозування енергетичних властивостей (ЕВ) баліститних порохів та баліститних ракетних палив (БПР) розрахунки за нею здійснені для експериментальних складів, в яких варіювали вміст нітроестерів – нітрогліцерину (НГ) та/або нітродигліколю (НД), дибутилфталату (ДФФ) та/або динітротолуолу (ДНТ), централіту-1 (Ц1). Для оцінки адекватності отримуваних результатів відповідні розрахунки виконані для баліститних порохів з відомими

енергетичними характеристиками, зокрема марок НДГ, ДГ, ДГТ та НДГ [4]. У якості шуканих характеристик визначені: питома ізохорна теплота згоряння за умови рідкого стану води у продуктах згоряння $Q_{V(ж)}$ (кДж·кг⁻¹); максимальна температура продуктів горіння в момент їх утворення T_1 (К); питомий об'єм продуктів згоряння W_1 (м³·кг⁻¹); питома робота розширення продуктів згоряння до досягнення ними нормальних термодинамічних параметрів (т. зв. «сила пороху») f (кДж·кг⁻¹).

Алгоритм розрахунків передбачав наступні кроки:

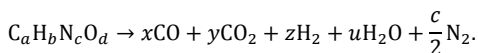
- складання умовної бруutto-формули 1 кг БПР;
- складання рівняння перетворення БПР на продукти згоряння за умовно прийнятої температури, тобто визначення складу кінцевих продуктів згоряння БПР;
- розрахунок теплоти згоряння 1 кг БПР;
- розрахунок температури горіння БПР, тобто температури кінцевих продуктів горіння в момент їх утворення відповідно до складеного рівняння перетворення БПР;
- коригування (за потреби) рівняння перетворення БПР;
- розрахунок питомого об'єму продуктів згоряння 1 кг БПМ;
- розрахунок «сили пороху».

Умовна формула 1 кг БПР у загальному випадку має вигляд $C_aH_bN_cO_d$, у якій індекси a , b , c , d дорівнюють кількості грам-атомів відповідного хімічного елемента в 1 кг ВЕМ.

Рівняння перетворення БПР складалося, виходячи із припущень:

- процес горіння відбувається в адіабатичних умовах та за умови повного перетворення на газо- та пароподібні продукти;
- на кінцевий склад продуктів згоряння впливають рівноважні реакції між продуктами окиснювального процесу, передусім реакції водяного та генераторного газів;
- кінцеві продукти згоряння БПР містять лише CO, CO₂, H₂, H₂O, N₂.

У цьому випадку процес горіння композицій можна навести наступною узагальненою хімічною реакцією:



Співвідношення перших чотирьох сполук у ПГ визначає константа рівноваги реакції водяного газу за умовно прийнятої температури:

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

Теплоту згоряння БПР розраховували відповідно до закону Гесса як різницю між стандартними ентальпіями утворення продуктів згоряння $\Delta H_{f(ПЗ)}^0$ та БПР $\Delta H_{f(БПР)}^0$ з врахуванням внеску роботи розширення за стандартної температури (298 К) простих газоподібних речовин, що складають БПР та продукти горіння:

$$Q_{V(ж)} = -(\Delta H_{f(ПЗ)}^0 - \Delta H_{f(БПР)}^0) - 0,5(b + c + d)RT,$$

де b , c , d – індекси в умовній бруutto-формулі БПР;

R – універсальна газова стала, кДж·моль⁻¹·К⁻¹;

T – стандартна температура, К.

Температуру горіння з урахуванням кінцевого складу продуктів згорання БПР визначали за формулою

$$T_1 = \frac{Q_V}{\sum m_i \bar{c}_{V_i}} + T,$$

де \bar{c}_{V_i} – середня ізохорна мольна теплосмність i -го компоненту в кінцевому складі продуктів згорання БРТ в інтервалі температур $T_1 \div T$;

m_i – кількість моль i -го компонента (x, y, z, u) в кінцевих продуктах згорання 1 кг БРТ.

Якщо розрахункове значення T_1 не відрізнялося від умовно прийнятої температури більш ніж на 50 К, то його приймали за кінцевий результат. В іншому випадку розрахунки здійснювали для іншої, наближеної до T_1 температури.

Питомий об'єм продуктів згорання – об'єм газо- і пароподібних продуктів згорання 1 кг БПР за нормальних термодинамічних умов, можна розрахувати за формулою

$$W_1 = 0,02241 \cdot \sum m_i, \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1},$$

де m_i – кількість моль i -ї газо- та пароподібної сполуки в продуктах згорання 1 кг ВЕМ.

Величину f можна розрахувати за формулою

$$f = \frac{p_0 \cdot W_1 \cdot T_1}{273}, \quad (2)$$

де f – сила композиції, кДж·кг⁻¹;

p_0 – атмосферний тиск, кПа.

Апробація методики на рецептурах БПР, дала результати, наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Довідкові та розраховані теплоти згорання балістичних порохів

$Q_{V(ж)}$	Значення теплот горіння $Q_{V(ж)}$, кДж/кг, порохів марок								
	НДТ-2	НДТ-3	НДТ-4	ДГ-2	ДГ-3	ДГ-4	ДГТ-3	НДГ-5	НДГ-6
відповідно до [4]	2970	3200	3430	2970	3200	3430	3200	3680	3870
розрахована	2952	3118	3303	2895	3133	3399	3072	3629	3888
відхилення, %	0,61	2,56	3,70	2,52	2,09	0,90	4,00	1,38	0,46

Відхилення розрахункових значень від експериментальних у межах (0,03÷4,00)% слід вважати цілком прийнятними, особливо якщо ці значення є вихідними для подальших практичних досліджень та випробувань. Спостерігається загальна тенденція щодо незначного заниження розрахункових значень теплоти згорання відносно довідкових. Це може бути обумовлено наявністю в реальних складах ВЕМ домішок з більшою, ніж у відповідного компонента, ентальпією утворення, зокрема тринітротолуолу (ТНТ) у динітротолуолі (ДНТ) (троїловому маслі). Розрахунки показали, що збільшення вмісту ТНТ в ДНТ до 30% сприяє підвищенню $Q_{V(ж)}$ в поросі НДТ-3 на 2,4%.

Для визначення особливостей впливу природи та вмісту нітроестерів і невибухових пластифікаторів на енергетичні властивості БПР здійснені розрахунки ЕВ експериментальних сумішей, в яких варіювали співвідношення колоксиліну (12,2% N) та нітроестерів за незмінного вмісту їх суміші 85%, та

співвідношення ДБФ:ДНТ. Показано, що збільшення вмісту НГ в БПР сприяє підвищенню $Q_{V(ж)}$ та T_1 . Суттєво впливає на підвищення енергетичних характеристик збільшення вмісту ДНТ за незмінної сумарної долі пластифікаторів (рис.1):

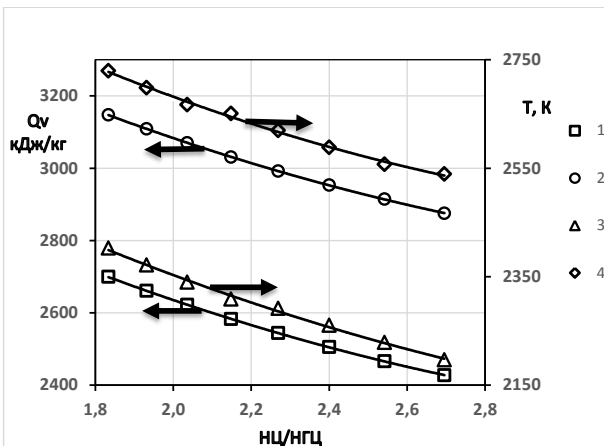


Рис. 1 Залежність $Q_{V(ж)}$ (1, 2) та T_1 (3, 4) від співвідношення НЦ:НГ (вміст НЦ+НГ 85%): 1, 3 – за вмісту ДБФ 12% без ДНТ; 2, 4 – за вмісту ДБФ+ДНТ 12% і співвідношення 5:6

Як видно, для вибраних інтервалів варіювання $Q_{V(ж)}$ збільшується на (9,5÷11,2)%, а T_1 – на (7,5÷9,4)%. Розрахунки показали також збільшення f на (5,8÷7,4)%, та несуттєве зменшення W_1 на 1,6%.

Аналогічні розрахунки для БРП на основі НД із незмінним вмістом ДБФ та ДНТ показали несуттєвий вплив співвідношення НЦ:НД на ЕВ: $Q_{V(ж)}$ збільшується на 1,44%, T_1 – на 0,93%, W_1 на 0,36%, f – на 1,32%.

Останнім часом помітно активізуються дослідження, спрямовані на пошук нових екологічних окиснювачів для сумішевих твердих ракетних палив. Серед перспективних розглядають нітрогенвмісні сполуки, зокрема динітрамід амонію (ADN), нітроформіат гідразину (HNF), гексанітрогексаазиоіворцитан (HNIW, CL-20), деякі похідні триазолів, тетразолів, піразолів, полінітроазоли [5-7]. Серед інших перспективних інгредієнтів ВЕМ розглядають енергонасичені зв'язувальні, зокрема гліцидилазидові полімери(GAP) [8], полі-3-нітратометил-3-метилоксетан (polyNIMMO) [9] тощо. Для прогнозування властивостей ВЕМ на основі перспективних окиснювачів та паливно-зв'язувальних часто вдаються до теоретичних розрахунків. Для цього створені численні програми, зокрема ВКW, TIGER, PANDA, JCZS [10], NASA CEA, TERRA, ISPBKW [11], SHEETAN, Explo5 [12].

Більшість із наведених програм потребує використання великих масивів вихідних даних та має обмежений доступ на комерційній основі. Тому цілком доцільним є визначення можливості застосування відомих методик, що використовують для розрахунків теплоти та температури вибухового перетворення, питомого імпульсу тяги тощо [11-16], для прогнозування ЕВ ВЕМ

на основі передбачуваних екологічних компонентів. З цією метою проведені розрахунки ЕВ експериментальних сумішей деяких нітрогенвмісних окиснювачів: HNIW, ADN, HNF, та паливно-зв'язувальних: відомого рідкого дієнового каучуку з кінцевими гідроксильними групами (HTPB), GAP та Poly(NIMMO). Для складання реакцій перетворення використані правила Кістяковського-Вільсона, Камлета-Якобса, Спрінгала-Робертса та модифікованого правила Кістяковського-Вільсона [17, 18]. Вихідні дані для виконання розрахунків наведені у табл. 2

Таблиця 1 – Деякі властивості обраних компонентів

Речовина	Формула	Молярна маса, г/моль	ΔH_f^0 , кДж/моль	Кисневий баланс, ОВ, %
ADN	$\text{NH}_4\text{N}(\text{NO}_2)_2$	124,05	мінус 150,6	26
HNF	$[\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_3]^+$ $[\text{C}(\text{NO}_2)_3]^-$	183,07	мінус 72	13
HNIW (CL-20)	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_{12}\text{N}_{12}$	438,19	454	11
HTPB	$\text{C}_{204,88}\text{H}_{309,32}\text{O}_2$	2800	мінус 51,9	320,9
GAP	$\text{C}_{78}\text{H}_{131}\text{O}_{27}\text{N}_{66}$	2423	117,2	мінус 128,3
Poly(NIMMO)	$\text{C}_{70}\text{H}_{128}\text{O}_{57}\text{N}_{14}$	2078	мінус 335	мінус 114

Розрахунки проведені для двокомпонентних систем паливно-зв'язувальне : окисник від 20 : 80 до 50 : 50. Результати розрахунків показали, що досліджені суміші мають достатньо високі значення питомого імпульсу тяги – до 2780 Н·с/кг (система HNF-polyNIMMO), теплоти перетворення – до 6000 кДж/кг та вище (системи ADN-polyNIMMO, HNF-GAP, HNF-polyNIMMO, HNIW-GAP, HNIW-polyNIMMO) та температури – до 4000 К та вище (система HNIW-polyNIMMO). Для усіх комбінацій спостерігається збільшення величини енергетичних характеристик із збільшенням вмісту окиснику. Розраховані величини питомого імпульсу тяги палив ADN-GAP, HNF-GAP, HNF-HTPB мають гарну збіжність літературними даними.

З наведеного можна зробити висновок про прийнятність та доцільність застосування розрахункових методів для визначення і прогнозування основних характеристик високоенергетичних матеріалів.

Список літературних джерел

- Olena S. Kositsyna, Mykola M. Dron', Vitaly V. Yemets. The Environmental Impact Assessment Of Emission From Space Launches: The Promising Propellants Components Selection // Journal of Chemistry and Technologies, 2020, 28(2), 186-193.
- Авакян Г. А. Расчёт энергетических и взрывчатых характеристик ВВ (Метод Военной инженерной академии им. Ф. Э. Дзержинского). М. : Типогр. ВА Ген. штаба, 1964. 106 с.
- Сугак Н. Ю., Мочалов С. В. Расчёт взрывчатых характеристик ВВ. Учеб. пособие. Бийск, изд-во Алт. ГТУ, 2013. 106 с.
- Спорягін Е. О., Варлан К. С. Навчальний посібник до вивчення курсу «Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості спецматеріалів». Д. : ПВВ ДНУ, 2011. 68 с.
- Trache D. Recent advances in new oxidizers for solid rocket propulsion / D. Trache, T. M. Klapötke, L. Maiz, M. Abd-Elghany, L. T. DeLuca // Green. Chem. 2017. Vol. 19. P. 4711-4736. <https://doi.org/10.1039/C7GC01928A>
- Talawar M. B., Sivabalan R., Anniyappan M., Gore G. M., Asthana S. N., Gandhe B. R. Emerging trends in advanced high energy materials // Combustion,

Explosion, and Shock Waves. 2007. Vol. 43, No. 1. P. 62-72. <https://doi.org/10.1007/s10573-007-0010-9>

7. Pratim Kumar. An overview on properties, thermal decomposition, and combustion behavior of ADN and ADN based solid propellants // *Defence Technology*. 2018. Vol. 14. P. 661-673. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.03.009>

8. John de Flon, Sten Andreasson, Mattias Liljedahl, Carl Oscarson, Marita Wanhatalo, Niklas Wingborg. Solid propellants based on ADN and HTPB // 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. San Diego, California, 2011. AIAA 2011-6136. <https://doi.org/10.2514/6.2011-6136>

9. Márcio Y. Nagamachi, José Irineu S. Oliveira, Aparecida M. Kawamoto, Rita de Cássia L. Dutra. ADN – The new oxidizer around the corner for an environmentally friendly smokeless propellant // *Journal of aerospace technology and management*. 2009. Vol. 1, No. 2. P. 153-160. <https://doi.org/10.5028/jatm.2009.0102153160>

10. Muthurajan H., Sivabalan R., Pon Saravanan N., Talawar M.B. Computer code to predict the heat of explosion of high energy materials // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 161. P. 714-717. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.032>

11. Frem D. A Reliable Method for Predicting the Specific Impulse of Chemical Propellants // *J. Aerosp. Technol. Manag.* 2018. Vol. 10. e3318. <https://doi.org/10.5028/jatm.v10.945>

12. Mohammad Jafari, Mahammad Hossein Keshavarz, Reza Ebadpour. A simple approach to assess the performance of non-ideal aluminum/ammonium perchlorate composite explosives as compared to the best available methods // *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. 2020. Vol. 646, No. 17. P. 1419-1425. <https://doi.org/10.1002/zaac.202000269>

13. Mahammad Hossein Keshavarz, Kamal Ghani, Abdoalreza Asgari. A new method for predicting heats of decomposition of nitroaromatics // *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. 2015. Vol. 641, No. 10. P. 1818-1823. <https://doi.org/10.1002/zaac.201500273>

14. Mohammad Jafari, Mahammad Hossein Keshavarz, Mohammad Reza Noorbala, Mohammad Kamalvand. A reliable method for prediction of the condensed phase enthalpy of formation of high nitrogen content materials through their gas phase information // *ChemistrySelect*. 2016. Vol. 1, No. 16. P. 5286-5296. <https://doi.org/10.1002/slct.201601184>

15. Mohammad Hossein Keshavarz, Yasin Hayat Abadi, Karim Esmaeilpour, Sajjad Damiri, Mohsen Oftadeh. Introducing novel tetrazole derivatives as high performance energetic compounds for confined explosion and as oxidizer in solid propellants // *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2017. Vol. 42, No. 5. P. 492-498. <https://doi.org/10.1002/prop.201600249>

16. Mohammad Hossein Keshavarz, Mohammad Jafari, Reza Ebadpour. Simple method to calculate explosion temperature of ideal and non-ideal energetic compounds // *Journal of Energetic Materials*. 2020. Vol. 38, No. 2. P. 206-213. <https://doi.org/10.1080/07370652.2019.1679284>

17. Muthurajan H., Sivabalan R., Pon Saravanan N., Talawar M.B. Computer code to predict the heat of explosion of high energy materials // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 161. P. 714-717. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.032>

18. Politzer Peter, Murray Jane S. The role of product composition in determining detonation velocity and detonation pressure // *Central European Journal of Energetic Materials*. 2014. Vol. 11, No. 4. P. 459-474. <https://bit.ly/3Aokc3O>

**ПРОПОЗИЦІЇ ТА ВИМОГИ ДО СПЕЦІАЛЬНОЇ МАШИНИ
РАДІАЦІЙНОЇ, ХІМІЧНОЇ, БІОЛОГІЧНОЇ РОЗВІДКИ
ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН МОРСЬКОЇ ПІХОТИ
НА БАЗІ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО БРОНЕТРАНСПОРТЕРА
ДЛЯ ПОТРЕБ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

І.М. Швець¹, З.М. Швець²

¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України

²Командування Військово-Морських Сил Збройних Сил України
3031715778@ukr.net
zoyashvets86@gmail.com

Актуальним питанням в умовах ведення бойових дій з окупаційними військами Збройних Сил Російської Федерації є значне підвищення ймовірності загроз застосування зброї масового ураження як військового, терористичного, кримінального, техногенного та іншого характеру. Розвідкою радіаційного, хімічного, біологічного (далі – РХБ) зараження у Збройних Силах України займаються підрозділи військ РХБ захисту на озброєнні яких є спеціальні машини РХБ розвідки на різних шасі в залежності від виконання поставлених бойових завдань загальновійськових підрозділів. Для ведення РХБ розвідки в підрозділах морської піхоти на озброєнні перебувають машини РХБ розвідки на базі БРДМ та БТР, які забезпечують можливість висадки морського десанту з моря на сушу, але вони розроблені за часів СРСР і вимог того часу, з морально та технологічно застарілими приладами РХБ розвідки та зв'язку. Так всі машини РХБ розвідки потребують модернізації або заміни на нові зразки, які відповідатимуть нормам та стандартам блоку НАТО й сучасності. В найближчий час пропонується Збройним Силам України прийняти на озброєння новий зразок машини РХБ розвідки на шасі «Казак-2М1» який може долати брід глибиною тільки до 1,2 м. [1], що не забезпечує можливість висадки морського десанту з моря на сушу, а також долаття більш глибоких водних перешкод.

Серед сучасних вітчизняних розробок бронетранспортерів які відповідають вимогам застосування підрозділів морської піхоти замість технічно та морально застарілих зразків БРДМ та БТР є бронетранспортер «Отаман бхб» [2] (далі – БТ «Отаман-РХБ бхб»). Так при доукомплектуванні зазначеного зразку під вимоги військ РХБ захисту у варіант бронетранспортер «Отаман-РХБ бхб» задовільнить потреби підрозділів морської піхоти, що забезпечить РХБ розвідку під час висадки морського десанту. БТ «Отаман-РХБ бхб» є спеціалізованою броньованою машиною призначеною для організації і ведення РХБ розвідки, моніторингу та контролю території і об'єктів, обробки, збереження (архівування) та передачі даних на командний пункт.

Тип зразка – колісний, трьохвісний (бхб), повнопривідний, з незалежною підвіскою, авіатранспортабельний на літаках типу Іл-76, Ан-70, С-17, С-130, обладнаний протикульним і протимінним захистом бронетранспортер, що забезпечує захист екіпажу, десанту (спеціальної групи), основних вузлів і агрегатів, має високі динамічні характеристики, підвищену прохідність і плавність ходу, здатний з високою середньою швидкістю долати значні відстані та без підготовки долати водяну перешкоду, брід з твердим дном, глибиною не менше 0,85 м., мінний прохід 1 м. здійснювати подолання водної перешкоди хвилею 2-3 бали [2].

БТ «Отаман-РХБ 6х6» повинен забезпечувати виконання наступних завдань:

- проведення РХБ розвідки місцевості та об'єктів під час руху та на місці з прив'язкою до місцевості за допомогою супутникової навігаційної системи;
- ведення постійного моніторингу радіаційної обстановки і аномально високих рівнів радіації на місцевості під час руху в режимі реального часу;
- відбір проб РХБ речовин для попереднього аналізу та їх короткочасне зберігання й доставка в стаціонарні лабораторії для подальшого аналізу;
- збір, зберігання та архівування даних контролю РХБ обстановки, основних метеорологічних параметрів та передачу їх на командний пункт по радіоканалу;
- нанесення даних РХБ розвідки, метеорологічної та оперативної обстановки на електронну картографічну основу;
- візуалізація отриманої інформації на автоматизоване робоче місце (далі – АРМ) оператора та монітор командира;
- прогнозування змін РХБ обстановки з урахуванням метеорологічних даних;
- голосовий радіозв'язок у місці проведення робіт та під час руху;
- ведення РХБ розвідки поза межами БТ «Отаман-РХБ 6х6» у заданому районі спостереження за допомогою мобільних засобів РХБ розвідки, інформація з яких повинна передаватися на АРМ оператора.

Також під час виконання основних бойових та інших завдань екіпаж здатний виконувати завдання РХБ розвідки, за умов зовнішнього РХБ зараження (забруднення), перебуваючи всередині транспортного засобу. Це досягається високим ступенем автоматизації процесу виявлення та ідентифікації РХБ речовин, як у повітрі, так і на ґрунті. Забезпечується захищеність екіпажу машини в екстремальних умовах.

Екіпаж, за необхідності, має можливість виконувати завдання РХБ розвідки поза межами БТ «Отаман-РХБ 6х6» у заданому районі спостереження за допомогою мобільних засобів розвідки. Інформація з мобільних засобів розвідки передається на засоби обробки інформації, що встановлені на БТ «Отаман-РХБ 6х6».

Підвищені можливості системи по веденню РХБ розвідки досягаються ефективною інтеграцією обладнання БТ «Отаман-РХБ 6х6».

Фільтровентиляційна установка (ФВУ) забезпечує створення надлишкового тиску у відділеннях екіпажу та десанту (спеціальної групи), не менше 5 мм вод. ст. при подачі повітря ФВУ в об'ємі не менше 100 м³/год.

Забір повітря нагнітачем ФВУ здійснюється на рівні не нижче даху корпусу.

Під час розгляду бортового спеціального обладнання розглянуто комплектування наступними приладами з вимогами, як нижче вказано:

1. Комплект бортового спеціального обладнання РХБ розвідки монтується стаціонарно на несучі конструкції корпусу та забезпечує безперервне вимірювання параметрів РХБ зараження, передачу результатів вимірювання на систему збору та обробки даних, формування звукових і візуальних сигналів попередження про небезпеку та подачу команд керування системою забезпечення життєдіяльності.

2. Основні тактико-технічні характеристики (далі – ТТХ) бортового спеціального обладнання РХБ розвідки повинні відповідати наступним вимогам:

- швидкість ведення радіаційної розвідки, км/год, не менше - 40;
- швидкість ведення хімічної розвідки, км/год, не менше - 25;

розвідувальна площа при радіаційній розвідці за 1 годину,
км², не менше - 100;
розвідувальна площа при хімічній розвідці за 1 годину,
км², не менше - 60.

3. Прилад радіаційної розвідки типу ДРГ-Т [3] забезпечує безперервне вимірювання потужності експозиційної дози (далі – ПЕД) гамма-випромінювання, передачу результатів вимірювання на систему збору та обробки даних, подачу звукової і світлової сигналізації про небезпечний рівень гамма-випромінювання та подачу команд на увімкнення виконавчих механізмів засобів захисту.

Основні ТТХ приладу відповідають наступним вимогам:
діапазон вимірювань ПЕД гамма-випромінювання, Р/год від 1·10⁻⁵ до 1000;

діапазон енергій гамма-випромінювання, що реєструється, МеВ від 0,66 до 1,25;

границя допустимої відносної основної похибки при вимірюванні ПЕД гамма-випромінювання (за 137Cs) з довірчою ймовірністю 0,95%, не більше ±20;

живлення приладу від бортової мережі постійного струму напругою від 9,0 до 28,5 В;

робочий температурний діапазон, °С від -40 до +60;

час безперервної роботи, год., не менше 48;

обмін інформацією з бортовим комп'ютером інтерфейс RS-485 [6];

маса приладу, кг., не більше 4;

габарити приладу, мм, не більше 160x160x110.

4. Вимірювач напряду на джерело радіоактивного випромінювання забезпечує визначення з точністю ±22,5° напряду на джерело випромінювання, передачу результатів вимірювання на систему збору та обробки даних, подачу сигналу на включення звукової і світлової сигналізації про небезпечний рівень цього випромінювання.

5. Плазмовий спектрометр полум'я типу AP4C-VB [4] забезпечує безперервний автоматичний контроль навколишнього повітря з метою виявлення в ньому бойових отруйних речовин (далі – БОР), відомих біологічних агентів (далі – БА) та токсичних промислових матеріалів (далі – ТПМ), визначення їх типів та концентрації, передачу інформації на систему збору та обробки даних, видачу світлового та звукового сигналів.

Прилад забезпечує:

виявлення всіх відомих БОР нервово-паралітичної, шкірно-наривної, загально-отруйної дії, окремих отруйних речовин задушливої дії (типу ВЗ), а також сильнодіючих отруйних речовин (далі – СДОР), що містять S (сірку), As (миш'як), P (фосфор) або HNO (аміак, сірководень, пари азотної кислоти, тощо) у повітрі;

виявлення наступних БА:

бактерії - сибірська виразка;

- чума;

- туляремія;

- бруцельоз;

- сипний тиф;

- холера;

- сап;
- віруси - віспа;
- гемологічна лихоманка (Ебола, Марбург);
- аренавірус (Ласса, Мачупо);
- вірусний енцефаліт;
- токсини - ботулізм;
- рициновий токсин;
- стафілококовий ентеротоксин.

Прилад забезпечує працездатність в умовах запиленості, атмосферних опадів, впливу електромагнітного імпульсу.

Основні ТТХ приладу відповідають наступним вимогам:

виявлення БОР та СДОР, мг/м ³ , у межах не вище:	
фосфорорганічні отруйні речовини	10-2;
іприт	10-1;
люїзит	10-2;
загальноядовиті отруйні речовини	10-2;
швидкодія газосигналізатора, с, не більше	60;
живлення від бортової мережі	
діапазон робочих температур, °С	-32 ÷ +50;
габаритні розміри, мм, не більше	335×185×355;
час неперервної роботи, год., не менше	24;
розміри виявляємих біологічних засобів, мкм	2-10;
маса, кг., не більше	20.

6. Блок управління, сигналізації, індикації та комутації БУСК-01 [5] (далі – блок управління) призначений для збору, обробки, візуалізації інформації, отриманої від комплексу бортових приладів РХБ розвідки. Він забезпечує звукову та світлову сигналізацію, а також видачу команд у блок управління виконавчими механізмами засобів захисту БТ «Отаман-РХБ 6х6».

Основні ТТХ блоку управління відповідають наступним вимогам:

живлення блоку управління здійснюється від бортової мережі постійного струму напругою від 12 до 28 В з параметрами згідно з ГОСТ В 21999;

струм споживання блоку управління при номінальній напрузі живлення 24В не перевищує 1,5А;

час безперервної роботи 24 год., з наступним вимкненням не менше як на 2 год.;

блок управління забезпечує обмін інформацією з бортовими приладами РХБ розвідки та бортовим спеціалізованим комп'ютером через інтерфейс типу RS-485 [6];

робочий температурний діапазон від	-40 до +50 °С;
ступінь захисту оболонки блоку управління IP56 згідно з ГОСТ 14254;	
габаритні розміри блоку управління не більше	200×190×70 мм;
маса блоку управління не більше	4 кг.

Вимоги до комплексу переносних приладів РХБ розвідки

1. Прилад ідентифікації радіонуклідів та визначення інтенсивності нейтронного випромінювання [7] повинен забезпечити виявлення, локалізацію та ідентифікацію (з визначенням категорії, до якої вони належать) радіоактивних та ядерних матеріалів за їх гамма та нейтронним випромінюванням.

Він повинен забезпечити накопичення, збереження в енергонезалежній пам'яті та ідентифікацію не менше 100 амплітудних гамма-спектрів, визначення інтенсивності нейтронного випромінювання, дрововий та бездротовий інформаційний обмін з АРМ.

Основні ТТХ приладу:

чутливість до нейтронного випромінювання:

для швидких нейтронів, не менше - 0,120±0,012 імп.*см²/нейтрон;

для теплових нейтронів, не менше - 1,2±0,12 імп.*см²/нейтрон;

діапазон індикації швидкості

відліків нейтронного випромінювання - 0,01 - 9999,00 імп./с;

діапазон енергій фотонного іонізуючого

випромінювання, що реєструється - 0,033 - 3,000 МеВ;

діапазон енергій нейтронного випромінювання до 14,00 МеВ;

кількість каналів амплітудного гамма-спектра не менше - 1024 канали;

час установлення робочого режиму приладу, не більше - 1 хв.;

час калібрування по рівню гамма-фону - 2 - 60 с.;

час безперервної роботи приладу при живленні від заряджених акумуляторів за умов гамма-фону не більше - 0,5 мкЗв/год, не менше 30 год.;

діапазон робочих температур від - 20 до + 50 °С;

габаритні розміри приладу, не більше - 110х40х90 мм;

маса комплекту приладу (без тари та ЗІП), не більше - 1,5 кг.

2. Дозиметр-радіометр універсального типу МКС-У (МКС-УМ) [8] забезпечує вимірювання ПЕД гамма та рентгенівського випромінювання, вимірювання поверхневої щільності потоку бета-частинок, вимірювання еквівалентної дози гамма та рентгенівського випромінювання, вимірювання часу накопичення еквівалентної дози гамма та рентгенівського випромінювання.

Основні ТТХ приладу відповідають наступним вимогам:

діапазон вимірювань ПЕД за допомогою виносного детектора, Зв/год - 10-7....10

діапазон вимірювань еквівалентної дози

за допомогою вбудованого в пульт детектора, мЗв - 0,001....9999

діапазон вимірювань

поверхневої щільності потоку бета-частинок, 1/(хв.*см²) 10....200000

діапазон вимірювань часу накопичення еквівалентної дози - 1 хв...100 год.

допустимі відносні основні похибки вимірювання, %, не більше - ± 15

часові інтервали вимірювань, с., не більше - 2-50

час безперервної роботи при живленні

від акумуляторної батареї, год., не менше - 100

діапазон робочих температур °С - -40..+50

маса комплекту в упаковці, кг., не більше - 8,0

3. Дозиметр гамма-випромінювання персональний типу ДКГ-21м [9] забезпечує вимірювання індивідуального еквівалента дози гамма та рентгенівського випромінювання, вимірювання потужності індивідуального еквівалента дози гамма та рентгенівського випромінювання, подачу світлового та звукового сигналів при перевищенні запрограмованих рівнів ПЕД чи ЕД гамма-випромінювання, можливість ведення автоматизованої бази даних дозового навантаження на екіпаж у складі автоматизованої системи індивідуального дозиметричного контролю.

Дозиметр призначений для використання як автономний прилад.

Основні ТТХ приладу відповідають наступним вимогам:

діапазон вимірювань потужності індивідуального еквіваленту дози гамма та рентгенівського випромінювання, мкЗв/год -	0,1 до 1·10 ⁶ ;
діапазон вимірювань індивідуального еквіваленту дози гамма та рентгенівського випромінювання, мЗв/год -	0,001 до 9999;
діапазон енергій гамма та рентгенівського випромінювання, що ресструється, МеВ -	від 0,05 до 6,0;
живлення приладу -	літійевий елемент типу CR2450;
час безперервної роботи при живленні від акумуляторної батареї, год., не менше -	1400;
діапазон робочих температур, °С -	-20..+50;
маса, кг., не більше -	0,15;
габарити, мм, не більше -	56x96x16.

4. Індикаторний комплект типу ВПХР (ВКХР) [10] призначений для виявлення в повітрі та на місцевості зарину, зоману, VX-газів, іприту, фосгену, синильної кислоти, хлорціану тощо. В якості індикаторних засобів виступають індикаторні трубки та індикаторний папір.

Маса приладу – не більше 2,3 кг., чутливість до фосфорорганічних ОР – до 5-10-6 мг/л, до фосгену, синильної кислоти та хлорціану – до 5-10-3 мг/л, іприту - до 2·10-3 мг/л. Діапазон робочих температур від -40 до +40°С. Прилад забезпечує виявлення отруйних речовин в умовах задимлення.

Цифрова метеостанція повинна забезпечувати безперервне вимірювання параметрів метеорологічного стану навколишнього середовища: температури і вологості повітря, швидкості і напрямку вітру, атмосферного тиску та видачу результатів вимірювання на систему збору та обробки даних.

Технічні характеристики метеостанції повинні відповідати наступним вимогам:

діапазон вимірювань -	допустима похибка;
температура повітря, °С -	-40..+55 ±0,7;
атмосферний тиск, мм рт. ст. -	400 - 800 ±3;
швидкість вітру, м/с -	1 - 25 ±(0,3+0,04Vi);
напрямок вітру, ° -	0 - 360±9.

Система збору та обробки даних (далі – АРМ) повинна забезпечувати:

організацію збору, обробки, зберігання, архівування та підготовки до передачі даних РХБ розвідки та метеоспостереження, моніторингу та контролю, одержуваних від стаціонарних та переносних приладів;

управління приладами та обладнанням розвідки, моніторингу і контролю, а також допоміжним обладнанням для забезпечення життєдіяльності екіпажу машини РХБ розвідки (через блок БУСК-01);

візуалізацію даних від приладів РХБ розвідки, навігаційної системи та метеостанції;

підготовку та формування звітних даних про метеорологічну, РХБ обстановку, для передачі на командний пункт (через апаратуру внутрішнього зв'язку та комутації);

інформування про несправності бортового обладнання;

ведення автоматизованої бази даних дозового навантаження на екіпаж БТ «Отаман-РХБ 6х6».

Бортовий спеціалізований комп'ютер (ноутбук) є центральним пристроєм БТ «Отаман-РХБ бхб», який повинен забезпечити роботу з використанням єдиних протоколів обміну даними та відповідати єдиній ідеології роботи в мережі з іншими машинами РХБ розвідки та пунктами управління всіх рівнів на основі цифрових засобів зв'язку на технології IP.

Він повинен забезпечити:

обробку даних та вивід на дисплей інформації про існуючу РХБ обстановку; прийом команд та підготовку даних для відображення на моніторі командира; формування інформаційних пакетів для передачі на командні пункти та інші машини РХБ розвідки;

архівування результатів аналізу стану РХБ обстановки.

Бортовий спеціалізований комп'ютер повинен надавати можливість блокування доступу, екстреного стирання або знищення інформації.

Загальні технічні вимоги до бортового спеціалізованого комп'ютера:

екран - не менше 17" з роздільною здатністю не менше 1366×768, антибліковий;

процесор - не гірше Intel Core i5 з тактовою частотою 2,6 ГГц;

операційна система - не гірше Windows 10 (64 bit) з можливістю оновлення на нові версії;

оперативна пам'ять - не менше 8 Гб;

жорсткий диск - типу SSD з об'ємом не менше 256 Гб;

відеокарта - nvidia geforce gt 1060;

інтерфейси - Ethernet 10/100/1000 Mbit/c

RS-232 x1, RS-485 x1, RJ-45, HDMI x1, USB 2.0 x3;

бездротові технології - Wi-Fi стандарту IEEE 802;

Bluetooth, з версією не менше - 4.0.

Бортовий спеціалізований комп'ютер повинен мати клас захисту не гірше IP-54 згідно MIL STD – 810G. Він повинен допускати експлуатацію за температури від -20 до +40 °C та вологості без утворення конденсату від 5 до 90%.

Бортовий спеціалізований комп'ютер повинен комплектуватися пристроєм для установки в автомобіль з блоком живлення від бортової мережі.

Тактичний планшет командира повинен забезпечувати відображення необхідної інформації про РХБ обстановку від бортових та переносних приладів РХБ розвідки, сигнальної інформації про небезпеку РХБ ураження, інформації що надходить з командного пункту та інших машин РХБ розвідки, інформації про дозове навантаження членів екіпажу, результатів діагностики технічного стану спеціального обладнання машини.

Тактичний планшет повинен надавати можливість блокування доступу, екстреного стирання або знищення інформації.

Загальні технічні вимоги до тактичного планшета командира:

екран - 10" - 12" з роздільною здатністю не менше 1366×768;

процесор - не гірше Intel Core i5 8500;

операційна система - не гірше Windows 8 Tablet PC;

оперативна пам'ять - не менше 8 Гб;

жорсткий диск - з об'ємом пам'яті не менше 128 Гб;

відеоадаптер - Ядро — 100-900 МГц, універсальні процесори — 24,

DirectX 11.2. Пам'ять — 64/128-bit.

інтерфейси - Ethernet10/100/1000 Mbit/c, RJ-45, HDMIx1, USB2.0x3;

бездротові технології Wi-Fi стандарту IEEE 802, Bluetooth.

Тактичний планшет повинен мати клас захисту не гірше IP-54 згідно MIL STD – 810G. Він повинен допускати експлуатацію за температури від -20 до +40 °C та вологості без утворення конденсату від 5 до 90%.

Тактичний планшет командира повинен комплектуватися літій – іонною батареєю з ємністю не менше 4000 mA*h та адаптером живлення.

Комплект спеціального програмного забезпечення повинен автоматично формувати донесення про РХБ обстановку по формам, прийнятим в Системі виявлення і оповіщення про РХБ зараження у Міністерстві оборони України та Збройних Силах України [11].

Вимоги до системи відбору та зберігання проб:

1. Система відбору проб повинна, по можливості, забезпечувати можливість відбору проб повітря, ґрунту, води без виходу екіпажу з машини.

2. Процес відбору проб повинен бути механізованим, керованим екіпажем з середини машини. Відбір проб ґрунту може проводитись за допомогою коліс з силіконовим покриттям або з використанням телескопічної штанги. Відбір проб води та повітря може бути здійснений шляхом засмокування насосом через спеціальний забірний рукав.

3. При неможливості реалізації автоматичного відбору проб, необхідно передбачити в задній частині салону герметичний відсік для виходу на зовні хіміка-розвідника (оператора) для збору проб вручну.

4. З метою зберігання відібраних проб, БТ «Отаман-РХБ 6х6» повинен мати місце для обладнання морозильною камерою з ємністю не менше 10л.

Вимоги до спеціального обладнання для встановлення маркерів:

1. Спеціальне обладнання для встановлення маркерів повинне забезпечувати можливість маркування зараженої місцевості без виходу екіпажу з машини.

2. Процес встановлення маркерів повинен бути механізованим, керованим екіпажем з середини машини.

БТ «Отаман-РХБ 6х6» повинен оснащуватися системою пуску димових гранат у кількості не менше 6 пускових установок та пультом управління ними. Дальність постановки димової завіси повинна бути не менше 400 м., ширина по фронту – не менше 80 м. Управління повинне здійснюватися з місця командира.

БТ «Отаман-РХБ 6х6» може мати засоби бойового управління, що інтегровані у єдину систему управління морської піхоти Військово-Морських Сил Збройних Сил України та у перспективі – в єдину автоматизовану систему управління, яка утворюється в межах концепції створення Єдиної АСУ військ Збройних Сил України.

Висновок.

Виходячи з вказаних вимог БТ «Отаман-РХБ 6х6» повинен виконувати всі завдання РХБ розвідки покладені на підрозділи РХБ захисту морської піхоти, забезпечувати готовність до посадки, транспортування та десантування особового складу підрозділів і частин морської піхоти Військово-Морських Сил Збройних Сил України, а також задовольняти в цілому потреби підрозділів інших родів військ Збройних Сил України.

БТ «Отаман» здатен забезпечити можливість здійснення маршу в будь-який час доби, у будь-яких метеорологічних і фізико-географічних умовах, авіаційним і залізничним транспортом, перевезення морем суднами типу (середній десантний корабель Ю. Олефіренко).

Список літературних джерел:

1. Козак-2м [Електронний ресурс] : Практика. Научно-производственное объединение: Продукция военного и специального назначения [Интернет-портал]. – Електронні дані. режим доступа: <https://practika.ua/ru/kozak-2m-2>
2. Бронетранспортеры [Електронний ресурс] : Практика. Научно-производственное объединение: Продукция военного и специального назначения [Интернет-портал]. – Електронні дані. режим доступа: <https://practika.ua/ru/bronetransportery>
3. Прлад радіаційної розвідки [Електронний ресурс] : Екотест [Интернет-портал]. – Електронні дані. режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=uCPRtwaRzyY&t=181s>
4. На Львівщині розробляють нову машину РХБ розвідки на базі бронеавтомобіля Дозор-Б, Владислав Христофоров [Електронний ресурс] : Промисловий портал [Интернет-портал]. – Електронні дані. режим доступа: <https://uprom.info/news/vpk/na-lvivshhini-rozroblyayut-novu-mashinu-rhb-rozvidki-na-bazi-broneavtomobilya-dozor-b>
5. <https://uk.wikipedia.org/wiki/RS-485>
6. <http://ecotest.ua/>
7. <http://ecotest.ua/products/mks-um/>
8. <http://ecotest.ua/products/dkg-21m/>
9. Сучасний стан і тенденції розвитку засобів ідентифікації бойових отруйних речовин в Україні: шляхи гармонізації у відповідності до стандартів ЄС і НАТО. [Електронний ресурс] / Л.А. Устінова, В.А. Баркевич, Н.В. Курділь, Р.М. Швець, В.І. Сагло, О.А. Євтодьєв Режим доступа до ресурсу: <http://protox.medved.kiev.ua/index.php/ua/issues/2019/3/item/616-current-state-and-trends-in-the-development-of-the-identification-tools-for-chemical-warfare-agents-in-ukraine-ways-of-harmonization-in-accordance-with-eu-and-nato-standards-part-ii>
10. Наказ Міністра оборони України №702 від 22.12.2016 (http://catalog.nuou.org.ua/index.php?option=com_sobipro&pid=128&sid=329435:nak-az-mou-702-vid-22-12-2016-pro-zatverdzhennya-instruktsiji-z-funktsionuvannya-sistemi-viyavlennya-i-opovishchennya-pro-radiatsijne-khimichne-biologichne-zarazhennya-u-ministerstvi-oboroni-ukrajini-ta-zbrojnikh-silakh-ukrajini&Itemid=0)

СЕКЦІЯ 2

Загальна хімічна технологія, екологія
та проблеми утилізації

SECTION 2

General chemical technology, ecology
and recycling problems

APPLICATION OF HIGH-ENERGY COORDINATION COMPOUND AS NEW "GREEN" ENERGETIC MATERIALS

K. Pawlus, T. Jarosz

Silesian University of Technology

klaudia.pawlus@polsl.pl, tomasz.jarosz@polsl.pl


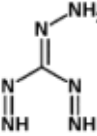
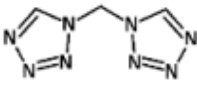
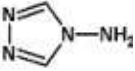
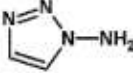
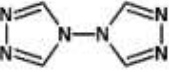
Despite the important factors promoting the development, implementation into industrial scale production and application of new high-energy materials, the progress in this field is limited, due to safety at work and environmental aspect. Nevertheless, there is a group of compounds that can potentially exhibit high-energy properties, being coordination compounds, while not being harmful to the environment. Despite more than two decades of work on these substances and their advantage over classical high-energy materials resulting from more favorable performance and safety parameters, these materials have not found broader practical application.

Coordination energetic materials (CEMs), like other coordination compounds, consist of a central atom (or central atoms in the case of multicore compounds and also the so-called coordination polymers), organic ligands, and counter-ions (anions of acidic residues). By changing one of the building blocks, new compounds with different physicochemical and energetic properties can be obtained. One of the groups that are still being studied are compounds derived from transition metal nitrates(V) and chlorates(VII) due to their high availability and non-toxicity. Unlike most coordination compounds, the counter-ions that build the KMW molecules are most often in the nature of oxidants, e.g. NO_3^- , ClO_4^- . Oxidizing anions provide a complementary ion for complex cations and allow the release of large amounts of active oxygen. At the same time, organic ligands present in CEMs molecules should be characterized by a high content of nitrogen atoms, as is the case for many classical energetic materials (EMs). In addition, the selection of appropriate organic ligands with high nitrogen content enables the synthesis of coordination compounds having similar energetic parameters with regard to lead azide.

When selecting the ligands necessary for the fabrication of CEMs, attention should be given to the nitrogen content of the molecule. Many authors mention the dependence of nitrogen content on the performance of materials, but for a small group of compounds [1]. From the point of view of "green chemistry", high nitrogen content is favorable because it allows increasing the ratio of gaseous nitrogen to carbon dioxide in decomposition products. In addition, as the density [2] and heat of formation of CEMs increases, the performance of the detonation process is improved [3]. Literature reports on the use of high-energy organic ligands indicate the use of hydrazine, aliphatic amines, heterocyclic compounds or compounds with mixed functionality, as shown in the following table (Table 1).

One of the commonly used ligands with high nitrogen content is hydrazine, which contains 87.42% nitrogen atoms in the molecule. CEMs containing hydrazine in their structure, exhibit a high tendency to decompose by detonation and have comparable sensitivity to mechanical stimuli to that of initiating explosives [8]. Ligands containing triaminoguanidine derivatives with a nitrogen content of 83.97% are also noteworthy, due to their low sensitivity to mechanical stimuli, high density, good thermal stability, and detonation velocity ranging from 5 to 9 km/s [5].

Table 1 Selected organic ligands used to produce CEMs, ordered by weight nitrogen content (Hz – hydrazine; OXTANQ – oxidized triaminoguanidine; bisTetrAzM – bis(2-tetrazolyl)methane; 4A124TrAz – 4-amino-1,2,4-triazole; 1A123TrAz – 1-amino-1,2,3-triazole; bisTrAz – 4,4'-bi-1,2,4-triazole).

Chemical structure	Nitrogen content [%]	Name abbreviation	Ref.
	87,42	Hz	[4]
	83,97	OxTANQ	[5]
	73,66	bisTetrAzM	[6]
	66,64	4A124TrAz	[6]
	66,64	1A123TrAz	[7]
	61,74	bisTrAz	[6]

The synthesis of high-energy complexes compounds is associated with the use of transition metal compounds belonging to the fourth period of the periodic table of elements. These elements form small ions with high charge and are mostly characterized by low toxicity and environmental harmfulness. In many cases, desirable compounds of these metals occur in nature as minerals. Moreover, their characteristic feature is an unfilled d-sublayer, allowing them to occur at different oxidation levels. Among the CEMs reported in the literature, the most frequently mentioned compounds are those in which cations such as Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} , act as the central atom. The coordination number of these cations is 6, except for the copper cation, which has a coordination number of 4. Compounds of some of these elements, e.g., copper and cobalt, cannot be considered fully "green" because they may exhibit some toxicity, but they are nonetheless much more desirable than lead compounds.

Literature sources report the successful receipt and properties of a vast number of CEMs. These substances are often referred to as "green" EMs, which meet sustainability requirements and which can provide alternatives to lead-containing EMs such as

lead(II) azide, or lead styphnate. Lead(II) azide is one of the most widely used classical EMs. Its advantages include rapid transition from deflagration to detonation, reliability, and simple synthesis at low cost. On the other hand, it has many drawbacks, as it decomposes under ambient conditions with the release of hydrazolic acid, and both it and the substrates for its production are characterized by extremely high toxicity and environmental harm. In spite of the significant drawbacks of lead azide(II), to this day lead azide(II) has not been displaced from its current applications.

Coordination energetic materials are obtained by a quantitative complexation reaction between a transition metal compound and an organic ligand, typically of aliphatic or aromatic amine nature (Figure 1). An additional advantage of CEMs syntheses is the use of such a reaction medium, which will constitute a solvent for the substrates used for instance water. It is worth noting that these compounds can be modified by replacing the counterion that is part of the CEMs molecule [11], or by obtaining their salts by reaction with acids [12].



Figure 1 CEM synthesis reaction example using iron(III) nitrate(V) and an alkylenediamine

Production and use of many high-energy materials is associated with release into the environment (soil, surface and ground water, atmosphere) of substances that adversely affect humans and the environment. Environmental harm and significant toxicity have been among the main reasons for the withdrawal of many high-energy materials (e.g. mercury salts) from industrial use. On the other hand, efforts to discontinue the industrial use of high-energy materials with significant environmental harm or toxicity have been effective only to a limited extent. Therefore, the important thing is to strive for materials that do not pose a threat to the environment.

References

- [1] Badgajar D.M.; Talawar M.B.; Asthana S.N.; Mahulikar P.P. Advances in science and technology of modern energetic materials: An overview, *Journal of Hazardous Materials*, 151, 289–305, 2008;
- [2] Brinck, T., *Green energetic materials*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK, 2014;
- [3] Politzer, P., Murray J.S., Some perspectives on estimating detonation properties of C, H, N, O compounds, *Central European Journal of Energetic Materials*, 8, 209–220, 2011;
- [4] Bi-Dong W., Zun-Ning Z., Fu-Gang L., Yang L., Tong-Lai Z., Jian-Guo Z., Preparation, cry-stal structures, thermal decompositions and explosive properties of two new high-nitrogen azide ethylenediamine energetic compounds, *New Journal of Chemistry*, 37(3):646–653, 2013;
- [5] Yan Q. L., Cohen A., Petrutik N., Shlomovich A., Zhang J. G., Gozin M, Formation of highly thermostable copper-containing energetic coordination polymers based on oxidized triami-noguanidine. *ACS applied materials & interfaces*, 8, 33, 21674-21682, 2016;
- [6] Wurzenberger M. H., Gruhne M. S., Lommel M., Braun V., Szimhardt N., Stierstorfer J., Taming the Dragon: Complexation of Silver Fulminate with Nitrogen-

Rich Azole Ligands, *Inorganic Chemistry*, 59, 24, 17875–17879, 2020;

[7] Szimhardt, N., Wurzenberger, M. H., Zeisel, L., Gruhne, M. S., Lommel, M., Klapötke, T. M., Stierstorfer J., 1- AminoTriazole Transition- Metal Complexes as Laser Ignitable and Lead Free Primary Explosives, *Chemistry–A European Journal*, 25, 8, 1963-1974, 2019;

[8] Hariharanth B., Chandrabhanu K. S., Rajendran A. G., Ravindran M., Kartha C. B., Detona-tor using nickel hydrazine nitrate as primary explosive, *Defence Science Journal*, 56, 3, p. 383, 2006;

[9] Liu R., Zhou Z., Qi S., Yang L., Wu B., Huang H., Zhang, T., Synthesis, crystal structure, and properties of a novel, highly sensitive energetic, coordination compound: iron (II) carbohydrazide perchlorate, *Central European Journal of Energetic Materials*, 10, 1, 2013;

[10] Tong W. C., Liu J. C., Wang Q. Y., Yang L., Zhang T. L., Eco- friendly Trifoliolate Stable Energetic Zinc Nitrate Coordination Compounds: Synthesis, Structures, Thermal and Explosive Properties, *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 640, 14, 2991-2997, 2014;

[11] J. Belzowski, Koordynacyjne związki metali przejściowych jako materiały wybuchowe specjalnego przeznaczenia, Rozprawa doktorska, Gliwice, 2011 [12] Nita M., Cudziło S., Celiński M., Nowy inicjujący materiał wybuchowy: chloran (VII)-μ-4-amino-1,2,4-triazol-μ-dichlormiedź (II). *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 59, 3, 61-69, 2010.

DETECTION OF PICRIC ACID IN SOLUTIONS

Magdalena Fabin

Silesian University of Technology
 magdalena.fabin97@gmail.com

1. Introduction

2,4,6-trinitrophenol, also known as picric acid (PA), was a widely used explosive, including during the Boer War [1] and World War I [2]. In the interwar period, the military use of PA began to be abandoned and began to replace it with 2,4,6-trinitrotoluene (TNT). Despite lower sensitivity and difficult access to its substrates in the interwar period, TNT provided much greater safety of use compared to the substrates used to produce PA [3]. In addition to the high sensitivity of PA, the danger of its use was its high toxicity compared to other commonly used explosives.

Table 1 Summary of selected parameters of commonly used explosives [4]

	Density (g/cm ³)	Detonation velocity (m/s)	Lead block test (cm ³ /10gPb)	Impact sensitivity (Nm)	Friction sensitivity (N)
PA	1.77	7350	315	7.4	353
Lead Azide	4.8	4500	110	2.5 – 4	0.1 – 1
RDX	1.82	8700	480	7.5	120
HMX	1.87	9100	480	7.4	120
TNT	1.47	6900	300	15	353
PENT	1.76	8400	523	3	60

The toxicity of PA, is described as higher than that of nitro derivatives of toluene, xylene or naphthalene, but it is much lower compared to the toxicity of nitro derivatives of benzene, as proven by animal studies.

Table 2. Summary of IDLH values for selected nitro aromatic derivatives [5].

	Wartość IDLH (1994) [mg/m ³]
Nitrobenzene	1006
Dinitrobenzene	50
Dinitrotoluene	50
2,4,6-trinitrotoluene	500
2,4,6-trinitrophenol	75

Due to the toxicity of PA, which poses a threat especially to the aquatic environment, massive research has begun to be conducted in recent years to develop effective detection methods for PA, which may help to reduce the environmental damage caused by this compound.

2. Metal–organic frameworks sensor

Over the past decades, there has been a rapid development of metal-organic frameworks (MOFs) due to their potential use as multifunctional materials in catalysis [6], magnetism [7], adsorption and separation [8]. MOFs are a broad class of organic-inorganic materials with homogeneous crystalline coordination networks. These materials consist of metal ions or clusters and organic ligands [9, 10]. Coordination bonds occur between the metal atoms and the ligands. Ligands in MOFs are usually di-, tri-, or tetradentate organic compounds [9, 11], such as carboxylates, phosphonate compounds, sulfonate compounds, or heterocyclic compounds [12]. Due to ligands rich in π -conjugated bonds, MOFs possess strong luminescent properties. Besides ligand luminescence, charge transfer processes (inter-ligand charge transfer, metal-ligand charge transfer, ligand-metal charge transfer, etc.) involving aromatic organic linkers have also been observed. Due to such properties, MOFs have shown great potential as components for the production of sensory materials [13-15]. Other properties of MOFs favoring their use as sensors are their ultra-high porosity, up to 90% free volume, and huge internal surface areas, exceeding 6000 m²/g [16].

2.1 D-block MOF

Among the MOFs whose luminescence properties are studied for PA detection, structures based on d-block metals have become particularly popular. The most studied MOFs contain Zn [17-21] due to their properties such as high PA detection sensitivity, stability, and low detection limit, which are related to the possibility of strong emission properties [17], and most importantly, low toxicity [18]. The selectivity of PA detection has also been confirmed for some MOFs containing Cd [19, 22] Cu [23] or Zr [24] atoms.

Table.3 Summary of K_{sv} PA detection constant values by selected D-block MOFs

Lp .	MOFs	Structure	Solvent	Detection limit [M]	The quenching effect constant (K _{sv})[M ⁻¹]	Reference
1	[Zn ₂ (3,3'-(thiophene 2,5-diyl)dibenzoic) ₂ (1,4-di(pyridin-4-yl)benzene)]	2D layered	DMA	2.5×10 ⁻⁶	2.40×10 ⁴	[17]
2	[Zn(3,3'-(thiophene 2,5-diyl)dibenzoic)4,4'-di(1H-imidazol-1-yl)-1,1'-biphenyl)]·(H ₂ O) ₂	3D Framework	DMA	2.5×10 ⁻⁶	2.46×10 ⁴	[17]
3	Zn ₂ (OH) ₂ (H ₂ TCPP) (DMF) ₃	3D Framework	Ethanol	not applicable	6.95×10 ⁴	[18]

4	[Zn(naphtalenedi carboxylate)(H ₂ O)] _n	3D porous	H ₂ O	1×10 ⁻⁶	6×10 ⁴	[19]
5	[Zn ₄ (DMF) ₂ (2,6- naphthalen edicarboxylic) ₄] _n	3D porous	H ₂ O	1.63 ppm	10.83×10 ⁴	[20]
6	Zn ₂ (2,6- naphthalen edicarboxylic acid) ₂ (4,4' - bipyridine) · G _x	3D framework	ethanol	not applicable	4.22×10 ³	[21]
7	[Cd(naphtalen edicarboxylate)(H ₂ O)] _n	3D porous	H ₂ O	4×10 ⁻⁶	2,385×10 ⁴	[19]
8	{[Cd ₄ ([1,1':3',1''-terphenyl]-4,4',4'',6'-tetracarboxylic) ₂ (2-amino-4,4'-bipyridine) ₃ (H ₂ O) ₂]·8DMF·8H ₂ O}	3D interpenetrated	ethanol	1.98 ppm	3.84 × 10 ⁴	[22]
9	Cu ₂ (4,6-Tri-(pyridin-4-yl)-1,3,5-triazin) ₂ (,5-thiophen edicarboxylic) ₂ ·H ₂ O	3D network	H ₂ O	2,71×10 ⁻⁷	1,36×10 ⁵	[23]
10	[Zr ₆ O ₄ (OH) ₄ (4,4'-(benzo[c][1,2,5]thiadiazole-4,7-diyl)dibenzoic acid) ₆]·8H ₂ O·6DMF	3D porous	methanol	1.63×10 ⁻⁶	2.49 × 10 ⁴	[24]

2.2 Ln-MOF

Luminescent structures, especially those based on lanthanide metals [25], have been used as sensors to detect cations and anions, small molecules, gases, pH values, temperature, and ionizing radiation [26]. In recent years, the use of f-block elements has attracted the interest of researchers due to the high color purity of Ln-MOFs, long luminescence lifetimes, and large Stokes shifts that come from f-f transitions through the so-called antenna effect [27].

The detection of chemical compound molecules is mainly related to the process of luminescence extinction. It is usually triggered by collapse of the sensor backbone, ion exchange between the central metal ion of the sensor and the compound under analysis, or

competitive absorption of light of the same wavelength between the sensor and the molecule [28-31]. Studies have been conducted for different types of MOFs in the context of their potential ability to detect aromatic nitrocompounds, with particular emphasis on PA. Positive results of selectivity of the luminescence quenching process with respect to PA were obtained for most of the studied Ln-MOFs. In most cases, this process was much higher for PA than for nitroaromatic explosives such as nitrobenzene, 4-nitrobenzene, 2,4,6-trinitrotoluene, or 2,4-dinitrotoluene.

Table 4. Summary of the values of K_{sv} PA detection constant by selected Ln-MOF

Lp	MOFs	Structure	Solvent	Detection limit [M]	The quenching effect constant (K _{sv})[M ⁻¹]	Reference
1	[Eu ₂ (4,4'-(carbonylbis(azanediyl))bis(2-methoxybenzoic acid) ₃ (DMF)(H ₂ O) ₃)]·x(solvent)	3D porous	DMF	5×10 ⁻⁶	2912	[32]
2	{[Eu ₂ (4,4'-(carbonylbis(azanediyl))dibenzoic acid) ₂ (DMF)(H ₂ O) ₃ (μ ₃ -O)]·H ₂ O} _n	2D layered/ 3D Framework	DMF	1×10 ⁻⁵	1359	[33]
3	{[Tb ₂ (4,4'-(carbonylbis(azanediyl))dibenzoic acid) ₂ (DMF)(H ₂ O) ₃ (μ ₃ -O)]·H ₂ O} _n	2D layered/ 3D framework	DMF	5×10 ⁻⁶	4995	[34]
4	{[Dy(μ ₂ -FcDCA) _{1,5} (MeOH)(H ₂ O)]·0.5H ₂ O} ₂	2D layered	H ₂ O	1×10 ⁻⁶	8550	[34]
5	{[Eu ₂ (5,5'-(carbonylbis(azanediyl))diisophthalic acid) _{1,5} (H ₂ O) ₂ EtOH]·DMF} _n	3D porous	DMF	1×10 ⁻⁵	2001	[35]
6	(C ₂ H ₆ NH ₂) ₂ [Tb ₂ (ptptc) ₂ (DMF)(H ₂ O)]·DMF·6H ₂ O	2D layered/ 3D framework	methanol	1×10 ⁻⁶	38 910	[36]
7	Eu(naphthalenedicarboxylic acid)	not applicable	H ₂ O	1.64×10 ⁻⁷	3220	[37]

8	[Tb(tftba) _{1.5} (phen)(H ₂ O) _n] _n	3D polyhedron	H ₂ O	1.02×10 ⁻⁷	5890	[38]
9	Eu-MOF	microporous	DMF	not applicable	1500	[39]
10	[Tb(1,3,5-benzenetricarboxylate)]	nanowire	ethanol	8.1×10 ⁻⁸	3410	[40]

3. C-dots

Carbon dots (C-dots) belong to a relatively new class of carbon nanomaterials that are less than 10nm in size [41]. They were first obtained during purification of single-walled carbon nanotubes using preparative electrophoresis [41]. Later, they were also obtained by laser ablation of graphite powder and cement [42]. C-dots are usually characterized by strong absorption properties of electromagnetic waves especially in the UV range, and depending on the method to obtain them, this range can be extended to the visible light length [43-46]. Due to their fluorescent properties and low toxicity [47, 48], C-dots have shown potential for fluorescence bioimaging [49, 50], multimodal bioimaging of cells or tissues [51], among others. C-dots can also be used as biosensors e.g. for visual monitoring of elemental content in cells [52, 53], glucose levels [54] or pH values [55]. Nanomaterials of this kind are optically sensitive to compounds that are chromophores. Because of this, they have attracted interest as potential sensors for PA and other nitroaromatic compounds.

Table 5. Summary of PA detection characteristic parameters for selected c-dots

Materials	Main substrates	Solvent	quantum yield of C-dots [%]	Linear range (μM)	Detection limit (nM)	Reference
1	Grapes, rhodamine6G	Water	18.67*	0.06-79.4	10	[56]
2	2-aminoterephthalic acid, polyethylene glycol, orthophosphoric acid	Water	67**	not applicable	18	[57]
3	Sucrose, boric acid, urea	Water	14.2**	0.1-100	28	[58]
4	citric acid anhydrous, ethylenediamine	Water	29.01*	1-10	10	[59]
5	malonic acid, urea	Water	12.6*	0.05-0.4	350	[60]
6	L-Lysine, thiourea	water	53.19*	1-10	240	[61]

7	Betel leave	Water	4.21*	0.3– 3.3	110	[62]
8	Gelatine, aniline	water	17*	0.37– 1.42	56	[63]
9	Chloroform, ophenylenediamine	Polar solvent	13.2**	not applicabl e	2000	[64]
10	Sucrose, phosphoric acid	not applicabl e	21.8*	0.2–17.0	16.9	[65]

*fluorescence quantum yield

** photorescence quantum yield

4. Conclusions

According to the studies conducted at this point, it can be concluded that MOFs and c-dost are a promising group of materials suitable for the detection of PA in different types of solvents. For both types of materials, their main advantages are simple synthesis and high sensitivity

for PA detection. In the case of MOFs, an important aspect is that they also provide high selectivity for PA detection against other nitroaromatic compounds. With the continuously developing methods for synthesizing and testing the properties of sensing materials for the detection of hazardous nitroaromatic materials, effective and simple methods can be developed for the detection and elimination of these compounds, thus minimizing their negative impact on the environment.

Bibliography

1. J. P. Wisser, The second Boer War, 1899–1900, Hudson-Kimberly, 1901, p. 243.
2. M. Ferro, The Great War: 1914–1918, secondo edition, Routeladge Classics, 2001, p. 98
3. G.I. Brown, The Big Bang: a History of Explosives, Sutton Publishing, 1998, pp.151–163
4. R. Meyer, J. Köhler, A. Homburg, Explosives, Fifth Edition, Wiley VCH, 2000
5. H. R. Ludwig, S. G. Cairelli, J. J. Whalen, Documentation for Immediately Dangerous To Life or Health Concentrations (IDLHs), U.S. Department of Health and Human Services, May 1994
6. M. Yoon, R. Srirambalaji, K. Kim, Homochiral metal–organic frameworks for asymmetric heterogeneous catalysis, Chem. Rev., 2012, 112, 1196
7. M. Kurmoo, Magnetic metal–organic Framework, Chem. Soc. Rev., 2009, 38, 1353
8. J. R. Li, R. J. Kuppler and H. C. Zhou, Selective gas adsorption and separation in metal–organic frameworks, Chem. Soc. Rev., 2009, 38, 1477
9. G. Férey, Hybrid porous solids: past, present, future, Chem. Soc. Rev., 2008, 37, 191–214
10. H. Furukawa, K.E. Cordova, M. O’Keeffe, O.M. Yaghi, The chemistry and applications of metal organic frameworks, Science , 2013, 341, 1230444
11. O.M. Yaghi, G. Li, H. Li, Selective binding and removal of guests in a microporous metal-organic framework, Nature, 1995, 378, 703–706

12. W. Lu, Z. Wei, Z.-Y. Gu, T.-F. Liu, J. Park, J. Park, J. Tian, M. Zhang, Q. Zhang, T. Gentle, M. Bosch, H.-C. Zhou, Tuning the structure and function of metal-organic frameworks via linker design, *Chem. Soc. Rev.*, 2014, 43, 5561–5593
13. W. P. Lustig, S. Mukherjee, N. D. Rudd, A. V. Desai, J. Li, S. K. Ghosh, Metal-organic frameworks: functional luminescent and photonic materials for sensing applications, *Chem. Soc. Rev.* 2017, 46, 3242–3285
14. Y. Cui, Y. Yue, G. Qian, B. Chen, Luminescent functional metal-organic frameworks, *Chem. Rev.* 2012, 112, 1126–1162
15. M. D. Allendorf, C. A. Bauer, R. K. Bhakta, R. J. T. Houk, Luminescent metal-organic frameworks *Chem. Soc. Rev.* 2009, 38, 1330–1352
16. H. C. Zhou, J. R. Long, O. M. Yaghi, Introduction to Metal-Organic Frameworks, *Chem. Rev.*, 2012, 112, 673
17. Z. Q. Shi, Z. J. Guo, H. G. Zheng, Two luminescent Zn(II) metal-organic frameworks for exceptionally selective detection of picric acid explosives, *Chemical Communications*, 2015, 51(39), 8300–8303
18. Y. J. Hu, Y. M. Li, K. Zheng, W. H. Zhang, Y. L. Liu, H. Yang, Construction of a Zn(II)-containing MOF for highly selective detection of picric acid and inhibition of human glioma cell growth, *Journal of Molecular Structure*, 2019, 127359.
19. P. Ghosh, S. K. Saha, A. Roychowdhury, P. Banerjee, Recognition of an Explosive and Mutagenic Water Pollutant, 2,4,6-Trinitrophenol, by Cost- Effective Luminescent Mofs. *Eur. J. Inorg. Chem.* 2015, 2851–2857.
20. S. Mukherjee, A. V. Desai, B. Manna, A. I. Inamdar, S. K. Ghosh, Exploitation of Guest Accessible Aliphatic Amine Functionality of a Metal-Organic Framework for Selective Detection of 2,4,6- Trinitrophenol (TNP) in Water. *Crystal Growth & Design*, 2015, 15(9), 4627–4634.
21. K. S. Asha, K. Bhattacharyya, S. Mandal, Discriminative Detection of Nitro Aromatic Explosives by a Luminescent Metal-Organic Framework. *J. Mater. Chem. C*, 2014, 2, 10073–10081
22. T. K. Pal, N. Chatterjee, P. K. Bharadwaj, Linker-Induced Structural Diversity and Photophysical Property of MOFs for Selective and Sensitive Detection of Nitroaromatics. *Inorganic Chemistry*, 2016, 55(4), 1741–1747.
23. X. Zhuanga, N. Zhang, X. Zhanga, Y. Wanga, L. Zhaoa, Q. Yanga, A stable Cu-MOF as a dual function sensor with high selectivity and sensitivity detection of picric acid and CrO_4^{2-} in aqueous solution, *Microchemical Journal*, 2020, 153, 104498
24. M. SK, S. Biswas, A thiadiazole-functionalized Zr(IV)-based metal-organic framework as a highly fluorescent probe for the selective detection of picric acid. *CrystEngComm*, 2016, 18(17), 3104–3113.
25. Q. Yue, J. Yang, G. H. Li, G. D. Li, J. S. Chen, Homochiral porous lanthanide phosphonates with 1D triple-strand helical chains: synthesis, photoluminescence, and adsorption properties, *Inorg. Chem.*, 2006, 45, 4431
26. J. C. Yuan, F. Y. Yan, D. Q. Guo, L. C. Bang, Luminescent Functional Metal-Organic Framework, *Chem. Rev.*, 2012, 112, 1126
27. H. Xu, C. S. Cao, X. M. Kang, B. Zhao, Lanthanide-based metal-organic frameworks as luminescent probes. *Dalton Transactions*, 2016, 45(45), 18003–18017
28. Yang, C.-X., Ren, H.-B., & Yan, X.-P. (2013). Fluorescent Metal-Organic Framework MIL-53(Al) for Highly Selective and Sensitive Detection of Fe^{3+} in Aqueous Solution. *Analytical Chemistry*, 85(15), 7441–7446.

29. Hu, F., Shi, Y.-X., Chen, H.-H., & Lang, J.-P. (2015). A Zn(II) coordination polymer and its photocycloaddition product: syntheses, structures, selective luminescence sensing of iron(III) ions and selective absorption of dyes. *Dalton Transactions*, 44(43), 18795–18803.
30. Tang, Q., Liu, S., Liu, Y., Miao, J., Li, S., Zhang, L., Z. Shi, Z. Zheng, (2013). Cation Sensing by a Luminescent Metal–Organic Framework with Multiple Lewis Basic Sites. *Inorganic Chemistry*, 52(6), 2799–2801.
31. Zhang, S.-T., Yang, J., Wu, H., Liu, Y.-Y., & Ma, J.-F. (2015). Systematic Investigation of High Sensitivity Luminescent Sensing for Polyoxometalates and Iron(III) by MOFs Assembled with a New Resorcin[4]arene-Functionalized Tetracarboxylate. *Chemistry - A European Journal*, 21(44), 15806–15819.
32. W. Liu, Ch. Chen, Z. Wu, Y. Pan, Cai, H. Ye, Z. Mu, X. Luo, W. Chen, W. Liu, Construction of Multifunctional Luminescent Lanthanide MOFs by Hydrogen Bond Functionalization for Picric Acid Detection and Fluorescent Dyes Encapsulation, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2020, 8, 13497–13506
33. W. Liu, X. Huang, Ch. Chen, C. Xu, J. Ma, L. Yang, W. Wang, W. Dou, W. Liu, Function-Oriented: The Construction of Lanthanide MOF Luminescent Sensors Containing Dual-Function Urea Hydrogen Bond Sites for Efficient Detection of Picric Acid, *Chem. Eur. J.* 2019, 25, 1 090 – 1 097
34. R. Rajak, M. Saraf, S. K. Verma, R. Kumar, S. M. Mobin, Dy(III)-Based Metal–Organic Framework as a Fluorescent Probe for Highly Selective Detection of Picric Acid in Aqueous Medium. *Inorganic Chemistry*, 2019, 58, 23, 16065–16074
35. W. Liu, X. Huang, C. Xu, Ch. Chen, L. Yang, W. Dou, W. Chen, H. Yang, W. Liu, A Multi-responsive Regenerable Europium–Organic Framework Luminescent Sensor for Fe³⁺, Cr^{VI} Anions, and Picric Acid, *Chem. Eur. J.*, 2016, 22, 1 8769 – 1 8776
36. P. Ju, E. Zhang, L. Jiang, Z. Zhang, X. Hou, Y. Zhang, H. Yanga, J. Wang, A novel microporous Tb MOF fluorescent sensor for highly selective and sensitive detection of picric acid, *RSC Adv.*, 2018, 8, 21671–21677
37. T. Xia, F. Zhu, Y. Cui, Y. Yang, Z. Wang, G. Qian, Highly selective luminescent sensing of picric acid based on a water-stable europium metal-organic framework. *Journal of Solid State Chemistry*, 2017, 245, 127–131
38. H. H. Yu, J. Q. Chi, Z. M. Su, X. Li, J. Sun, C. Zhou, X. L. Hu, Q. Liu, A water-stable terbium metal–organic framework with functionalized ligands for the detection of Fe³⁺ and Cr₂O₇²⁻ ions in water and picric acid in seawater, *CrystEngComm.*, 2020, 22, 3638-3643
39. X. Z. Song, S. Y. Song, S. N. Zhao, Z. M. Hao, M. Zhu, X. Meng, L. L. Wu, H. J. Zhang, Single Crystal- to- Single-Crystal Transformation of a Europium(III) Metal–Organic Framework Producing a Multi-Responsive Luminescent Sensor. *Adv. Funct. Mater.* 2014, 24, 4034–4041
40. J. D. Xiao, L. G. Qiu, F. Ke, Y. P. Yuan, G. S. Xu, Y. M. Wang, X. Jiang, Rapid Synthesis of Nanoscale Terbium-Based Metal–Organic Frameworks by a Combined Ultrasound-Vapour Phase Diffusion Method for Highly Selective Sensing of Picric Acid. *J. Mater. Chem. A*, 2013, 1, 8745–8752.
41. X. Xu, R. Ray, Y. Gu, H. J. Ploehn, L. Gearheart, K. Raker, W. A. Scrivens, Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments, *J. Am. Chem. Soc.*, 2004, 126

42. Y. P. Sun, B. Zhou, Y. Lin, W. Wang, K. S. Fernando, P. Pathak, M. J. Mezziani, B. A. Harruff, X. Wang H. Wang, Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence, *J. Am. Chem. Soc.*, 2006, 128, 7756.
43. S. N. Baker, G. A. Baker, Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2010, 49, 6726
44. S. L. Hu, K. Y. Niu, J. Sun, J. Yang, N. Q. Zhao, X. W. Du, One-step synthesis of fluorescent carbon nanoparticles by laser irradiation, *J. Mater. Chem.* 2009, 19, 484 – 488
45. J. G. Zhou, C. Booker, R. Y. Li, X. T. Zhou, T. K. Sham, X. L. Sun, Z. F. Ding, An electrochemical avenue to blue luminescent nanocrystals from multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs), *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 744 – 745.
46. H. Zhu, X. L. Wang, Y. L. Li, Z. J. Wang, F. Yang, X. R. Yang, Microwave synthesis of fluorescent carbon nanoparticles with electrochemiluminescence properties, *Chem. Commun.* 2009, 5118 – 5120.
47. Q.-L. Zhao, Z.-L. Zhang, B.-H. Huang, J. Peng, M. Zhang, D.-W. Pang, Facile preparation of low cytotoxicity fluorescent carbon nanocrystals by electrooxidation of graphite, *Chem. Commun.*, 2008, 5116
48. S. C. Ray, A. Saha, N. R. Jana, R. Sarkar, Fluorescent carbon nanoparticles: synthesis, characterization, and bioimaging application, *J. Phys. Chem. C*, 2009, 113, 18546.
49. L. Cao, X. Wang, M. J. Mezziani, F. Lu, H. Wang, P. G. Luo, Y. Lin, B. A. Harruff, L. M. Veca, D. Murray, Carbon dots for multiphoton bioimaging, *J. Am. Chem. Soc.*, 2007, 129, 11318
50. S. T. Yang, L. Cao, P. G. Luo, F. Lu, X. Wang, H. Wang, M. J. Mezziani, Y. Liu, G. Qi, Y.-P. Sun, Carbon dots for optical imaging in vivo, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, 131, 11308
51. A. B. Bourlinos, A. Bakandritsos, A. Kouloumpis, D. Gournis, M. Krysmann, E. P. Giannelis, K. Polakova, K. Safarova, K. Hola, R. Zboril, Gd (III)-doped carbon dots as a dual fluorescent-MRI probe, *J. Mater. Chem.*, 2012, 22, 23327
52. H. X. Zhao, L. Q. Liu, Z. De Liu, Y. Wang, X. J. Zhao, C. Z. Huang, Highly selective detection of phosphate in very complicated matrixes with an off-on fluorescent probe of europium-adjusted carbon dots, *Chem. Commun.*, 2011, 47, 2604
53. A. Zhu, Q. Qu, X. Shao, B. Kong, Y. Tian, Carbon-dot-based dual-emission nanohybrid produces a ratiometric fluorescent sensor for in vivo imaging of cellular copper ions, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2012, 124, 7297
54. W. Shi, Q. Wang, Y. Long, Z. Cheng, S. Chen, H. Zheng, Y. Huang, Carbon nanodots as peroxidase mimetics and their applications to glucose detection, *Chem. Commun.*, 2011, 47, 6695
55. W. Shi, X. Li, H. Ma, A tunable ratiometric pH sensor based on carbon nanodots for the quantitative measurement of the intracellular pH of whole cells, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2012, 51, 6432
56. Li, J., Zhang, L., Li, P., Zhang, Y., & Dong, C. (2018). One step hydrothermal synthesis of carbon nanodots to realize the fluorescence detection of picric acid in real samples. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 258, 580–588
57. T., V., M., A., Muhammed, S., Joseph, J., & Anappara, A. A. (2021). Multi-functional carbon dots for visual detection of picric acid and white-light emission. *Materials Research Bulletin*, 138, 111223
58. H.K. Sadhanala, K.K. Nanda, Boron and nitrogen co-doped carbon nanoparticles as photoluminescent probes for selective and sensitive detection of picric acid, *J. Phys. Chem. C* 119 (2015) 13138–13143
59. Q.H. Ye, F.Y. Yan, D.C. Shi, T.C. Zheng, Y.Y. Wang, X.G. Zhou, L.

- Chen, N, B-doped carbon dots as a sensitive fluorescence probe for Hg²⁺ ions and 2,4,6-trinitrophenol detection for bioimaging, *J. Photochem. Photobiol. B* 162 (2016) 1–13
60. Fan, Y. Z., Zhang, Y., Li, N., Liu, S. G., Liu, T., Li, N. B., & Luo, H. Q. (2017). A facile synthesis of water-soluble carbon dots as a label-free fluorescent probe for rapid, selective and sensitive detection of picric acid. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 240, 949–955
61. Khan, Z. M. S. ., Saifi, S., Shumaila, Aslam, Z., Khan, S. A., & Zulfequar, M. (2019). A Facile One Step Hydrothermal Synthesis of Carbon Quantum Dots For Label-Free Fluorescence Sensing Approach to Detect Picric Acid in Aqueous Solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 112201
62. K.Kalanidhi, P.Nagaraaj, Facile and Green synthesis of fluorescent N-doped carbon dots from betel leaves for sensitive detection of Picric acid and Iron ion. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2021, 418, 113369
63. H. M., Ahmed, M. Ghali, W., Zahra, M. M. Ayad, Preparation of carbon quantum dots/polyaniline nanocomposite: Towards highly sensitive detection of picric acid. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2021, 260, 119967
64. Ju, B., Wang, Y., Zhang, Y.-M., Zhang, T., Liu, Z., Li, M., Xiao-An Zhang, S., Photostable and Low Toxic Yellow-Green Carbon Dots for Highly Selective Detection of Explosive 2,4,6-Trinitrophenol Based on the Dual Electron Transfer Mechanism. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2018, 10(15), 13040–13047
65. Shi, D., Yan, F., Zheng, T., Wang, Y., Zhou, X., Chen, L., P-doped carbon dots act as a nanosensor for trace 2,4,6-trinitrophenol detection and a fluorescent reagent for biological imaging. *RSC Advances*, 2015, 5(119), 98492–98499

PHOTODEGRADATION OF CONGO RED USING ZINC (II) OXIDE IN CIRCULATING CONDITIONS

K. Hutsul, I. Ivanenko, G. Krymets, T. Puzatko

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
37 Peremohy ave., 03056, Kyiv, Ukraine

x_gucul1997@ukr.net, irinaivanenko@hotmail.com

With the development of industry, a large amount of industrial wastewater appears, which can be discharged into reservoirs without proper treatment. Such wastewater contains toxic organic substances in various quantities and can cause great harm to human health and the environment. Among water pollutants, dyes have become an acute cause of environmental problems. The largest amount of wastewater with a wide range of pollutants is discharged by textile plants. Treatment of these wastewaters before their discharge is desirable and provided by law. Another problem is the small number of technologies for wastewater treatment from dyes at municipal treatment plants. One of the effective processes of removing organic matter from water is photocatalysis [1].

The most common and widely described photocatalysts are transition metal oxides and semiconductors: TiO_2 , ZnO , SnO_2 та CeO_2 , etc. [2-5]. Semiconductor metal oxide photocatalytic materials, such as zinc (II) oxide, are attractive materials due to their unique properties. These are high chemical stability, high coefficient of electrochemical bond, high refractive index, high thermal conductivity, antibacterial and UV-protective properties [6-7]. Due to these properties, ZnO is added to plastics, rubber, ceramics, paints, glass, cement, sealants, concrete, food, batteries, etc [8-10].

In the presented study, a comparison of the degradation efficiency of a common organic dye with zinc (II) oxide was performed. Two samples were used as a photocatalyst. The first ZnO sample was pre-synthesized by the method of precipitation from the precursor zinc (II) acetate, which is described in [7-8,11-12]. The second ZnO sample was a powder produced by industry. Congo red dye with an initial concentration of $C_0=25.0$ mg/L was used as a model pollutant. The degree of its photocatalytic degradation in the presence of the above-described samples of photocatalysts was studied in a model laboratory installation in circulating conditions.

A suspension of the photocatalyst in a small volume of the dye solution was first sonicated for 5 minutes. The resulting suspension was quantitatively transferred to a 5 dm³ vessel to a stock dye solution with a total volume of 3 dm³. After that, the pump was switched on to circulate the solution, and after 20 minutes, a 24-watt UV lamp was additionally turned on. Samples of the test solution were taken every 5 minutes for half an hour. Each suspension sample was filtered through a syringe membrane filter to separate the photocatalyst powder and the residual dye concentration was determined by the photometric method. Then calculated the degree of photocatalytic degradation (a,%). The results of this study are shown in Fig.1.

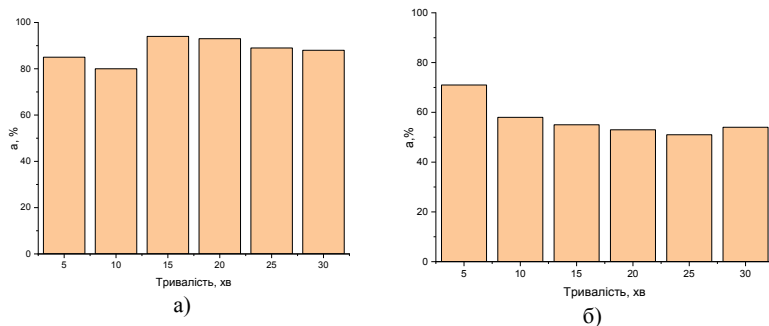


Figure 1 - The degree of photocatalytic decomposition of Congo red, in the presence of: a) synthesized ZnO, b) industrial ZnO.

As can be seen in Fig.1.a, a solution of Congo red dye with the initial concentration of 25 mg/L in the presence of synthesized zinc (II) oxide was subjected to discoloration by 95% after 15 minutes of ultraviolet irradiation under circulating conditions. The average degree of the dye photodegradation for 30 min of ultraviolet radiation consisted 93%. In the presence of an industrial sample of the photocatalyst, it was not possible to achieve similar high degrees of photodegradation, the highest of which did not exceed 70%.

To explain such difference in the catalytic activity of the same chemically identical samples and to find out the reasons for this, a study of the chemical composition of the surface of both photocatalysts was performed. In this experiment, we studied the distribution of surface centers by the degree of acidity by the method of Hammett using thirteen indicators with different pK_a values: in the range from +0.80 to +12.8.

Figure 2 shows the graphs of the distribution of surface centers by the degree of acidity for synthesized in the laboratory and industrial samples of zinc (II) oxide. With the help of these graphs, it is easy to compare the chemical composition of the surface of both applied photocatalysts.

For the synthesized sample of zinc (II) oxide, the surface properties were determined by the presence of intense peaks in the neutral ($pK_a=6.4-7.15$) and main ($pK_a=8.80-9.45$) areas of Brönsted. That is, it was characterized by electron-acceptor properties. But, due to the presence of peaks in the neutral region, it is possible to shift the established equilibrium towards the manifestation of the surface centers of proton-donor or proton-acceptor properties.

The surface centers at $pK_a=7.15$, which are present in the synthesized sample in the largest amount, are completely absent in the industrial sample of zinc (II) oxide. That is, its surface does not have multi-functional properties, and its surface centers cannot change the charge. This difference in the nature of the surfaces is the explanation for the different photocatalytic activity of the studied samples of photocatalysts, in our opinion.

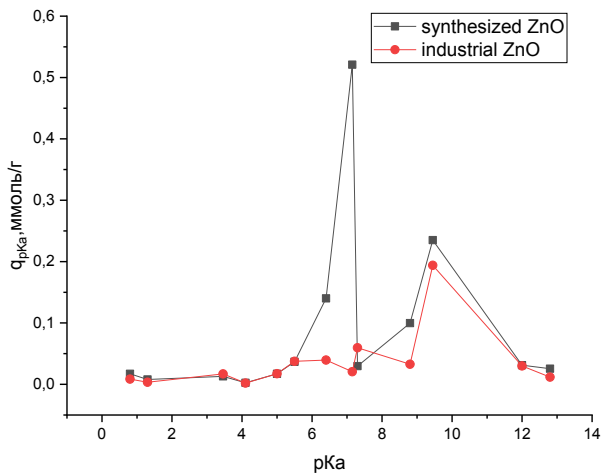


Figure 2 - Distribution of the surface centers by degree of acidity on:
a) synthesized ZnO, b) industrial ZnO.

Thus, the zinc (II) oxide synthesized by deposition in the laboratory experimentally confirmed its high activity in the process of photocatalytic decomposition of Congo red dye under circulating conditions, and its catalytic activity exceeds that of industrial zinc (II) oxide. It is due not only to their crystalline structure, but also surface chemistry, in particular due to the presence of acid-base centers of different strength, in our opinion.

References:

1. Gross S. Sol-gel derived silica-based organic-inorganic hybrid materials as composite precursors for the synthesis of highly homogeneous nanostructured mixed oxides / Gross S., Muller K. // *J. Sol-Gel Sci. Technol.* – 2011. – V.60. – P.283–298.
2. Sanchez C. Applications of advanced hybrid organic-inorganic nanomaterials: From laboratory to market / Sanchez C., Belleville P., Popall M., Nicole L. // *Chem. Soc. Rev.* – 2011. – V. 40. – P. 696–753.
3. Yuan C. Mixed transition-metal oxides: Design, synthesis, and energy-related applications / Yuan C., Wu H.B., Xie Y., Lou X.W. // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2014. – V. 53. – P. 1488–1504.
4. Chauhan I. Metal oxide nanostructures incorporated/immobilized paper matrices and their applications / Chauhan I., Aggrawal S., Mohanty C., Mohanty P. // *RSC Adv.* – 2015. – V. 5. – P. 83036–83055.
5. Debecker D.P. Mesoporous mixed oxide catalysts via non-hydrolytic sol-gel / Debecker D.P., Hulea V., Mutin P.H. // *Appl. Catal. A.* – 2013. – V. 451. – P. 192–206.
6. Kolodziejczak-Radzimska A. Zinc oxide—From synthesis to application / Kolodziejczak-Radzimska A., Jesionowski, T. // *Materials.* – 2014. – V. 7. – P. 2833–2881.
7. Гуцул Х.Р. Структура і властивості цинку (II) оксиду. Огляд / Гуцул Х.Р., Іваненко І.М. // *Екологічні науки: науково-практичний журнал* / Головний редактор Бондар О.І. – К.: ДЕА, 2020. – № 2(29). Т. 1. – 182 с. – С.140-144.

8. Ivanenko I. The precipitation synthesis of zinc (II) oxide for photocatalytic degradation of anionic and cationic dyes / Ivanenko I., Hutsul K., Krymets G. // *Applied Nanoscience*. – 2021. – V. 11. – P. 1-5.

9. Gao L. Preparation and electric properties of dense nanocrystalline zinc oxide ceramics / Gao L., Li Q., Luan W.L. // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2002. – V. 85. – P. 1016–1018.

10. Ulyankina A. Large-scale synthesis of ZnO nanostructures by pulse electrochemical method and their photocatalytic properties / Ulyankina A., Leontyev I., Avramenko M., Zhigunov D., Smirnova N. // *Mater. Sci. Semicond. Process.* – 2018. – V. 76. – P. 7–13.

11. Гуцул Х.Р. Отримання цинк(II) оксиду методом осадження / Гуцул Х.Р., Іваненко І.М. // *Tendances scientifiques de la recherche fondamentale et appliqué*. – 2020. – V. 2. – P. 7-10.

12. Гуцул Х.Р. Дослідження морфології напівпровідного цинку(II) оксиду / Гуцул Х.Р., Іваненко І.М., Кринець Г.В. // *Science and practice: implementation to modern society*. – 2020. – V. 1. – P. 173-175.

ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ З ПОДАЛЬШИМ ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

В.С Коваленко

Сумський державний університет, м. Суми, Україна
vladislavkovalenko34@gmail.com

При здійсненні технологічних процесів із видобутку та подальшій підготовці нафти та газу, при їх переробці та транспортуванні утворюється значна кількість нафтовмісних відходів, які являють собою цінний сировинний ресурс.

Нафтовмісні відходи представляють собою суміш відпрацьованих бурових розчинів, води гірських порід, глини, цементу, нафти та нафтопродуктів. Основними забруднюючими речовинами, що несуть значну загрозу навколишньому середовищу та входять до складу нафтовмісних відходів, є нафта та нафтопродукти, хімічні реагенти різного походження (луги, кислоти, синтетичні ПАВ, полімери, сполуки заліза, барію, хрому, органічні речовини, вуглеводні, феноли, карбонові кислоти).

Серед джерел утворення нафтовмісних відходів, можливо виділити наступні:

- буріння свердловин (бурові розчини);
- очисні споруди;
- резервуари зберігання нафти (донні залишки, що містять в своєму складі парафіни, асфальтени та механічні домішки);
- ємності, що знаходяться під тиском (в'язкі осади, що складаються з емульсії та частинок глини, піску, кристалів солі);
- свердловини із видобутку нафти та газу (при поточному ремонті утворюються відходи, що складаються із парафінів, асфальтенів та замазученого ґрунту);
- технологічні об'єкти (нафтопроводи), при аваріях на яких є розлив нафти [1].

Компонентний склад та фізико-хімічні властивості нафтовмісних відходів є вирішальними факторами, що визначають забруднюючі властивості відходів та їх подальший напрямок утилізації.

Відходи нафтогазовидобування являють собою аномально стійкі емульсії, які постійно змінюються під дією атмосферних явищ та процесів, що в них протікають. Складність ефективної утилізації відходів нафтогазовидобування полягає у їх хімічному складі. Навіть в одному шламовому амбарі можуть знаходитися зовсім не схожі шлами, що сильно ускладнює завдання зі створення «універсальної» технології утилізації, такої, що могла б підходити для утилізації найрізноманітніших нафтовмісних відходів. В середньому, відходи нафтогазовидобування містять в своєму складі (за масою) 10-56% нафтопродуктів, 30-85% води, 13-46% твердих частинок. Співвідношення даних компонентів залежить від джерела утворення, умов та терміну зберігання відходів.

При зберіганні нафтових шламів в шламонакопичувачах, із плином часу, відбувається поступове вирівнювання фізико-хімічних характеристик нафтових шламів із ріхних джерел по причині перерозподілу фаз компонентів шламу та стабілізації складу вуглеводневої частини [2].

Нафтові шлами в амбарах-накопичувачах можна розділити на три шари:

- верхній – емульсія «прямого» та «зворотнього» типу, яка стабілізована механічними домішками;
- середній – відстояна вода, що забруднена нафтопродуктами та механічними домішками;
- нижній – осадок, в якому вміст нафтопродуктів, переважно, постійний, а вміст механічних домішок збільшується із глибиною.

Широкий діапазон якості та складу нафтових шламів, а також велика кількість їх видів вказують на складність їх переробки та подальшої утилізації. Вирішення цієї проблеми можливо за рахунок використання технологій в галузі утилізації та переробки нафтових шламів із урахуванням комплексного підходу.

Накопичення та зберігання нафтовмісних відходів відбувається у відкритих земляних резервуарах – нафтошлямових амбарах, різної конструкції. Нафтошлямові амбари здійснюють значний негативний вплив на навколишнє середовище – повітря, ґрунт, воду, рослинний та тваринний світ. В зв'язку зі зростаючими вимогами до охорони навколишнього середовища проблема утилізації відходів нафтогазовидобування та ліквідації шлямових амбарів вимагає значної уваги.

Весь процес переробки та утилізації нафтовмісних відходів, можна представити у наступному вигляді:

- збір нафтових відходів із резервуару, амбару або зі ставка-відстійника;
- транспортування нафтових відходів до установок із підготовки та переробки або для переробки та утилізації;
- попередня підготовка нафтовмісних відходів до переробки та утилізації;
- здійснення переробки та утилізації, за попередньо обраним методом.

На сьогоднішній день, перспективними є технології, що дозволяють ефективно знешкоджувати нафтовмісні відходи з мінімальним впливом на навколишнє середовище, при цьому які дають змогу отримувати з відходів цінні сировинні ресурси, при мінімальних капітальних затратах.

Технології з переробки відходів нафтогазовидобування можливо розділити на наступні методи [3]:

- термічні, основані на спалюванні в печах, відкритих амбарах, а також отримання залишків, на основі бітуму. До термічних, також, відносяться піроліз та газифікація відходів;
- механічні, основані на фізичному розподілі нафтових шламів, включно із перемішуванням;
- хімічні, які включають в себе екстрагування з використанням розчинників, затвердіння із застосуванням різних добавок;
- фізико-хімічні, в яких застосовуються спеціально підібрані реагенти, що дають змогу змінювати фізико-хімічні властивості, з подальшою обробкою на спеціальному обладнанні;
- біологічні включають в себе біологічне розкладання із застосуванням мікроорганізмів.

Способи утилізації відходів нафтогазовидобування мають різну екологічну та економічну ефективність. Найбільш поширеними способами утилізації є: термічний метод, фільтрування та відстоювання. В процесі переробки нафтових шламів, можливе їх розділення на фракції.

До недоліків спалювання відходів нафтогазовидобування слід віднести, те, що реалізація процесу здійснюється на установках зі складним апаратним забезпеченням та за високих температур, що, в свою чергу, вимагає високих капітальних та експлуатаційних затрат. Існують обмеження до застосування даного методу за складом нафтових шламів. Разом із продуктами реакції виноситься частина енергії у вигляді тепла, що значно знижує енергетичну ефективність. В переважній більшості випадків, спостерігається нове забруднення атмосферного повітря продуктами спалювання нафтових шламів.

Недоліками біологічного методу утилізації відходів нафтогазовидобування являються високі енергетичні затрати задля його здійснення, складність та багатостадійність процесу, в тому числі, наявність такої стадії, як виділення, нарощування і внесення бактерій-деструкторів для розкладу забруднювачів у матеріалі який обробляється.

Недосконалими є фізичні та фізико-хімічні методи утилізації нафтовмісних відходів. Низька ефективність фізичних методів розділення, значна тривалість процесу та обмежена область застосування, також не дозволяють віднести ці методи до перспективних та сучасних.

Вплив на відходи нафтогазовидобування за допомогою хімічних речовин, призводить до значного зростання собівартості кінцевого продукту, до необхідності застосування спеціального обладнання та витрат на його обслуговування та є складно регульованим процесом.

Проблема утилізації відходів нафтогазовидобування є актуальною задачею, як з точки зору охорони навколишнього середовища, так і використання нафтовмісних відходів в якості вторинних сировинних ресурсів.

В США розроблена мобільна система обробки та очистки маслоснафтових відходів MTU 530. В результаті центрифугування нагрітого нафтового шламу, установка розділяє його на різні фази: нафта, вода, тверді частинки. Вода використовується для подальшої біологічної очистки, нафта застосовується в технічних цілях, а зневоднений залишок – при виробництві будівельних матеріалів.

В Німеччині запропонована технологія розділення відходів нафтогазовидобування на фази з подальшим спалюванням шламу. Установка складається з пристрою для забору нафтового шламу, вібросита, для відділення твердих частинок, трьохфазної центрифуги, сепаратора, для доочистки фугату з центрифуги та печі. Але даний метод неможливо застосовувати при наявності фосфору, сірки та інших токсичних речовин у відходах, оскільки при їх спалюванні утворюються небезпечні продукти реакції.

Розглянуті технології з утилізації не дозволяють перероблювати великі об'єми відходів нафтогазовидобування. Комплексна установка, розроблена компанією Alfa Laval Oil Field Ltd, дозволяє перероблювати всі види нафтових шламів в цінні товарні продукти. Технологія основана на фільтруванні нафтового шламу, з метою видалення крупних та дрібних частинок та сепарацію в двохфазній центрифугі. Установка включає в себе: шламонакопичуючий пристрій, теплообмінники, сировинні резервуари, сепаратор. При експлуатації установки та забезпеченні її нафтовим шламом з номінальною характеристикою, забезпечується отримання наступних продуктів переробки: нафтова фаза із вмістом води не більше 1% та механічних домішок не більше 0,05%, очищена вода та шлам. Зміна параметрів номінальної сировини буде відображатися на

ефективності розділення сепаруючою установкою та може призводити до зниження її ефективності.

В роботі [4] з урахуванням різних досліджень в сфері утилізації нафтових шламів, запропонована схема створення дослідно-промислової лінії із переробки відходів нафтогазовидобування та виготовлення на ній будівельних матеріалів та паливних елементів. Така лінія, в загальному вигляді, включає в себе наступні технологічні вузли: вузол збирання та перемішування відходів; вузол випаровування води та легких фракцій вуглеводнів; вузол регенерації парів легкокипячих фракцій нафти шляхом їх конденсації; вузол дозування та змішування нафтових шламів із шихтою обраного типу або з горючими компонентами; вузол приготування шлікера; вузол попередньої природної або технологічної сушки сумішей (приготування сухих порошоків); вузол пресування шихти або вузол розливання шлікера по формам; вузол сушки формованих виробів або паливних брикетів. В залежності від конкретної задачі утилізації будь який із вузлів може бути або повністю виключеним із технологічного ланцюжка або замінений на інший.

На основі аналізу більшості відомих технологій та способів утилізації відходів нафтогазовидобування, можливо зробити висновок, що перспективним та сучасним є саме комплексний підхід у використанні різних методів обробки нафтових шламів, при яких вуглеводні, вода та механічні домішки перероблюються та повертаються до технологічного рециклу, за принципом безвідходної технології.

В залежності від складу та фізико-хімічних властивостей нафтових відходів, слід застосовувати різні технологічні схеми для їх утилізації. При виборі технології слід брати до уваги її фінансову доступність, а також доцільність для споживача. Для конкретної галузі промисловості необхідна технологія повинна впроваджуватися із врахуванням економічно та технологічно доступних умов. Важливим аспектом при утилізації відходів нафтогазовидобування є комплексний захист навколишнього середовища, тобто при застосуванні технологій зі знешкодження відходів не повинно відбуватися ще більшого забруднення.

Пріоритетними напрямками при поводженні з відходами є їх використання в якості вторинних сировинних ресурсів. Це дозволяє не тільки знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище, але і забезпечити більш раціональне використання природних ресурсів.

Основні принципи у виборі технології для знешкодження та утилізації відходів нафтогазовидобування полягають у наступному:

- визначення складу, кількості та властивостей відходів, що утилізуються, а також факторів, що впливають на їх зміну;
- вибір технології, що завдає мінімальних екологічних збитків навколишньому середовищу та одночасно має низькі капітальні затрати, дозволяючи отримувати прибуток;
- вибір області застосування відходів в якості вторинних матеріальних ресурсів залежить від складу відходів експлуатаційних, технологічних та санітарно-гігієнічних вимог до сировини та продукції, що виготовляється.

Екологічна модернізація принципів утилізації відходів передбачає не лише взаємодію традиційних способів керування відходами та заходів щодо їх скорочення, вторинної переробки та утилізації, а ще й оцінку екологічної безпеки відходів та продуктів утилізації.

Список літературних джерел

1. Суркова Ю.И., Максютин А.В., Мардашов Д.В., Ленченков Н.С., Гладков П.В., Тананыхин Д.С., Хусаинов Р.Р. Минимизация воздействия на окружающую среду при обращении с твердыми нефтесодержащими отходами // Нефтяное хозяйство. 2013. №12. С. 111 – 113.
2. Минигазимов, Н.С. Техника и технология утилизации нефтяных отходов / Н.С. Минигазимов, В.А. Расветалов, И.Н. Минигазимов, А. Тараф. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 316 с.
3. Жаров, О.А. Современные методы переработки нефтешламов / О.А. Жаров, В.Л. Лавров // Экология производства. – 2004. – №5. – С. 43 – 51.
4. Утилизация серы как отхода переработки нефти при изготовлении радиационно-защитных композиционных материалов / Бормотов А.Н., Колобова Е.А. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – № 2 (6). – С. 200–206

KINDS OF SORBENTS BASED ON CARBON AND THEIR PROPERTIES

S.E. Svirska, I.M. Ivanenko, Yu.M. Fedenko

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

fedenko@ukr.net

Most of industrial adsorption processes are based on selective absorption of specific components of the gas-vapor mixture flow. During the absorption of gas or vapor, adsorption capacity depends on the type of sorbent, its porous structure, the nature of the substance absorbed is its partial pressure and temperature [1].

In real process of the purification and separation of gases, influence of adsorption of bulk gas and other impurities, and kinetic factors may cause the need to make adjustments in calculation of the adsorption capacity, which was initially determined by isotherms of pure components. However, in all real adsorption process, curve of thermodynamic equilibrium is the main comparative characteristics of different types of adsorbents and it determines the choice of optimal operating conditions of the process.

Simultaneously, the adsorption isotherm is a source of information about the structure of the adsorbent, adsorption heat and several other physic-chemical and technological characteristics.

C. Brunauer [1] highlighted five main types of adsorption isotherms, which are presented in Pic. 1. In the case of technical adsorbents, type I can be characterized as microporous adsorbents that contain virtually no transient pores. Initial bulging area of type II and IV isotherms indicate presence of macro pores with more or less substantial amount of micro pores in conjunction. Less steep initial ascent isotherm curves can be explained by mono- and multimolecular adsorption only for adsorbents with transitional porous type. Initial curved section isotherms types III and V, which are rarely found, are common for adsorbent-adsorbate systems, when interaction of molecules of adsorbate with an adsorbent much less than intermolecular interaction between adsorbate molecules, for example, caused by a presence of hydrogen bonds.

The first fundamental equation of adsorption isotherm was Langmuir's equation. It is based on the assumption that the adsorption localized and occurs at active centers with the equal energy. They situated relatively rarely on the surface of the adsorbent. Consequently, the interaction between adsorbed molecules is absent. Each active center can adsorb only one molecule. According to this theory, with increasing of pressure, the part of solid surface, which is covered with molecules of adsorbate, increase. After reaching saturation pressure throughout the surface a monolayer of adsorbate is formed [2,3].

The equation of Langmuir, and hence the method for determining the surface area can be applied to systems in which the process is not complicated by multimolecular adsorption, adsorption in micro pores and capillary condensation. To such systems can be attributed the case of adsorption of gases at temperatures above the critical on non-porous or adsorbents with large pores. Despite this limitation, the equation of Langmuir commonly used in technical adsorption.

Brunauer, Emmett and Teller [4,5] in justifying theory multimolecular adsorption accepted that, despite the change in the total process model, the behavior of each adsorbed layer separately consistent with the concept Langmuir, adsorption localized and occur in the absence of interaction between the molecules of adsorbate. Each adsorbed layer generally obeys the Langmuir's equation. To create the equation of multimolecular adsorption, the authors started from the point that the rate of

condensation of molecules on a clean surface is equal to the evaporation rate on the first layer. Similar assumptions made when comparing the rate of condensation in each of the previous and the evaporation rate in each subsequent layer.

The principal difference between adsorption phenomena occurring in the micro pores or on the surface of transient pores in non-porous adsorbents requires different theoretical approaches to their description and interpretation. All theories of physical adsorption, despite their apparent physical differences, come from the same physical pattern. This physical pattern is concerned about the concept of geometric surface of phase interaction, at which the adsorption occurs with formation of one or more successive adsorption layers [8,9].

The idea of micropores as a region of space in solids, which size is comparable with the size of adsorbed molecules, suggests that in any kind of adsorption interactions (independently whether it is dispersion, electrostatic or other forces) that cause physical adsorption, in the whole space of micro pores the adsorption field appears. Limited adsorption space of micro pores leads to the fact that adsorbed in micro pores molecules do not form adsorption layers. Adsorption in micro pores is characterized volume filling of adsorption space. Therefore, the main geometric parameter that characterize microporous adsorbent is the volume of micro pores, not their «surface».

Usually, the initial experimental adsorption isotherms determined for the temperature not to exceed the normal boiling point of adsorbate and includes a range of relative equilibrium pressures of up to decimal, in which almost completed filling of micro pores occur. Therefore, the previous value of the threshold adsorption can be obtained from the graph of isotherm by interpolation of adsorption values a_0 in the range of the high equilibrium relative pressures $p/p_s > 0,3$, where adsorption is almost constant or slightly increases with pressure. This vapor adsorption isotherm is changed for adsorption that occurs on the surface of transient pores.

The main parameters of transient pores of activated carbon is the value of the volume of pores, specific surface and function of the distribution of equivalent radius. Volume of transient pores in conventional samples of activated carbon is within the range 0,02-0,10 cm^3/g . In this case, the specific surface of transient pores is in the range of 20 to 70 m^2/g . The effective range of transient pores for up distribution curves are usually stacked in the range of 4 to 20 nm. Pores of highly porous silica gel, alum gel and alum-silicate catalysts also belong to the transition type.

Volume of transient pores usually calculated from the equation:

$$V_p = W_S - V_{mic}, \quad (1)$$

where W_S – threshold volume of sorption space, which, in turn, is equal to:

$$W_S = aS \cdot V_m, \quad (2)$$

where V_m – molar volume of adsorbed material (adsorbate); aS – threshold absorption, which is corresponds to $p/p_s \approx 1$. (Defined by desiccator method in conditions of full saturation of adsorbent sample by adsorbate vapour at $p/p_s \approx 1$.)

Most of industrial adsorption processes are based on selective absorption of specific components of the gas-vapor mixture flow. During the absorption of gas or vapor, adsorption capacity depends on the type of sorbent, its porous structure, the nature of the substance absorbed is its partial pressure and temperature [1].

Parameters of porous structure of major industrial brands of carbon adsorbents for adsorption of gases and vapors are given in Table 1 and Table 2.

Table 1

Parameters of porous structure of activated carbon [2]

Brand	Volume of common pores types, cm^3/g			W_{01} , cm^3/g	W_{02} , cm^3/g	X_1 , nm	X_2 , nm
	V_{mic}	V_{mez}	V_{mac}				
SCT	0,40-0,48	0,18-0,19	0,26-0,28	0,40-0,48	—	0,54-0,57	—
SCT-1A	0,45-0,55	0,14-0,15	0,18-0,24	0,46-0,57	—	0,60-0,62	—
SCT-1B	0,42-0,50	0,15-0,17	0,18-0,22	0,43-0,59	—	0,61-0,64	—
SCT-2A	0,37-0,42	0,18-0,22	0,20-0,22	0,38-0,45	—	0,50-0,52	—
SCT-2B	0,35-0,40	0,17-0,20	0,12-0,18	0,37-0,42	—	0,54-0,55	—
SCT-3	0,37-0,46	0,06-0,09	0,25-0,32	0,37-0,46	—	0,47-0,55	—
SCT-3C	0,35-0,45	0,06-0,08	0,15-0,20	0,43-0,55	—	0,50-0,55	—
SCT-3U	0,37-0,42	0,24-0,28	0,21-0,24	0,39-0,43	—	0,70-0,75	—
SCT-4	0,40-0,42	0,15-0,20	0,12-0,20	0,42-0,46	—	0,59-0,60	—
SCT-6A	0,57-0,60	0,15-0,25	0,15-0,25	0,59-0,62	—	0,70-0,73	—
SCT-6B	0,55-0,61	0,17-0,28	0,15-0,30	0,57-0,60	—	0,66-0,69	—
SCT-7A	0,47-0,50	0,20-0,22	0,15-0,20	0,48-0,53	—	0,64-0,70	—
SCT-7B	0,48-0,52	0,21-0,23	0,16-0,17	0,49-0,55	—	0,66-0,72	—
SCT-7C	0,44-0,49	0,15-0,17	0,11-0,25	0,45-0,53	—	0,62-0,66	—
SCT-10	0,40-0,42	0,20-0,21	0,21-0,27	0,43-0,44	—	0,59-0,65	—
APT-1	0,43-0,45	0,15-0,20	0,12-0,30	0,44-0,47	—	0,60-0,67	—
APT-2	0,45-0,48	0,10-0,20	0,19-0,32	0,45-0,50	—	0,54-0,56	—
AG-PR	0,30-0,35	0,10-0,12	0,40-0,49	0,20-0,32	0,10-0,12	0,70-0,80	1,00-1,20
AG-OC	0,45-0,47	0,05-0,15	0,10-0,20	0,47-0,52	—	0,70-0,72	—

There are the following main brands of activated carbon of this type: SCT, SCT-1, SCT-2, SCT-3, SCT-3C, SCT-3U, SCT-4, SCT-6, SCT-7, SCT-10, SCPTC, APT, AG-PR, AG-OC, which are used for separation from air vapors of organic compounds and for the removal of gas emissions.

Table 2

The specific geometric surface of micro pores

Brand of carbon	$S, \text{m}^2/\text{g}$
SCT	1200-1500
ACB	1000-1200
AG-OC	900-1000
PAU-1	2000-2500

Activated carbon of this type is characterized by: high adsorption and holding capacity; sufficiently high mechanical strength; high activity (coal for recovery of organic solvents vapor, gasoline, ethanol, ethyl acetate, dichloroethane, etc.).

Depending on the design of the absorber (stationary, «boiling» or non-stationary layer) different requirements for fractional composition of coal are imposed.

Comparative evaluation of adsorption and strength of active carbon gas type (Table 3) shows almost complete identity of its adsorption characteristics by the bulk density, the volume of micro pores and the values of the time of protective action for substances that are badly and well absorbed. Domestic gas coal inferior to foreign models by strength.

Table 3

Parameters of industrial gas type activated carbon [3]

Brand	Apparent density, kg/dm ³	Mechanical strength, %	The volume of micro-pores, cm ³ /g	Duration of protective action, min	
				chloroethyl	benzene
AG-2	0,58	75	0,32	45	50
SCT-2	0,49	74	0,45	70	60
SCT-6	0,42	73	0,58	65	75
PK	0,52	-	0,30	57	55
PB	0,50	93	0,46	55	76
PC	0,56	93	0,26	52	45

References

1. Novy spravochnik khimika [Electronic resource]. – Rezhym dostupa: http://chemanalytica.com/book/novy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/05_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_I/594 I.
2. Karnaukhov, A. P. Adsorbtsiya. Tekstura dyspersnykh y porystykh materyalov / A.P. Karnaukhov. – Novosybyrsk: Nauka, Syb. predpriyatye RAN, 1999. – 470 P.
3. Keltsev, N. V. Osnovy adsorbtsionnoy tehniky / N. V. Keltsev. – M. : Himiya, 1984. – 592 p.
4. Davydov, S.Iu. Dyffuzyia i adsorbtsiya v heterohennykh systemakh: Ucheb. Posobyie SPb / S. Iu. Davydov, L. P. Efymenko, A. Y. Mamykyn, V. A. Moshnykov. – Yzd-vo SPbHETU «LETY», 2001. – 48 P.
5. Keltsev, N. V. Osnovy adsorbtsionnoy tehniky / N. V. Keltsev. – M. : Himiya, 1984. – 592 p.
6. Greg, S. Adsorbtsiya. Udelnaya poverhnost / S. Greg, K. Sing; perevod s angl. A. P. Karnauhova. – M. : Mir, 1984. – 310 p.
7. Kinle, H. Aktivnyie ugli i ih promyshlennoe primenenie / H. Kinle, E. Bader. – L. : Himiya, 1984. – 216 p.
8. Fenelonov, V. B. Poristyiy uglerod / V. B. Fenelonov – N. : In-t kataliza, 1995. – 518 p.
9. Tarkovskaya, I. A. Okislennyiy ugol / I. A. Tarkovskaya – K. : Nauk. dumka, 1981. – 200 p.

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ВОДИ НА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ В ЗАМКНЕНИХ ОБОРОТНИХ СИСТЕМАХ

Н.А. Білоусова, І.В. Косогіна, С.О. Кирій, Д.О. Нечипорук, С.І. Лінь

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

kosogina@xtf.kpi.ua

Осадження накипу та агрегація карбонату кальцію у промисловому теплообмінному обладнанні поряд з корозійними процесами є складними для вирішення проблемами у багатьох галузях промисловості, таких, зокрема, як виробництво хімічних добрив, паперу або цукру, у замкнених водооборотних системах а також у нафтовидобуванні. Окрім цих проблем останнім часом загострюється також і проблема водозабезпечення [1, 2]. Тому повторне використання доочищеної стічної води з сучасними стабілізаційними та антикорозійними реагентами в замкнутих циркуляційних системах допоможе вирішувати питання водозабезпечення у вищезгаданих галузях промисловості. Основними стратегіями запобігання накиповідкладення в системах нагріву-охолодження є застосування хімічних реагентів та ультразвукова обробка (УЗ). Цим проблемам присвячено чимало робіт [3 - 6]. Ультразвукова обробка середовища не тільки перешкоджає утворенню накипу, а й викликає активацію процесів окиснення забруднювачів, укрупнення колоїдів, а також молекулярні перетворення органічних речовин, тобто сприяє очищенню води [7,8]. Явища накипоутворення і корозії обладнання мають взаємний вплив. Шар накипу захищає метал від корозії, але, з іншого боку, може спричинити локальну корозію. Продукти корозії можуть включатися в шар осадів, збільшуючи його товщину і, тим самим, погіршують теплообмін. Незважаючи на численні описані в літературі роботи, небагато з них присвячені систематичному дослідженню кількісного впливу частоти та інтенсивності ультразвуку на його антискалантну ефективність та швидкість корозії металу. Причому, такі роботи містять певні суперечності щодо впливу ультразвуку на реакції прискорення або уповільнення кристалізації карбонату кальцію [6]. Ймовірно, що суперечливі висновки стосовно дії ультразвуку пояснюються різними експериментальними умовами, наприклад використанням різних способів розміщення УЗ-випромінювачів [6, 9], а також різною інтенсивністю УЗ та температурними умовами.

Тому важливим напрямком є дослідження сумісної дії реагентної та ультразвукової обробки води у теплообмінному обладнанні. Саме комплексною дією цих методів можна досягти утворення рівномірного фазового мікр шару з протикорозійними властивостями і регулювати його товщину.

Метою роботи є оцінка впливу УЗ опромінення з різною частотою у доквітаційному (27,5 кГц) та квітаційному (48 кГц) режимах на процеси корозії та накипоутворення у біологічно очищеній фільтрованій воді Бортницької станції аерації (БСА) при застосуванні реагенту комплексної дії – «Аквагону -10».

Дослідження проводили на біологічно очищеній фільтрованій воді Бортницької станції аерації (БСА) наступного складу: твердість, мМоль/дм³ - 5,35; загальний солевміст, мг/дм³ - 452,0; хлориди, мг/дм³ - 101,0; сульфати, мг/дм³ - 123,8; нітрати, мг/дм³ - 66,0; фосфати, мг/дм³ - 12,8; залізо загальне, мг/дм³ - 0,13; загальний солевміст - 452; хімічна потреба кисню ХПК, мг О₂/дм³ - 67,7; мутність, мг/дм³ - 0,14; колірність, град - 51,6. Показник рН - 7,02.

Окрім наявності високих концентрацій активуючих корозію хлорид- і сульфат-іонів, загальної твердості та лужності на корозійну агресивність води впливає окиснюваність, яка характеризує вміст здатних окислюватись органічних і неорганічних речовин (зокрема гумінових та фульво-кислот та їх солей, жирів різного походження, білків, окремих домішок промислового походження та ін.)

Для реагентної обробки використовували реагент «Акватон-10» - 30% водний розчин біоцидного полімеру полігексаметилен-гуанідину гідрохлориду (ПГМГ ГХ). Концентрація Акватона в експериментах становила 5 та 16 мг/дм³, відповідну кількість реагенту брали з 1% робочого розчину Акватона.

Дослідження накипоутворення та швидкості корозії сталі в умовах спільної дії реагенту «Акватон-10» та ультразвукового впливу на корозійне середовище проводили на лабораторній установці. В процесі утворення захисного фазового мікрошару використовували одні ті ж зразки з маловуглецевої сталі 08 кп, на яких визначали швидкості корозії і накипоутворення.

Нагрів до кипіння води проводили у водяній бані; температура корозійного середовища становила ($95 \pm 2^\circ\text{C}$). Ультразвукову обробку починали через 30 хвилин після початку кипіння води і проводили її протягом 3 годин. Відстань між нижніми краями металевих зразків до УЗ-випромінювача становила приблизно 6 см. В цьому випадку ультразвукові коливання передавались до поверхні металу через корозійне середовище.

Швидкість корозії металевих зразків I_{cor} визначали електрохімічним методом поляризаційного опору (Rp). Тривалість разової експозиції корозійних випробувань для формування осадів складала 4-5 годин. Показники Rp та I_{cor} визначали за температури 70°C до кипіння, потім витримували їх при 95°C протягом 3,5 - 4 годин і, припинивши нагрівання, знову вимірювали показники за температури 70°C . Потому електроди виймали з розчину, висушували і зважували після зберігання в ексикаторі з хлоридом кальцію протягом доби. Загальна тривалість експерименту складала 30 годин.

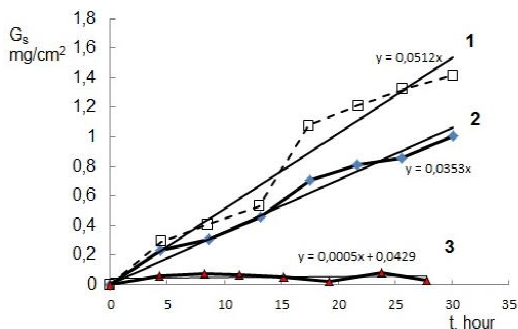
Обстеження утворених поверхневих шарів проводили за допомогою оптичного мікроскопу МБС-9.

Дослідження закономірностей формування захисних шарів на поверхні сталі у фільтрованої нагрітій воді БСА при спільній спрямованій дії ультразвуку та реагенту «Акватон 10» з концентрацією 5 та 16 мг/дм³ виявило, що швидкість накипоутворення в режимі комбінованої обробки значно знижується (рисунок 1, криві 2,3).

Слід зауважити, що показник рН води внаслідок перебігу корозійних процесів з дифузійним відновленням кисню: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = 4\text{OH}^-$ протягом одноразової експозиції збільшувався від 7,0 – 7,5 до 8,2 – 8,5. Тобто, вуглекислотна рівновага зсувалась в бік утворення карбонатів. Опромінення ультразвуком впродовж трьох годин випробувань при кипінні води сприяло суттєвому зниженню загальної і карбонатної твердості води: від 5,35 мМоль/дм³ до 2,8 – 3,0 мМоль/дм³, а також коагуляції іонів заліза, яке осаджувалося у вигляді коагульованих часток $\text{Fe}(\text{OH})_3$ на дні стакану. Оскільки твердість води знижується у два рази, це підтверджує літературні дані [6] про те, що агрегація і осадження карбонатів відбувається більшою мірою в об'ємі води.

Збільшення УЗ частоти до 48 кГц сприяло суттєвому зниженню поверхневого накипоутворення - майже у 70 разів, про що свідчить зміна нахилу графіку залежності питомої швидкості зростання маси накипу G_s в часі: від $5 \cdot 10^{-1}$ до $5 \cdot 10^{-3}$

г/м² год (рис. 2, кр.3). Проте, швидкість корозії при цьому суттєво зростала (див. нижче), а показник карбонатної твердості води після експерименту майже не змінювався, як і при використанні частоти 27,5 кГц.



1 - 16 мг/дм³ без УЗ-обробки; 2 - 16 мг/дм³ з УЗ-обробкою 27,5 кГц;
3 - 5 мг/дм³ з УЗ-обробкою 48 кГц + 5 мг без УЗ

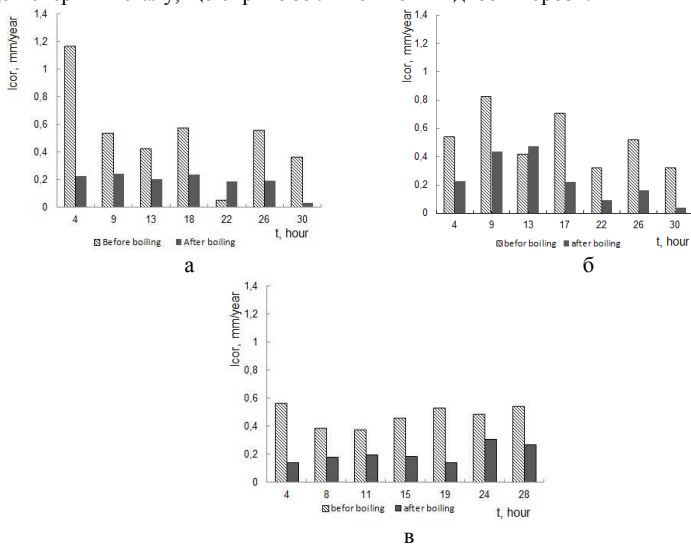
Рисунок 1 – Питома швидкість зростання маси накипу у воді з реагентом Акватон-10

Слід зазначити, що при використанні УЗ частоти 48 кГц в досліджуваному середовищі спостерігалось утворення кавітаційних бульбашок, які піднімались до поверхні і зникали після виключення опромінення. Застосування частоти 27,5 кГц не приводило до видимих коливань поверхні води. Цей висновок суперечить даним, наведеним у [6], де вказується, що при використанні саме такої частоти спостерігався найменший приріст накипу та виникнення інтенсивних брж на поверхні води. Однак зазначається, що розподіл механічної енергії вібрації може бути різним при різних рівнях води в ультразвуковій ванні, змінюючи швидкість прискорення частинок та її зміщення.

Утворення фазового мікрошару і його протикорозійні властивості в умовах періодичного нагріву–охолодження води без УЗ обробки та при застосуванні ультразвуку можна проаналізувати за даними зміни швидкості корозії сталі, які показані на діаграмах – рисунок 2. До витримки зразків в умовах кипіння показники швидкості корозії сталі в очищеній стічній воді з реагентом Акватон-10 при 70 °С знаходяться в межах $0,6 \pm 0,2$ мм/рік як з УЗ-обробкою середовища, так і без неї. Однак, після витримки зразків в умовах кипіння води у більшості випадків швидкість корозії нижча, ніж до витримки при кипінні, причому без УЗ обробки (рисунок 2 а) I_{cor} за 30 годин знижується до 0,1 мм/рік. При цьому концентрація Акватону - 10 має значно менший вплив на швидкість корозії, порівняно з впливом частоти ультразвукової обробки.

Якщо за перші 20 годин випробувань швидкість корозії у воді з інгібітором (при УЗ-обробці середовища з частотою 48 кГц, рисунок 2 в) була вищою у 1,3 рази, то за 30 годин випробувань у комбінованому режимі вона збільшилась майже у 6 разів порівняно з використанням частоти 27,5 кГц (рисунок.2 б). УЗ обробка призводить до збільшення швидкості корозії, особливо при використанні частоти 48 кГц (рисунок 2 в). При частоті 48 кГц погіршувались протикорозійні властивості фазового мікрошару, оскільки створювались умови значної кавітації і

відбувалось часткове його руйнування. Вплив кавітації призводив до перемішування води і збільшення доставки деполіаризатора – розчиненого кисню до поверхні металу, що сприяє збільшенню швидкості корозії.



а - 16 мг/дм³ при 70 °С до і після кипіння без УЗ обробки; б - швидкість корозії сталі з Акватомом 16 мг/л при 70 °С до і після кипіння з УЗ обробкою 27,5 кГц (кавітаційний режим); в - швидкість корозії сталі з Акватомом 5 мг/л при 70 °С до і після кипіння з УЗ обробкою 48 кГц (кавітаційний режим)

Рисунок 3 - Швидкість корозії сталі з Акватомом 10 з різними режимами обробки води.

При комбінованій обробці середовища з УЗ частотою 27,5 кГц швидкість корозії спочатку також підвищувалась, але за 20 годин обробки I_{cor} знизилась і досягла рівня 0,1 мм/рік, що свідчить про менший вплив такої частоти на щільність захисного фазового мікрочасу внаслідок зменшення розмірів кристалів накипу. Як показано у проведених дослідженнях і відомо з літературних даних, розміри кристалів кальциту на поверхні суттєво зменшуються - до 2-10 мкм [10, 11].

Відомо, що основними механізмами дії антискалантів є їх адсорбція на поверхні зародків кристалів або їх вбудовування у кристалічну ґратку новоутвореної фази. Що стосується ПГМГ ГХ, то завдяки наявності вторинної аміногрупи у гуанідиновому угрупованні адсорбція може відбуватися з утворенням достатньо стійкого адсорбційного шару.

Отже, при корозійних випробуваннях сталі 08кп у доочищеній стічній воді БСА з підвищеною твердістю 5,35 мМоль/дм³ в умовах нагріву до 70 – 95 °С при використанні біоцидного реагенту Акватон -10 у концентраціях 5 - 16 мг/дм³ встановлені коефіцієнти гальмування корозії $\gamma = 2,8$ та визначена швидкість накипоутворення $G_s = 0,5$ г/(м²·год).

Встановлено, що при ультразвуковій обробці води з частотою 27,5 та 48 кГц в присутності реагенту Акватон -10 відбувається сповільнення накипоутворення у 2-7 разів, що призводить до деякого збільшення швидкості корозії, але в умовах збільшення терміну формування фазового захисного мікрошару вона знаходиться у допустимих межах 0,1 - 0,2 мм/рік.

Для розробки методу ультразвукового та реагентного гальмування накипоутворення і корозії при одночасному їх застосуванні з метою підвищення ефективності теплопередачі та протикорозійного захисту при використанні очищених стічних вод в теплоенергетиці в залежності від складу водного середовища необхідно підібрати тривалість ультразвукової обробки та періодично контролювати накипоутворення і швидкість корозії.

Список літературних джерел

1. Акользин П.А. Предупреждение коррозии оборудования технического водо- и теплоснабжения. М.: Металлургия, 1988. (Защита металлов от коррозии). 96с.
2. Donde, Oscar Omondi, and Bangding Xiao. Understanding Wastewater Treatment Mechanisms: a Review on Detection, Removal, and Purification Efficiencies of Faecal Bacteria Indicators across Constructed Wetlands // *Environmental Reviews*. – 2017. – 25, № 4. – P. 444–451. doi:10.1139/er-2017-0017.
3. Hu. Aijun, Jie Zheng, Taiqiu Qiu, Industrial experiments application of ultrasound on scale control in the Chinese sugar industry// *Ultrasonics Sonochemistry* 13 (2006) 329–333.
4. Николаевский Н. Н. Ультразвуковой метод предотвращения накипеобразования / Н. Н. Николаевский. // *Новости теплоснабжения*. – 2002. – №10. – С. 44–45.
5. Алиев А.Ф. Предотвращение накипеобразования в оборотных системах технического водоснабжения при использовании вод повышенной минерализации / Алиев А.Ф. // *Теплоэнергетика*. – 2006. – № 8. – С.55-58.
6. Xiaoli Li, Jianguo Zhang, Daoyong Yang. Determination of Antiscaling Efficiency and Dissolution Capacity for Calcium Carbonate with Ultrasonic Irradiation // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2012, 51, 9266–9274. x.doi.org/10.1021/ie300575v
7. K.S. Suslick, G.J. Price, Application of ultrasound to materials chemistry, *Annual Review Material Science* 29 (1999) 295–326.
8. Теоретические основы и технология кондиционирования воды /Кульский Л.А.— 3-е изд., перераб. и доп.— Киев: Наук, думка, 1980.—564 с.
9. Waleed N., Al Nasser, Kate Pitt, Michael J. Hounslow, Agba D. Salman. Monitoring of aggregation and scaling of calcium carbonate in the presence of ultrasound irradiation using focused beam reflectance measurement // *Powder Technology* 238 (2013) 151–160
10. Gerasymenko Yu. S., Vasylieva S. M., and Novosad A. A. The influence of ultrasound on anti-corrosion properties of carbonate scale during its thermal formation // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 2018. – Т.54., №4. –с. 137 – 143.
11. N.A. Bilousova, Yu.S. Herasymenko, R.M. Red'ko, H.S. Vasyly'ev, V.I. Vorobiova. Inhibitor Protection of Steel Against Corrosion and Scaling Under the Influence of Ultrasound // *Materials Science*, 2020. 55(6), pp. 831-839. DOI 10.1007/s11003-020-00376-3.

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

О.О. Захаркін, В.Л. Акуленко

Сумський державний університет

Шосткинський інститут Сумського державного університету
o.zoaharkin@finance.sumdu.edu.ua; keu@ishostka.sumdu.edu.ua

Згідно статистичних даних, в Україні в різних галузях промисловості, щорічно впроваджується біля 1400 – 1500 нових технологічних процесів, освоюється порядку 15 – 16 тис. найменувань продукції. Однак, тільки кожний третій із технологічних процесів, що застосовуються є ресурсоощадливим і екологічно безпечним [1]. Тому особливу актуальність набувають проблеми екологічної та еколого-економічної оцінки технологічних рішень [2-5].

Як було виявлено в ході дослідження екологічний рівень технології (ЕРТ) знаходиться в залежності від критеріїв її ресурсоємності, ступеня забруднення навколишнього середовища та екологічних параметрів продукції, що вироблена з використанням розглянутої технології.

$$EPT = f(K_{рес}, K_{забр}, K_{прод}) \quad (1)$$

де $K_{рес}$ – критерій ресурсоємності технології;

$K_{забр}$ – критерій питомого забруднюючого впливу шкідливих викидів (скидів), що передбачені технологією;

$K_{прод}$ – екологічні критерії виробленої продукції;

У свою чергу часткові показники, що формують критерій ресурсоємності, на нашу думку можна представити трьома коефіцієнтами, що враховують три основні напрямки використання ресурсів:

- 1) коефіцієнт споживання виробничих природних ресурсів;
- 2) коефіцієнт споживання енергетичних природних ресурсів;
- 3) коефіцієнт споживання допоміжних природних ресурсів.

У якості бази приведення можна використовувати показник обсягу продукції, що випускається. При цьому коефіцієнти розглянуті вище, у загальному вигляді, можна розрахувати за допомогою відповідних формул. Наприклад, коефіцієнт споживання виробничих природних ресурсів на нашу думку можна визначити наступним способом:

$$K_{виробрес} = \frac{\sum Q_i P_i - \sum Q_{i Повт} P_i}{N} \quad (2)$$

де Q_i – обсяги споживання i -го виробничого природного ресурсу за звітний період (рік, місяць);

$Q_{i Повт}$ – обсяги повторного використанні i -го виробничого природного ресурсу;

P_i – оцінка одиниці i -го виробничого природного ресурсу, у балах;

N – обсяг виробленої продукції за звітний період, в натуральному вираженні.

Критерій питомого забруднюючого впливу, на наш погляд, повинен враховувати п'ять типів забруднення. У процесі дослідження було визначено, що для більшості сучасних виробництв в основному властиві забруднення

повітряного середовища, водного басейну, розміщення твердих відходів у ґрунті, а також, теплове і шумове забруднення. У якості бази приведення тут також пропонується прийняти одиницю найменування виробленої за допомогою даної технології продукції. Приміром, коефіцієнт забруднення повітряного середовища можна визначити наступним способом:

$$K_{забр.пов.} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{N} \quad (3)$$

де U_i – маса викидів i -тої речовини-забруднювача в навколишнє середовище, у натуральному виразі;

A_i – показник відносної агресивності речовини-забруднювача, що викидається;

N – обсяг продукції, що випускається, у натуральному вираженні.

Вплив технології на екологічні параметри виробленої продукції можна оцінити шляхом визначення коефіцієнта екологічної безпеки продукції. У загальному вигляді коефіцієнта екологічної безпеки визначається по кожному з видів продукції і будується на відношенні концентрацій значень екологічно небезпечних і шкідливих речовин в одиниці маси або об'єму продукції до розміру гранично припустимих концентрацій даних речовин.

При цьому, для приведення у порівняний ряд, розглянутих вище часткових показників, у якості бази порівняння повинна бути прийнята еталонна технологія. Думки різних авторів із приводу вибору такої бази порівняння розходяться. Одні вважають, що для еталона необхідно використовувати об'єкти, що мають найкращі показники серед об'єктів даної спрямованості. Інші в ролі еталона бачать такі об'єкти, значення показників яких рівні середнім арифметичним значенням показників у досліджуваній сукупності або нормативним [6].

На наш погляд, у даному випадку в якості еталона для показників ресурсоемності за еталонні необхідно брати технології, що забезпечують мінімальні обсяги споживання природних ресурсів на одиницю продукції, а в якості еталонних по показниках забруднення та екологічної безпеки продукції повинні бути прийняті технологічні рішення, що дозволяють досягти рівня відповідності стандартам на забруднення навколишнього середовища. Еколого-економічні показники таких технологій і необхідно приймати за базові.

У нашій ситуації, на підставі приведених вище формул розрахунку часткових показників, у якості еталонних приймаються технології в яких значення чисельника \Rightarrow min. Тоді для довільної технології, можна визначити коефіцієнт екологічного рівня за формулою:

$$EPT = \sum_{i=1}^n w_i \frac{K_{i,etal}}{K_i} \quad (4)$$

де $K_{i,etal}$ – показники еталонної технології, що відповідають частковим коефіцієнтам ресурсоемності і питомого забруднення, які розглядалися вище;

K_i – значення відповідного показника i – тої технології;

w_i – значимість відповідного показника технології.

Слід зазначити, що в запропонованому інструментарії визначення ЕРТ мають на увазі технології в чистому виді, тобто їх вплив на навколишнє середовище розглядається без врахування застосування додаткових очисних споруд, проведення природоохоронних заходів.

Нами були розраховані значення ЕРТ для технологій ливарного виробництва, що є найбільш екологічно небезпечним серед усіх виробничих машинобудівних виробництв. У результаті аналізу було виявлено, що ступінь впливу ливарного виробництва на навколишнє середовище залежить від способу плавлення металу. У таблиці 1 приведені різні технології плавлення металу в ливарному виробництві і відповідні їм значення екологічного рівня.

Таблиця 1 - Екологічний рівень ливарних технологій

Найменування технології	ЕРТ
1. Литво із плавленням у коксових відкритих вагранках	0,43
2. Литво із плавленням у коксових напівзакритих вагранках	0,79
3. Литво із плавленням у коксових закритих вагранках	0,92
4. Литво із плавленням у коксогазових вагранках	0,62
5. Литво із плавленням у газових вагранках	0,85
6. Литво із плавленням в індукційних печах	0,99
7. Литво із плавленням у електродугових печах	1,17
8. Штампування рідких сплавів	0,81

Значення ЕРТ менше 1 означає, що технологія в "чистому виді" тобто без застосування додаткових природоохоронних заходів не задовольняє вимогам захисту навколишнього середовища, а значення ЕРТ більше 1 означає що технологія має запас екологічної міцності, тобто має мінімальні рівні споживання природних ресурсів і забруднює навколишнє середовище менше припустимих нормативів.

Оцінка технологій шляхом визначення їх екологічного рівня, є тільки одним – екологічним "боком медалі". Інший бік – економічний являє собою розрахунок економічних витрат, безпосередньо або побічно пов'язаних із досягненням даного екологічного рівня технології.

Сучасна наука про природокористування має у своєму розпорядженні значний арсенал економічних інструментів і способів впливу на суб'єктів господарювання, що спрямовані на стимулювання природоохоронної діяльності. Аналізуючи весь спектр застосовуваних фінансово-економічних інструментів природокористування можна виділити дві основні групи:

а) інструменти, що примушують до дотримання природоохоронних стандартів. До них відносяться екологічні податки, платежі і збори за забруднення навколишнього середовища, штрафи, інші фіскальні заходи;

б) інструменти, що стимулюють природоохоронну діяльність підприємств. Сюди можна віднести податкові пільги і знижки, податкові кредити, пільгові банківські кредити, різні види екологічних субсидій, виплати з природоохоронних фондів, тощо.

Застосування інструментів першої і другої груп передбачає рух фінансових коштів, тобто виникнення додаткових грошових потоків між підприємством і державою або іншими підприємствами, які необхідно враховувати в процесі проведення економічного обґрунтування технологічних рішень.

Тому, на нашу думку, повну оцінку технологічним рішенням можна дати визначив їх еколого-економічний рівень (ЕЕРТ).

На відміну від запропонованих нами раніше методичних підходів по визначенню ЕРТ, що виражається у вигляді інтегрального коефіцієнта, ЕЕРТ повинен являти собою загальну суму екологічних витрат інвестора, що вимірюється в грошових одиницях. Для визначення ЕЕРТ, необхідно брати до уваги наступні потенційно можливі витрати інвестора:

1) витрати на придбання природних ресурсів до яких, наприклад, можуть входити платежі за споживання води, кисню, плата за землю і т.д.;

2) превентивні витрати на здійснення природоохоронних заходів з метою досягнення прийняттого рівня викидів шкідливих речовин, утворених в процесі експлуатації різних технологій;

3) поточні виплати пов'язані із забрудненням навколишнього середовища (платежі за забруднення), розміри яких визначаються в залежності від діючих нормативів плати за викиди, скиди, розміщення в якості відходів по кожному з речовин-забруднювачів;

4) превентивні витрати на проведення заходів із метою забезпечення екологічної безпеки виробленої продукції;

5) виплата штрафів, компенсацій заподіяного збитку, інші платежі як у бюджети різних рівнів, позабюджетні фонди, так і суб'єктам підприємницької діяльності, населенню, що постраждало від забруднення навколишнього середовища, внаслідок застосування на підприємстві технології що розглядається.

Слід зазначити, що в даному випадку до додаткових інвестиційних (капітальних) екологічних витрат будуть відноситися превентивні (попереджувачі) витрати на проведення природоохоронних заходів (придбання природоохоронного устаткування, будівництво додаткових очисних споруд, створення додаткових екологічних підрозділів і т.д.). Інші типи витрат розглянуті вище можна віднести до поточних екологічних витрат.

Розмір ЕЕРТ буде залежати від розміру ЕРТ. Технології, що мають більш високий екологічний рівень, і отже в меншому ступені впливають на забруднення навколишнього середовища, потребують і менших обсягів вищеразглянутих витрат. Тому, для підвищення ефективності процедури альтернативного відбору технологічних рішень у рамках стратегічного довгострокового планування, з врахуванням екологічних чинників, необхідно створення баз даних, що включають у себе функціональні залежності величин ЕЕРТ від величин ЕРТ. Чим більша кількість із наявного на сьогоднішній день спектру технологій ввійде в такі бази даних, тим більш ефективним буде процес прийняття технологічних рішень, тому що при цьому максимально будуть враховані можливі екологічні витрати.

На наш погляд, залежність ЕЕРТ від ЕРТ на якісному рівні можна представити у вигляді наступного графіка (рисунок 1). На даному графіку можна виділити кілька специфічних зон. Так, технологічні процеси, екологічні характеристики яких не відповідають мінімально припустимій величині будуть потрапляти в зону I що розташована зліва від вертикальної осі CD. При цьому витрати, що формують ЕЕРТ для них будуть складатися з платежів за природокористування в рамках лімітів (на графіку відповідають відрізьку OB на вертикальній осі), а також витрат, пов'язаних з платежами за перевищення лімітів, здійсненням додаткових природоохоронних заходів і т.п.

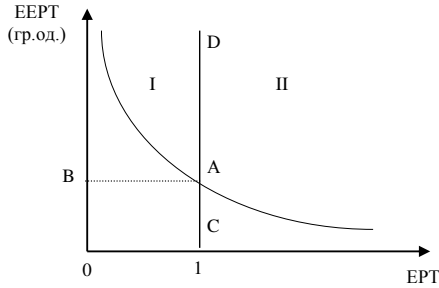


Рисунок 1 – Графік залежності ЕЕРТ від ЕРТ (на якісному рівні)

У зоні II будуть знаходитися технології, для яких екологічні параметри перевершують (у позитивний бік) мінімально припустимі критерії. Для них розмір платежів за природокористування буде значно менше і додаткові природоохоронні витрати практично відсутні. Необхідно підкреслити, що крива залежності тільки асимптотично наближається до осі ЕРТ. Це пояснюється тим, що сучасні технічні можливості не дозволяють досягти 100% відсутності викидів шкідливих речовин, до того ж без застосування додаткових природоохоронних заходів.

Практичне застосування розглянутих нами науково-методичних підходів свідчить, що вони як еколого-економічний інструмент можуть бути успішно використані з метою сучасної оцінки різних технологічних рішень. Перша апробація підтверджує можливість наступного їх застосування в різних галузях економіки держави, наприклад, таких як хімічна, переробна промисловість, металургія, машинобудування, сільське господарство і т.д., що безсумнівно буде сприяти підвищенню екологізації виробничого процесу в даних галузях та реалізації принципу сталого розвитку в Україні в цілому.

Список літературних джерел

1. Офіційний сайт Державної служби статистики України URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Вахлакова В. В. Еколого-економічна оцінка інвестиційних проєктів. Вісник Запорізького національного університету. Економічні науки. 2016. № 1. С. 139-148.
3. Дичко А. О., Ополінський І.О. Еколого-економічна оцінка технологій отримання біогазу. Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. Кременчук, 2016, №99 (4), С. 88–93.
4. Матукова Д.Г. Еколого-економічні проблеми розвитку сучасного підприємства. Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ. 2011. №4(28). С. 60–63.
5. Похилько С. В. Структурування та оцінка еколого-економічного ефекту від інвестицій. Механізм регулювання економіки. 2012. № 3. С. 150-155.
6. Балацкий О.Ф., Мельник Л.Г., Яковлев А.Ф. Экономика и качество окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.– 190 с.

DZIAŁANIE ULTRADŹWIĘKU NA MIKROORGANIZMY W ŚRODOWISKU WODNYM

I.Z. Koval, D.O. Lokhanova

Politechnika Lwowska
iry nazk@gmail.com

Ogólnym trendem praktyki światowej ostatnich dziesięcioleci jest narastający intensywny wpływ składnika technogenicznego na stopień zanieczyszczenia ścieków i nierozdzielnie związana z nim jakość wód naturalnych. To właśnie ten wpływ skłania do konieczności opracowania nowych energooszczędnych i zasobooszczędnych technologii uzdatniania wody, które zapewniają nie tylko skuteczne, ale i ekonomicznie uzasadnione skuteczne usuwanie złożonych zanieczyszczeń z naturalnych źródeł zaopatrzenia wody.

Takie najnowsze technologie uzdatniania wody obejmują kawitacyjne metody uzdatniania cieczy. Tak więc wielu autorów, badając wpływ ultradźwięków (US) na wodę, wskazują na jej wysoką skuteczność w oczyszczaniu wody z zanieczyszczeń chemicznych [1-5] i niektórych obiektów biologicznych: mikroorganizmów (MO) saprofitycznych i chorobotwórczych, wirusów, pierwotniaków [6-9] itd. Jednocześnie naukowcy zauważają, że ultradźwięki to skuteczna, pozbawiona odczynników, wysokośrodowiskowa metoda oczyszczania wody ze składników organicznych i mikrobiologicznych. Natomiast w [9] zauważono, że całkowite zniszczenie flory chorobotwórczej uzyskuje się poprzez zastosowanie obróbki ultradźwiękowej dopiero po długotrwałym sondowaniu lub poprzez zwiększenie mocy generatorów ultradźwiękowych.

Celem pracy jest zbadanie procesu uzdatniania różnych wód przy krótkotrwałym działaniu kawitacji akustycznej oraz ustalenie celowości równoczesnego barbotażu różnych gazów w medium reakcyjnym i kawitacji.

MATERIAŁ I WYNIKI BADAŃ

Przeprowadziliśmy zestaw badań mikrobiologicznych naturalnej wody z jeziora w obwodzie lwowskim. W wodzie tej znaleziono bakterie różnych rodzajów *Diplococcus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus cereus*, *Sarcina lutea*. Bakterie *Bacillus cereus* były obecne w przeważającej liczbie, więc bakterie te posłużyły do stworzenia środowiska modelowego. Podstawą identyfikacji była nie tylko mikroskopia preparatów "zmiażdżona kropla", preparaty utrwalonych komórek w celu zbadania ich kryteriów morfologicznych, w tym barwienia metodą Grama, ale także badanie właściwości kulturowych i fizjologicznych (reakcja tlenowa) MO występującego w badanej wodzie.

Oznaczanie całkowitej ilości MO w wodzie na potrzeby badań bakteriologicznych z zastosowaniem uniwersalnej pożywki - agar mięsno-peptonowy. MO hodowano w termostacie w stałej temperaturze (37 °C) przez 48 godzin.

W celu zbadania wpływu rodzaju gazu na skuteczność kawitacyjnego uzdatniania wody przeprowadzono eksperymenty w atmosferach argonu, helu, tlenu, dwutlenku węgla w polu ultradźwiękowym przy ciśnieniu atmosferycznym, temperaturze 298K, częstotliwości ultradźwiękowej - 22kHz. Czas przetwarzania 1-120 minut Drgania ultradźwiękowe o częstotliwości 22 kHz z generatora niskiej częstotliwości UZDN - 2T (moc 90 W) transmitowano za pomocą emitera magnetostrykcyjnego zanurzonego w objętości badanej wody o znanej początkowej wartości liczby mikroorganizmów (LM). Początkowe wartości LM próbek uzdatniania wody mieściły się w zakresach $LM_0 = 820 - 2090 \text{ CFU/cm}^3$.

Dalsze badania mają na celu zbadanie równoczesnego działania gazu i ultradźwięków na bakterie z rodzaju *Bacillus cereus* z rodziny *Bacillaceae* z niewielkim zanieczyszczeniem mikrobiologicznym wody ($LM_0 = 8 \cdot 10^2$ CFU/cm³). Podczas krótkotrwałego działania pola akustycznego w atmosferach argonu, tlenu, helu i dwutlenku węgla ($t_{\text{gas/US}} = 60 \div 180$ s) zaobserwowano gwałtowny wzrost LM (etap I). Obecność jednoczesnego działania dwutlenku węgla i ultradźwięków spowodowała wzrost Pucharu Świata o rząd wielkości ($2.4 \cdot 10^3$ CFU/cm³) w pierwszych trzech minutach eksperymentu. Dalsze połączone działania gaz/ultradźwięki we wszystkich przypadkach przyczyniły się do gwałtownej redukcji LM w całym procesie działania.

W celu zbadania tego zjawiska wykonano mikroskopię próbek wody przed i po zgodnym działaniu gazu/ultradźwięku. W kontrolnych próbkach wody wykryto znaczną liczbę agregatów MO, natomiast po $t = 180$ s w układzie dominowały głównie MO izolowane. W związku z tym można argumentować, że akumulacja MO na etapie I procesu jest spowodowana procesami dezagregacji. Oczywiście wzrost wartości LM jest wprost proporcjonalny do liczby MO w agregatach wykrytych w oryginalnych próbkach wody i prawdopodobnie na proces dezagregacji ma wpływ charakter pęcherzyków gazu. Wzrost LM w obecności dwutlenku węgla o 1600 CFU/cm³, w przeciwieństwie do wzrostu w obecności argonu tylko o 100 CFU/cm³, może mieć wpływ na końcową wartość LM.

Tak więc przy przetwarzaniu w polu ultradźwiękowym wody, w której znajdują się agregaty mikrobiologiczne, dominującym procesem jest dezagregacja w obecności gazów bąbelkowych, co z kolei ma decydujący wpływ na ogólną skuteczność procesu dezynfekcji wody. Dlatego w celu zbadania procesu dezagregacji wskazane było przeprowadzenie tego procesu bez działania gazów, tylko w warunkach akustycznych.

Do badania procesu dezagregacji wybrano prawdziwą naturalną wodę z jeziora, wyselekcjonowaną w obwodzie lwowskim. Próbkę wody pobrano w okresie letnim (czerwiec i lipiec), co wynika z największego ocieplenia i najniższego poziomu wody, kiedy wahania LM są maksymalne.

Ilość MO wahała się od $820 \div 2090$ CFU/cm³, co jest uzależnione od wielu czynników fizykochemicznych: reżimu temperaturowego zbiornika, który wpływa na rozwój MO, stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie, pH wody oraz potencjału redox, jak temperatura otoczenia, opady, reżim hydrodynamiczny zbiornika itp.

Badanie łącznego działania gazu/ultradźwięku na przykładzie bakterii *Bacillus cereus* przy $LM = 800$ CFU/cm³ oraz wpływu kawitacji akustycznej na naturalną wodę z jeziora o wysokiej zawartości bakterii *Bacillus cereus* przy $LM_{01} = 820$ CFU/cm³ i $LM_{02} = 2090$ CFU/cm³ na wzrost LM w pierwszym etapie procesu kawitacji akustycznej. Różnica dotyczyła jedynie czasu sondowania, w którym zaobserwowano maksymalne wartości LM.

Gwałtowny wzrost LM zaobserwowano podczas krótkotrwałego działania pola akustycznego na bakterię *Bacillus cereus* w atmosferze dwutlenku węgla w ciągu pierwszych $60 \div 180$ sekund eksperymentu. Przy połączonym działaniu ultradźwięków i argonu lub helu, chociaż w początkowym momencie eksperymentu zaobserwowano wzrost LM, ale ze znacznie niższymi maksimami niż przy połączonym działaniu dwutlenku węgla i ultradźwięków. Wyjątkiem było działanie tlenu, gdzie w ogóle nie zaobserwowano wzrostu LM.

Podczas sondowania wody w jeziorze, LM osiąga swoją maksymalną wartość po 1800s eksperymentu w przypadku nieobecności gazów. Badania mikroskopowe tej wody wykazały nagromadzenie agregatów MO różnych rodzajów, a liczba

pojedynczych MO była nieznaczna. Energia kawitacji akustycznej na tym etapie została zużyta głównie na rozbijanie skupisk tych agregatów na pojedyncze MO, a ich zniszczenie następuje wolniej niż dezagregacja. Podobny wzór zaobserwowano pod działaniem kawitacji akustycznej na skupiskach wykrytych agregatów bakterii *Bacillus cereus* w atmosferach argonu, tlenu, helu i dwutlenku węgla. Skrócenie czasu rozbijania nagromadzeń tych jednostek w środowisku wodnym wynika najprawdopodobniej z nasycenia gazu, ponieważ w przypadku ich nieobecności w roztworach wodnych znajduje się tylko tlen rozpuszczony.

Roztwory wodne są nie tylko sprzyjającym środowiskiem do powstawania kawitacji, ale także medium zapewniającym możliwość elektronicznego przebiega wnęki kawitacyjnej. Jest to kompleks złożonych zjawisk, polegających na tworzeniu cząsteczek z nadmiarem energii i przekazywaniu tej energii innym cząsteczkom lub atomom w wyniku wzajemnych zderzeń lub promieniowania. Z chemicznego punktu widzenia proces wzbudzenia cząsteczek wody, szybkość ich dysocjacji jest w dużej mierze regulowana obecnością we wnęce kawitacyjnej niektórych gazów znajdujących się w stanie wzbudzonym. Gazy aktywne chemicznie rozpuszczone w roztworze, który ma być dźwięczny, wpływają na reakcje chemiczne na dwa sposoby. Po pierwsze, atomy tlenu i wodoru biorą udział w przemianie rodników, a po drugie, chemicznie aktywne gazy podczas penetracji wnęki kawitacyjnej biorą udział w przenoszeniu elektronowej energii wzbudzenia na cząsteczki wody, a także ewentualnie w procesach ładowania.

Wykazano, że dopływ gazu w ciągu pierwszych trzech minut procesu przyspiesza 10-krotnie rozbijanie klastrów jednostek w środowisku wodnym w warunkach akustycznych w porównaniu z procesem przy braku dopływu gazu, gdzie podobny proces zachodzi po 30 minutach.

WNIOSEK

Ustalono, że proces oczyszczania wody składa się z dwóch procesów: akumulacji liczby MO spowodowanej zniszczeniem agregatów mikrobiologicznych oraz zmniejszenia LM spowodowanego zniszczeniem ilości MO. Takie etapy przejawiają się zarówno w obróbce akustycznej wody mikrobiologicznej powstałej na bazie wody destylowanej, jak i naturalnej. Wykazano eksperymentalnie, że zastosowanie gazów bąbelkowych przyspiesza proces dezagregacji prawie 10-krotnie. Zaproponowana metoda uzdatniania różnych wód krótkotrwałym napromieniowaniem pozwoliła na wykrycie procesu dezagregacji MO z późniejszym ich zniszczeniem w środowisku wodnym oraz na osiągnięcie wysokiego stopnia dezynfekcji wody. Ta praca naukowa proponuje zastosowanie gazów o różnym charakterze w medium reakcyjnym do dezynfekcji wody pod wpływem kawitacji. Udowodniono, że doprowadzenie gazu w ciągu pierwszych trzech minut procesu przyspiesza destrukcję jednostek w środowisku wodnym w warunkach akustycznych, co wiąże się z powstawaniem dodatkowych rdzeni kawitacyjnych, w porównaniu z procesem przy braku dopływu gazu. Stwierdzono, że w początkowym momencie reakcji energia kawitacji została zużyta na rozszczepianie skupisk agregatów bakteryjnych na pojedyncze jednostki, a niszczenie następuje wolniej niż dezagregacja.

LISTA ŹRÓDEŁ LITERATUROWYCH

1. Uryadnikova, I. V. (2020). Analiz i vyznachennya tekhnohennykh ryshchkyiv pry shtatniy roboti u protsesi vodochyschchennya metolom reahentnoyi koahulyatsiyi i elektrokoahulyatsiyi [Analysis and determination of technogenic ryshchik at regular work in the process of water purification by the method of reagent coagulation and electrocoagulation]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*. No. 5-6 (124-125), pp. 60-66. [in Ukrainian]
2. Ponomarenko, R. V., Plyatsuk, L. D., Sherstyuk, M. M., Tret'yakov, O. V., Shtepa V. M. (2020). Prohnozuvannya vplyvu tekhnohennoho zabrudnennya na yakisnyy stan vodnoyi ekosystemy richky Dnipro [Forecasting the impact of man-made pollution on the quality of the aquatic ecosystem of the Dnieper River]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*. Vol. 2 (121), pp. 73-78. [in Ukrainian]
3. Baklanov, A. N., Chmilenko, F.A. (2001). Ul'trazvuk v intensifikatsii probopodgotovki pri opredelenii nikelya v vysokomineralizovannykh vodakh, rassolakh i rastvorakh povarennoy soli [Ultrasound in the intensification of sample preparation for the determination of nickel in highly mineralized waters, brines and sodium chloride solutions]. *Khimiya i tekhnologiya vody*. Vol.23(1), pp. 81-91. [in Russia]
4. Malyarenko, V. V., Yaremenko, V. A., Zhukova, Ye. N., Goncharuk, V. V. (2004). Ispol'zovaniye ul'trazvukovoy obrabotki dlya snizheniya KHPK pri ochistke stochnykh vod uglem [Use of ultrasonic treatment to reduce COD in coal wastewater treatment]. *Khimiya i tekhnologiya vody*. Vol. 26(5), pp. 459-470. [in Russia]
5. Arsent'yev, S. D. (2006). Okisleniye ionov I⁻ v usloviyakh kavitatsii v rastvore iodida kaliya [Oxidation of I⁻ ions under cavitation conditions in a potassium iodide solution]. *Khim. zhurn. Armenii*. Vol. 59(3), pp. 18-22. [in Russia]
6. Nakui H., Okitsu K., Maeda Y., Nishimura R. (2006). Hydrazine degradation by ultrasonic irradiation. *The 1 European Conference "Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP-1)"*, (Crete, September 7-9, 2006). Chania, p. 248.
7. Rehorek, A., Hoffmann, P., Kandelbauer, A., Gübitz, G. M. (2007). Sonochemical substrate selectivity and reaction pathway of systematically substituted azo compounds. *Chemosphere*. Vol. 67(8), pp. 1526-1532.
8. Bsoul A.A. (2008). Effectiveness of ultrasound for the destruction of Mycobacterium strain. *11th Meeting of the European Society of Sonochemistry*. (La Grande-Motte, June 1-5, 2008). France, p. 133.
9. Marchuk, L. V., Prokopenko, G. V., Lugovskoy, A. F., Grishko, I. A. (2011). Vliyaniye ul'trazvukovoy kavitatsii na zhiznesposobnost' mikroorganizmov [Influence of ultrasonic cavitation on the viability of microorganisms]. *Naukovi pratsi DonNTU*. Vol. 22(195), pp. 195-206. [in Ukrainian]

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРОТИЛА И ГЕКСОГЕНА В СМЕСЕВЫХ БРИЗАНТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

В.А.Роботько¹, М.Ф.Буллер², С.П.Ярманова¹

¹ Державний науково-дослідний інститут хімічних продуктів
ndikhp@ukroboronprom.com

² Шосткинський інститут Сумського державного університету
ishostka@sumdu.edu.ua

В настоящее время есть потребность, связанная с продлением гарантийных сроков хранения (ГСХ) боеприпасов, снаряженных смесевыми бризантными взрывчатыми веществами (СБВВ) на основе тротила и гексогена, в определении их физико-химических характеристик на соответствие требованиям нормативной документации. Одним из основных физико-химических показателей СБВВ, влияющих на возможность продления ГСХ, является содержание основных компонентов. Самыми распространенными являются СБВВ на основе тротила и гексогена.

Согласно существующей нормативной документации, которая разработана еще в 60-х годах XX века, содержание гексогена и тротила в СБВВ определяют методом пошагового растворения компонентов смеси в различных по природе растворителях [1]. Данный метод является очень трудоемким и затратным из-за высокого расхода растворителей, а также имеет высокую продолжительность определения.

На наш взгляд, наиболее приемлемым методом определения компонентов СБВВ является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Известны методики анализа следовых количеств тротила и гексогена с применением данного метода в медицинских и экологических целях (рис. 1) [2,3]. В данный момент отсутствуют методики определения данных компонентов в СБВВ, содержание которых превышает 5 % от массы образца методом ВЭЖХ.

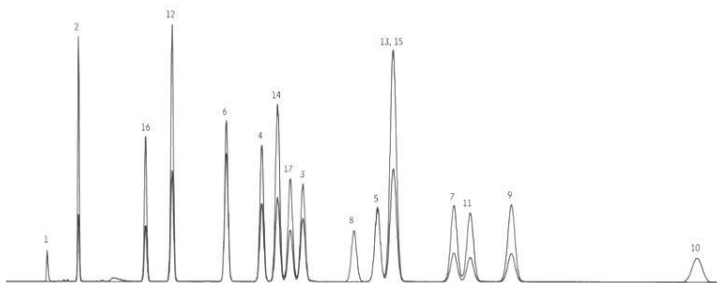


Рисунок 1 – Хроматограма суміші вибухових речовин (сверху $\lambda = 210$ нм, снизу $\lambda = 254$ нм) [4]:

1 – октоген; 2 – гексоген; 3 – нітроглицерин; 4 – нітробензол; 5 – 4-амино-2,6-динітротолуол; 6 – 3,5-динітроанілін; 7 – 2-нітротолуол; 8 – 2-амино-2,6-динітротолуол; 9 – 3-нітротолуол; 10 – тертанітропентаэритрит; 11 – 4-нітротолуол; 12 – 1,3-динітробензол; 13 – 2,6-динітротолуол; 14 – тетрил; 15 – 2,4-динітротолуол; 16 – 1,3,5-тринітробензол; 17 – 2,4,6-тринітротолуол

Для решения данной проблемы была разработана методика определения тротила в диапазоне концентраций от 5% до 80% и гексогена в диапазоне концентраций от 20% до 98% методом ВЭЖХ с применением диодно-матричного детектора, которая описана ниже.

Обработку параметров хроматографического разделения анализируемых компонентов проводили на жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity II с диодно-матричным детектором в УФ-области на колонке Poroshell 120 EC C-18 2,1×50 мм с размером частиц сорбента 2,7 мкм.

Образцы СБВВ, которые были отобраны из боевой части боеприпаса, измельчают, тщательным образом перемешивают и отбирают необходимую для анализа массу.

Проведенные исследования по отработке условий проведения анализа показали, что оптимальными являются следующие условия:

- | | |
|---|---------|
| • расход подвижной фазы, мкл/мин | 200 |
| • состав подвижной фазы, % об. | |
| – ацетонитрил | 45 |
| – метанол | 5 |
| – вода | 50 |
| • объем анализируемой пробы, мкл | 2 |
| • длина волны детектора, нм | 250–255 |
| • частота сбора данных детектора, Гц | 40 |
| • длительность одного ввода, мин | |
| – при определении тротила и гексогена (тротила) | 2,7 |
| – при определении гексогена | 1,6 |

Компоненты подвижной фазы (метанол, ацетонитрил, вода бидистиллят) должны быть профильтрованы под вакуумом через мембранный фильтр из политетрафторэтилена или регенерированной целлюлозы с размером пор 0,2 или 0,45 мкм.

Состав подвижной фазы можно изменять для достижения оптимального разделения пиков анализируемых компонентов.

Для количественного расчета содержания тротила и гексогена использовали метод внутреннего стандарта. В качестве внутреннего стандарта был выбран ацетанилид, который инертен по отношению к компонентам анализируемого СБВВ и имеет высокую степень разделения по отношению к другим компонентам. Для растворения образца СБВВ оптимально использовать диметилсульфоксид или диметилформамид [5].

Приготовление эталонных растворов для количественного определения компонентов проводили согласно следующему алгоритму.

В коническую колбу помещают 0,4 г тротила и 0,6 г гексогена, взвешенные с точностью до четвертого десятичного знака. В две другие конические колбы помещают 0,24 г и 0,95 г гексогена соответственно. В колбы доливают мерным цилиндром 10 см³ диметилсульфоксида и пипеткой 20 см³ раствора внутреннего стандарта – раствор ацетанилида. После полного растворения образца из колб пипет-дозатором или микрошприцом отбирают в вials 10 мкл полученных растворов и добавляют к каждому 1 см³ метанола, тщательным образом перемешивают и хроматографируют.

Действительную массовую долю тротила или гексогена (X_i) в эталонном растворе, %, вычисляют по формуле:

$$X_i = \frac{M_i}{1} \cdot 100$$

де M_i – дійсительная масса навески компонента, г;
 1 – расчетная масса образца, г.

Эталонный раствор готовят не меньше одного раза в три месяца.

При построении калибровочного графика для гексогена анализ раствора каждой концентрации проводят три раза. По данным трех измерений вычисляют среднюю арифметическую величину, по которой строят график, откладывают по оси абсцисс массовые доли гексогена, % масс., а на оси ординат – отношения площадей пиков гексогена к площадям пиков ацетанилида.

Коэффициенты калибровочного графика необходимо рассчитывать, игнорируя во время этого точку с координатами (0;0).

Калибровочный график проверяют не меньше одного раза в месяц. Для этого анализируют один из эталонных растворов. Если полученное по калибровочному графику значение отличается от действительной массовой доли гексогена в данном эталонном растворе больше чем на 0,3 %, строят новый калибровочный график.

Также допускается делать калибровку гексогена по одной точке, если фактическое значение содержания гексогена в образце не отличается от точки калибровки больше чем на 5 %.

Для проведения исследования берут $(1,0 \pm 0,1)$ г измельченного СБВВ, взвешенного с точностью до четвертого десятичного знака, помещают в коническую колбу. Заливают в колбу мерным цилиндром 10 см^3 диметилсульфоксида и 20 см^3 пипеткой раствора внутреннего стандарта, закрывают ее пробкой и взбалтывают на приборе для встряхивания колб и пробирок в течение 30 мин или до полного растворения образца. Полученный раствор фильтруют через шприцевой фильтр или центрифугируют в течение 30 мин при скорости вращения ротора центрифуги 3500–4000 об/мин. Пипет-дозатором или микрошприцом отбирают в виалу 10 мкл полученного раствора и добавляют 1 см^3 метанола, тщательным образом перемешивают и хроматографируют.

Выполняют по три параллельных хроматографирования как для эталонного раствора так и для анализируемого раствора.

На хроматограмме пики компонентов выходят в следующем порядке: ацетанилид (внутренний стандарт), гексоген, тротил (рис. 2).

После завершения хроматографирования с помощью компьютерной программы выполняют первичную математическую обработку данных – рассчитывают площади пиков анализируемых компонентов и внутреннего стандарта.

Массовую долю тротила в СБВВ, X_1 , %, вычисляют по формуле:

$$X_1 = \frac{X_i \cdot C_{2i} \cdot 1}{C_{1i} \cdot m}$$

где X_i – массовая доля тротила в эталонном растворе, %;

C_{1i} – отношение площади пика тротила к площади пика ацетанилида в эталонном растворе;

C_{2i} – отношение площади пика тротила к площади пика ацетанилида в анализированном растворе;

1 – расчетная масса навески образца, г;

m – фактическая масса навески образца, г.

Массовую долю гексогена в образце, X_2 , %, рассчитывают по калибровочному графику.

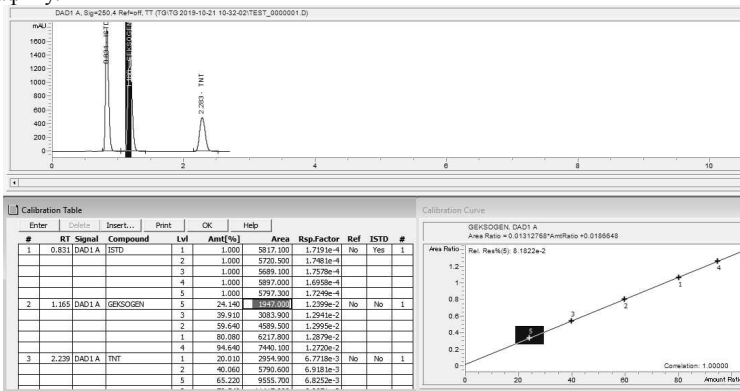


Рисунок 2 - Хроматограмма образца СБВВ, который содержит тротил и гексоген с калибровочным графиком

По результатам двух параллельных определений рассчитывают среднее арифметическое значение, которое округляется до десятых частей процента.

Расхождение между результатами параллельных измерений не должно превышать 0,5 %.

Разработанная методика аттестована в соответствии с требованиями ДСТУ 7392:2013, ГОСТ 8.010-99.

Аттестация проведена по результатам метрологической экспертизы.

На основании результатов метрологической экспертизы установлено, что данная методика отвечает требованиям к методикам выполнения измерений и имеет такие основные метрологические характеристики:

- диапазон измерений массовой доли тротила от 5 % до 80 % при значении интервала относительной погрешности результатов измерений $\pm 0,46$ %;
- диапазон измерений массовой доли гексогена от 20 % до 99 % при значении интервала относительной погрешности результатов измерений $\pm 0,66$ %.

Список литературных источников

1. MIL-STD-650. Explosive: Sampling, inspection and testing. – 1962. – 210 p.
2. Method 8330A. Nitroaromatics and nitramines by high performance liquid chromatography (HPLC). – 2007. – 28 p.
3. Омельченко В.А. Судебно-химическое исследование гексогена и тринитротолуола : автореф. дис. ... канд. фарм. наук : 15.00.02. Курск, 2009. 23 с.
4. Environmental application. Analysis of explosives by liquid chromatography. – Restek Corporation, 2009. – 4 p.
5. Ломовцева Г.А., Веселова Е. В., Збарский В. Л., Юдин Н. В. О некоторых особенностях растворимости циклических нитраминнов в органических растворителях. Успехи в химии и химической технологии. 2012. № 3 (132). С. 21–25.

REMOVAL OF COPPER IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

T.I. Obushenko, N.M. Tolstopalova, M.D. Chyrieva

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

tio1963@gmail.com

Introduction. Increasing the amount of polluted water and lack of clean water is already one of the urgent problems today. One of the most important environmental tasks is the treatment of wastewater from enterprises in various industries. Heavy metals (Me) are among the most biologically dangerous pollutants. The main sources of heavy metal pollution are metallurgical, metalworking and chemical plants. The toxicity of the metal is due to its effect on the metabolism of living organisms and human health. Most heavy metal ions have carcinogenic, mutagenic properties and have a cumulative effect [1].

Given the modern methods of removing heavy metal ions from wastewater, it is advisable to develop innovative technologies for wastewater treatment from heavy metal ions. The quality of treated wastewater must meet the needs until its return for industrial and technical needs of the enterprise, or before discharge into the city sewer system. Solvent sublation is such a perspective method. This method is based on a combination of flotation and extraction methods, based on the passage of gas bubbles through the aqueous phase and the removal of the pollutant substance (sublate) in the organic phase. The organic phase should be lighter than the aqueous, and not dissolve in it. In the process of solvent sublation, surfactants are used, which play the role of collectors, binding to heavy metal ions in water-insoluble hydrophobic sublates, which due to their hydrophobic properties, adhesion forces bind to the bubbles and are removed from the aqueous phase in organic.

The purpose of this work is to develop a technology of solvent sublation of wastewater from heavy metals on the example of copper (II) ions.

To achieve this goal it is necessary to: theoretically justify the choice of method of effective wastewater treatment from heavy metal ions; to study the physico-chemical laws of the process of solvent sublation as a method of removal of copper ions, to propose a method of recovery of the extractant and the basic scheme of purification.

Solvent sublation technology was first proposed as a type of ion flotation in cases where the formation of foam having the required properties for ion flotation is impossible or it is necessary to quantitatively separate the foam for further analysis [2]. A characteristic feature of this flotation process is the method of separating the floated substance (sublate) by concentrating it in a layer of organic liquid on the surface of the aqueous phase.

Advantages and disadvantages of solvent sublation:

- no foam; - the ability to work with large volumes of water bodies, the concentration of which may exceed a ratio of 100: 1, this gives the solvent sublation a great potential in the analysis of elements that are in the water in micro- and nano-quantities;

- the active substance is carried out by gas bubbles and enters the upper layer of the hydrophobic liquid without mixing the phases; - the degree of removal in the process of solvent sublation does not depend on the ratio of the volumes of aqueous and organic phases; - in many cases, the substance to be recovered is concentrated in the organic phase, which greatly facilitates its further processing.

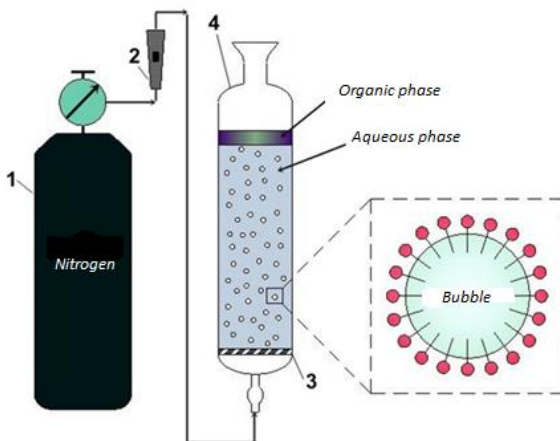
Traditionally, the main disadvantages include low, compared to flotation, productivity due to low gas consumption, which does not destroy the upper layer of organic liquid in the distribution apparatus [3-4].

All solvent sublation systems consist of the following elements [5-6]:

- gas source (it can be both a conventional compressor and a gas cylinder, the most common gases are air, argon and nitrogen);
- gas flow rate and pressure control systems; - rotameter (used to measure gas flow);
- column (usually used glass or plastic columns, at the bottom of which is a partition with the required porosity).

Experimental. To study the solvent sublation process, a cylindrical glass column with a diameter of 35 mm was used. Air was supplied by a compressor to the bottom of the column, flow was controlled by a rotameter. Air dispersion was carried out through a Schott filter. The concentration of cobalt ions in model solutions was 20 mg/dm^3 . The volume of the solution is 200 cm^3 , the volume of the extractant (isoamyl alcohol) is 10 cm^3 . The experimental installation is shown in Fig. 1. The solvent sublation process was carried out to establish a constant residual concentration of copper ions, which was determined by the photometric method on a Portlab 501 single beam scanning spectrophotometer (United Kingdom). The pH adjustment was carried out with solutions of NaOH and HCl with a concentration of 0.1 mol/dm^3 (pH of aqueous solutions was measured using a pH-meter pH-150MI (Russia)). The efficiency of the solvent sublation process was evaluated by the extraction degree of copper ions.

A model solution of Cu^{2+} was prepared with $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Standard solution: 1 g / dm^3 . Working concentration: 20 mg / dm^3 . The following collectors were used: sodium caprylate $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COONa}$ and sodium laurate $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COONa}$.



1 - cylinder, 2 - rotameter, 3 - solvent sublation column, 4 - Schott filter.

Fig. 1. Experimental installation.

The model solution in the required amount was transferred to a volumetric flask, made the calculated amount of surfactant to achieve the desired ratio of Me: surfactant.

The solution was quantitatively transferred to a solvent sublation column and 10 cm³ of organic phase (isoamyl alcohol) were added. Turned on the gas supply, which was controlled by a flow meter and bubbled the gas through the solution to a constant residual concentration of copper, which determined by standard photometric methods [7].

The main characteristic of the system is the degree of removal X - the ratio of the difference between the initial and residual concentrations to its initial concentration, expressed as a percentage:

$$X_M = \frac{(C_{M,0} - C_{M,res})}{C_{M,0}} \cdot 100\%,$$

where X_M - the degree of removal of the test ion, $C_{M,res}$ - the residual concentration of the ion in the test solution, $C_{M,0}$ - the initial concentration of the ion.

Research results and discussion. The efficiency of the solvent sublation is influenced by number of factors. Process parameters such as the acidity of the medium, the duration of the process, the choice of extractant, the number of reagents are determined by the properties of the complexing agent and the metal and should be studied on a case-by-case basis. The determining factor in choosing the pH of the solution is the stability of the complex compound. Collectors are added to the system in order to increase the hydrophobicity of the formed complexes.

Selection of extractant. Of great importance in solvent sublation is the selection of the extractant. The removal process with butanol, isobutanol, pentanol, isopentanol, undecyl alcohol, octanol, hexanol, isoctanol was investigated. It has been investigated that the best extractant is isoamyl alcohol, which has a branched structure and, as a consequence, a better ability to retain sublates. Comparative characteristics of the extractants by the degree of removal are shown in Fig. 2. The volume of the organic phase is 10 cm³.

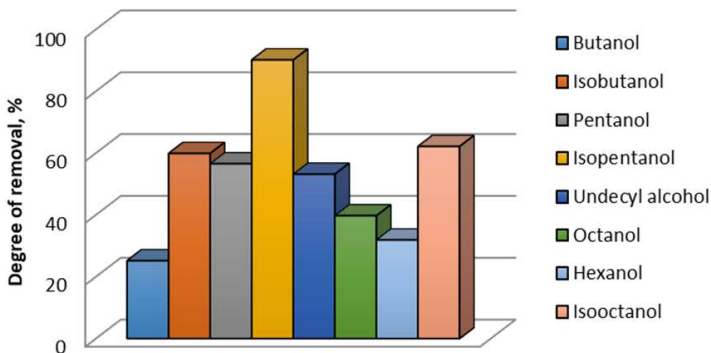


Fig. 2. Comparative characteristics of extractants by the degree of removal of Cu^{2+} ions.

Dependence of the degree of removal of Cu^{2+} ions on the ratio of Cu^{2+} : surfactant (Surf). The graph (Fig. 3) shows the results of experiments with the following ratios of Cu^{2+} : Surf = 1: 0.5; 1: 1; 1: 1.5; 1: 2; 1: 2.5. It was investigated that the ratio of Cu^{2+} :

Surf=1: 1,5 is the most optimal and the degree of removal is 99.9% for $C_{11}H_{23}COONa$ and 99% for $C_7H_{15}COONa$.

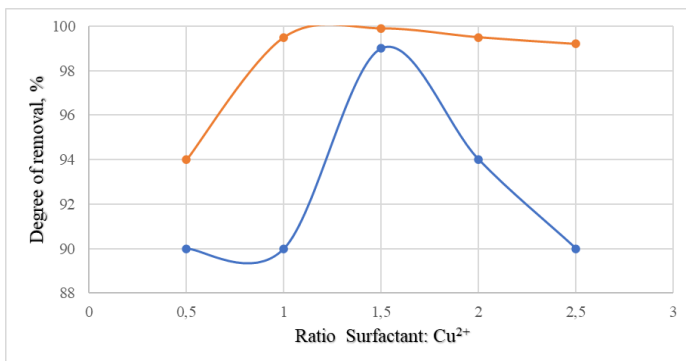


Fig. 3. Dependence of the degree of removal of copper (II) ions on the molar ratio of Cu: Surf (red $C_{11}H_{23}COONa$, blue $C_7H_{15}COONa$).

The decrease in the degree with a further increase in the ratio can be explained by the appearance of excess surfactants in the aqueous phase. As a result, it is difficult to transfer the substance from the aqueous to the organic phase and its accumulation on the interface of the water-organic layer.

Dependence of the degree of removal of Cu^{2+} on the pH of the solution. The pH of the test solution was varied in the range of 2-9. The effect of pH on the degree of removal, the duration of the process - 20 min, the molar ratio of Cu^{2+} : Surf= 1: 1,5, the volume of the aqueous and organic phases (isoamyl alcohol) - 200 cm^3 and 10 cm^3 respectively. According to the obtained data (Fig. 4), the best removal of copper (II) takes place at pH 5-6. Therefore, the obtained data indicate that the molar ratio is an important factor in the process of solvent sublation. However, only the right pH will achieve the maximum degree of removal.

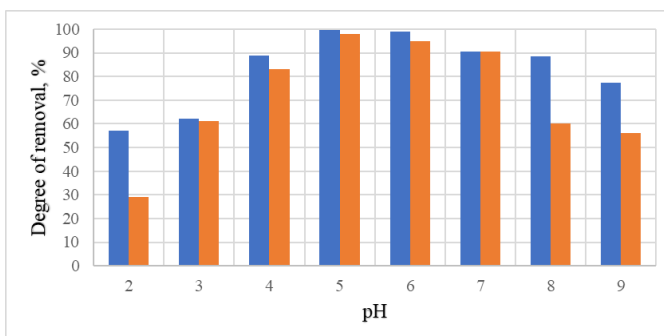


Fig. 4. Dependence of the degree of removal of copper (II) ions on pH (red $C_{11}H_{23}COONa$, blue $C_7H_{15}COONa$).

The dependence of the degree of removal of Cu^{2+} on the duration of the solvent sublation. The solvent sublation was performed for 30 minutes. The sample was taken for analysis every 5 minutes. As can be seen from Fig. 5, the optimal duration of the process was 15 minutes with 98,6 % removal of copper for $C_{11}H_{23}COONa$ and 97,3 % for $C_7H_{15}COONa$ at a ratio of Cu: Surf = 1: 1,5. When the process lasts longer than 15 minutes, there is a decrease in the degree of removal, which can be explained by the partial transition of the substrate from the organic to the aqueous phase.

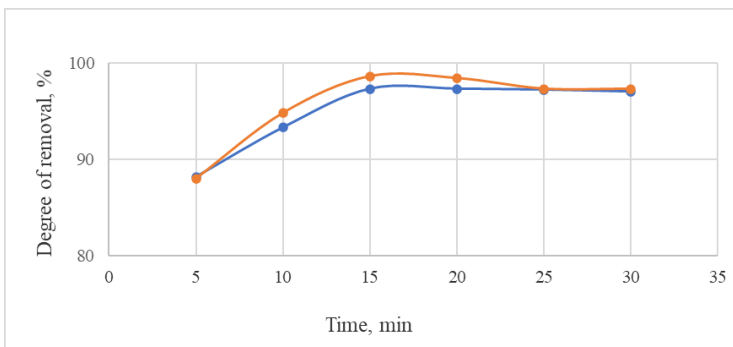


Fig. 5. Dependence of the degree of removal of copper (II) ions on the duration of the process (red $C_{11}H_{23}COONa$, blue $C_7H_{15}COONa$).

Dependence of the degree of removal of copper ions on the initial concentration of the working solution. Initial concentrations of the working solution studied: 20-250 mg/cm^3 . The process time is 20 minutes.

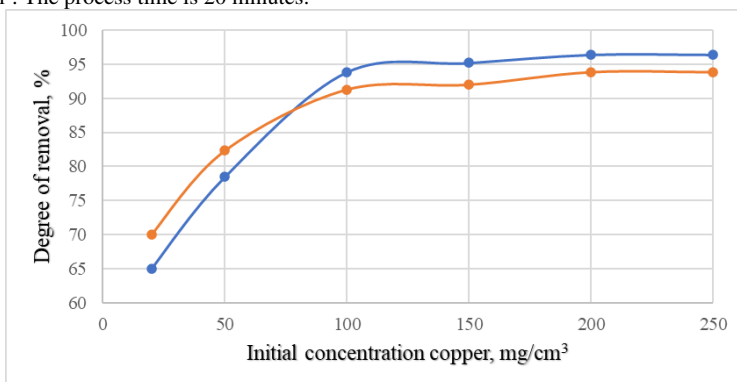


Fig. 6. Dependence of the degree of removal at different initial concentration (red $C_{11}H_{23}COONa$, blue $C_7H_{15}COONa$).

It was obtained that the highest degree of removal – 93,9% for $C_7H_{15}COONa$ and 96,4% for $C_{11}H_{23}COONa$ is achieved at an initial metal concentration of 200 mg / cm³. That is, with increasing concentration of the initial working solution, the degree of removal increases (Fig. 6). This can be explained by the fact that the coagulation process takes place in the system, even the intensive formation of aggregates was visually noticeable. The decrease in the degree of removal with decreasing concentration can be explained by a decrease in the probability of convergence of particles and, accordingly, the ability to coagulate.

Conclusions. An urgent problem today is the protection of the environment from pollution by toxic industrial waste. Paying attention to the ecological situation on the planet, technologies that use closed cycles with minimal waste generation are becoming competitive. The imperfection of the existing technologies of wastewater treatment contaminated with heavy metal ions necessitates the search for such methods that allow to treat wastewater to the maximum allowable concentration and to carry out the regeneration of valuable components. The solvent sublation method satisfies the following requirements. One of the characteristic features of this method is the possibility of repeated concentration of metal ions in small volumes of organic solvent. It is established that the process of sublation is influenced by a number of factors: pH of the solution, molar ratio of Me: surfactant, initial concentration of extracted metal ions, duration of the process. The regularities of solvent sublation of Cu^{2+} ions from aqueous solutions are investigated and the following rational conditions of the purification process are revealed: surfactant – sodium laurate $C_{11}H_{23}COONa$; pH 5-6; the molar ratio of Cu^{2+} : surfactant = 1: 1,5; process duration – 15 min, organic phase – isoamyl alcohol; volume of organic phase – 10 cm³; the volume of the aqueous phase is 200 cm³. For these conditions, the degree of withdrawal is 97-99%.

References

1. Пляцук, Л.Д. Аналіз технологій очистки гальванічних стоків в Україні / Л.Д. Пляцук, О.С. Мельник // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – №2. – С. 116-121.
2. Астрелін І.М. Теоретичні засади та практичне застосування флотоекстракції: огляд / І.М. Астрелін, Т.І. Обушенко, Н.М. Толстопалова, О.О. Таргонська// Вода і водоочисні технології.– 2013. – №3.– С. 3-23.
3. Lu Y. Solvent sublation: theory and application /Y. Lu, X. Zhu// Separation and Purification Methods. – 2001. – №30. – P.157 - 189.
4. Bi P., Dong H., Dong J. The recent progress of solvent sublation // Journal of Chromatography. – 2010. – №1217. – P. 2716-2725.
5. Obushenko T., Tolstopalova N., Bolielyi O. The removal of heavy metal (Nickel) ions from waste waters //Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті.– 2017. – №1(21). – С.24-30.
6. Обушенко Т.І., Астрелін І.М., Толстопалова Н.М., Копотун В.П. Флотоекстракція іонів заліза із низькоконцентрованих розчинів// Наукові вісті НТУУ "КПІ".– 2010. – № 3. – С.106-111.
7. Набиванець Б.И., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища: Підручник. – К.: Либідь, 1996. – 304 с.

ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНАЦІЙ ПРОЦЕСІВ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ З ФІЗИКО-ХІМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ ВІДХОДІВ

А.В. Івлєва, С.Ю. Черниш

Сумський державний університет

anastasiya901@ukr.net

Антропогенний вплив на навколишнє середовище, відсутність належної оцінки впливу на навколишнє середовище та інші фактори привели до виникнення екологічних загроз в різних областях. Згідно зі стратегією державної екологічної політики України до 2020 року, поводження з відходами є серйозною екологічною проблемою [1].

Перспективним методом нейтралізації органічних відходів є анаеробне збродження, яке дозволяє виробляти біогаз та біодобрива і усуває бактеріальне, хімічне забруднення ґрунту, води і повітря, що виникає при зберіганні відходів.

В даний час понад 50 мільярдів тонн відходів енергетичного, промислового, сільськогосподарського і комунального секторів, в тому числі понад 150 мільйонів тонн промислових підприємств і 100 000 хімічних речовин [2, 3], потрапляють в атмосферу, водойми і ґрунт за рік [2, 3].

Загальна кількість відходів у світі становить понад 300 мільйонів тонн, а загальна кількість твердих відходів в Україні становить 10-11 мільйонів тонн на рік. Звалища займають 2600 га землі. За оцінками, міста виробляють в середньому близько 1 тонни на людину в рік [4].

Дослідження [5] показують, що близько 66% міських відходів мають біологічне походження: сільськогосподарські відходи (наприклад, пульпа цукрового очерету, стебла кукурудзи, рисова солома і лушпиння, горіхова шкаралупа), деревні відходи, паперові відходи, енергетичні культури, швидкорослі дерева, наприклад, тополя або верба), а також тверді відходи, міські очисні споруди.

На частку обробних виробництв доводиться 4,7% відходів. Середнє використання органічних залишків становить близько 26%. У країнах ЄС переробляється близько 60% промислових відходів і близько 95% сільськогосподарських відходів [6]. Щорічно в Україні збирають понад 50 мільйонів тонн зернових. Річний технічно досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси в Україні становить 18 мільйонів тонн AD. (Нафтовий еквівалент), а його використання дозволяє економити близько 22 мільярдів кубометрів природного газу в рік. В даний час частка біомаси у валовому кінцевому споживанні енергії становить 1,78% [7]. Обробка органічних відходів на біогазових установках значно вирішить енергетичні проблеми фермерських господарств в Україні.

Поки гостро стоїть питання утилізації органічних відходів. При похованні відходів на звалищах відходи починають виділяти метан і вуглекислий газ. Цей процес призводить до парникового ефекту [8]. Результатом накопичення великої кількості органічних відходів є негативний вплив на навколишнє середовище. Основними впливають факторами є:

- викид газу;
- забруднення підземних вод;
- поширення патогенних мікроорганізмів.

Проблема накопичення будь-яких відходів полягає в необхідності їх швидкої нейтралізації з найменшими економічними та енергетичними затратами і найменшим впливом на навколишнє середовище. Метан серйозно змінює стан атмосфери Землі. У цьому процесі метан надає в 21 разів більше негативного впливу, ніж вуглекислий газ. Таким чином, виробництво біогазу та його подальше використання для виробництва тепла та електроенергії - це спосіб боротьби з глобальним потеплінням. Біомаса, що залишилася після переробки відходів, може використовуватися в сільському господарстві як добриво. Більш того, такі добрива набагато краще і ефективніше впливають на ґрунт, розвиток рослин і ґрунтові води, на відміну від штучних добрив [9].

Органічні відходи, що містять азот, фосфор і інші поживні речовини, потрапляючи в воду, роблять її непридатною для питного водопостачання, завдають шкоди водним екосистемам. Зокрема, перенасичення води поживними речовинами викликає евтрофікацію. В результаті відбувається масове відтворення фітопланктону [10].

Виникла необхідність в розробці методів утилізації та раціонального використання органічних відходів. Анаеробне зброджування органічних відходів знизить ризик забруднення ґрунту і води, скоротить викиди і зменшить вплив на зміну клімату. Ризик забруднення ґрунту і води азотом, фосфором і іншими поживними речовинами і, як наслідок, ризик для питного водопостачання і водно-болотних угідь значно знижується. Обробка анаеробних відходів переслідує три основні цілі:

- розкладання органічних і неорганічних токсичних відходів;
- відновлення ресурсів кругообігу речовин C, N, P, S;
- отримання цінних видів викопного палива.

Таким чином, використання дигестата знижує негативний вплив попереднього циклу на навколишнє середовище як з точки зору викидів парникових газів, так і з точки зору використання корисних копалин [10]. Якщо вітряні і сонячні електростанції є пасивно чистими, біогазові установки активно очищаються, тому що вони усувають небезпеку для навколишнього середовища від тих продуктів, які використовуються в якості джерела енергії..

Сировина для виробництва біогазу:

- різна рослинна біомаса, неїстівні частини сільськогосподарських рослин;
 - відходи деревини - сировини з високим вмістом целюлози, що важко піддається методам переробки, але ефективно зброджується і трансформується в біогаз;
 - відходи переробної промисловості;
 - спеціально вирощені культури, такі як водяний гіацинт, бурі водорості;
 - рідкі відходи сільськогосподарських ферм;
 - промислові та побутові стоки і мул очисних споруд;
 - сміття міських звалищ.

В анаеробній технології при переробці біологічної маси використовуються різні групи бактерій, які поділяють макромолекулярні органічні сполуки на досить прості кінцеві продукти - метан та вуглекислий газ. Методи переробки біомаси тварин залежать від властивостей та складу сировини, а також від цілей переробки та виду кінцевої продукції. З метою збільшення концентрації активної біомаси в реакційній зоні використовуються такі технології:

1. Анаеробний контакт. Зброджена біомаса зі звичайного безперервного біореактора вивантажується в відстійник або відцентровий сепаратор. Осад з відстійника або фугату частково повертається в біореактор [11].

2. Анаеробний очищувач. Під час випробувань висхідних реакторів другого покоління було виявлено, що метаноутворюючі мікроорганізми, здатні агрегувати з ростом-щільні гранули діаметром 1-3 мм, легко осідають. Ці гранули в основному складаються з метаногенів, які утворюють щільну гілочку і подібні до клубків структури. Це спостереження стало основою для розробки реакторів нового покоління, які отримали назву реакторів UASB (анаеробне випадання осаду).

3. Анаеробний фільтр. Анаеробний фільтр - це реактор, заповнений достатньо великими інертними елементами біомаси, такими як гравій або пластикові відходи. Біомаса закріплена на їх поверхні. Біогаз, що виділяється під час бродіння, піднімає ці пластівці, але тіла утримують їх і не змивають. Метод призначений для очищення стічних вод з низькою концентрацією забруднюючих речовин [11]. Системи анаеробного перетравлення використовуються на багатьох очисних спорудах для нейтралізації активованого мулу, а також для очищення промислових та харчових стічних вод.

Хімічний склад біомаси різниться залежно від її типу. Рослини містять 25% лігніну і 75% вуглеводів. Лігнін складається з молекул, які не містять цукру. Бажаний рН для метаногенезу близький до нейтрального, хоча на стадії підкислення спостерігається помітне підкислення середовища. При рН 4,3 ферментація метану припиняється внаслідок отруєння мікрофлори токсичними недисоційованими летючими жирними кислотами (VFA). Метаногенні бактерії чутливі до вмісту солей важких металів у середовищі. Розвиток метаногенних мікроорганізмів визначається складом середовищ. Метаногенне бродіння простіше для моно- та 50-олігосахаридів, а також для легко оцукрюваних полісахаридів (крохмаль, геміцелюлози, пектини) [12]. Стійка до гідролізу целюлоза погано ферментує, лігноцелюлоза-особливо важкий для засвоєння субстрат, який перед ферментацією рекомендується розкласти гідротермолізом при 350 ° C і тиску 240 бар [12].

Існують і інші методи попередньої обробки важкодоступних поживних речовин: ультразвук різної частоти та інтенсивності, лужний гідроліз; ферментативний гідроліз целюлози з нижчими грибами роду *Neocallimasti*, а також бактеріями з роду *Fibrobacter*. Стимулюючи дію на популяцію метаногену забезпечують добавки азоту: введення в середовище сульфату амонію або фосфату, сечовини або D, L-амінокислот. Серед залишків та відходів сільськогосподарського виробництва є екскременти тварин, необхідні для ферментації метану. Хоча вони сильно відрізняються за змістом окремих компонентів, а також за хімічним складом, залежно від того, про яких тварин йде мова і якими продуктами харчування ці тварини харчуються. Якщо вихідний субстрат, який ферментується, окрім сараїв, інших рослинних відходів, слід звернути увагу на його склад. При цьому, перш за все, слід враховувати високий вміст лігніну, характерний для певних умов, який практично не руйнується мікроорганізмами і, як наслідок, не бере участі у процесі газоутворення. З цієї причини вивільнення газу з екскрементами тварин з жовчю, що потребує великої кількості сирової клітковини, значно менше, ніж з фекаліями курки та свині. Завдяки механічній, хімічній або термічній дії лігніну комплекси можна зробити

доступними для біохімічної деградації. Для стабілізації процесів анаеробного перетравлення органічних відходів та активізації роботи ферментаційних камер необхідно забезпечити:

- попередня підготовка шламу, що полягає у видаленні крупнодисперсних включень (фільтрація осаду) та покращенні роботи піскоуловлювачів з метою зменшення вмісту осадових мінералів у резервуарах первинного осадження;
- безперервне завантаження та розвантаження опадів;
- перемішування осаду в резервуарах ферментаційної камери з оптимальною інтенсивністю;
- підтримання оптимальної температури режиму бродіння (мезофільна 32-35 ° С, термофільна 52-55 ° С);
- збирання попередньо нагрітого мулу;
- нагрівання завантаженого мулу найкраще проводити в теплообмінниках.

В даний час для надання біомасі однорідної і гомогенної консистенції використовуються ультразвукові та гідродинамічні кавітаційні деструктори. Використання біомаси, в складі якої вміст жирів переважає над вмістом вуглеводів, є ефективнішим на 58%. Тобто лідером у виробництві біогазу є відходи від бойні худоби.

Технологічно процес проходить наступним чином: органічні відходи надходять до першого метантенку для першої стадії зброджування, після чого частину біомаси надходить на вузол активації, де піддають дезінтеграції, а інша частина надходить до другого метантенку. Після другої стадії зброджування отримаємо зброджену біомасу, яка надходить до осадоприймача для складування та можливого використання у якості добрив та біогаз, який надходить до газгольдера для збирання та подальшого використання для виробництва вторинної енергії теплової або електричної. Таким чином запропонована технологія дозволяє знешкодити органічні відходи, уникнути забруднення довкілля від потенційної емісії забруднюючих речовин при їх складуванні та отримати додатковий енергоресурс (біогаз). Це дозволить підвищити рівень екологічної безпеки та енергетичної незалежності держави.

Список літературних джерел

1. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року». Відомості Верховної Ради України. 2011. № 26. 218 с.
2. Васюкова Г. Т., Ярошева О. І. Екологія. К.: Кондор. 2009. 524 с.
3. Отходы в графиках и диаграммах – 3.0. Секретариат Базельской конвенции. 2015. 48 с.
4. Статистичний щорічник України за 2014 рік [Електронний ресурс]. Державна служба статистики України. 2015. Режим доступу до ресурсу: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm
5. Лакида П.І., Гелетуа Г.Г., Василишин Р.Д. Енергетичний потенціал біомаси в Україні. НУБіП України. К.: Видавничий центр НУБіП України. 2011. 24-25 с.
6. Ковальчук О. В., Зінченко Г. М. Дослідження розкладу органічних відходів з одержанням біогазу та добрив. Науково – технічний збірник “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”. 2009. №2. С. 157.

7. Аналітична записка БАУ № 4 (2013) [Електронний ресурс]. «Перспективи розвитку виробництва та використання біогазу в Україні». 2013. Режим доступу до ресурсу: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf>.
8. Белоченко И. С. Влияние сложного компоста на физические свойства почвенного покрова. Журнал Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. С. 2–3, 13–14.
9. Бабич О. С., Улексін В. О., Годяєв С. Г. Обґрунтування можливості ефективного використання каналізаційного газу для одержання енергії шляхом спалювання його в газодизелі. Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. Наукова періодика України. 2011. №3 (62) С. 21–30.
10. Дичко А. О., Перельот Т. М. Технологічні аспекти екологічної безпеки водойм. Київ. 2012. 145 с.
11. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології. *Biotechnologia Acta*. 2013. №1. С. 46-61
12. Нетрусов А. И., Бонч-Осмаловский Е.А., Горленко В.М. Экология микроорганизмов. М.: Издательский центр «Академия». 2004. 274 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАСОВІДДАЧІ В ГАЗОВІЙ ФАЗІ У РОЗВИНЕНОМУ ПІННОМУ ШАРІ

В.Ф. Моїсєв¹, Є.В. Манойло^{1,2}, О.М. Хухрянський², К.Ю. Репко¹

¹Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

²Сумський державний університет, Суми, Україна;

UzLITI Engineering, Республіка Узбекистан

bublikova1@gmail.com

В сучасних умовах значного антропогенного впливу на навколишнє середовище на часі пошук найбільш ефективних і економічних методів очищення промислових викидів. Методи очищення і апаратура, що розробляються повинні враховувати можливість роботи в широкому діапазоні робочих умов. Для зниження енерговитрат в системах уловлювання шкідливих і токсичних речовин необхідно забезпечувати зниження гідравлічного опору при збереженні високої ефективності очищення газових потоків. З огляду на суперечливі вимоги до обладнання і незважаючи на велику кількість вже наявних апаратів для проведення масообмінних процесів, розробка нового інтенсивного та ефективного обладнання становить значний інтерес для природоохоронних технологій в багатьох галузях промисловості. Поширеним методом очищення газових потоків є абсорбційні методи поглинання шкідливих компонентів з відведених промислових газів. При цьому або відбувається процес фізичної абсорбції, або абсорбент вступає в хімічну взаємодію з цільовим компонентом.

Одним з перспективних напрямків інтенсифікації процесу масообміну є розробка апаратів з використанням пінного режиму взаємодії газорідинних потоків у тому числі в шарі рухомих тіл. Досліджені раніше апарати з пінним шаром використовувалися переважно в технологічних циклах при значних питомих навантаженнях по газу і рідині, що призводило до високих енерговитрат. У той же час в системах очищення промислових газів від шкідливих компонентів, присутніх, як правило, в низьких концентраціях, необхідно забезпечити високий ступінь очищення газу при мінімальних витратах по рідині. Метою роботи є аналіз закономірностей процесу абсорбції при обробці газорідинних систем у пінному шарі, а також інтерпретація отриманих експериментальних даних.

Для зазначених цілей була розроблена конструкція стабілізатора із великим вільним обсягом [1]. Перевагою запропонованої конструкції є перехід в у структурований пінний режим роботи при порівняно низьких швидкостях газу, а також розвинена поверхня контакту фаз. Чарункова структура, з якої виготовлено стабілізатор, дозволяє досягти підвищених значень коефіцієнтів масопередачі за рахунок ефекту утворення плівки в осередках малого розміру. Конструкція має високу порозність і низький гідравлічний опір. Залежно від підбору матеріалу конструкція може мати різну змочуваність. Нові конструкції прості і мають порівняно низьку вартість, що дозволяє їх ефективно застосовувати в процесах очищення газів, що відходять у різних виробництвах, в градирнях систем оборотного водопостачання, в ряді інших процесах тепло- та масообміну у тому числі шляхом модернізації вже діючих установок.

Для дослідження масовіддачі в газовій фазі β_g в якості абсорбуемого компоненту було обрано аміак, в якості поглиначи обрана вода. Повітря розглядалося як інертний газ, що не розчиняється у воді. Дослідження

проводились на лабораторній установці яка зображена на рис. 1.

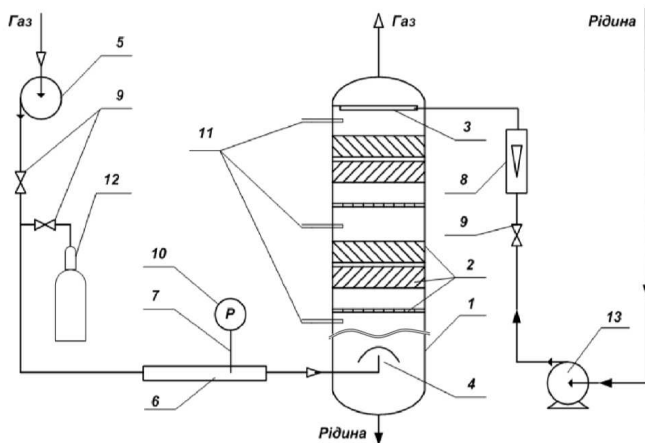


Рисунок 1 – Схема лабораторної установки для дослідження масовіддачі в газовій фазі. 1 – колона; 2 – блок комбінованого контактного елементу; 3 – розподільник рідини; 4 – розподільник газу; 5 – газодувка; 6 – вимірювальна труба; 7 – трубка Піто; 8 – ротаметр; 9 – вентиля; 10 – дифманометри; 11 – пробовідбирники; 12 – балон з аміаком, 13 – насос

Всередині колони 1 розташований комбінований контактний блок 2. Знизу колони подавалася повітряно-аміачна суміш, яку одержували при змішуванні аміаку із балону 12 з повітрям, що нагніталася газодувкою 5. Зрошувальна вода подавалася на верх колони із водопровідної системи через розподільник рідини. Аміачна вода слабкої концентрації, що утворилася в результаті абсорбції скидалася в каналізацію, а повітря виводилося в атмосферу. Витрати води та аміаку регулювалися вентилями 9 і замірялися відповідно ротаметрами 8. Вміст аміаку визначали відбором проб із наступним титруванням. Витрати рідини складали від 1 до 15 м³/м²-год, швидкість газу від 2-4 м/с.

Порядок проведення відбору проб проводили наступним чином: відкривали вентиль подачі води і задавали потрібні витрати. Потім запускали газодувку і встановлювали витрати повітря, що відповідали пінному режиму (візуально). Відкривали вентиль 9 для подачі аміаку і встановлювали його витрати. Через 5 хвилин відбирали проби газу внизу і в верху колони і пробу рідини внизу колони. Температура середовища складала 20 °С.

Потім знову повторювали відбір проб. По закінченню вимірювань, закривали подачу аміаку, виключали газодувку і перекидали воду. Вміст аміаку в пробі визначали за допомогою фенолфталеїну, розчину сірчаної кислоти та розчину гідроксиду натрію. Витрати і кількість абсорбованого аміаку визначалися матеріальним балансом абсорбції [2-3].

Ефективна робота масообмінної апаратури досягається при конкретному поєднанні значень коефіцієнту масопередачі K та коефіцієнту корисної дії η , який характеризує ефективність протікання процесу.

Між η та K у [4] було вказано такий зв'язок як:

$$\eta_c = \frac{2K_s}{2\omega_c + K_s} \quad (1)$$

Масовіддача в газовій фазі досліджувалась на стенді з колоною 0,24 м в умовах абсорбції аміаку водою. Абсорбцію аміаку проводили при швидкості газу $\omega_c = 2-4$ м/с із використанням стабілізатору пінного шару визначених параметрів. Стабілізатор встановлювали над полотном дірчастої тарілки на висоті від 0,1 - 0,12 м.

В результаті дослідження виявлялися закономірності поглинання аміаку у залежності від основних параметрів експерименту: швидкості газу в перерізі колони, концентрації аміаку, вільного перетину комбінованого контактного елементу та навантажень по рідині.

При вивченні поглинання аміаку (рис. 2) виявлено, що коефіцієнт корисної дії апарату дещо залежить від зміни швидкості газу. Однак, можна спостерігати, що коефіцієнт корисної дії із застосуванням стабілізатору більший ніж без нього і помітно більший при застосуванні стабілізатору із тарілкою з меншим вільним перетином та з отворами $d_c = 0,012$ м. Це можна пояснити тим, що тарілки із більшим вільним перетином сприяють більшому провалу рідини, а достатньо крупні отвори, та помірно низький вільний перетин створюють більшу висоту пінного шару, і таким чином підвищується поверхня масообміну. Цей факт підтверджується зростанням інтенсивності процесу абсорбції для такої комбінації елементів контактного блоку.

Проаналізувавши отримані експериментальні дані, представлені на рис. 3. можна сказати, що збільшення площі вільного перетину призводить до зменшення ефективності роботи контактного елементу. З рис. 4. видно, що щільність зрошення в комбінованому контактному елементі має вплив на абсорбцію лише до 8-10 м³/м²год, далі її вплив стабілізується та є незначним.

При застосуванні стабілізатора спостерігалось помітне зростання коефіцієнту корисної дії в комбінованому контактному елементі в залежності від концентрації аміаку у порівнянні із експериментом без застосування стабілізатору (рис 5). Ефективність роботи комбінованого контактного елементу зростає на 15 - 17 відсотків за інших рівних умов при застосуванні стабілізатору із меншим вільним перетином дірчастих тарілок. Це узгоджується із [4], що дозволяє користуватися відомими методами розрахунку потрібної кількості ступенів для досягнення заданої ефективності процесу.

Отже, проаналізувавши рис. 6 можна сказати, що збільшення зрошення рідиною збільшує коефіцієнт масопередачі. При збільшенні площі вільного перетину дірчастої тарілки (рис. 7) спостерігалось зменшення поглинання аміаку. Це пояснюється зменшенням кількості рідини в комбінованому контактному елементі, провалом її на нижчі ступені контакту, нестабільним пінним шаром та зменшенням поверхні контакту фаз. При збільшенні діаметру отворів (рис. 8) в тарілці відбувалося також зниження коефіцієнту масопередачі, обумовлене перерахованими вище факторами. На коефіцієнт масопередачі суттєво впливає швидкість газу, що видно із результатів, представлених на рис. 9.

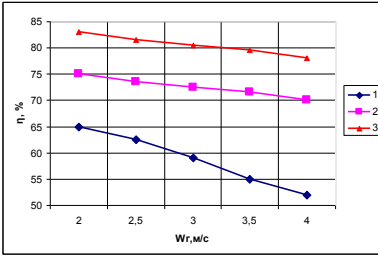


Рис. 2. Залежність коефіцієнту корисної дії для системи аміак – вода у комбінованому контактному елементі від швидкості газу: $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$; 1 – $d_e = 0,02 \text{ м}$, $S_0 = 0,383 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – без стабілізатору; 2 – $d_e = 0,015 \text{ м}$, $S_0 = 0,217 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором; 3 – $d_e = 0,012 \text{ м}$, $S_0 = 0,137 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором

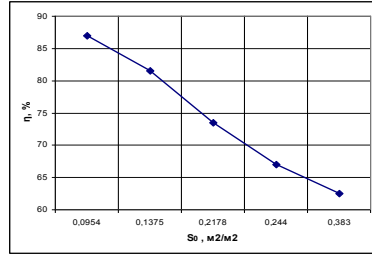


Рис. 3. Залежність коефіцієнту корисної дії в системі аміак – вода у комбінованому контактному елементі від вільного перетину дірчатої тарілки: $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$; $W_g = 2,5 \text{ м/с}$, $C_{\text{NH}_3} = 2\%$

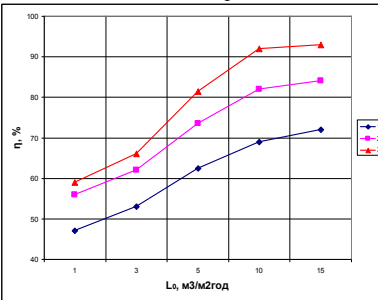


Рис. 4. Залежність коефіцієнту корисної дії для системи аміак – вода у комбінованому контактному елементі від щільності зрошення: $W_g = 2,5 \text{ м/с}$, $C_{\text{NH}_3} = 2\%$: 1 – $d_e = 0,02 \text{ м}$, $S_0 = 0,383 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – без стабілізатору; 2 – $d_e = 0,015 \text{ м}$, $S_0 = 0,217 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором; 3 – $d_e = 0,012 \text{ м}$, $S_0 = 0,137 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором

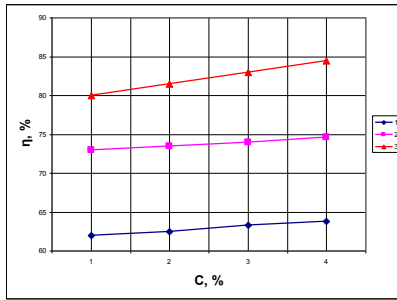


Рис. 5. Залежність коефіцієнту корисної дії для системи аміак – вода у комбінованому контактному елементі від початкової концентрації аміаку: $W_g = 2,5 \text{ м/с}$, $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$: 1 – $d_e = 0,02 \text{ м}$, $S_0 = 0,383 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – без стабілізатору; 2 – $d_e = 0,015 \text{ м}$, $S_0 = 0,217 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором; 3 – $d_e = 0,012 \text{ м}$, $S_0 = 0,137 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором

Як видно із рис. 9 швидкість газу має істотний вплив на висоту газорідного шару та коефіцієнт масопередачі в комбінованому контактному елементі.

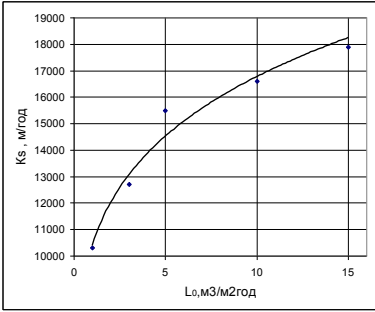


Рис. 6. Залежність коефіцієнту масопередачі віднесеного до площі тарілки від щільності зрошення. Система аміак – вода: $d_e = 0,012 \text{ м}$, $S_0 = 0,137 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором, $W_T = 2,5 \text{ м/с}$.

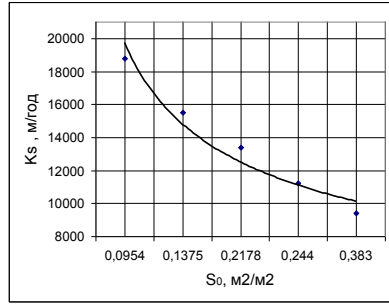


Рис. 7. Залежність коефіцієнту масопередачі віднесеного до площі тарілки від вільного перетину дірчатої тарілки. Система аміак – вода: $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{год}$, $W_T = 2,5 \text{ м/с}$.

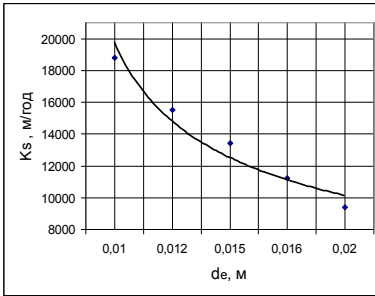


Рис. 8. Залежність коефіцієнту масопередачі віднесеного до площі тарілки від діаметру отворів тарілки. Система аміак – вода: $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{год}$, $W_T = 2,5 \text{ м/с}$.

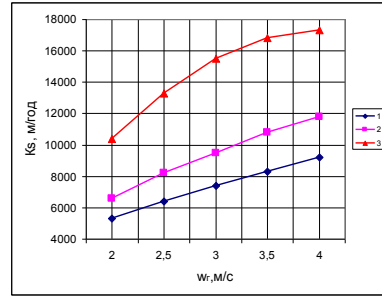


Рис. 9. Залежність коефіцієнту масопередачі комбінованого контактного елемента від швидкості газу. Система аміак – вода: $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{год}$; 1 – $d_e = 0,02 \text{ м}$, $S_0 = 0,383 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – без стабілізатору; 2 – $d_e = 0,015 \text{ м}$, $S_0 = 0,217 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором; 3 – $d_e = 0,012 \text{ м}$, $S_0 = 0,137 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – із стабілізатором

Після обробки експериментальних даних було отримано емпіричні залежності для розрахунку коефіцієнту масопередачі в газовій фазі, м/год:

$$K_s = 1,3 \cdot 10^3 W_T^{1,5} L_0^{0,17} d_e^{0,38} S_0^{-0,77} \quad (2)$$

та при визначенні ККД, % :

$$\eta = 0,170 \cdot 10^3 W_T^{-1,7} L_0^{0,35} d_e^{-0,3} S_0^{-0,52} \quad (3)$$

Похибка розрахунків за рівняннями (2-3) не перевищила 15 %.

При виведенні розрахункових критеріальних рівнянь при абсорбції аміаку

залежність $K_s = f(H)$ виражають одночленом [4-6]:

$$K_s = n(H)^m \quad (4)$$

В результаті обробки експериментальних даних було отримано рівняння для визначення коефіцієнта масопередачі в газовій фазі $K_{s, \text{м/год}}$:

$$K_s = 11145W_s H^{0,33} \quad (5)$$

Відхилення експериментальних даних від розрахункових за рівнянням (5) не перевищувало $\pm 15\%$.

Отже, ефективність масообміну в комбінованому контактному елементі який працює в стабільному пінному режимі підтверджує, що обрана конструкція елементів спричинює інтенсивне перемішування взаємодіючих фаз, стримування газовмісту у певному діапазоні та зростання величини поверхні контакту фаз і швидкістю їх оновлення. На процес масообміну в газовій фазі істотний вплив роблять гідродинамічні параметри – швидкість газу в апараті і питома навантаження по рідині, які опосередковано впливають, на висоту шару рідини на тарілці і газовміст пінного шару, а також не досліджені фізико-хімічні властивості взаємодіючих систем.

Для подальшої інтенсифікації абсорбційних апаратів можливо використання запропонованої конструкції із використанням трифазного пінного шару із зваженою насадкою. Раніше було висловлено припущення про перспективність використання сітчастих матеріалів для виготовлення насадкових тіл, то слід підкреслити особливість роботи апаратів з подібними насадками [6].

Промислова реалізація абсорбційних процесів у пінному шарі та використання методу стабілізації газорідного шару значно розширює сферу застосування пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій. А використання сучасних конструкцій регулярних насадок у якості стабілізаторів дозволяє модернізувати діючі абсорбційні апарати.

Список літературних джерел

1. Стабілізатор пінного апарата: Пат. № 138876 U Україна, МПК В01D47/00. №U201905820; Заявлено 27.05.2019; Надрук. 10.12.2019, Бюл. №23. 2019.
2. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. Ленинград: Химия, 1965. 976 с.
3. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных и сточных вод. Москва: Химия, 1984. 488 с.
4. Тарат Є. Я., Мухленов І. П., Туболкін А. Ф., Тумаркіна Е. С. Пенний режим і пенні апарати. Ленинград: Химия, 1977. 304 с.
5. Moiseev V., Liaposhchenko O., Trebuna P., Manoilo E, Khukhryansky O. Properties of heat and mass transfer processes in the tubular grids with the heat exchanger as a stabilizer. Lecture Notes in Mechanical Engineering. — Springer, 2020. — P.795-804. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_79
6. В.Ф. Моїсєєв, С.В. Манойло, Н.Г. Пономарьова, К.Ю. Репко, Д.В. Давидов. Методологія розрахунку режимно-конструктивних і гідродинамічних параметрів пінних апаратів для процесів масообміну/ Вісник НТУ «ХП»: Серія "Нові рішення у сучасних технологіях" - № 16, 2018, с 165 – 176. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.16.25>

**ANALYSIS OF WASTEWATER SAMPLES
 FOR DETERMINATION OF MYCOTOXINS**

Romans Pavlenko^{1,2}, Zane Bērziņa^{1,2}, Mārtiņš Jansons², Vadims Bartkevics^{1,2}

¹Faculty of Chemistry, University of Latvia, Riga, Latvia

²Institute of Food Safety, Animal Health and Environment “BIOR”, Riga, Latvia

romans.pavlenko@bior.lv

Mycotoxins are a large group of various structural compounds and biological exposures, and they are made by various groups of fungi. Mycotoxins are considered a global health, agriculture, and economical threat. Most mycotoxins are chemically stable, they survive storage and processing, and could even remain in processed food. Mycotoxins are metabolized by liver and/or kidney and depending on their type and their metabolized products are excreted. Wastewater based epidemiology (WBE) is a novel biomonitoring approach for tracking human exposure to mycotoxins based on the analysis of wastewater (WW) samples. For WBE applications sensitive, and selective WW sample preparation and instrumental methods were developed by several authors [1].

Within the current study the main parameters of the analysis were optimized for the determination of mycotoxins which occur in WW samples – deoxynivalenol (DON), beauvericin (BEA), enniatin A (ENNA), enniatin A1 (ENNA1), enniatin B (ENNB) and enniatin B1 (ENNB1).

13 analytical columns were compared by intensity, peak shape, sorption coefficient and number of theoretical plates (see *Table 1*).

Table 1

List of analytical columns used in the study				
Nr.	Column	Size, mm	Sorption coefficient	Number of theoretical plates
1.	Luna C18 3 µm	150 x 4,6	-	-
2.	Kinetex C18 1.7 µm	50 x 3,0	7,6	411
3.	Hypercarb 5 µm (used)	100 x 2,1	18	905
4.	Kinetex C18 1.7 µm	100 x 3,0	7,3	2004
5.	Synergi Polar-RP 4 µm	150 x 3,0	7,8	1080
6.	Kinetex PFP 1,7 µm with UHPLC filter	100 x 3,0	4,4	4774
7.	Omega Polar C18 1.6 µm	100 x 1,0	18	1947
8.	Omega Polar C18 3 µm	100 x 3,0	8,8	1838
9.	Kinetex Phenyl-Hexyl 2.6 µm	100 x 2,1	6,7	958
10.	Synergi Hydro-RP 4 µm	150 x 3,0	12	1171
11.	Synergi Max-RP 4 µm	150 x 3,0	14	633
12.	Hypercarb 5 µm (used)	100 x 2,1	1,4	58
13.	Hypercarb 5 µm (new)	100 x 2,1	45	804

Hypercarb 5 µm column was selected to develop the method for the determination of DON, as it showed very good sorption coefficient, and Kinetex PFP 1.7 µm column was applied for separation of BEA, ENNA, ENNA1, ENNB and ENNB1 due to optimal resolution and the number of theoretical plates.

For the detection of mycotoxins, it is necessary to use acidified phases with the addition of salts, because the additive increases the ionization of mycotoxins.

It was observed that no analyte peaks were observed in the samples using deionized water

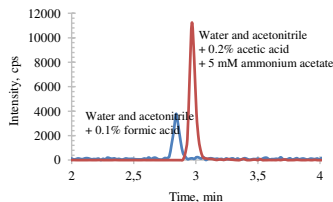


Figure 1. DON chromatogram in different phases using Kinetex PFP column

and acetonitrile. Using water and acetonitrile supplemented with 0.1% formic acid, the adducts were unstable and the samples showed poor repeatability. The phase system that solved the sensitivity and fragment stability problems was deionized water and methanol to which 0.2% acetic acid and ammonium acetate additives because the intensity and shape of the peak was satisfactory (see Figure 1).

SPE columns were used to clean-up and concentrate the samples. The SPE columns Strata C18-E, Strata X, Oasis HLB, Strata Basic Screen and Strata ABW were compared. Using the Strata ABW and Basic Screen columns, it was found that they were not suitable for DON determination because DON was not found.

100 mL of artificially contaminated deionized water was used for the method development experiment. The sample was applied in portions to the columns, one fraction of each 20 mL of sample was collected to observe analyte losses. Fractions were analysed and it was found that using Strata C18-E columns, DON leaches from the sorbent due to the addition of large sample volumes, DON losses are 53% (see Figure 2).

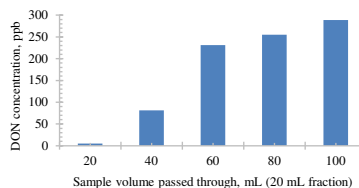


Figure 2. DON elution profile using Strata C18E columns

The absolute SPE recovery for Strata C18-E, Strata X and Oasis HLB columns was compared. 3 replicates were performed for each point, with the standard additive concentration of 5 ng/L for BEA and ENN and the standard additive concentration of 25 ng/L for DON (see Table 2).

Table 2
 Absolute SPE recovery of mycotoxins at Milli-Q water standard addition concentration of 5 ng/L for ENN group and BEA, 25 ng/L for DON

	Strata C18-E, %	Strata X, %	Oasis HLB, %
DON	9,0	94	94
BEA	59	90	75
ENNA	67	104	92
ENNA1	71	103	82
ENNB	72	106	76
ENNB1	72	106	78
Average:	PFP method 68	102	81
	Hypercarb method 9,0	94	94

The absolute recovery of DON using Strata C18-E column was found to be 9.0%. In the case of BEA and ENN, the recovery of the column was in the range of 59 - 72%. The absolute recovery of the Strata-X column with all compounds was excellent, in the range of 94 - 106%. The absolute recovery of Oasis HLB columns was similar to Strata-X columns.

The composition of different samples of WW is very variable and varied, so it was necessary to make sure that the chosen extraction is suitable for the analysis of this complex matrix. The extraction efficiency for Strata-X columns was tested by concentrating 500 mL WW sample. Tap water was used as a control (see Table 3).

Table 3

Strata-X column extraction efficiency				
	Tap water	Wastewater Nr 1	Wastewater Nr 2	Wastewater Nr 3
DON	97%	98%	96%	98%
BEA	56%	187%*	84%	92%
ENNA	69%	166%*	84%	97%
ENNA1	74%	104%	88%	98%
ENNB	72%	101%	89%	109%
ENNB1	82%	103%	96%	95%

* Coarse error by Dixon criterion

It was observed that in the case of Strata-X column DON with tap water is 97%, with WW matrix is 96-98%. In the case of BEA and ENN, the results with the Strata-X column are also satisfactory - the extraction efficiency was in the range of 84 - 109%.

Table 2 and Table 3 show extraction efficiencies and absolute recoveries greater than 100%, which could be explained by the presence of exogenous substances from external sources during sample preparation, such as residues released from SPE cartridges [2].

Strata-X columns were chosen for further sample preparation. Oasis HLB columns are good alternative for DON, BEA and ENN detection, but the column price is higher than Strata-X columns.

Different sample volumes were compared in our study. The larger the sample volume, the higher the signal intensity in the case of DON. 666 mL and 1000 mL were selected for comparison of BEA and ENN. It was observed that with 666 mL of sample volume, the signals were more intense than with 1000 mL, except for ENNA1. The results obtained are contrary to expectations, which could be explained by the capacity of SPE columns. An increased sample volume theoretically provides higher concentration of analytes after concentration, there are losses and larger matrix effects rather than increases in intensity. Increasing the sample volume to 1000 mL increases the signal intensity for DON and ENNA1, but decreases for BEA, ENNA, ENNB and ENNB1 due to matrix effects. For the DON analysis, the optimal volume was 500 mL of sample. Volume greater than 1000 mL strongly affected the chromatographic determination, increased the load on the SPE columns, increased the matrix effect, increased the sample preparation time.

The stability of the sample was tested by testing artificially contaminated samples after a certain time, which is stored at different temperatures. 5 L wastewater sample was used, which was initially analysed in series with a blank sample and sample with standard additive concentration of 5 ng/L. After analysis of the sample, standard addition of mycotoxins at concentration of 5 ng/L was added to the residue. The 4L sample was aliquoted into 2L and stored at -20 °C and + 4 °C, respectively. The sample was retested after 1 week and after 2 weeks. During the experiment, it was shown that compounds in the sample are stable for 2 weeks when stored both in the freezer and in the refrigerator, so the analysis of the samples should be performed within 2 weeks.

The selectivity of the method was demonstrated by preparing blank matrix sample and comparing it with an analogous matrix sample supplemented with the mycotoxin standard additive at the level of the limit of quantification (LOQ). The method shows good selectivity, however, signal of natural contamination is observed in the case of DON and ENNB. During the development of the analytical procedure, natural contamination of DON and ENNB at all levels was always detected in all analysed

samples, therefore it had to be considered when continuing the development of validation.

The linearity of the method was checked by constructing calibration lines from standard solutions in the case of DON, as it is possible to use the internal standard method and matrix calibration in the case of BEA and ENN prepared according to the standard additive calibration method. In the case of the BEA and ENN groups, the concentration of mycotoxins in the samples was determined by calibrating one point for each sample (for screening purposes), which can be used because the linearity of the compounds in different matrices was demonstrated. If the concentration was determined above the first calibration point, the analysis was repeated by 5-level calibration with the standard addition method. In the case of BEA and ENN, it is not possible to use calibration with standard solutions for quantification because of the large matrix effect and the need for an internal standard to reduce it. Therefore, calibration of the standard additive method on each sample was used to reduce matrix effect errors.

The limit of quantification (LOD) was defined as the concentration in the sample with a signal-to-noise ratio ≥ 3 and was assessed by repeated analysis of blank samples with different concentrations of standard additives.

The limit of quantification (LOQ) was defined as the concentration in the sample with a signal-to-noise ratio ≥ 10 and was assessed by repeated analysis of blank samples with different concentrations of standard additives.

Data on instrumental detection limits (IDL), LOD and LOQ were collected (see *Table 4*).

Table 4

Instrumental detection limits, LOQ and LOD			
Compound	IDL, ng/L	LOD, ng/L	LOQ, ng/L
Deoxynivalenol	0,18	1,9	6,4
Beauvericin	0,0025	0,039	0,13
Enniatin A	0,010	0,12	0,40
Enniatin A1	0,0089	0,14	0,47
Enniatin B	0,0055	0,044	0,15
Enniatin B1	0,017	0,13	0,43

It was concluded that the developed method is suitable for the determination of mycotoxins of the DON, BEA and ENN groups, the lowest and optimal LODs for their detection were achieved.

The relative recovery of the method was defined as the ratio of the measured area of the standard additive and the internal standard added before extraction divided by the ratio of the net measured additive to the internal standard [2]. The relative recovery was applied to the DON compound using the internal standard. The absolute recovery of the method was defined as the ratio of the concentration of the measured sample with the standard additive to the corresponding concentration of the measured standard solution [2]. The absolute recovery was applied to all combinations.

The relative recoveries of the method DON were shown in the table (see *Table 5*).

Table 5

Relative recovery of the method DON		
Compound	Average relative recovery, %	Min. – max. relative recovery, %
Deoxynivalenol	102	92 – 110

It was demonstrated that the relative recovery of DON is in the range of 92 - 110%, on average 102%. The absolute recoveries of the method were shown in the table (see Table 6).

Table 6

Absolute recovery of the method		
Compounds	Average absolute recovery, %	Min. – max. absolute recovery, %
Deoxynivalenol	105	84 – 118
Beauvericin	91	66 – 115
Enniatin A	94	63 – 126
Enniatin A ₁	104	82 – 131
Enniatin B	89	59 – 113
Enniatin B ₁	89	64 – 109

The experiment showed that the absolute recovery was in the range of 59 - 131% (DON 84-118%, BEA 66-115%, ENNA 63-126%, ENNA1 82-131%, ENNB 59-113% and ENNB1 64-109%).

The matrix effect (ME) was evaluated as the difference between the slope of the calibration graph performed on the matrix and the slope of the calibration graph performed on the standard solutions. 3 different wastewater samples of unknown origin were used in the experiment (see Table 7).

Table 7

Matrix effect for wastewater samples				
	Wastewater Nr 1	Wastewater Nr 2	Wastewater Nr 3	Average value
DON	8%	–	–	8%
BEA	-96%	-78%	-91%	-88%
ENNA	-40%	-24%	-51%	-38%
ENNA1	-75%	-51%	-56%	-61%
ENNB	-65%	-49%	-70%	-61%
ENNB1	-67%	-38%	-64%	-56%

It was concluded that for all compounds in almost all samples a negative matrix effect is observed - during ionization the suppression of the ion of the compound takes place. For the DON experiment, one average sample was tested (sample obtained by combining different effluents in an average sample to obtain a representative effluent sample) and quantification was performed with standard solutions using an internal standard. The level of matrix effect varies between samples, which means that it is not correct to use matrix calibration on a single sample basis. At least one point calibration per sample must be performed to perform a correct quantification without an internal standard. If uniform samples (obtained from the same site of similar composition) are expected, it will be possible to use matrix calibration from one sample with the standard additive before performing the experiment.

The expanded measurement uncertainty (at 95% confidence interval) was assessed by repeated measurements of samples with the standard additive near the limit of quantification (quality control samples) and by calculating the relative standard deviation from the recovery of the measurement results. Expansion factor $k = 2$.

The estimated preliminary uncertainties for all detectable compounds ranged from 17% to 44%. To calculate the uncertainty, the quality control data were accumulated and summarized in a table (see Table 8).

Table 8

Uncertainty of the method	
Compounds	U, %
Deoxynivalenol	17
Beauvericin	44
Enniatin A	43
Enniatin A1	36
Enniatin B	44
Enniatin B1	42

Acknowledgement:

This work was supported by the Latvian Council of Science under project No. Izp-2020/2-0128.

References:

1. Gracia-Lor, E., Zuccato, E., Hernández, F., Castiglioni, S. (2020) Wastewater-Based Epidemiology for Tracking Human Exposure to Mycotoxins. *J. Hazard. Mater.* 382, 1–7.
2. Schenzel, J.; Schwarzenbach, R. P.; Bucheli, T. D. (2010) Multi-residue screening method to quantify mycotoxins in aqueous environmental samples. *J. Agric. Food Chem.* 58, 11207–11217.

СЕКЦІЯ 3
Енергозбереження та
альтернативні палива

SECTION 3
Energy efficiency
and alternative fuels

**GYROSCOPIC SOLAR POWER SATELLITE ENERGY SYSTEMS
WITH ELEMENTAL COMPATIBILITY OF COMPONENTS
AND A NEW ALGORITHM FOR CONVERTING SOLAR RADIATION
ENERGY**

Yu. M. Mar'yinskykh

Sumy State University, Shostka Institute
mymih44@gmail.com

The chemical and petrochemical sector is of vital economic importance. Global production amounted to 5.7 trillion United States dollars (USD) in 2017, including pharmaceuticals. Production is projected to quadruple by 2060 [1]. The sector's reliance on fossil fuels and fossil feedstocks results in the emissions of carbon dioxide (CO₂) during the production, use and end-of-life phases. As a result, the chemical and petrochemical sector is a major contributor to global industrial CO₂ emissions, ranking third behind iron and steel-making and cement production. Total direct emissions from production, product use and waste handling amounted to 1.6 gigatonnes (Gt) of CO₂ per year, while indirect emissions related to electricity supply accounted for 0.6 Gt of CO₂ per year. Production of chemicals results in around 1.1 Gt of energy and processing CO₂ emissions annually, accounting for about half of the full life cycle carbon footprint (estimated based on Ref. [2]).

Solar process heating systems can replace fossil fuels for process heat generation [3,4].

Design developments of an effective original method for converting solar radiation by gyroscopic solar power satellite with a new thermal conversion algorithm, rather than previously developed, will not leave designers and developers without attention to the concept of poor development of space energy. Their implementation will lead to partial replacement of irreplaceable natural Earth energy resources. The peculiarity of the proposed projects reveals the fact of the discovery of the combination of multifunctional processes with the same components of the design of gyroscopic solar power satellite (GSPS) in converting the energy of the full spectrum of solar radiation into mechanical and electrical in the necessary ratios and is justified by the following provisions.

This is the leading idea of projects, as a combination of processes, belongs to the algorithm for the continuous conversion of solar energy by performing useful work by the working fluid in the sunflower region and in shading, even when the heat is released into space. It is substantiated by the architecture of the GSPS structure, which looks like a single technical structure made of a circular parabolic solar concentrator with heat-converting modules. They are placed in a heat trap of the focal region of concentrated radiation along the perimeter of one of the two concentric bearing trusses. On the farms in the center or at the periphery of the shadow area, depending on the version of the GSPS design, the components of the superconducting electric generator are located. The trusses have the possibility of opposite rotation around the axis oriented to the sun through interaction through the kinematic coupling nodes from the modules (Fig.1).

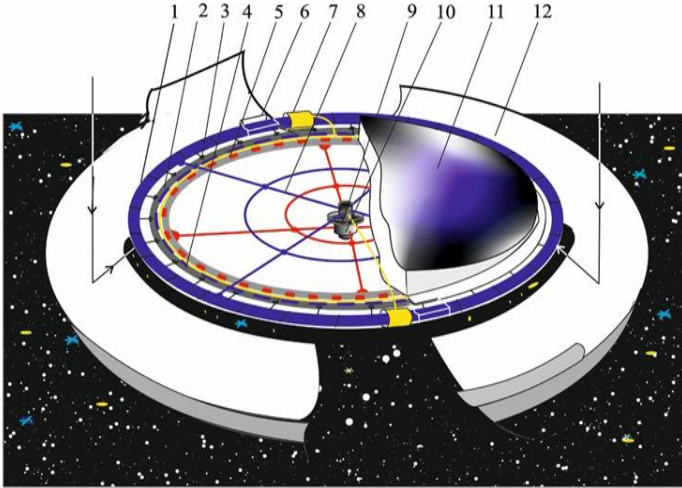


Fig.1. The schemes of the GSPS with concentrators.

A feature of the created project of a gyrosopic space solar power station (GSPS) with a new thermal conversion system (TCS) and a superconducting generator is a fundamentally different approach for converting the energy of the full spectrum of solar radiation into mechanical and electrical in the necessary ratios than were previously developed in the field of space energy [5].

The argumentation of the key feature of a heat trap, in the traditional terminology of a radiation heat receiver, is its constructive solution of a circular tunnel cavity made of a transparent film with low-emission magnetron sputtering. An enlarged concentrator in front of the entrance of thermal modules from the heat-emitting (cold) region to the heat trap compensates for the losses due to reflection of that incident part of the infrared radiation spectrum on the film that did not pass through it. This makes it possible to make a correction for the calculated value of the energy supplied to the heat trap at the stage of rapid heating of the working fluid in the heat-converting modules. Radiation transmitted with a small wavelength is "transformed" into radiation energy from heated modules with a working fluid into radiation with a longer wavelength, which do not pass outside, but are used to perform useful work on rotating farms with a component of a superconducting generator on them, which is always in the shadow low temperature areas.

In another version of the GSPS design, the heat trap has a rigid torus shape made of heat-resistant durable heat-insulating material with a mirror-like inner surface. In this case, the leading idea of the elemental compatibility of multifunctional transformation processes remains the same, so in the variants of the basic structures of the GSPS in the sunflower region along the surface of the heat trap, the width of the focal spot, concentrated radiation passes the opening into the heat trap. This ensures that the modules with the working fluid absorb the energy of the full spectrum of solar radiation that has passed through the opening. The rods from the modules pass through the side cut as rotation drives of the bearing trusses. The stage of transferring all the stored

thermal energy by the module and the working fluid in it, if necessary, to work in the absence of a concentrator and an opening in a heat trap does not contradict the laws of thermodynamics. Thus, heat-converting modules moving in the circular cavities of heat traps and outside acquire the purpose of a heat receiver, a refrigerator-emitter, a gyroscopic guidance system with rotating trusses in the sun, drives for rotating the shafts of electric generators and a slight gravity necessary for the crew and technological processes (Fig.2).

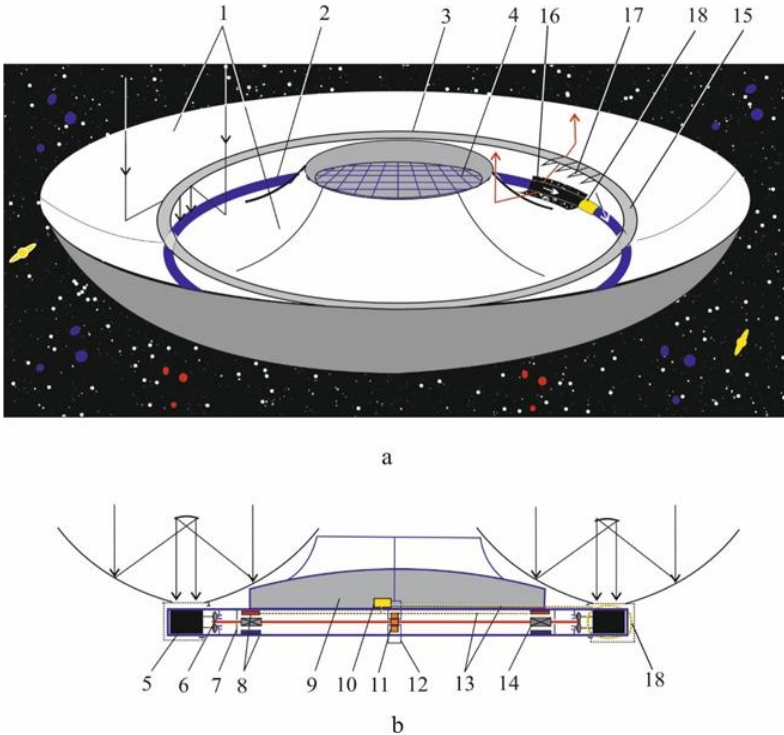


Fig.2.The GSPS and the compound film concentrator of solar radiation above the heat receiver (a), the power plant cross-sectional view (b).

The design solution of the GSPS in the solar energy conversion algorithm eliminates the most important problem of resonating mechanical effects in zero gravity from moving units due to the smoothly varying loading action of the rods from the modules on the rotation of the bearing trusses. The angular speed of rotation of the trusses relative to a fixed frame of reference (the Sun) with a fixed area of the concentrator, in turn, varies by the moment of inertia (the placement of production equipment on the trusses in radial directions).

It will be more convenient to solve the tasks of putting the GSPS into orbit by testing with a preliminary study of the model installation in a pressure chamber. The GSPS under test is assembled in terrestrial conditions with the central part of a superconducting electric generator (or with neodymium magnets) placed in a launch vehicle. The rest of the components, as in the project, are placed on the trusses outside on the perimeter of the carrier rocket body with a fairing over the heat trap to reduce atmospheric resistance. In another version of the tested GSPS, the heat trap is made of a durable material with low thermal conductivity and located above it, under the fairing of a folded concentrator with the possibility of automated deployment in orbit. In the conceptual plan, in addition to the main purpose of the GSPS, as an option, it is envisaged the production of ultrapure materials for the accumulation of charge with subsequent sending to the Earth to create energy storage systems. For more details see here: <https://maryinskykh.ishostka.sumdu.edu.ua>.

References

1. OECD. Saving Costs in Chemicals Management: How the OECD Ensures Benefits to Society; OECD: Paris, France, 2019.
2. IEA. World Energy Balances 2019; OECD/IEA: Paris, France, 2019.
3. IRENA. Renewable Energy in Manufacturing. A Technology Roadmap for REmap 2030; International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2014.
4. Taibi, E.; Gielen, D.; Bazilian, M. The potential for renewable energy in industrial applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 735–744. [CrossRef]
5. Yu. 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. 409–420.
6. Ю. М. Марьинских. Гироскопическая космическая солнечная энергостанция с новой тепловой системой преобразования и сверхпроводящим генератором. // *Гелиотехника*, 2019, № 6, С. 499–511.
7. New Generation Thermodynamic Autonomously Managed Space Solar Power Plant. // *Yu. M. Mar'yinskykh. Journal of Engineerin Thermophysics*, 2014. Vol. 23, No. 4, pp. 1–6.

СИНТЕЗ ФЕРРОЦЕНМОДИФИЦІРОВАННОГО КАСТОРОВОГО МАСЛА

Т.В. Огневая, Е.Ю. Нестерова

Днепропетровский национальный университет им Олеса Гончара
sharovatova@i.ua

Эта работа посвящена разработке новых катализаторов горения твердого ракетного топлива с пластифицирующими свойствами на основе модифицированного касторового масла и производных ферроцена.

В настоящее время огромное количество ферроценосодержащих органических соединений: алкенов, спиртов, простых и сложных эфиров, эпоксидов, галогеналканов и т. д. прошли испытания в составах смесового твердого ракетного топлива (СТРП) [1-4]. Однако, их тенденция к миграции и чувствительность к окислению ограничивают возможность их использования. Для получения более высоких скоростей горения ракетного топлива требуется применение повышенных концентраций катализатора, что в случае алкилферроценов трудно реализовать из-за их высокой летучести. Поэтому для обеспечения стабильности свойств топлива в процессе хранения и эксплуатации, содержание жидких ферроценовых соединений в составе, как правило, не превышает 1 %, тем самым ограничивается возможность повышения скорости горения топливных композиций. Попытки предотвратить диффузию производных ферроцена на поверхность топлива связывались с увеличением количества ферроценовых фрагментов в молекуле, увеличением размеров молекул, содержащих ферроцен, что не привело к положительным результатам. Другие попытки предотвратить диффузию на поверхность топлива производных ферроцена связаны с использованием сополимеров, содержащих ферроценовый фрагмент вместе с другими функциональными группами. Данные сополимеры можно использовать в качестве отвердителей углеводородного связующего, однако, здесь возникает проблема синтетической сложности их получения и достаточно высокой цены, что приводит к удорожанию катализатора.[5-7] Также они чувствительны к окислению и обычно не обладают очень хорошими эластичными свойствами, особенно при низких температурах. В качестве жидкого ферроценосодержащего катализатора со свойствами пластификатора нами были получено соединение на основе химически модифицированного касторового масла и ферроценкарбоновой кислоты, который является эффективным катализатором скорости горения перхлоратных топлив и позволяет избежать проблемы описанные выше, а также экономически выгоден [8].

Синтез продуктов глицеролиза касторового масла

Основным компонентом касторового масла является триглицерид рицинолевой кислоты, содержание которой варьируется от 80 до 94 % (ГОСТ 6757-96).

Полиольные компоненты на базе касторового масла получали путем его нагревания с избытком глицерина с образованием из триглицерида рицинолевой кислоты продуктов глицеролиза касторового масла (ПГКМ) по схеме на рис.1. Основным продуктом глицеролиза по данным [9] являются моноглицериды рициновой кислоты (1,2), диглицериды (3,4) содержатся в виде примесей. Глицеролиз касторового масла проводили при перемешивании в токе азота и нагревании (200-210°C) в присутствии катализатора PbO, с последующей промывкой от глицерина водным раствором ацетона и высушиванием смеси над безводным Na₂SO₄. Для избавления от остатков влаги к ПГКМ добавляли сухой

бензол и затем проводили азеотропную отгонку водно-бензольной смеси на роторном испарителе в течение 3-4 ч. под уменьшенным давлением.

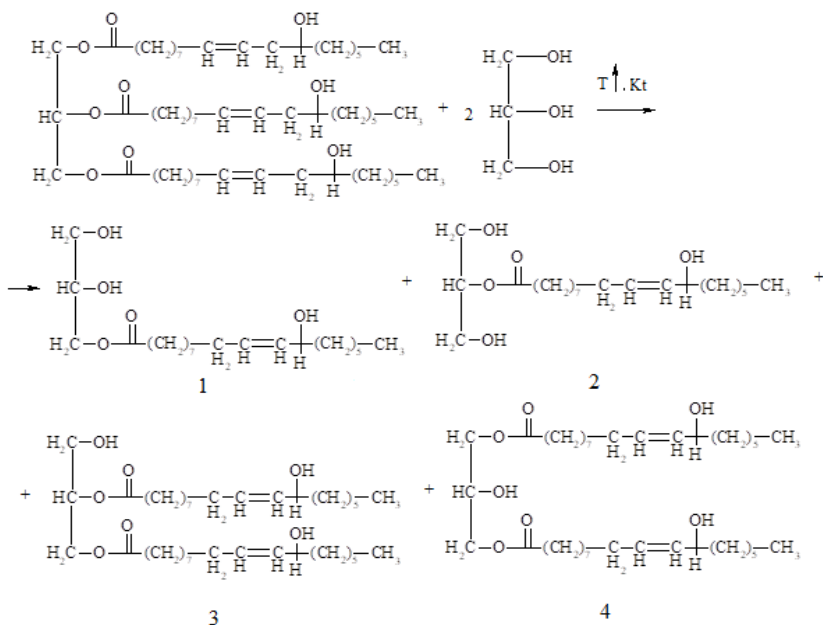


Рисунок 1.- Схема глицеролиза триглицерида рицинолевой кислоты

Введение ферроценильного фрагмента в ПГРО проводили путем его ацилирования под действием хлорангидрида фероценкарбоновой кислоты, которую получали при взаимодействии фероценкарбоновой кислоты с пентахлоридом фосфора. Реакция проходила в растворе сухого бензола. Хлорангидрид фероценкарбоновой кислоты получали по схеме на рис.2 и использовали без выделения, отделяя перегонкой под вакуумом бензол и $POCl_3$.

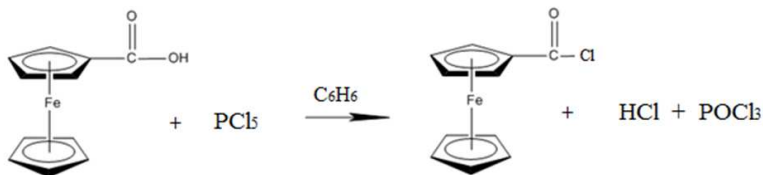


Рисунок 2.- Схема синтеза хлорангидрида фероценкарбоновой кислоты,

К темно-красному остатку хлорангидрида фероценкарбоновой кислоты добавляли сухой бензол, фильтровали и в атмосфере азота добавляли ПГРО, количество которого рассчитывали исходя из анализа на содержание гидроксильных групп. Реакционную смесь перемешивали при нагревании 50-60°C

в течение 2-3 ч в присутствии каталитического количества триэтиламина. Полученный продукт, смесь ферроценоилглицерилрицинолеатов (ФГР), представляет собой темно-красное масло, которое промывают дист.водой, сушат и отгоняют бензол под вакуумом. Характеристики исходных веществ и конечных продуктов приведены в таблице1.

Таблица 1. Физико-химические характеристики производных касторового масла

Вещество	Карбоксильное число, мг КОН	Содержание ОН-груп, %	Ацетильное число	Fe, общ, %	Фосфор общ, %	Показатель преломления, (20 ⁰ С)
КМ	1,15	9,46-10,49	329,32	-	-	1,4731
ПГКМ	1,21	14,68-22,42	308,75	-	-	1,4760
ФГР	7,41	3.3 - 8,84	291,84	27-30	0,39-0,47	1,4848

Нами была отработана методика синтеза ферроценкарбоновой кислоты с целью выработки достаточного количества этого продукта. За основу взята методика, по которой синтез ферроценкарбоновой кислоты проводят путем пропускания газообразного CO₂ через раствор ферроцена в сухом бензоле в присутствии избытка безводного хлорида алюминия.

Было определено, что выход продукта увеличивается, если:

- сначала пропускать через сухой бензол с безводным хлоридом алюминия газ CO₂ в течение 30 мин. для образования реакционного комплекса;
- загрузку кристаллического ферроцена проводить поэтапно, небольшими порциями;
- заменить выделение ферроценкарбоновой кислоты через экстракцию органическими растворителями из реакционной массы, осаждением её в виде твердого осадка с последующим ее растворением в 10% -ной щёлочи и выделением при подкислении.

Введение пластификаторов в наполненную полимерную композицию СТРТ приводит к сохранению эластичности материала при более низких температурах, то есть к повышению его морозостойкости и снижению хрупкости, что позволяет сохранить неизменными физико-химические и энергетические характеристики при температурах минус 70 – минус 80⁰С. На рис. 3 приведены термограммы, полученные с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), на которых виден фазовый переход, связанный с процессом стеклования каучука СКН-10 КТР, а также его смесей: каучук СКН-10-КТР+ ПГРО (7%); каучук СКН-10-КТР+ФГР (7%).

Термограммы ДСК получали на приборе METTLER STARe SW9.30; данные исследований приведены в табл.2, из которых видно, что введение ФГР практически на 20⁰С снижает температуру стеклования и таким образом повышает морозостойкость каучука. Это свидетельствует о пластифицирующих свойствах полученной композиции ФГР. Нужно отметить, что введение ПГРО также приводит к пластификации каучука и усилению его морозостойкости.

Таблиця 2 - Влияние пластификаторов на температуру стеклования каучука СКН-10 КТР

№ образца	Состав	Параметри фазового переходу другого рода (стеклование)			ΔC_p , Дж/г*град	ΔT , °C
		T_g^0 °C начала	T_g^0 °C окончания	T_g^0 °C средняя		
1	Каучук СКН-10-КТР	- 51,88	- 57,62	- 54,22	0,46	-
2	Каучук СКН-10-КТР+ ПГРО (7%)	- 68,55	- 71,84	- 70,78	0,26	16,67
3	Каучук СКН-10-КТР+ФГР (7%)	- 71,59	- 77,99	- 74,39	0,48	19,71

Для підтвердження ефективності каталітичного дії отриманого пластифікатора ФГР були виготовлені опытні образці СТРП (№1 і №2, табл.3) з використанням в якості окислителя суміші двох різних фракцій перхлората амонію (ПХА), каучука СКН-10 КТР і епоксидної смоли ЕД- 20 як горюче - зв'язуючого, металічного горючого - алюмінію марки АСД-4, діоктилсебацінату в якості пластифікатора в суміші №1 і ФГР як активного пластифікатора в суміші №2. В якості поверхню активної добавки в обох образцях використовувався катіонат К-7.

Таблиця 3 - Рецептúra опытних образців №1 і №2

Наименование компонентов	Образцы	
	№1	№2
	Содержание, %	Содержание, %
ПХА 60/40	70,0	70,0
СКН-10КТР	9,0	9,0
АСД-4	11,5	11,5
ЭД-20	2,5	2,5
ДОС	7,0	
ФГР		7,0
катіонат К-7, сверх 100%	0,2	0,2

Результати испытаний по определению скорости горения модельных топлив при атмосферном давлении ($C_{атм.}$, Мм / сек) приведены в табл.4.

Таблиця 4 – Определение скорости горения опытних образців

Образец, №	Длина контр. участка, мм	Время горения, сек.	$C_{атм.}$, мм/сек	$C_{атм.}$, мм /сек. среднее
1.1	98,30	90,38	1,087	1,09
1.2	101,15	92,09	1,098	
2.1	100,05	65,13	1,536	1,54
2.2	102,60	66,71	1,538	

Из приведенных данных видно, что введение в состав опытного образца СТРП активного ферроценсодержащего пластификатора ФГР приводит к повышению скорости горения на 50%.

Список литературных источников

1. Пат. США кл. 149-19.91, (С 06 b 11/00), Propellant composition containing polymers of vinyl ferrocene. / Burnett Jimmy D., [The USA Secretary of the Army.]. – № 3813307 заявл. 17.09.69, опубл. 28.05.74
2. Пат. 3968126 США, МКИС07F17/02, C07F17/00. Ferrocene Derivatives And Their Preparation / Norris William P.; US Navy. – № 19740454036 Заявл. 22.03.1974; Опубл. 06.07.1976.
3. Заявка на пат. 2003131291 РФ, МКИ С06D5/06, С06В45/10. Смесевое твердое ракетное топливо / Е.Г.Процун, Ю.В.Звонарев. – Заявл. 28.10.2003; Опубл. 27.07.2005 // Бюл. № 21.
4. Recent research progress in the synthesis and properties of burning rate catalysts based on ferrocene-containing polymers and derivatives / R. Tong, Y. Zhao, L. Wang [et al.] // J. Organomet. Chem. – 2014. – Vol. 755. – P. 16-32.
5. Пат. США кл. 149-19.2, (С 06 d 5/06). Jr. Ferrocene-containing monomers and copolymers / Stevens Trevis E., Reed Samuel F., [USA Secretary of the Army.]. – № 3867213 заявл. 18.05.71; опубл. 18.02.75
6. Пат. США кл. 260-439 СУ, (С07 f 15/02). Jr. Ferrocene containing monomers and copolymers. / Stevens Travis E., Reed Samuel F., – № 3857870 заявл. 31.07.69, опубл. 31.12.74
7. Synthesis, anti-migration and burning rate catalytic mechanism of ferrocene-based compounds / Zain-ul-Abdin, H. Yu, L. Wang [et al.] // Appl. Organomet. Chem. – 2014. – Vol. 28, N 8. – P. 567–575.
8. Synthesis, characterization, migration studies and combustion catalytic performances of energetic ionic binuclear ferrocene compounds / X. Liu, D. Zhao, F. Bi [et al.] // J. Organomet. Chem. – 2014. – Vol. 762. – P. 1-8
9. Lyon C.K. New castor oil – based urethane elastomers / C.K. Lyon, V.H. Garrett // Journal of the American Oil Chemists Society, 1973. – V. 50, Is. 4. – P. 112-114

КОСМІЧНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ ТЕПЛОГО КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Ю.М. Мар'їнських, А.Л. Баланюк

Шосткинський Інститут Сумського державного університету
mymih44@gmail.com

На теперішній час енергетика займає особливо місце в поєднанні з економікою та екологією. Сучасний етап розвитку нашої цивілізації характеризується інтенсивним зростанням енергоспоживання і особливо такими енергоємними галузями, як хімічна, металургійна, машинобудівна. Такому зростанню енергоспоживання сприяє в кінцевому підсумку комфортність життя. Напрямок науково-технічного прогресу кожній із країн узгоджений з синхронним рішенням спектра завдань, пов'язаних певною мірою з енергозабезпеченням. Можна стверджувати, що основним фактором розвитку економіки і створення матеріальної культури не тільки для економічно розвинених країн, а й для будь-якого суспільства, є енергетика, до якої висуваються більш високі критерії оцінки на предмет її ефективності отримання, вартості, екологічності та ступеня чистоти відходів від переробки сировини в кінцевий енергетичний продукт. Енергетика здійснює вагомий вплив на навколишнє середовище, екосистему і біосферу в цілому. Найгостріші екологічні проблеми (зміна клімату, кислотні опади, загальне забруднення середовища та інші) прямо або опосередковано пов'язані із виробництвом або з використанням енергії. Енергетиці належить першій не тільки в хімічному, а й в інших видах забруднення: тепловому, аерозольному, електромагнітному, радіоактивному. Від вирішення енергетичних проблем залежить можливість вирішення основних екологічних проблем.

Виробництво та споживання енергії збільшується не тільки в сумарному вираженні, але й у розрахунку на душу населення. Так у Звіті щодо визначення другого національного визначеного внеску України до паризької кліматичної угоди за оптимістичним сценарієм викидів парникових газів у 2019 та 2030 роках, % - див. рис.1.



Рис.1 Оптимістичний сценарій викидів парникових газів України у 2019 та 2030 роках, %

За консервативним сценарієм, що супроводжується додатковими інвестиціями 15,2 млрд. євро до 2030 року - див. рис.2.

	Україна Сценарії	Німеччина	Британія	Польща	США	ЄС
Взяте зобов'язання щодо обсягу викидів у 2030 у % до 1990 року	NBB 1: 60%	45%	41,5%*	45%	57%	45%
	NBB 2: 34,8%		*22% до 2035			
Обсяги викидів у 1990 році, млн. тонн CO2 еквіваленту	886,6	1 249	600	469	6300	5 650
Викиди на особу 1990 року, тонн CO2 еквіваленту	15,59	19,92	10,49	12,27	25,18	8,4
Обсяг викидів у 2030 році, млн тонн еквіваленту CO2	NBB 2015: 519,96 Міндовкілля 2021: 308,5 ЦЕВ Базовий: 381,93 ЦЕВ Оптимістичний: 319,3	562,05	249	211,05	3591	2542,5

Рис.2 Порівняння сценаріїв України з іншими країнами світу

За оптимістичними підрахунками загальна кількість викидів складе значну частку. Тому, для подолання цих наслідків присвячена робота по розробці проекту перетворення повного спектра сонячної радіації космічною сонячною електростанцією для отримання екологічно-чистої енергії.

1. Космічна сонячна електростанція теплової системи перетворення

По відношенню до всіх існуючих сонячна енергетика, як ніяка інша, задовольняє критеріям практичної невичерпності, універсальності способів її перетворення в інші види енергії і широкою можливістю розміщення сонячних перетворювачів на Землі в навколосемному космічному просторі, на природному супутнику Місяці, на інших планетах. При створенні сонячних перетворювачів різного базування виникає ряд технічних труднощів, пов'язаних з пристроєм установок, ефективністю їх роботи, а також екологічною доцільністю. Так, всі наземні сонячні перетворювачі схильні до сезонного погодного і добового впливу, у яких обмежений ресурс функціонування фотоперетворюючих елементів. Позбутися від таких негативних факторів можливо, якщо перетворювачі сонячної енергії, об'єднані в єдину космічну сонячну електростанцію (КСЕС) розмістити на земній орбіті або на височинах полюсів Місяця за умовою наявності постійного потоку сонячної радіації незалежно від її прецесії. З точки зору ККД і ресурсу найбільш ефективні теплові перетворювачі порівняно з фото перетворюючими сонячними батареями, для яких найголовніша проблема полягає в тиску сонячного випромінювання, на що потрібна окрема система наведення на сонце. Вона повинна бути активною, і наслідком цього виникає потреба в масивних агрегатах для спалювання робочого тіла з метою стабілізації на геостационарній орбіті. На цьому не закінчуються проблеми: виникають труднощі в системі передачі енергії на Землю по причині зміни градієнта гравітаційного поля, тому виникає необхідність розглянути іншу стратегію перетворення

сонячної енергії, створивши новий тип електростанцій космічного базування теплової системи.

2. Проблеми при реалізації таких типів електростанцій

Для теплової КСЕС існує основна проблема створення її конструкції, яка ефективним способом перетворювала би сонячну енергію в електричну, а також передавала останню на Землю. Для передачі енергії є відомі концепції як першого так і наступних проєктів КСЕС, які передбачають перетворення отриманої електроенергії в СВЧ випромінювання, або перетворення в лазерний сигнал з наступним прийомом таких електромагнітних випромінювань на Землі. На цьому етапі виникає ряд технічних труднощів в конструктивному відношенні і дозвіл їх можливо за умови, що буде повною мірою вирішена основна проблема створення ефективної і потужної теплової КСЕС.

У цьому зв'язку в якості перших розробок на базі газу - і паротурбінних перетворювачів замкнутого типу були запропоновані проєкти, що працюють за циклами Брайтона і Ренкіна із внутрішнім ККД до 40%. Надалі з метою зменшення масогабаритних характеристик американськими фірмами вдосконалюються проєкти КСЕС теплової системи [1]. У ході досліджень на предмет реалізації проєктів КСЕС теплового перетворення встановлено, що необхідно зменшувати масу великогабаритної поверхні сонячного концентратора, що небажано, так як це призводить до зниження температури нагріву робочого тіла, а зниження маси холодильника-випромінювача, який становить 30-40% загальної маси теплової системи електростанції призводить до зменшення ККД. З'являється ряд технічних труднощів при функціонуванні систем наведення: фактори, що виникають при наявності масивних обертових агрегатів не тільки утруднюють наведення концентраторів на теплоприймачі і не забезпечують ресурс надійного функціонування генератора, а й сприяють виникненню механічних резонуючих ефектів, які повинні були б детальним чином розглянуті в проєктах, як реальні першопричини механічних руйнувань. Маса цілісної конструкції такої КСЕС становить десятки тисяч тонн, що унеможливило подання її окремими енергетичними модулями, через що процес виведення на орбіту стає проблемним.

3. Конструкція комбінованої системи сонячного перетворення

Проєктом космічних сонячних енергетичних систем був розроблений комбінований перетворювач повного спектру сонячної радіації теплової і фото-перетворювальної систем, а до цього вже автором були розроблені відповідні проєкти [2,3]. Основна мета проєкту полягала в тому, щоб комбінований перетворювач повного спектру сонячної радіації відповідав наступним вимогам:

- конструкція перетворювача повинна бути легкою з можливістю автоматизованого розгортання на геостационарній орбіті;
- ефективною в перетворенні сонячної енергії в механічну з наступним перетворенням в електричну при використанні надпровідного генератора в тінювій (випромінювальній) області;
- не використовувати окрему систему наведення на сонце;

Архітектура конструкції комбінованої КСЕС є технічною спорудою у наступному вигляді (рис.3) і складається в основному з трьох частин. До першої відноситься концентрована система у вигляді параболоциліндричних концентраторів з тепловими пастками, виконаними з низько-емісійної плівки і

плівкових фотоперетворювачів [4]. Складові цієї частини з'єднані жорстким зв'язком і розташовані на одній осі в паралельних горизонтальних площинах. До другої частини відносяться теплосприймальні модулі, що перетворюють повну енергію спектру сонячного випромінювання в механічну поступального руху елементів для обертання складових надпровідного генератора за допомогою кінематичного вузла третьої частини. Частини мають змогу протилежного незалежного обертання навколо однієї осі, а корпуси циліндрів виконані з легких жаростійких карбонових конструкційних матеріалів.

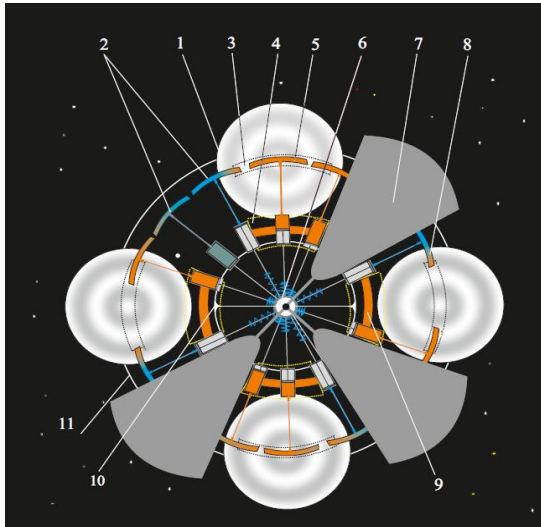


Рис.3 Загальний вигляд комбінований енергетичної системи (КЕС) космічного призначення

Принцип роботи КЕС полягає в багатофункціональності процесів перетворення сонячної енергії одночасно одними і тими ж частинами (елементами) конструкції і для цього забезпечений науково-технічними винахідними рішеннями.

Список літературних джерел:

1. M. Manoff, In: Proc.13th JECEK, New York, p. 185, 1978.
2. Yu. 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. 409–420.
3. Ю. М. Мар'їнських. Гироскопическая космическая солнечная энергостанция с новой тепловой системой преобразования и сверхпроводящим генератором. // Гелиотехника, 2019, №. 6, С. 499–511.
4. Yu. M. Mar'yinskykh, "New Generation Thermodynamic Autonomously Managed Space Solar Power Plant", Journal of Engineering Thermophysics, vol. 23, no. 4, pp. 1–6, 2014.

СЕКЦІЯ 4
Економіка виробництва
та управління

SECTION 4
Economy of production
and management

ЕКОЛОГІЧНИЙ ПАСПОРТ ЯК СПЕЦИФІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО АУДИТУ

І.О.Пригара, Ю.М.Мануйлович І.В.Вареник

Шосткинський інститут Сумського державного університету
Lugina_irina@ukr.net

Екологічний аудит може розглядатися як один із нових сучасних управлінських інструментів, що дозволяє ефективно регулювати еколого-економічні відносини з дотримання вимог екологічної безпеки суб'єктом економічної діяльності в умовах, коли технологічний процес передбачає застосування природних ресурсів або пов'язаний зі специфікою гірничого виробництва та небезпечністю життєдіяльності на рівні ландшафту та у підземних умовах, а також із точки зору використання екологічного аудиту територій регіонів, міст, районів у якості інструменту екологічної політики [1].

Комплексні екологічні вимоги за кожним суб'єктом економічної діяльності описуються та конкретизуються у його екологічному паспорті, тобто нормативно-технічному документі, який вміщує дані з використання природних та вторинних ресурсів і дані з визначення впливу його виробництва на навколишнє природне середовище.

Екологічний паспорт розробляється суб'єктом економічної діяльності, узгоджується з територіальними органами і вміщує основні показники виробництва, а саме: обсяг промислового виробництва, технологічний процес виробництва, витрати сировини та матеріалів за видами продукції, характеристику готової продукції. Крім того, в екологічному паспорті повинні бути відображені проекти розрахунків допустимих викидів, дозвіл на природокористування, паспорт газо- та водоочисних споруд і установок з утилізації та використання відходів, форми державної статистичної звітності згідно з діючим законодавством.

Відзначимо, що значною проблемою сучасного еколого-економічного аудиту в Україні є недостатня розробленість екологічних критеріїв оцінки діяльності підприємств та відображення інформації в екологічних паспортах.

Саме екологічна паспортизація є специфічним інструментом екологічного обліку та контролю індивідуальних характеристик різних суб'єктів економічної діяльності для підготовки управлінських рішень. Якщо облік природних ресурсів набирає розвинених форм у вигляді кадастрів природних ресурсів, то облік екологічних характеристик суб'єктів господарювання потребує адекватного інформаційного забезпечення для повноцінного врахування їх впливу на такі природні ресурси. Основою екологічного обліку та аудиту суб'єктів господарювання повинен стати екологічний паспорт підприємства [2].

Доречно згадати, що ще у 1990 р. було прийнято державний стандарт СРСР ГОСТ 17.0.0.04-90 і розроблено методичні вказівки щодо заповнення та ведення екологічного паспорта промислового підприємства. Згідно з цим документом екологічний паспорт підприємства – документ, що ведеться суб'єктом господарювання, діяльність якого пов'язана з використанням природних ресурсів або негативним впливом на довкілля, і містить комплекс відомостей про раціональність використання ним природних ресурсів, ступінь впливу на навколишнє середовище (із зазначенням норм впливу та розміру платежів за забруднення навколишнього природного середовища).

Необхідно відзначити, що сьогодні урядом України здійснено певні кроки у напрямку впровадження паспортизації суб'єктів господарювання (за екологічними характеристиками). Так, Постановою Кабінету Міністрів України «Про створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій» було затверджено Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів від 18.12.2000 р. № 338. Це Положення визначає загальні засади паспортизації потенційно небезпечних об'єктів для створення загальнодержавного реєстру їх техногенного та природного характеру як складової частини Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру [2].

За змістом екологічну паспортизацію об'єктів можна визначити як здійснюване суб'єктом господарювання збирання узагальнених за спеціально встановленою методикою даних про екологічні критерії та показники діяльності об'єкта, використання ним природних ресурсів, ступінь потенційної небезпеки для навколишнього природного середовища [3].

Цілі екологічної паспортизації в контексті розвитку екологічного аудиту:

– визначення та фіксування якісних та кількісних характеристик діяльності в сфері природокористування (використання енергії, палива, сировини), а також якісних та кількісних характеристик забруднення навколишнього природного середовища викидами, стоками, відходами, випромінюванням та ін.;

– одержання даних та показників підприємства в сфері природокористування і забруднення довкілля, які дозволяють аналізувати використовувані підприємством технології та обладнання порівняно з кращими вітчизняними і зарубіжними зразками, а також відомості про шкоду, що завдається підприємством.

Відповідно до міжнародних стандартів сучасний екологічний паспорт природокористувача повинен містити такі принципові моменти:

1) перехід від вивчення наслідків (тобто поточного реального стану навколишнього середовища) до детального диференційованого аналізу причин (ситуації щодо кожного підприємства окремо та за групами підприємств);

2) перехід від з'ясування загального обсягу викидів до питомих показників, що належать до одиниці виробленої продукції і співвідносяться з найкращими досягнутими показниками у цій галузі.

Будь-яке екоаудиторське дослідження стану підприємства доцільно розпочинати з аналізу правильності заповнення та ведення його екологічного паспорта, оскільки саме екологічний паспорт є нормативно-економічним документом, який містить усі необхідні параметри, що допомагають керівництву підприємства раціонально використовувати природні або вторинні ресурси, оцінювати вплив виробництва на навколишнє середовище.

За результатами екологічної паспортизації підприємств спеціалісти повинні оцінювати вплив відходів забруднювальних речовин на навколишнє природне середовище та здоров'я населення, а також визначати плату за природокористування і плату за забруднення довкілля. Результати екологічного аудиту повинні бути занесені в окремі розділи екологічного паспорта для формування історичної довідки про стан охорони навколишнього середовища та ведення господарської діяльності відповідно до екологічного законодавства.

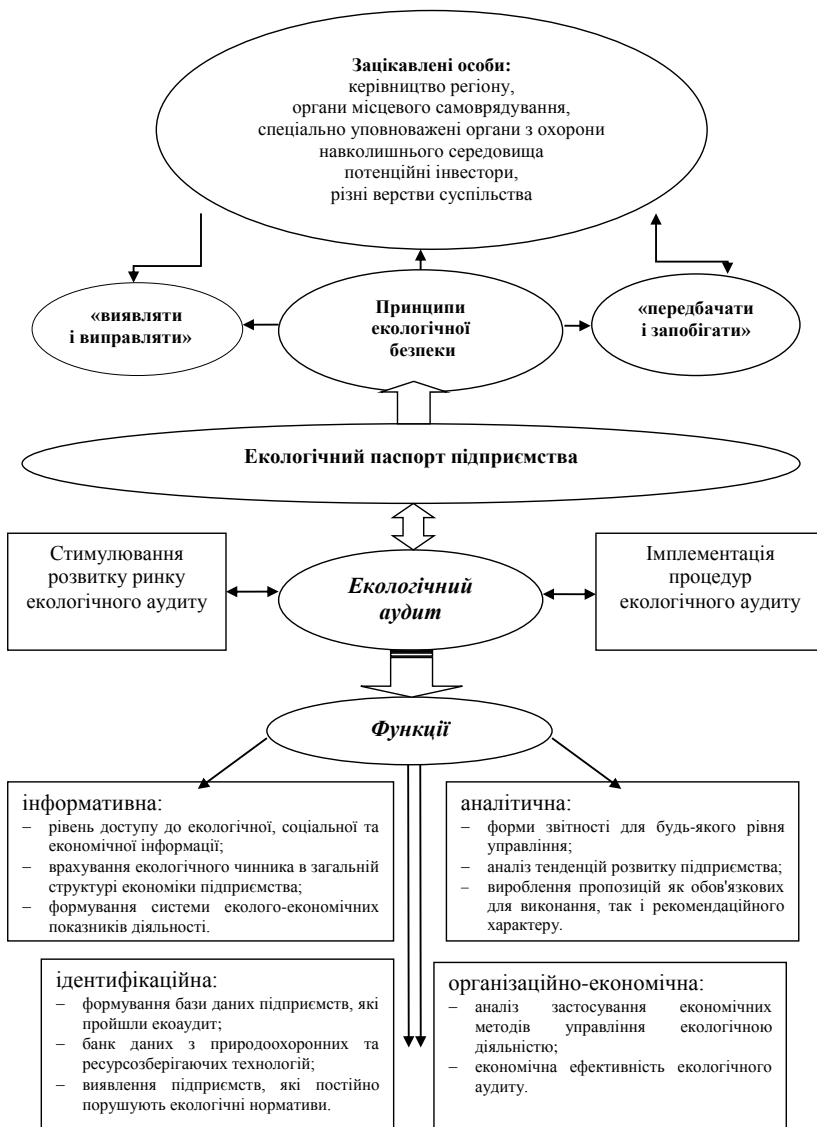


Рис. 1. Роль екологічного паспорта підприємства в системі екологічного аудиту

Екологічний паспорт повинен сприяти виконанню принципів екологічної безпеки, впроваджувати в життя тезу «передбачати і запобігати». У разі порушення екологічного законодавства історія порушень повинна бути зафіксована в екологічному паспорті з тим, щоб «виявляти та виправляти» ситуацію, яка склалася. Імплементация процедур екологічного аудиту на основі екологічного паспорта здатна сприяти розвитку ринку екологічного аудиту. Саме в екологічному паспорті зацікавлені особи можуть знайти необхідну інформацію щодо стану охорони довкілля (керівництво регіону, органи місцевого самоврядування, спеціально уповноважені органи з охорони навколишнього середовища, потенційні інвестори, різні верстви суспільства).

Також екологічні паспорти дозволяють установлювати гранично допустимі для підприємства норми викидів, відходів забруднювальних речовин, планувати природоохоронні заходи та оцінювати їх ефективність; здійснювати експертизу проектів реконструкції підприємств; контролювати та оцінювати рівень дотримання підприємствами законодавства, норм та правил у галузі охорони природи; реалізовувати заходи щодо підвищення ефективності використання природних ресурсів, енергії та вторинних ресурсів [4].

З огляду на вищезазначене можна стверджувати, що екологічний паспорт, що відображає результати екологічного аудиту, виконує такі функції:

інформативну (забезпечує рівень доступу до екологічної, соціальної та економічної інформації, врахування екологічного чинника в загальній структурі економіки підприємства, формування системи еколого-економічних показників діяльності);

ідентифікаційну (забезпечує формування бази даних підприємств, які пройшли екоаудит, формування банку даних з природоохоронних та ресурсозберігаючих технологій, виявлення підприємств, які постійно порушують екологічні нормативи);

аналітичну (може додатково до інших форм бути формою звітності для будь-якого рівня управління, може сприяти аналізу тенденцій розвитку підприємства та вироблення пропозицій як обов'язкових для виконання, так і рекомендаційного характеру);

організаційно-економічну (забезпечує аналіз застосування економічних методів управління екологічною діяльністю, дозволяє визначити економічну ефективність екологічного аудиту).

На сьогодні особливої актуальності набуває проблема розроблення методики аудиту екологічного паспорта природокористувача (суб'єкта економічної діяльності), оскільки результати еколого-економічного дослідження екологічних паспортів стануть все більш необхідними для учасників економічних відносин (насамперед при міжнародному співробітництві).

У цілому екологічний аудит як елемент забезпечення права власності є дуже важливим для економіки тому, що дозволяє зменшити комерційний та інформаційний ризики, безпосередньо пов'язані з прийняттям управлінського рішення керівництвом, власниками, інвесторами. Він є доцільним при дослідженні дотримання податкового законодавства зі зборів за забруднення навколишнього природного середовища та платежів до бюджету, при прийнятті рішення про надання банками та страховими компаніями кредитів, позик або страхового полісу, при приватизації, продажі, злитті та інших операціях із компаніями, а також для цілей достовірної оцінки активів суб'єкта економічної

діяльності (особливо тих, які займаються видами діяльності з підвищеним екологічним ризиком).

Список літературних джерел

1. Галушкіна Т. П. Экономические инструменты экологического менеджмента: теория и практика / Т. П. Галушкіна– К.: ИПРиЭЭИ НАН України, 2000. – 280 с.
2. Гуторов О. І. Екологічний паспорт сільськогосподарського підприємства як інструмент ефективного використання земель / О. І. Гуторов // Вісник СНАУ. Серія «Екологія та менеджмент». – 2010. – вип. 5/1. – С. 134–139.
3. Екологічне право України. Академічний курс: підручник / [за заг. ред. Ю. С. Шемшученка]. – К.: ТОВ «Видавництво «Юридична думка», 2008. – 720 с.
4. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навчальний посібник / В. С. Джигирей. – К.: Знання, 2006. – 319 с.

МАКРОЕКОНОМІЧНЕ РАХІВНИЦТВО У СФЕРІ ГОСПОДАРЬСЬКОГО МЕХАНІЗМУ КРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

І.В. Вареник, Ю.М. Мануйлович

Шосткинський інститут Сумського державного університету
manuilovich86@gmail.com

Постановка проблеми. Перехід України на ринкові відносини потребує докорінної перебудови обліку та статистики. Але зробити це миттєво просто 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.

Основними завданнями у вирішенні даної проблеми є: виявлення на цій основі шляхів удосконалення СНР; з'ясування орієнтирів, яких повинен досягти національний макроекономічний облік згідно світових вимог та виробленні та забезпеченні реалізації пріоритетних напрямків подальшого застосування СНР у сфері господарського механізму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичну основу наукового аналізу проблеми складають праці вчених, які досліджували загальні питання СНР та висвітлювали проблеми її становлення в Україні, а саме праці В.Д. Базилевича, Л.О. Баластрика, С.Будаговської, Р.М.Моторина, Б.Т. Рябушкіна та багатьох інших вчених і спеціалістів. Разом з тим процеси, що відбуваються в останні роки в економіці взагалі та у сфері макроекономічного обліку зокрема, а також орієнтація України на економічну інтеграцію у світовий простір, потребують подальшого дослідження перспектив розвитку СНР та її застосування у сфері господарського механізму.

Виклад основного матеріалу дослідження.. Комплексний аналіз сучасного стану застосування СНР, проведений нами на основі даних Державного комітету статистики України за останні роки свідчить про те, що механізм застосування Системи національного рахівництва потребує удосконалення виходячи з таких необхідностей:

системного моніторингу, аналізу та регулювання економічного кругообігу інституційної сектору (одиниці), зокрема національної (Всєї) економіки;

системного моніторингу та аналізу динаміки та структури бюджетів інституційних секторів (одиниць), системи та динаміки товарних і фінансових потоків, утворюваних валових та чистих доходів тощо;

системного аналізу соціально-економічної ефективності системи товарно-фінансових потоків;

дослідження окремих аспектів відтворення галузей та інституційних секторів (в рамках того чи іншого макроекономічного агрегату);

цілеспрямованої координації економічного кругообігу, підтримки рівноваги та якісних характеристик відтворення в рамках різних інструментаріїв та інше.

Одночасно виявлено, що деталізований моніторинг та аналіз економічного кругообігу, взаємодії інституційних секторів національної економіки можливий за рахунок досконалої форми представлення економічної інформації інституційних секторів та відповідної системи фінансових потоків. Вважаємо досить важливо вивчати особливості відтворення інституційних секторів та систему фінансових потоків між ними в рамках річних циклів, поведінку учасників ринку,

ефективність етапу виробництва в різних інституційних секторах, динаміку та структуру виробництва тощо. Сума відповідних агрегатів показників фінансових потоків інституційних секторів національної економіки дозволяє сформувати показники національного рівня, і таким чином вивчати економічний кругообіг інституційних секторів в контексті економічного кругообігу національної економіки, динаміку макроекономічних агрегатів інституційних секторів в структурі того чи іншого макроекономічного агрегату національної економіки. Особливо це стосується сукупного попиту і сукупної пропозиції товарів і послуг, виробництва, формування валових та чистих доходів .

Результати економічних досліджень свідчать, що економічне зростання є наслідком попереднього відновлення рівноваги, зміцнення її якісних характеристик, а отже економічне зростання в Україні слід розглядати не лише в контексті позитивної динаміки макроекономічних показників СНР, а ще за допомогою рішень, які дозволять розширити внутрішній споживчий попит та забезпечити високі темпи росту у відповідних галузях економіки. Тому вважаємо, що зменшення бартерних операцій та зростання грошових платежів в паливо-енергетичному секторі, дозволить зменшити частку тіньової економіки та збільшити надходження до бюджету. Вважаємо, що такий підхід дозволяє поряд з традиційними напрацюваннями методології СНР та діючою Концепцією розвитку і застосування СНР, органічно доповнювати її новітніми розробками (в сфері туризму, екологічні рахунки, рахунки розвитку тощо), розширювати методологічну базу національних рахунків.

Це дозволяє відповідно розширювати систему моніторингу та аналізу економічного кругообігу, органічно інтегрувати її у світовий економічний простір. Аналіз процесів відтворення за рахунок методики СНР слід здійснювати, аналізуючи темпи росту певних макроекономічних агрегатів, структуру доходів та витрат відповідних рахунків, темпи їх росту (спаду) щодо попереднього періоду. Якісні зміни також характеризуються динамікою валових та чистих доходів, їх пропорціями, структурними змінами у ВВП.

Необхідно удосконалити і посилити актуальність аналізу та моніторингу економічного кругообігу в рамках СНР в цілях проектування рівноваги відтворення інституційних секторів (підсекторів, одиниць), налагодження розподільчих та перерозподільних операцій між інституційними секторами .

Протягом останніх років в зарубіжній економічній літературі досить часто зустрічається критика традиційних монетарних показників, джерелом яких є система первісного бухгалтерського обліку, як основи для прийняття управлінських рішень на макrorівні. Ця критика спрямовується на ретроспективний характер показників первісного обліку, що значно зменшує їхню цінність для прийняття стратегічних управлінських рішень в процесі господарювання. Впродовж 1980-90-х років про це писали К.Мерчант, Б.С.Чакраварті, Дж.Деарден, Р.С.Каплан, Д.П.Нортон. Крім того, показники, які формуються в середовищі традиційного первісного обліку, протягом останніх років значною мірою втратили цінність для менеджменту та зовнішніх інвесторів. Наприклад, бухгалтерський баланс з точки зору інвесторів є корисним джерелом інформації тоді, коли балансова вартість активів хоча б приблизно корелює з ринковою вартістю. Насправді ці показники досить суттєво не збігаються, пояснюється це зростанням ролі нематеріальних активів, таких як інтелектуальний капітал, репутація, незавершені науково-дослідницькі розробки

тощо. Вважаємо, відсутність методологічної оцінки нематеріальних активів, непристосованість стандартів обліку до розв'язання проблеми відображення нематеріальних активів у балансі - одна з головних причин пошуку нових засобів і показників оцінки ефективності діяльності окремого суб'єкту господарювання, який має прямий вплив на загальну економічну ефективність країни.

Мікро- та макроекономічна інформація, як і будь-яка економічна інформація, як правило, подаються у формі таблиць. Табличне представлення інформації дозволяє структурувати її, визначити взаємозв'язки та співвідношення, аналізувати від мікро- до макрорівня. Наприклад, макроекономічна інформація дозволяє не лише аналізувати відтворювальні процеси на мікрорівні, зокрема, визначити ефективність господарювання інституційної одиниці, але і є основою для формування макроекономічних агрегатів, в т.ч. ВВП, індивідуального та колективного споживання, інвестицій, заощаджень тощо. Бухгалтерський облік та СНР об'єднує також і чисто методологічна сторона. Це проявляється в аналогії реєстрації господарських операцій - використанні принципу подвійного запису, кореспонденції рахунків і принципів побудови бухгалтерського балансу. На думку одного із відомих сучасних спеціалістів з національного рахівництва, «це не тільки технічний прийом, але і та важлива сходинка, яка привела статистику національного доходу до системи національних рахунків» [159]. Міжнародні стандарти мікро- і макроекономічного обліку ґрунтуються на єдиній методологічній основі, що дозволяє економічний принцип функціонування інституційної одиниці поширити на інституції ринкової економіки – інституційні сектори, галузі економіки, регіони, національну економіку в цілому

Як вже відмічалось, мета національного рахівництва – упорядкування інформації про різні аспекти економічного життя, щоб виявити загальну картину та головні наслідки економічного процесу, а також структури економіки. Це досягається за допомогою класифікації СНР. Брак інформації щодо низки показників і груп, господарських одиниць, істотні відмінності в національних стандартах бухгалтерського обліку та класифікаціях створюють труднощі у побуті СНР, яка б повністю відповідала пред'явленим вимогам.

Зважаючи на тісні аналітичні зв'язки між первісним бухгалтерським обліком господарських операцій та головними показниками СНР, необхідно систематично працювати над ними ,забезпечувати взаємозв'язок та достовірність інформаційних джерел їх формування. Розробляючи національні рахунки, доцільно використовувати зарубіжний досвід та приділяти увагу їх інформаційному забезпеченню. Для інформаційного забезпечення СНР необхідно провести комплексний розгляд методології , принципів побудови та функціонування національної економічної інформації, яка формує СНР.

Цілеспрямована підтримка пропорцій соціально-економічного розвитку господарського механізму, удосконалення системи міжбюджетних відносин потребує відповідного дослідження макроекономічних пропорцій, ґрунтуючись на методологічних засадах функціонування СНР як надійного інструмента обліку національних господарських операцій .

Узагальнення концепції національного рахівництва в системі господарського механізму має підвищити ефективність економічного обліку відповідно до міжнародних рекомендацій.

Формування інституційної інфраструктури зумовлює трансформацію економічного планування – від командно-адміністративного до бюджетно-

фінансового на рівні інституційних секторів та одиниць. Стабільність національної валюти, зовнішньоекономічних потоків визначають головні чинники стабільності національної економіки в цілому. Відсутність цілеспрямованих стабілізаційних бюджетно-фінансових заходів на початку 90-х років та системи економічних реформ віднесли на тривалий термін введення національної грошової одиниці та сприяли високим темпам інфляції, подальшій деградації товаровиробництва та сфери послуг, бюджетно-фінансової політики інституційних одиниць, практичній ліквідації системи соціального захисту.

Реалізація політики в галузі інформатизації національного рахівництва повинна здійснюватися шляхом застосування єдиної інтегрованої інформації) України та управління процесами в ньому. На особливу увагу заслуговує діяльність суб'єктів інформаційного простору щодо генерації, розповсюдження та використання інформаційних ресурсів з метою підвищення ефективності різних видів економічної діяльності. Важливого значення в цьому набуває якість, повнота і вірогідність одержуваної інформації, надійність її джерел.

Сучасний стан економіки України характеризується як тривалий період реструктуризації і є нестационарним етапом її розвитку з частими змінами структури і функцій органів державного управління. Таке становище вимагає реорганізації системи інформаційного забезпечення органів управління в державі з застосуванням усіх можливих ресурсів інтеграційного інформаційного забезпечення.

Підсумовуючи відмітимо, що результати дослідження діючої СНР показали:

1) Склад, зміст і коди рахунків подавалися згідно з СНР-93 та врахуванням особливостей національного рахівництва України.

2) Наведено методологічні пояснення, довідкові та аналітичні таблиці, рахунки у порівняльних цінах, перелік змін і доповнень до показників.

3) Усі розрахунки зроблено на базі офіційної інформації, в деяких випадках - з використанням експертних оцінок, оскільки бракувало частини даних про зовнішньоекономічну діяльність та інших даних.

4) Внесено поправки до розрахунків для усунення інфляційного впливу на показники національних рахунків.

5) Внесено поправки щодо удосконалення економічних класифікацій.

Список літературних джерел:

1. Бойчук О.Ф. Макроекономічна політика, прогнозування і державне регулювання економіки. Економічний вісник. 2018. №1. С.62-68.

2. Войтенко Ю.В. Ринкова економіка і держава: макроекономічний аспект. Кривий Ріг. Мінерал. 2013. 146 с.

3. Геблер И. Макроэкономика. Київ. УМК ВО.1993.399 с.

4. Гесць В.М. Економіка України: підсумки перетворень. Харків. Форт. 2011. 122с.

**INNOVATIVE ACTIVITY
AS A FACTOR IN INCREASING THE COUNTRY'S COMPETITIVENESS
IN THE PROCESS OF EUROPEAN INTEGRATION**

T.S. Lukianenko¹, R.V. Zakusylo², L.S. Petrushova¹.

¹Separate Structural Subdivision

"Hlukhiv Agrotechnical Professional College of SNAU"

²Shostka Institute of Sumy State University

Tatluk08@ukr.net

Abstract.

Innovative potential is a basis for ensuring a stable development and successful functioning of both a separate enterprise and the economy as a whole. The consequences of the global financial crisis, the problems of socio-economic character in the economy of Ukraine for the functioning of industrial enterprises, the attention of scientists and specialists to the issues of increasing the efficiency of their economic activity, one of the components of which is the formation of potential, in particular innovative, and its effective implementation.

Keywords.

Innovative potential, competitiveness, innovative activity, intellectual potential, intellectual property.

The purpose of the article. Eurointegration vector of country's development puts the task to find out the main problems of the innovation process in Ukraine, to identify the reasons for the slowdown in the development of the competitiveness of domestic enterprises, to substantiate the importance of directing the market economy of Ukraine towards scientific and technical progress and development of innovation activity, consider the directions of achieving the objectives of Ukraine's economic development.

The main material of the article.

The process of European integration became a starting point in the development of the economy, which was intended to facilitate the establishment of close cooperation with other leading countries of the world, to increase the competitiveness of domestic enterprises, the issue of new competitive products, exchange of technologies and overcoming technological backwardness of certain industries, and, as a consequence, improving the life level of the population, socio-economic stabilization and modernization of the country's economy as a whole.

But the XXI century does not cease to surprise new challenges that constantly make it possible to look for new ways to maintain its market positions as micro-level (maintaining competitive advantages in a certain niche) and macro level - preservation and multiplication of national competitiveness.

The competitiveness of the economy of any country depends on the ability to introduce innovation, and inadequate natural resource potential can become a prompting factor in the development of high-tech industries in the economies of countries with limited resources.

Search and introduction of ways to increase the level of national competitiveness is one of the most important factors on the path to equal partnership between Ukraine among the members of the European Community.

At the end of the last century M. Porter, a specialist in the field of studying economic competition, in particular competition in international markets, competition between countries and regions, in his theory of competitive advantages emphasized that

the availability of natural resources is not always a prerequisite for obtaining stable competitive advantages.

The main reasons for lagging Ukraine in a competitive environment were and remain, in the first place, insufficient funding of research and development, inadequate level of investment in the development of high-tech industries, low efficiency of economic reforms, as well as physical and moral demolition of basic production funds, the growth of unemployment, outflow of highly skilled personnel abroad, instability of the national currency as a result of the exacerbation of the economic crisis, reducing the consumer purchasing power, low quality produced products, exacerbation of competition in the world market.

In the evaluation of economic growth, attention is drawn to a number of factors, namely:

innovative activity, scientific and technical potential of the country;

attraction of external and domestic investments for sustainable development and economic growth of the country;

the presence of raw material and material base, that is, the provision of the country with natural, labor, production and other factors.

Thus, activity aimed at achieving high economic growth rates, raising the level of competitiveness of enterprises and countries as a whole, it is necessary to carry out precisely in the direction of improving these structural factors.

In 2020, according to the competitiveness index, Ukraine occupied 55th place among 63 countries (data of the International Development Management Institute).

Indicators of Ukraine in the ranking of the world's innovative economies that analyze such criteria as expenses for development and experiments, production capacities and concentration of high-tech enterprises are also disappointing - Ukraine according to these indicators is 56 places with 60.

At the same time, according to the index of human development, Ukraine attributed to countries with a high level of human development (74th place among 189 participants). [6].

An important factor in the intellectual potential of the country is the human factor and access to knowledge. It accumulates similar to material and financial capital, by attracting investments in the development of education, science and technology. However, such investments in the long run are fully justified. The growth of the innovative potential of the economy is directly related to the well-established cooperation of education and business. The source of innovation is knowledge that is embodied in such forms as: patents, innovations, inventions, author's certificates - they are competitive advantages. Innovative activity aims to use and commercialize the results of scientific research and development, leads to the release of new competitive products in the market.

Ukraine is inherent in a variety of natural resource potential, but in world experience there are many examples of rapid economic growth of countries by increasing the innovation activity for which factors of production are only a means of achieving scientific and technical development of the country, and not their main competitive advantage.

The first steps made in the direction of integration into the world economic space were complicated by new obstacles that brought the economic crisis caused by the coronavirus pandemic. In such circumstances, it is extremely important to find new and effective ways to maintain and ensure the proper level of competitiveness of products

that could compete with similar products of foreign commodity producers. The presence of a sufficient number of natural and human resources is leveled by the lack of high-tech enterprises that would change the raw material-semi-finished focus of Ukraine's exports. In these conditions, the best way out of the situation is to overcome the causes of chronic lagging behind Ukraine, by attracting investments into innovation development of enterprises, stimulating the production of high-tech products, compliance with quality standards and the reorientation of Ukraine's economy to an innovative model of socio-economic development of the state.

Currently, Ukraine purposefully operates its economic activity in the direction of innovation development. The proof of this is the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 10, 2019 No. 526-p.

The basis of a long-term strategy for economic development, the principles of enhancement of technological, efficiency of existing production, growth of competitiveness, development of high-tech productions are laid down.

At various stages of the innovation process, such problems are identified to be solved by means of state policy instruments.

At the stage of creating innovations:

lack of funding, in particular the state one;

lack of information about the market prospects of the proposed idea and knowledge and advisory support of the project from the idea to the phase of commercialization;

insufficient use by scientists and small and medium-sized business opportunities for participation in international programs;

lack of established communications between scientists and business representatives interested in the development of innovations, both business needs in innovation and data on new and improved technological solutions that can be used in production;

insufficient promotion and dissemination of information about positive examples of the transformation of an idea to an innovative product;

lack of reliable forecasting of trends and research on the influence of instruments of state regulation of innovative economic development.

At the stage of innovation transfer:

lack of funding due to unpredictability of commercial results of innovations;

discrepancies in relation to the settlement of intellectual property relations between the Civil Code of Ukraine and acts of special legislation of Ukraine regulating the indicated relation sphere;

limited financial and material resources to create innovation infrastructure;

lack of specialists in the field of innovation management, intellectual property management, marketing, legal protection, financial advisers, technology transfer experts and business planning;

insufficient knowledge of scientists and employees of units responsible for commercialization in higher education institutions and scientific institutions, with regard to assessing the level of readiness of scientific and technical (experimental) development, further market effect from transferred (commercialized) technologies, developing a strategy for commercial development, technology transfer strategy, technology transfer scenarios, which are in different stages of readiness;

lack of information about information partners;

the absence of a mechanism for the transfer of technologies created or acquired for budget funds abroad;

low level of interest in higher education institutions in the proceedings of innovation;

restrictions on contributions in the form of intangible assets for higher education institutions and scientific institutions during the formation of authorized capital, creation of legal entities for the introduction of scientific and technical results;

complexity of assessing the value of objects of intellectual property rights and shortages of specialists for its implementation;

at the stage of introduction of innovations by creating a specialized small innovation enterprise – startup;

burdensome regulation, in particular, complicated access to the labor market of foreigners and excessively complicated the process of eliminating an enterprise, which is extremely relevant for startups, since innovative activity is a highly ranking business and part of the startups turns out to be unsuccessful;

a high level of taxes (primarily on the remuneration and profit of enterprises);

insufficiency of the necessary knowledge and skills for conducting entrepreneurial activity;

large expenses for a newly formed enterprise for leasing premises and equipment, payment of third-party services (primarily accounting);

inadequate development of venture financing in Ukraine and the problems of legal protection of ownership of foreign investors;

the absence or limited effectiveness of innovative infrastructure, which should facilitate the development of innovative entrepreneurship.

At the stage of introducing innovations in an existing enterprise, exit to serial production:

inadequate level of economic entities in implementing the results of domestic scientific research and scientific and technical (experimental) developments that require additional time and financial resources for their full application;

insufficient awareness of the possibilities of small and medium-sized enterprises in the field of innovations, high transactional costs for searching and access to databases, lack of effective channel transmission of information on the demand of enterprises to the science and education sector;

insufficiency of an independent assessment of the technological level of scientific and technical (experimental) development and the ability to implement it technically;

lack of innovators (persons who create new or improve existing competitive technologies), presentation skills products, skills to assess the amount of funds they can receive from the company, which bears the main risks during the implementation of innovation;

lack of "joint language" of business and science representatives;

low level of awareness of innovators in the field of legal protection and protection of intellectual property.

There are also a number of problems that relate to all stages of transformation of ideas into innovation products, in particular the problem of departure abroad of skilled personnel, scientists, inventors, entrepreneurs. The main reasons of them are:

the best opportunities for implementing ideas abroad (first of all access to financing, legal protection, proximity to market markets, smaller business management);

higher standard of living (safety and rule of law, education and health care, social protection, in case of need, infrastructure, ecology, etc.);

creative and entrepreneurial environment created in the best world centers of innovation. [8]

Conclusions.

Ukraine, as a state that has a great intellectual potential, has to solve these problems to build a competitive economy with developed entrepreneurship, innovation and high production productivity. It is necessary to take into account the interests of all participants in the innovation process and promote innovation at all stages of creation and withdrawal of innovative product to the market.

This problem can be solved by creating a favorable legal framework for business entities that provide innovation activities, as well as the development of innovative infrastructure, expanding the links of domestic scientists and inventors with foreign enterprises, increasing innovation culture.

An important direction for increasing the competitiveness of the economy is to increase funding for scientific research, viewing the priority areas of development of science and technology in order to approach the directions defined in developed countries of the world, improving the quality of education by approximating it to the needs of the global market and specialists' needs capable of creating, adapting, and use technological innovations, support for the introduction of educational disciplines from entrepreneurship, financial literacy and intellectual property protection.

The state policy should provide for the following directions of achieving the objectives of Ukraine's economic development:

improving the quality of education in accordance with the needs of the global market;

creation of conditions for the development of technoparks, business incubators, high-tech offices;

state support for science-intensive production;

directions of development of innovation activity;

increase in the level of science intensity of production;

provision of a favorable investment and regulatory climate;

reduction of technological import dependence of the country;

increasing the level of innovation culture.

Referens

5. Закон України Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні: прийнятий 08 верес. 2011 року № 3715-УІ.

6. Розпорядження Кабінету Міністрів України Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року: прийняте 10 лип. 2019 року №526-р.

7. Дзюба О.М. Економічно-правовий аналіз реалізації «Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року» / О.М. Дзюба, О.С. Шевченко//Економіка та суспільство. - 2021. - № 23 [Електронний ресурс - <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/150>]

8. Занора В.О. Проектне управління інноваційним потенціалом та розвитком підприємства// Економіка. Управління. Інновації. – 2019. - №2 (25). 23 [Електронний ресурс -http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2019_2_6]

9. Ковпак А. Інноваційний розвиток країни як рушійний чинник підвищення національної конкурентоспроможності // Економіка. Управління. Інновації. – 2021. - №1 (28). [Електронний ресурс -http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2021_1_6]
10. Конкурентоспроможність України. Інформаційний огляд та ситуаційний аналіз / Департамент розвитку електронних комунікацій Адміністрації Держспецзв'язку. – Київ, 2021. – 71 с.
11. Павловська Л.Д. Іміджова складова зростання конкурентного статусу підприємства// Економіка. Управління. Інновації. – 2019. - №1 (24). [Електронний ресурс -http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2019_1_8]
12. Соляр В., Бурдика А., Пилипов С. Розвиток інституційної складової інноваційної системи: цінний міжнародний досвід і напрями його реалізації в Україні // Економіка. Управління. Інновації. – 2021. - №1 (28). [Електронний ресурс -http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2021_1_8]
13. Стратегія інноваційного розвитку України на період до 2030 року. - [Електронний ресурс - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text>]

Е-ДЕМОКРАТІЯ В УКРАЇНІ ТА ЄС: ОСОБЛИВОСТІ І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

О.М. Тур, І.В. Новикова, І.О. Пригара

Шосткинський інститут Сумського державного університету
o.tur@ishostka.sumdu.edu.ua

Тенденції розвитку е-демократії в Україні доцільно оцінювати із використанням низки всесвітньо визнаних індексів, що виокремлюють важливі чинники впливу на розвиток ІТ-сфери. Серед таких індексів варто відмітити наступні: Індекс розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ICT Development Index), Індекс розвитку інформаційного суспільства (Information Society Index), Індекс мережевої готовності (Networked Readiness Index), Глобальний інноваційний індекс (Global Innovation Index), Індекс глобальної конкурентоспроможності (Global Competitiveness Index) та інші.

Рівень розвитку інноваційних технологій, що чинять суттєвий вплив на розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, оцінюється Глобальним інноваційним індексом (GII). Даний індекс визначається шляхом визначення середньозважених величини з індексів, що визначають рівень розвитку інфраструктури, людського капіталу, освіти, інвестицій, екологічну сталість, вплив та створення знань тощо. За позиціонуванням країн по цьому індексу є можливість судити про потенціал країни до впровадження та поширення інформаційно-комунікаційних технологій в соціально-економічній сфері, зокрема і в електронному урядуванні. Окремі значення індексу GIІ наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Глобальний інноваційний індекс по деяких країнах європейського регіону за 2016-2020 роки

Країна	2020		2019		2018		2017		2016	
	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал
Швейцарія	1	66,08	1	67,24	1	68,40	1	67,69	1	66,28
Швеція	2	62,47	2	63,65	3	63,08	2	63,82	2	63,57
Нідерланди	5	58,76	4	61,44	2	63,32	3	63,36	9	58,29
Данія	6	57,53	7	58,44	8	58,39	6	58,70	8	58,45
Німеччина	9	56,55	9	58,19	9	58,03	9	58,39	10	57,94
Польща	38	39,95	39	41,31	39	41,67	38	41,99	39	40,22
Україна	45	36,32	47	37,40	43	38,52	50	37,62	56	35,71
Туреччина	51	34,90	49	36,95	50	37,42	43	38,90	42	39,03

* - Складено авторами на основі [1-5].

За даними таблиці 1 безумовними лідерами у поширенні інновацій в усіх сферах економіки та суспільства є Швейцарія, що з 2016 року утримує лідируючі позиції за індексом GIІ. За рівнем розвитку інновацій слідом за Швейцарією слідують Швеція яка займає друге місце, Нідерланди, яка перемістилась з 9 позиції у 2016 році на 5 у 2020. В цьому рейтингу Україна перемістилась з 56 місця у 2016 році на 45 у 2020 та обійшла за цим показником Туреччину у 2018 році. Отже можна сказати, що в Україні останніми роками відбулися позитивні зрушення у використанні інновацій в соціально-економічній сфері, зокрема інформаційно-комунікаційних технологій.

Більш змістовним є індекс глобальної конкурентоспроможності (GCI), що дозволяє комплексно оцінити можливості певної країни до динамічного

соціально-економічного розвитку та основні економічні переваги (в економічному, технічному, інноваційному розвитку). Індекс GCI надає комплексну інформацію про рівень розвитку інноваційного, інформаційно-технічного, економічного та соціального потенціалу країни та рівень його використання.

Даний індекс структурно складається із більш ніж 100 індексів та 12 контрольних показників, що об'єднані у три групи субіндексів: «Основні вимоги» (державні інституції, інфраструктура, макроекономічна стабільність, охорона здоров'я та початкова освіта), що є важливими для факторно-орієнтованих економік; «Підсилювачі ефективності» (вища освіта та професійна підготовка, ефективність ринку товарів, ефективність ринку праці, рівень розвитку фінансового ринку, оснащення новітніми технологіями, розмір ринку), що є критичними для економік, що орієнтовані на ефективність; «Фактори розвитку та інноваційного потенціалу» (рівень розвитку бізнесу, інновації), мають важливе значення для інноваційно-орієнтованих економік, які активно використовують інформаційно-комунікаційні технології для досягнення економічної та соціальної ефективності країни. Рейтинг деяких країн світу за цим індексом наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Позиціонування деяких країн європейського регіону за індексом глобальної конкурентоспроможності з 2016 по 2020 рік.

Позиції деяких країн світу за індексом GCI	2016-2017		2017-2018		2018-2019		2019-2020	
	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг
Україна	4,00	85	4,11	81	57,0	83	57,0	85
Туреччина	4,39	55	4,42	53	61,6	61	62,1	61
Польща	4,56	36	4,59	39	68,2	37	68,9	37
Німеччина	5,57	5	5,65	5	82,8	3	81,8	7
Швейцарія	5,81	1	5,86	1	82,6	2	82,3	5

* складено авторами на основі [6-9].

За цим індексом Україна у 2019 році зайняла 85 місце. За останні роки суттєво знизилася її конкурентні переваги, що пов'язано із економічною та політичною нестабільністю на сході країни. За даним індексом Україна відноситься до країн, що знаходяться на 2 стадії розвитку та є країною орієнтованою на ефективність. Рівень використання інформаційно-комунікаційних технологій знаходиться на низькому рівні, а їх проникнення носить хаотичний характер, адже для розвитку країни критичним є забезпечення ефективного функціонування фінансового, товарного ринків та ринку праці, що є основою для економічного зростання. Туреччина, Польща в цьому рейтингу займають вищі позиції ніж України, доречно відмітити, що ці економіки світу, згідно індексу глобальної конкурентоспроможності, знаходяться на перехідній стадії до економік орієнтованих на інновації (3 стадія розвитку). В таких економіках роль інновацій та інформаційно-комунікаційних технологій для забезпечення економічного розвитку суттєво зростає.

Варто надати увагу індексу розвитку електронного уряду. Даний індекс розраховується ООН один раз на два роки і показує загальний розвиток

електронної демократії в країні та її готовність до реалізації і використання інструментів е-демократії. Індекс розвитку електронного уряду визначається за такими складовими: ІКТ-інфраструктури, людський капітал та он-лайніві державні послуги. Значення індексу визначається як середнє арифметичне трьох його складових. Кожна складова індексу формується на основі нормалізованих значень показників, що входять до його складу. Процедура нормалізації розроблена таким чином, щоб максимально можливе значення підіндексу (і, отже, інтегрального індексу) дорівнювало 1, а мінімально можливе - нулю.

Таблиця 3 – Індекс розвитку електронного уряду (E-Government Development Index, EGDI) по окремих країнах європейського регіону за 2014-2020 роки

Країна	2020		2018		2016		2014	
	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал	рейтинг	бал
Швейцарія	16	0,8907	15	0,8520	28	0,7525	30	0,7267
Швеція	6	0,9365	5	0,8882	6	0,8704	14	0,8225
Нідерланди	10	0,9228	13	0,8757	7	0,8659	5	0,8897
Данія	1	0,9758	1	0,9150	9	0,8510	16	0,8162
Німеччина	25	0,8524	12	0,8765	15	0,8210	21	0,7864
Польща	24	0,8531	33	0,7926	36	0,7211	42	0,6482
Туреччина	53	0,7718	53	0,7112	68	0,5900	71	0,5443
Україна	69	0,7119	82	0,6165	62	0,6076	87	0,5032

* складено авторами на основі даних інтерактивної бази знань електронного уряду Організації Об'єднаних Націй [10]

Аналіз даних таблиці 3 показує, що безумовним лідером у впровадженні методів електронного урядування є Данія яка з 2014 року по 2020 рік піднялась у рейтингах з 16 місця на 1. Такі країни ЄС як Швейцарія, Швеція, Польща з 2014 по 2020 роки суттєво покращили свої показники та поліпшили якість надання електронних урядових послуг.

Аналіз показників по Україні показує, що суттєве зростання даного індексу відбулося лише у 2016 році порівняно з 2014. Станом на 2020 рік Україна займає 69 місце серед 193 країн світу.

Детальний аналіз складових індексу розвитку електронного уряду (див. рисунок 1-2) показує, що суттєве зростання показника відбувалося в основному за рахунок покращання індексу ІКТ-інфраструктури та індексу онлайн-послуг державних послуг.

Варто відмітити суттєве відставання розвитку України по всіх глобальних індексах, що вказує на необхідність у зміні курсу розвитку країни в питаннях поширення та використання інформаційно-комунікаційних технологій, які виступають основних драйвом для економічного зростання.



Рисунок 2 - Складові індексу розвитку електронного уряду (EGDI) по окремих країнах європейського регіону (складено авторами на основі [10]).

де, OSI – індекс онлайн-ових державних послуг;

TII – індекс ІКТ-інфраструктури;

HCI – індекс людського капіталу.

З наведених статистичних даних простежується основна закономірність – країни, що мають найвищі рейтинги у розвитку інформаційно-комунікаційних технологій є країнами Європейського Союзу.

Забезпечення швидких темпів соціально-економічного розвитку можливе на базі поширення інформаційно-комунікаційних технологій в усі сфери економіки країни. Зокрема, важливим вбачаємо розвиток електронного урядування, як основи формування інформаційного суспільства на принципах ЄС.

Список літературних джерел

1. The Global Innovation Index 2016: Winning with Global Innovation / by editors Soumitra Dutta, Bruno Lanvin, Sacha Wunsch-Vincent. Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2016. 451 p. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2016.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
2. The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World / by editors Soumitra Dutta, Bruno Lanvin, Sacha Wunsch-Vincent. Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2017. 463 p. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2017.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
3. The Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation / by editors Soumitra Dutta, Bruno Lanvin, Sacha Wunsch-Vincent. Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2018. 430 p. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
4. The Global Innovation Index 2019: Creating Healthy Lives—The Future of Medical Innovation / by editors Soumitra Dutta, Bruno Lanvin, Sacha Wunsch-Vincent. Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2019. 451 p. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2019.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
5. The Global Innovation Index 2020: Who Will Finance Innovation? / by editors Soumitra Dutta, Bruno Lanvin, Sacha Wunsch-Vincent. Cornell University, INSEAD, and the World Intellectual Property Organization, 2020. 448 p. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2020.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
6. The Global Competitiveness Report 2016–2017 / by editors professor Klaus Schwab. World Economic Forum, Geneva, 2016. 400 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
7. The Global Competitiveness Report 2017–2018 / by editors professor Klaus Schwab. World Economic Forum, Geneva, 2017. 393 p. URL: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>. (дата звернення: 29.09.2021).
8. The Global Competitiveness Report 2018 / by editors professor Klaus Schwab. World Economic Forum, Geneva, 2018. 671 p. URL: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>. (дата звернення: 29.09.2021).
9. The Global Competitiveness Report 2019 / by editors professor Klaus Schwab. World Economic Forum, Geneva, 2019. 666 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf. (дата звернення: 29.09.2021).
10. Data Center. United Nation: website. URL: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Data-Center>. (дата звернення: 29.09.2021).

ВПЛИВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ

Ю.М. Мануйлович, І.В. Вареник

Шосткинський інститут Сумського державного університету
manuilovich86@gmail.com

Постановка проблеми. Цифрові технології давно стали двигунами революційних змін в багатьох країнах світу. Темпи їх імплементації в усі сфери економіки та суспільства не перестають зростати. Цифровізація відкриває нові потужні можливості для громадян, суспільства та держави. Однак, процес її інтеграції в економіку України проходить дуже повільно, що призводить не тільки до втрати конкурентоспроможності країни на світовому ринку, а й до недостатнього розкриття її потенціалу у сфері інформаційно-цифрових технологій.

Враховуючи сучасний стан економіки України та світові тенденції у сфері цифрової трансформації, цифровізація всіх галузей економіки повинна стати пріоритетним напрямком для держави. Інакше, Україна так і не здійснить «цифровий стрибок» і назавжди залишиться далеко позаду від провідних економік світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми трансформації підприємств в умовах цифрової економіки, що відбуваються в економічному просторі під її впливом є наукові праці та практичні дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених. Погляди на цифрову трансформацію таких авторів В. Альпакова, С. Веретюк, В. Ляшенко, Л. Фролова, С. Ермак виражаються у змінах зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства через набір функцій від автоматизації закупівель до продажів, маркетингу та використання потенціалу цифрових технологій у розвитку підприємства. Науковці Г. Чмерук, В. Краліч, Дон Танкотт, Н. Негропонте, Т. Месенбург роблять акцент на зміні мислення, прийнятті рішень та ділової культури. Така трансформація включає зміни в стилях мислення, стилях керівництва та прийнятті нових бізнес-моделей для підвищення ефективності роботи підприємства, його клієнтів, постачальників та партнерів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розвиток інформаційних технологій докорінно змінює середовище та спосіб життя людини. Відбувається цифровізація (впровадження цифрових технологій) усіх сфер її життя. Держава, бізнес та населення стають активними споживачами цифрових технологій (Інтернет речей, роботизація та кіберсистеми, штучний інтелект, великі дані, безпаперові технології, адитивні технології (3D-друк), хмарні та туманні обчислення, безпілотні та мобільні технології, біометричні, квантові технології, технології ідентифікації, блокчейн тощо).

Сьогодні цифровізація виступає одним із головних чинників зростання світової економіки, оскільки завдяки їй не тільки підвищується продуктивність праці (пряма перевага), а й відбувається економія часу, створюються новий попит на нові товари і послуги, нова якість та цінність (непряма перевага) тощо. При цьому використання цифрових даних як ресурсу для виробництва зумовлює перехід від традиційної ринкової економіки до цифрової економіки, якою пронизуватимуться всі сектори: державний та приватний, реальний, невиробничий і фінансовий, видобувний, обробний та сектор послуг.

Так, згідно з оцінками експертів, частка цифрової економіки у ВВП найбільших країн світу до 2030 р. становитиме 50–60%. Цікаво, що в Україні цей

показник може бути ще вищим та досягнути рівня 65% ВВП (за реалізації форсованого сценарію (за три-п'ять років) розвитку цифрової економіки в Україні) [1].

Слід зазначити, що такого рівня можна буде досягнути, якщо в Україні реалізуватиметься комплекс заходів щодо розвитку цифрової інфраструктури, цифровізації реального сектору (зокрема, через розвиток інфраструктури «Індустрія 4.0»), «цифрового робочого місця», «смарт- фабрики»), цифровізації базових сфер життєдіяльності (розвиток STEM-освіти, запровадження eHealth та е-безпеки, розбудова «розумних міст»), розвитку цифрової грамотності населення.

Станом на середину 2019 р. ключовими цифровими трендами (напрямами розвитку цифрових технологій), якими визначатиметься розвиток цифрової економіки як в Україні, так і в цілому світі є:

- дані, які стають головним джерелом конкурентоспроможності;
- Інтернет речей (Internet of things, IoT);
- цифрові трансформації окремих бізнесів, так і цілих секторів;
- економіка спільного користування (sharing economy);
- віртуалізація фізичних інфраструктурних IT-систем;
- штучний інтелект;

Сучасна Україна відстає у розвитку та якості інформаційно-комунікаційних мереж. На сьогодні інформаційно-цифрові технології стають потужною рушійною силою в різних галузях, такі як торгівля, сфера послуг, виробництво, сфера охорони здоров'я, освіти та ін. Провідні світові компанії розглядають впровадження цифрових технологій як один з головних факторів інноваційного розвитку та підвищення конкурентоспроможності. Україна має великий потенціал для розкриття та розвитку ІКТ, вона лише розробляє стратегії створення власного цифрового ринку. З одного боку, зміни, що відбуваються у світовій економіці є серйозними викликами. Тому вивчення різних сторін цифрової економіки та процесів її формування в Україні є актуальним науково-практичним завданням.

Важливою складовою трансформації підприємства в Україні є використання можливостей сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для того, щоб створювати та виробляти товари, надавати послуги, сприяючи сталому розвитку країни.

По даним Державної служби статистики України у 2019 року для аналізу використання ІКТ було охоплено 44532 підприємств [2]. Дані свідчать, що підприємства, які мали доступ до Інтернет, найбільше використовували його для надсилання чи отримання повідомлень електронною поштою, а також для здійснення банківських операцій.

У ході дослідження було виявлено, що підприємства недостатньо використовують Інтернет, менше ніж 50 %, у таких напрямках, як здійснення телефонних дзвінків за допомогою Інтернет/VoIP-зв'язку або відео-конференцій та доступ до інших фінансових послуг.

Слід зазначити, що підприємницької структури не є лідерами в застосуванні ІКТ, що є негативним моментом для розвитку в умовах цифрової економіки. Кількість підприємств, що отримували замовлення через мережу Інтернет на продаж товарів або послуг (за винятком замовлень, отриманих електронною поштою), у % до загальної кількості підприємств – 6,1% [2]. При цьому розвиток відносин з клієнтами і постачальниками за допомогою цифрових каналів вважається найважливішою ознакою цифрової трансформації.

Зі звіту IT Ukraine Association внесок ІТ-сфери в ВВП України в 2019 році склав 4 % (в 2012 році внесок був 0,8%). Міністерством та комітетом цифрової трансформації була поставлена ціль залучати ІТ у ВВП до 10% до 2024 року.

У світовому рейтингу IMD цифрової конкурентоспроможності World Digital Competitiveness Ranking 2019 (опублікований на сайті міжнародної бізнес-школи IMD, що базується в Лозанні) Україна займає 58-у позицію з 63. У порівнянні з минулим роком вона піднялася на два рядки. У цифровому рейтингу країни оцінюються за трьома категоріями – «Знання» (якість навчання, освіти і науки), «Технології» (здатність впроваджувати та досліджувати цифрові технології, фінансування в ІТ галузі) і «Майбутня готовність» (рівень готовності використовувати цифрову трансформацію). Україна займає низькі позиції в категоріях «Знання» 38, в двох інших справи ще гірше – в «Технологіях» вона 59-та, в «Майбутній готовності» 61-а. Але є позитивна тенденція в порівнянні з 2018 роком Україна піднялася на 2 позиції в категоріях «Знання» та «Технології» Слабкі місця України – в законодавстві про наукові дослідження і захисту прав на інтелектуальну власність, низький рівень винахідницької активності та високі інвестиційні ризики, а також кібербезпека і піратство [2].

В науковій літературі є багато загальноприйнятих параметрів, за допомогою яких визначають цифровий рівень економіки країни, найбільш поширеними вважаються використання Інтернету, частку електронної комерції в роздрібній торгівлі, соціальну частку з цифровими можливостями та інтернет-послуги. Для визначення рівня розвитку цифрової економіки та рейтингу країн використовують всесвітні індекси, що розраховуються організаціями за різними методиками. Найбільш відомі – це: індекс мережевої готовності та індекс розвитку інформаційно-комунікаційних технологій.

Індекс мережевої готовності (NetworkedReadinessIndex) – комплексний показник розраховується щорічно спільно Світовим економічним форумом (WEF) та Світовим банком (WB) і який характеризує рівень розвитку інформаційно-комунікаційних технологій в країнах світу і вимірює рівень розвитку ІКТ по 53 параметрам, об'єднаним в три основні групи:

По-перше, NRI надає інформацію про наявність умов для розвитку ІКТ – загальний стан ведення бізнесу та законодавчої бази з точки зору ІКТ

Друга група – це готовність усіх учасників ділової середі до використання ІКТ; позиція країни щодо розвитку інформаційних технологій, витрати уряду на розробку стратегії розвитку галузі, доступність для населення, вартість користування мобільним зв'язком та мережею Інтернет. Рівень використання ІКТ серед громадського населення, в комерційному і державному секторах.

Україна за цим рейтингом посіла у 2016 року 64 місце серед 164 країни з показником 4,2, відстаючи від таких інформаційних лідерів як Сінгапур, Фінляндія і Швеція. У 2019 році NRI має поліпшену структуру, яка включає в себе кілька функцій, які не були включені у 2016 році. Тому результати цього року не зовсім співставні з рейтингами попередніх років. У 2019 році Україна посіла 67 місце (дослідження охоплює 121 країну) з показником 48,92.

Порівняно з 2016 роком Україна погіршила свої позиції на 3 пункта [6]. Причиною досить низьких позицій у рейтингу є низький рівень освоєння нових технологій бізнесом. Україна перебуває у стані активного становлення ІКТ, але вона так і не змогла скоротити відставання від розвинених країн в рівні інформатизації і суспільства.

Підсумовуючи відмітимо, що Україна займає середні позиції в рейтингах цифровізації економіки країни. Основні перешкоди на шляху розвитку цифрових перетворень пов'язані з відсутністю стратегії. Підприємства по-різному реагують на цифрову трансформацію: деякі активно впроваджують цифрові технології, деякі відчують потребу, але поки тільки намагаються реалізувати окремі проекти, а інші протистоять цифровим перетворенням в розвитку бізнес-середовища, що робить розвиток повільним та неконкурентоспроможним. Створення державою зовнішнього клімату, орієнтованого на цифровізацію підприємств, шляхом формування нормативно-правової бази, а також природні процеси цифровізації суспільства забезпечать в найближчому часі ліквідацію підприємств, що виробляють низькоякісну продукцію, не зацікавлені в підвищенні конкурентоспроможності виробництва.

Список літературних джерел:

1. Україна 2030E – країна з розвинутою цифровою економікою. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html>
2. Статистичний бюлетень «Використання інформаційно-комунікаційних технологій на підприємствах України» / Державна служба статистики України. – 2019-2020 рр.
3. Індекс мережевої готовності. ІАА Центр гуманітарних технологій: інформаційно-аналітичний портал. [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://gtmarket.ru/ratings/networkedreadiness-index/networked-readiness-index-info>.
4. Фролова Л.В. Трансформація підприємництва в умовах цифрової економіки / Л. В. Фролова, І. М. Бойко // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2021. – № 2 (54). – С. 47-56. – Режим доступу до журн.: <https://economics.net.ua/files/archive/2021/No2/47.pdf>.

СИСТЕМА ПЕНСІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УКРАЇНІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РЕФОРМУВАННЯ

І.В. Новикова, Н. Медведкова

Шосткинський інститут Сумського державного університету
nadezhda.medvedkova1@gmail.com

Пенсія є одним з головних факторів соціального забезпечення громадянина у будь-якій державі і для працездатних пенсіонерів соціальні виплати фактично стають основним джерелом існування. «Перетворення пенсійного забезпечення на норму життя, підкріплену соціально відповідальним бізнесом, прагнення до легальних відносин на ринку праці, – це цивілізаційний вибір нашого суспільства», – наголосив прем'єр-міністр України Д. Шмигаль.

Проблема прийняття ефективних управлінських рішень у процесі реформування державної політики системи пенсійного забезпечення для нашої держави давно є не тільки актуальною але і конче необхідною. Вперше спробували реформувати стару радянську пенсійну систему «солідарності поколінь» ще наприкінці 90-х років минулого століття. Але й досі в цьому напрямку зроблено дуже мало. І кожного року з державного бюджету виділяються величезні кошти на покриття дефіциту пенсійного фонду. Але з моменту отримання незалежності в Україні жодна пенсійна реформа не була доведена до кінця.

Такі результати неефективної діяльності Пенсійного Фонду спричинені рядом факторів:

1) Демографічна криза. Для України, як і для більшості країн світу, головною демографічною тенденцією поточного століття є процес старіння населення, що проявляється у зростанні частки осіб похилого віку. Зростання середньої тривалості життя (що є позитивним моментом), також є негативним фактором для пенсійної системи.

Таблиця 1 – Вікова структура населення

	Працездатного віку (15-59 років), млн осіб	Пенсійного віку (60+років), млн осіб	Навантаження	Тривалість життя
2016	19,910	9,417	2,11	71,68
2017	19,466	9,545	2,04	71,98
2018	19,040	9,679	1,97	71,76
2019	18,641	9,827	1,90	72,01
2020	18,346	10,121	1,81	71,90

Складено та розраховано авторами за статистичним щорічником 2016-2020 р.р.

Розглянувши таблицю, ми бачимо негативну тенденцію скорочення чисельності населення працездатного віку та збільшення чисельності пенсійного віку. За таких обставин відбувається і збільшення навантаження на кожного працюючого. При цьому ми не можемо врахувати той факт, що деякі люди пенсійного віку залишаються на роботі і працюють, але вони все рівно повинні отримувати свою вже зароблену пенсію.

Негативною тенденцією для України є зростання кількості населення, які шукають кращої долі або заробітку за кордоном. Заробітчани, які працюють в

інших країнах і перераховують кошти своїм сім'ям, не роблять відрахувань від отриманої заробітної плати в пенсійний фонд України. Тобто, вони розраховують на отримання пенсії від держави при досягненні пенсійного віку, але відрахувань в пенсійний фонд України від їх заробітку не поступає протягом декількох років.

Аналізуючи наведену таблицю, можна помітити і невеликий позитивний момент – збільшення середньої тривалості життя. Так, це добре, але це створює додаткове навантаження на пенсійний фонд держави. Розв'язання цієї проблеми можливо через підвищення пенсійного віку, але кожний уряд не хоче брати на себе негатив, який виникає в суспільстві при обговоренні цього питання.

Чому є така залежність між працюючими та пенсіонерами? Це все через застосування виключно солідарної системи пенсійного забезпечення. За цією системою існує залежність між кількістю працездатним працюючим населенням та кількістю пенсіонерів. Аналізуючи таблицю, ми бачимо скорочення кількості працездатного населення. За солідарної форми людина сплачує внесок до пенсійного фонду забезпечуючи пенсію сьгоднішнім пенсіонерам, сподіваючись на те, що в майбутньому на їхню користь платитимуть наступні покоління. Ураховуючи різноманітні демографічні чинники у 2025 році навантаження на одного працюючого буде вже 3 пенсіонери. На який же розмір пенсії може розраховувати один пенсіонер? Питання риторичне.

Так, така система працює у різних державах, навіть, у Швейцарії, але зокрема солідарної системи там ще застосовується і трудове і особисте пенсійне забезпечення. Інакше кажучи, тривірнева система пенсійного гарантування.

2) Відтермінування вирішення цього питання тягне за собою зростання дефіциту пенсійного фонду, що посилює залежність від наповненості державного бюджету.

Таблиця 2 - Відсоткове та гривневе співвідношення дефіциту ПФ до ВВП країни

Рік	Фінансування ПФ з бюджету, млрд грн	% ВВП
2016	142,6	6,0
2017	134,9	4,5
2018	150,1	4,2
2019	193,1	4,9
2020	202	5,1

(Джерело: <https://feao.org.ua/wp-content/uploads/2015/11/2019-05-16.pfu-2015-2018.pdf>)

Аналізуючи цю таблицю, ми можемо помітити, що дефіцит ПФ дуже великий, а покривається він за допомогою ВВП, ці гроші могли б піти на систему охорони здоров'я, на освіту та науку, тощо.

3) Останнім фактором, що негативно впливає на формування бюджету є тінізація заробітної плати громадян. Посилаючись на дані Національного Банку України, можемо стверджувати, що тіньова економіка складає 23,8% від загального обсягу ВВП (це 846 млрд гривень).

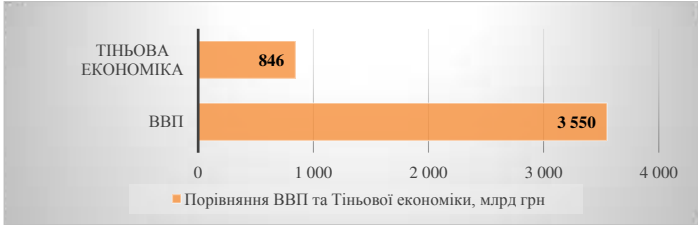


Рис.2 – Порівняння ВВП та тіньової економіки

Причиною появи такої ситуації є погане адміністрування податків, бюрократичний тиск, високі податки (особливо на фоні того, що ми отримуємо від держави), дика корупція та розвалені державні інституції.

Одним з рішень цієї проблеми є впровадження безготівкової форми платежу, на цьому також ставить акцент Дмитро Сологуб, заступник Голови НБУ: *«Адже безготівкові кошти залишатимуться в економіці, а отже, будуть працювати на її розвиток. Зокрема, опосередковано це сприятиме зниженню вартості кредитування населення та бізнесу, подальшому прогресу валютної лібералізації. Від прозорого ведення бізнесу зростатиме також база оподаткування, тобто відбудеться зростання надходжень до державного бюджету»* [4]

Так, результат введення такої форми розрахунку буде мати малий ефект, зменшення тіньового ВВП на 0,6-3,7%, при цьому дохід державного бюджету збільшиться лише на 0,1%-0,8% від загального ВВП країни, згідно з прогнозами НБУ. Але, можна сподіватися, що це дасть поштовх подальшого виведення бізнесу з тіні [1].

Наразі Мінсоцполітики хоче реформувати пенсійну систему, впровадивши другий обов'язковий рівень соціального страхування, а саме: накопичувальну систему забезпечення.

Головна ідея пенсійної реформи - зацікавити кожного громадянина думати про розмір пенсії, яку він отримуватиме в майбутньому.

Головна мета реформи:

- забезпечити справедливу систему розподілу пенсійних коштів;
- створити для людей можливість накопичувати максимальний розмір пенсії, виходячи із власних доходів;
- стабілізувати пенсійну систему та гарантувати виплати пенсій на довгострокову перспективу;
- стабілізувати фінансовий стан державного бюджету [2].

Таблиця 3 – Порівняльна таблиця середньої зарплати, пенсії та прожиткового мінімуму.

Рік	Прожитковий мінімум, грн	Середня зарплата, грн	Середня пенсія, грн	Навантаження
2016	1544	5337	1767,5	33,11%
2017	1700	7360	1902,7	25,85%
2018	1853	9141	2681,2	29,33%
2019	2027	10783	3019,62	28%
2020	2189	11579	3866	33,34%

Складено авторами за даними статистичної звітності ПФ та Мінфіну за 2016-2020 р.р.

Існує дуже великий розрив між виплатами, ми можемо помітити, що середня пенсія знаходиться на майже такому ж рівні, як і прожитковий мінімум. Загальноприйнятим показником рівня пенсій є коефіцієнт заміщення, тобто відношення середньої пенсії до середньої заробітної плати. Відповідно до норм Міжнародної організації праці він має становити не менше як 55%, у той же час, в Україні це приблизно 33,34% (за 2020 рік), тобто ми відстаємо від норми майже на половину.

В нашій державі діють недержавні пенсійні фонди, але вони не дуже популярні. Кількість учасників у 2018 році складала 848 тис. осіб, а вартість активів 2,651 млрд гривень, це 7,5% від держбюджету пенсійного фонду того ж року.

Таблиця 5 – Порівняння державного та недержавних пенсійних фондів за 2018 рік

	Середні виплати, грн	Кількість активів (млрд грн)	Середня кількість платників (тис. осіб)	Приріст/спад діяльності фонду
Державний пенсійний фонд	2 645,66	353,628	1011,21	-4,2%
Недержавний пенсійний фонд	9 672	2,651	848, 38	+7,6%

Ми можемо бачити приріст НПФ на 7,6% та скорочення Державного Фонду на 4,2%. Таке скорочення відбулося через зменшення дотацій до бюджету та забезпечення його з казни. Також, виходячи з цієї таблиці, ми можемо наочно побачити перспективність та доцільність накопичувальної системи.

Держава нам пропонує вводити накопичувальну систему забезпечення пенсій, за котрої все буде повністю визначатися самою людиною, а не демографією країни. Пенсія буде розраховуватися відповідно до: заробітної плати особи; середньої зарплати в Україні; тривалості страхового стажу; вартості страхового стажу. Від цієї реформи очікуються позитивні зміни у пенсійній системі. Як стверджує Урядовий портал відбудеться:

- досягнення витрат на пенсійне забезпечення на рівні 12% валового внутрішнього продукту та забезпечення мінімального рівня пенсійного забезпечення на рівні 40% від отриманого заробітку;
- щорічний перерахунок пенсій 11 млн. пенсіонерів;
- залучення 132 тис. працівників до накопичувальної системи обов'язкового професійного пенсійного забезпечення;
- досягнення витрат на пенсійне забезпечення на рівні 12 відсотків валового внутрішнього продукту та забезпечення мінімального рівня пенсійного забезпечення на рівні 40 відсотків від отриманого заробітку;
- щорічний перерахунок пенсій 11 млн. пенсіонерів;
- залучення 132 тис. працівників до накопичувальної системи обов'язкового професійного пенсійного забезпечення;

- розроблення та подання Кабінетові Міністрів законопроекту щодо запровадження накопичувальної професійної пенсійної системи;
- здійснення аналізу реалізації державної політики у сфері адміністрування єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування. Підготовка пропозицій щодо підвищення якості адміністрування єдиного внеску з урахуванням необхідності подолання негативних економічних наслідків, спричинених пандемією корона-вірусу, COVID-19;
- удосконалення механізму індексації пенсій [6].

Таким чином, пенсійна система України є в цілому неефективною як у суто економічному аспекті (лягає непомірним тягарем на державний бюджет України), так і з погляду соціальної справедливості (недодержання страхових принципів – наявність значних пілг у пенсійному забезпеченні окремих категорій працівників при однаковому розмірі відрахувань; низький рівень пенсій більшості пенсіонерів

Необхідність реформування пенсійної системи можливо через уведення накопичувальної системи або розвиток системи добровільного пенсійного забезпечення. Початок таких реформ був покладений у 2017 року прийняттям законопроекту про впровадження накопичувальної пенсійної системи.

Цей прогрес свідчить про налаштованість уряду щодо поліпшення пенсійного гарантування, введення накопичувальної системи забезпечення, зниження дефіциту Пенсійного фонду України та зменшення видатків бюджету на покриття фонду.

Список літературних джерел:

1. Гроші-2021: що записали в бюджет на новий рік і як це виконати [Електронний ресурс] / Євген Солонина– Режим доступу до ресурсу: <https://www.radiosvoboda.org/a/byudzheth-2021/31002601.html>
2. Статистична інформація [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України– Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/rp/ean/ean_u/arh_osp_rik_u.htm
3. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/08/zb_tabl_nar_2018.pdf&ved=2ahUKEwiLx6uQmZLzAhWw_rsIHV-Uc8QFnoECDoQAQ&usg=AOvVaw2SwuC3J5P5BSVILTE3hn6c
4. Чисельність населення України в 2021 р. [Електронний ресурс] / МІНФІН – Режим доступу до ресурсу: <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/>
5. Статистична інформація [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України– Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/sz/sz_u/srp_07rik_u.html

СЕКЦІЯ 5
Інформаційні технології,
моделювання та автоматизація

SECTION 5
Information technology,
modeling and automation

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГАЗИФІКАЦІЇ (КОНВЕРСІЇ) ВУГЛЕВОДНІВ

А.Л. Концевой, С.А. Концевой

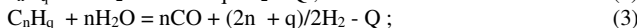
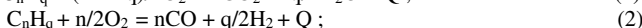
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
kontsev157@gmail.com

Під впливом факторів економічного, екологічного, соціального характеру перед промисловістю України постала гостра проблема сировинної та енергетичної кризи. У зв'язку з призупиненням будівництва атомних електростанцій, дефіцитом газоподібного палива виходом може стати пуск нових енергетичних і сировинних об'єктів підвищеної економічної ефективності та екологічної чистоти на основі комплексного використання вітчизняного твердого та рідкого палива.

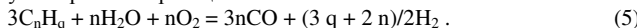
В даний час всі хімічні синтези аміаку, метанолу, водню засновані на використанні природного газу. Процесу газифікації рідких палив в 20 столітті було приділено в літературі достатню увагу, наприклад [1 – 6]. В 21 столітті відновився інтерес до газифікації рідких палив в зв'язку з різким подорожчанням природного газу. В якості альтернативної сировини для забезпечення сировинної незалежності має сенс розробляти газифікацію мазуту, який є продуктом неповної перегонки нафти. Українські нафтопереробні заводи дають вихід мазуту приблизно 30% від вихідної нафти. Використання мазуту в якості хімічної сировини більш раціонально, ніж його спалювання на ТЕЦ. Великий ресурс рідких вуглеводнів представлено у вигляді газового конденсату – побічного продукту при добуванні природного газу.

Газифікація рідких палив являє собою складний процес неповного окиснення вуглеводнів, що протікає при температурі 1200-1500 °С. В якості окиснювачів (дугтя) для газифікації рідких палив застосовують повітря, водяну пару, пароповітряну суміш із збагаченням і без збагачення киснем, вуглекислий газ, парокисневу суміш. Недолік довідкових даних [1, 3, 4] полягає в необхідності попередніх інтерполяційних розрахунків при користуванні ними. Запропонований алгоритм з його реалізацією в MathCAD дозволяє отримати рівноважний склад газу газифікації (конверсії) вуглеводнів, формула яких відома, різними окисниками та їх сумішами.

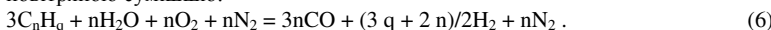
Газифікація вуглеводнів киснем і водяною парою описується в загальному вигляді рівняннями:



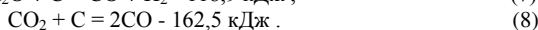
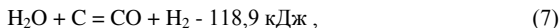
Процес газифікації паро-кисневою сумішшю до оксиду вуглецю (II) і водню може бути виражений реакцією:



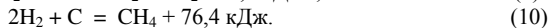
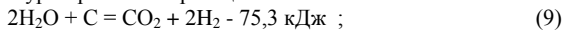
Аналогічно можна описати процес газифікації вуглеводню паро-киснево-повітряною сумішшю:



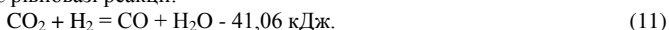
Крім реакцій взаємодії вуглеводневої частини рідких палив з киснем і водяною парою, у процесі газифікації перебігають реакції, за якими пар і оксид вуглецю (II) реагують з вуглецем, що виділяється по реакції (4):



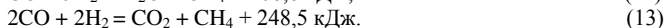
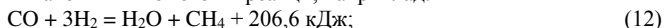
Практично помітну роль ці реакції мають при температурах вище 1000 °С. З пониженням температури протікають реакції:



Кінцевий склад газу знаходиться в близькій відповідності до складу, що відповідає рівновазі реакції:

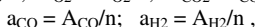
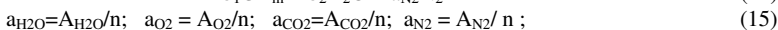
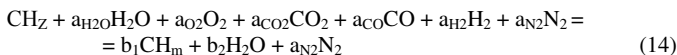


Можливі також інші гомогенні реакції, наприклад:



Кількісною характеристикою складу сировини є відношення водню до вуглецю, яке можна виразити у вигляді найпростішої «формули вуглеводневої сировини» – CH_z , де z – водневий показник конвертованих вуглеводнів, що визначається за формулами, наведеними в таблиці 1 [4].

Реакцію конверсії CH_z з декількома окиснювачами (водяною парою, киснем, оксидом вуглецю (IV)) в присутності інертного азоту можна представити як деяку умовну реакцію (серед реагентів можуть знаходитися оксид вуглецю (II) і водень):



де $a_{\text{H}_2\text{O}}$, a_{O_2} , a_{CO_2} , a_{CO} , a_{H_2} , a_{N_2} – питомі витрати водяної пари, кисню, двооксиду та оксиду вуглецю, водню і азоту, відповідно (число моль реагенту на 1 вуглецевий атом конвертованих вуглеводнів);

$A_{\text{H}_2\text{O}}$, A_{O_2} , A_{CO_2} , A_{CO} , A_{H_2} , A_{N_2} – витрати відповідних компонентів, моль на 1 моль вуглеводню (молярні співвідношення відповідних компонентів і вуглеводню) визначаються вихідними даними;

b_1 , b_2 – число моль CH_m і водяної пари, що утворюються за реакцією (14);

z – водневий показник конвертованих вуглеводнів;

m – умовний водневий показник, розраховується за формулою (20) або (20а).

Таблиця 1 – Формули для розрахунку водневого показника z

№ п/п	Вуглеводнева сировина	Молекулярна формула	Водневий показник	Примітка
1	Метан	CH_4	$z = 4$	
2	Індивідуальні нафтові і олефінові вуглеводні	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	$z = (2n+2)/n$	n -число вуглецевих атомів в молекулі вуглеводню
3	Суміші вуглеводнів одного або кількох класів	C_nH_q	$z = l/n$	$q = q_1c_1 + q_2c_2 + \dots$ $n = n_1c_1 + n_2c_2 + \dots$ q_1, q_2, \dots і n_1, n_2, \dots – відповідно число атомів водню і вуглецю в молекулі індивідуальних

				вуглеводнів; c_1, c_2, \dots - молярні частки вуглеводнів в сумішах
4	Суміші вуглеводнів невизначеного індивідуального складу (нафтопродукти та ін.)	-	$z = 12 \cdot A_H / A_C$	A_H, A_C – вміст водню і вуглецю в нафтопродукті, %мас.

На основі рівняння (14) можна скласти рівняння матеріального балансу по вуглецю, водню і азоту:

$$b_1 = 1 + a_{CO_2} + a_{CO}; \quad (16)$$

$$mb_1 + 2b_2 = z + 2a_{H_2O} + 2a_{H_2}; \quad (17)$$

$$b_2 = a_{H_2O} + 2a_{O_2} + 2a_{CO_2} + a_{CO}; \quad (18)$$

$$a_{N_2} = a_{N_2}; \quad (19)$$

спільне вирішення яких дозволяє для відомих b_1, b_2 отримати наступні формули розрахунку:

$$m = \frac{z - 4a_{O_2} - 4a_{CO_2} - 2a_{CO} + 2a_{H_2}}{1 + a_{CO_2} + a_{CO}}; \quad (20)$$

$$\alpha = \frac{b_2}{b_1} = \frac{a_{H_2O} + 2a_{O_2} + 2a_{CO_2} + a_{CO}}{1 + a_{CO_2} + a_{CO}}; \quad (21)$$

де α – умовна витрата водяної пари (число моль водяної пари на 1 моль вуглеводню CH_m).

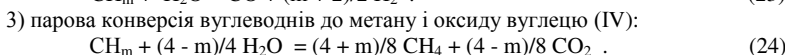
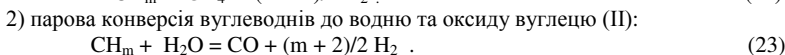
В наступних розрахунках приймається, що CO і H_2 відсутні у вихідному газі, що спрощує формули (20) і (21):

$$m = \frac{z - 4a_{O_2} - 4a_{CO_2}}{1 + a_{CO_2}}; \quad (20a)$$

$$\alpha = \frac{a_{H_2O} + 2a_{O_2} + 2a_{CO_2}}{1 + a_{CO_2}}. \quad (21a)$$

Таким чином, умовний водневий показники m є функцією водневого показника z і складу вихідної суміші – реагентів O_2, CO_2 і домішок CO, H_2 . В основу загальноприйнятих розрахунків рівноваги вуглеводневої сировини лежить положення про те, що вуглеводні з числом вуглецевих атомів більше одиниці необоротно конвертуються у водень, метан, оксид і двооксид вуглецю, між якими встановлюється рівновага.

Для встановлення кількісного зв'язку між вихідними вуглеводнями і газоподібними продуктами конверсії використовують наступні реакції:



Вибір того чи іншого шляху не має принципового значення, оскільки всі вони приводять до однакових результатів в наступних рівноважних розрахунках. Тим

самим розрахунок конверсії будь якого вуглеводню зводиться до розрахунку конверсії метану за рівнянням (25) і рівнянням (26) та умов, що викладені нижче.

Методика розрахунку рівноважного складу газу конверсії вуглеводнів заснована на незалежних реакціях:



Вирази констант рівноваги для цих реакцій:

$$K_{p1} = \frac{p^{2\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2}^2}{p_{\text{CH}_4} p_{\text{CO}_2}} , \quad (27)$$

$$K_{p2} = \frac{p_{\text{CO}_2} \cdot p_{\text{H}_2}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}} . \quad (28)$$

Рівноважний склад газової суміші та парціального тиску її компонентів у загальному вигляді наведено в таблиці 2, де x – кількість моль метану, що вступила в реакцію (25) – лежить в межах від 0 до 1; y – кількість моль оксиду вуглецю (II), що вступила в реакцію (26) – лежить в межах від 0 до 2;

P – абсолютний тиск, атм. Розмірність тиску в атм пояснюється тим, що нижченаведені рівняння (31) і (32) це передбачають.

Таблиця 2 – Рівняння рівноважного складу газової суміші і парціальних тисків її компонентів за реакціями (25) і (26)

№ п/п	Компонент	Кількість моль вихідна	Число моль кінцеве (рівноважне)	Парціальний тиск
1	2	3	4	5
1	CH ₄	(4 + m)/8	(4 + m)/8 - x	$\frac{(4 + m)/8 - x}{\alpha + m/4 + 2 \cdot x + a_{N_2}} \cdot P$
2	H ₂ O	$\alpha - (4 - m)/4$	$\alpha - (4 - m)/4 - y$	$\frac{\alpha - (4 - m)/4 - y}{\alpha + m/4 + 2 \cdot x + a_{N_2}} \cdot P$
3	CO ₂	(4 - m)/8	(4 - m)/8 - x + y	$\frac{(4 - m)/8 - x + y}{\alpha + m/4 + 2 \cdot x + a_{N_2}} \cdot P$
4	CO	-	2x - y	$\frac{2 \cdot x - y}{\alpha + m/4 + 2 \cdot x + a_{N_2}} \cdot P$
5	H ₂	-	2x + y	$\frac{2 \cdot x + y}{\alpha + m/4 + 2 \cdot x + a_{N_2}} \cdot P$
6	N ₂	a _{N₂}	a _{N₂}	$\frac{a_{N_2}}{\alpha + m/4 + 2 \cdot x + a_{N_2}} \cdot P$
	Σ	$\alpha + m/4$	$\alpha + m/4 + 2x + a_{N_2}$	P

Після підстановки парціальних тисків з таблиці 2 у вирази (27) і (28) отримуємо систему двох рівнянь:

$$K_{P1} = \frac{(4 \cdot x^2 - y^2)^2 \cdot P^2}{\left(\frac{4+m}{8} - x\right) \left(\frac{4-m}{8} - x + y\right) \left(\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + a_{N2}\right)^2} \quad (29)$$

$$K_{P2} = \frac{\left(\frac{4-m}{8} - x + y\right) \cdot (2 \cdot x + y)}{(2 \cdot x - y) \cdot \left(\alpha - \frac{4-m}{4} - y\right)} \quad (30)$$

Значення констант рівноваги K_{P1} і K_{P2} визначаються за формулами:

$$\lg K_{P1} = -13579/T + 14,865 \quad (31)$$

$$\lg K_{P2} = \frac{2217,5}{T} + 0,297 \cdot \lg T + 0,3525 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,0508 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 3,26 \quad (32)$$

Систему рівнянь (29) і (30) потрібно вирішити для розрахунку рівноважного складу газів, одержаних будь-яким способом газифікації (конверсії) вуглеводневої сировини, що відрізняється природою окиснювача (водяна пара, двооксид вуглецю, кисень і їх сумішми). Метою розрахунку є знаходження x і y .

Зауваження 1. Частіше в термодинамічних розрахунках замість реакції (25) використовують реакцію $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$, яку в даному випадку отримують як суму реакцій (25) і (26). Результати розрахунку рівноважного складу за обома підходами співпадають.

Наводимо приклад реалізації алгоритму засобами MathCAD.

Вихідні дані [4]

Таблиця 3 – Розрахунок парової конверсії етану ($P = 20$ атм., $t = 927$ °C)

$$A_{H2O} = H_2O/C_2H_6 = 6; m = 3; \alpha = 3$$

Компонент	Склад сухого газу, %
CO	17,96
CO ₂	8,13
CH ₄	1,09
H ₂	72,82

Алгоритм розрахунку

Провести розрахунок за рівняннями (15), (18, 19, 20а, 21а). Порівняти розрахунок α та m з даними таблиці 3. Розрахувати температуру в градусах Кельвіна і константи рівноваги за рівняннями (31), (32), після чого розв'язати систему (29) – (30), при цьому ввести початкові наближення, наприклад $x=0,8$ та $y=0,9$. Якщо система не вирішується, змінити (підібрати) початкові наближення.

Зауваження 2. Чим більше концентрація кисню і/або тиск процесу, тим менше значення x . Чим більше температура, тим більше значення x і менше значення y .

Після знаходження x та y розрахувати значення рівноважних концентрацій компонентів, %об. Для цього використати формули стовпчика 5 таблиці 2 із заміною тиску P на множник 100. При цьому отримують склад вологого

генераторного (конвертованого) газу. Перерахувати склад на сухий газ. Результат останнього розрахунку порівняти з довідковими даними – таблиця 3.

Для полегшення адаптації алгоритму наводимо текст програми.

```

P := 2C   t := 927   PM := 6   α := 3   z := 3   m := 3   n := 2

AH2O := 6   AO2 := 0   ACO2 := 0   AN2 := 0   ACO := 0   AH2 := 0

aH2O := AH2O/n   aO2 := AO2/n   aCO2 := ACO2/n   aN2 := AN2/n   aCO := ACO/n   aH2 := AH2/n

aH2O = 3   aO2 = 0   aCO2 = 0   aN2 = 0   aCO = 0   aH2 = 0

b1 := 1 + aCO2 + aCC   b1 = 1

b2 := aH2O + 2*aO2 + 2*aCO2 + aCC   b2 = 3

m := (z - 4*aO2 - 4*aCO2 - 2*aCO + 2*aH2) / (1 + aCO2 + aCO)   m = 3

α := b2/b1   α = 3

T := 273 + t   T = 1.2 × 103

lgKp1 := -13579/T + 14.86   lgKp1 = 3.549

Kp1 := 10lgKp1   Kp1 = 3.541 × 103

lg Kp2 := 2217.5/T + 0.297 · lg T + 0.3525 · 10-3 · T - 0.0508 · 10-6 · T2 - 3.26

lgKp2 := 2217.5/T + 0.297log(T) + 0.352510-3 · T - 0.050810-6 · T2 - 3.26

lgKp2 = -0.148

Kp2 := 10lgKp2   Kp2 = 0.712

x := 0.8   y := 0.5
    
```

Given

$$Kp1 = \frac{(4x^2 - y^2)^2 \cdot p^2}{\left[\frac{(4+m)}{8} - x \right] \cdot \left[\frac{(4-m)}{8} - x + y \right] \cdot \left(\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2 \right)^2}$$

$$Kp2 = \frac{\left[\frac{(4-m)}{8} - x + y \right] \cdot (2 \cdot x + y)}{(2 \cdot x - y) \cdot \left[\alpha - \frac{(4-m)}{4} - y \right]}$$

$$Z := \text{Find}(x, y)$$

$$\underline{x} := Z_0$$

$$\underline{y} := Z_1$$

$$x = 0.835$$

$$y = 1.013$$

склад вологого газу, % об

склад сухого газу, % об

$$\text{CH4v} := \frac{\left[\frac{(4+m)}{8} - x \right]}{\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{CH4v} = 0.73$$

$$\text{CH4s} := \frac{\left[\frac{(4+m)}{8} - x \right]}{1 + y + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{CH4s} = 1.074$$

$$\text{H2Ov} := \frac{\left[\alpha - \frac{(4-m)}{4} - y \right]}{\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{H2Ov} = 32.038$$

$$\text{CO2v} := \frac{\left[\frac{(4-m)}{8} - x + y \right]}{\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{CO2v} = 5.586$$

$$\text{CO2s} := \frac{\left[\frac{(4-m)}{8} - x + y \right]}{1 + y + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{CO2s} = 8.219$$

$$\text{COv} := \frac{(2x - y)}{\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{COv} = 12.131$$

$$\text{COs} := \frac{(2x - y)}{1 + y + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{COs} = 17.85$$

$$\text{H2v} := \frac{(2x + y)}{\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{H2v} = 49.515$$

$$\text{H2s} := \frac{(2x + y)}{1 + y + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{H2s} = 72.857$$

$$\text{N2v} := \frac{aN2}{\alpha + \frac{m}{4} + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{N2v} = 0$$

$$\text{N2s} := \frac{aN2}{1 + y + 2 \cdot x + aN2} \cdot 100$$

$$\text{N2s} = 0$$

$$\Sigma_v := \text{CH4v} + \text{H2Ov} + \text{CO2v} + \text{COv} + \text{H2v} + \text{N2v}$$

$$\Sigma_v = 100$$

$$\Sigma_s := \text{CH4s} + \text{CO2s} + \text{COs} + \text{H2s} + \text{N2s}$$

$$\Sigma_s = 100$$

Отримано наступний рівноважний склад сухого газу, %: CO – 17,85;
 CO₂ – 8,219; CH₄ – 1,074; H₂ – 72,857.

Порівняння розрахункових і довідкових (таблиця 3) даних свідчить про цілковиту можливість застосування запропонованого методу визначення рівноважного складу газифікації (конверсії) вуглеводнів відомої формули.

Список літературних джерел

1. Справочник азотчика, т.1/ Под ред. Е.Я. Мельникова. – М.: Химия, 1967. – 492с.
2. Рябцев И.И. Производство газа из жидких топлив для синтеза аммиака и спиртов. / И.И. Рябцев, А.Е. Волков – М.: Химия, 1968. – 208 с.
3. Производство технологического газа для синтеза аммиака и метанола из углеводородных газов /Под ред. А.Г. Лейбуш. - М.: Химия, 1971. –286 с.
4. Веселов В.В. Состав газа конверсии углеводородов. Справочник. / В.В. Веселов, А.Н. Рафал – Киев: Наукова думка, 1976. – 188 с.
5. Андреев Ф.А. Технология связанного азота. / Ф.А. Андреев, С.И. Каргин, Л.И. Козлов, В.Ф. Приставка - М.: Химия, 1974. – 464 с.
6. Концевой А.Л. Низкотемпературная конверсия гексана и октана водяным паром. / А.Л. Концевой, Б.А. Жидков, Т.Ф. Рудь, С.Г. Пинчук, Е.М. Пахлов. // Каталитическая конверсия углеводородов. – 1981. – № 3. – С. 60–64.

ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МОВ ВЕБ-ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

П.С. Пата, М.П. Трубін, О.С. Терещенко

Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба

Сумського державного університету

Paulosergei4@gmail.com

Автоматизація процесів та системи автоматизованого управління стають повноцінним «трендом» нашого часу, та продовжують розширення свого впливу практично у всіх сферах діяльності: починаючи з сільського господарства і закінчуючи «розумними будинками» або штучним інтелектом.

Попередні дослідження [1] показали, що для побудування систем керування та автоматизації різноманітних процесів можливо за допомогою мов високого рівня, тому для дослідження було обрано саме мови веб-програмування та веб-технології.

Для вивчення цього питання було визначено декілька сучасних веб-процесів та технологій, що забезпечать повний цикл створення системи управління.

Важливою складовою будь-якого процесу – є інформація, дії з якою можна розділити на чотири напрямки: збір, зберігання, обробка та передача на відстань.

Зберігання інформації в веб-системах відбувається в базах даних, за своєю суттю база даних повинна відповідати декільком критеріям, це швидкодія, доступ з робочих місць, надійність та захищеність. Провівши аналіз існуючих баз даних можна виділити лише декілька що підходять нашим критеріям: MySQL, PostgreSQL, MongoDB, Firebase.

MySQL - вільна реляційна система управління базами даних. Розробка та підтримка MySQL здійснює корпорація Oracle, база даних є найпоширенішою для веб-додатків, але потребує розгорнення власного середовища для роботи з нею.

PostgreSQL - вільна об'єктно-реляційна система управління базами даних. Існує в реалізаціях для безлічі UNIX-подібних платформ, включаючи AIX, різні BSD-системи, HP-UX, IRIX, Linux, macOS, Solaris / OpenSolaris, Tru64, QNX, а також для Microsoft Windows.

MongoDB – документорієнтована система управління базами даних, яка не потребує опису схеми таблиць. Вважається одним з класичних прикладів NoSQL-систем, використовує JSON-подібні документи і схему бази даних. Написана на мові C ++

Firebase - це платформа розробки мобільних додатків з величезним функціоналом. Починалася вона як стартап, а сьогодні її використовують при розробці кращих кроссплатформених додатків. Це і сервер, і база даних, і хостинг, і аутентифікація в одній платформі. Так, Firebase Realtime Database надає розробникам API, який синхронізує дані додатки між клієнтами і зберігає їх в хмарному сховищі. Додаток підключається до бази даних через WebSocket, який відповідає за синхронізацію даних протягом усього сеансу [2].

Для вирішення проблем взаємодії великої кількості пристроїв і проблем об'єднання пристроїв в одну мережу була створена концепція Інтернету речей (англ. Internet of Things, IoT) - це коли пристрої об'єднуються по якомусь ознакою в одну мережу, потім вже кілька подібних мереж об'єднуються в іншу велику мережу і так далі.

Пристрої в таких мережах взаємодіють один з одним за рахунок різних інтерфейсів і протоколів передачі даних. Так як ми говоримо про промислове застосування концепції IoT, в якій повинні використовуватися промислове обладнання зі своїми протоколами і апаратними засобами, то ми переходимо до концепції IIoT (Промислового Інтернету речей) [3].

Промисловий Інтернет речей (англ. Industrial Internet of Things, IIoT) - це концепція, при якій різні промислові пристрої, такі як датчики або обладнання, об'єднані в мережу за допомогою використання мережі Інтернет. Саме такі процеси ідеально підходять для енергетичної галузі, транспорту, промислової автоматизації, а також багатьох інших додатків.

В умовах сучасного, постійно мінливого і нестійкого ринку, впровадження технології IIoT допомагає приймати правильні рішення для підвищення рентабельності виробництва, і в той же час мінімізувати ризики, а як наслідок, збільшити доходи і сприятиме розширенню виробництва.

Промисловий Інтернет речей змінює звичні уявлення про взаємодію людей і машин, поєднуючи збір даних через Інтернет і аналітику, дозволяє по-новому поглянути на методи підвищення ефективності та оптимізації бізнес-процесів.

Для взаємодії між собою пристрої використовують різні промислові протоколи, одним з популярних протоколів для цієї мети є MQTT.

MQTT або Message Queue Telemetry Transport - це легкий, компактний і відкритий протокол обміну даними створений для передачі даних на віддалених локаціях, де потрібно невеликий розмір коду і є обмеження по пропускній здатності каналу. Перераховані вище гідності дозволяють застосовувати його в системах М2М (Машинно-Машинне взаємодія) і IIoT (Промисловий Інтернет речей).

Також існує версія протоколу MQTT-SN (MQTT for Sensor Networks), раніше відома як MQTT-S, яка призначена для вбудованих бездротових пристроїв без підтримки TCP / IP мереж, наприклад, Zigbee [4].

Основні особливості протоколу MQTT:

- асинхронний протокол
- компактні повідомлення
- робота в умовах нестабільного зв'язку на лінії передачі даних
- підтримка декількох рівнів якості обслуговування (QoS)
- дежка інтеграція нових пристроїв

Протокол MQTT працює на прикладному рівні поверх TCP / IP і використовує за замовчуванням 1883 порт (8883 при підключенні через SSL) (рисунок 1).

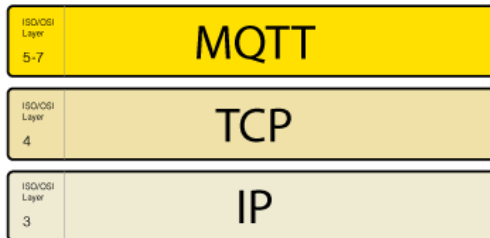


Рисунок 1 – Схема рівнів протоколів MQTT та TCP/IP.

Тому передача інформації відбувається шляхом мережі інтернет, що робить системи керування розроблені за допомогою цієї технології універсальними.

Дуже складно уявити систему керування без SCADA додатку, в якому формується процес обробки інформації, створюється автоматизоване робоче місце оператора, відбувається аналіз та підготовка даних до баз даних та інших сервісів. Саме для побудови автоматизованих систем управління процесами є два шляхи формування веб-додатку який буде аналогом SCADA-системи, перший шлях – це написання власної SCADA-системи, що забезпечить повний спектр вимог, що пред'являються до системи. Мови програмування, що підійдуть для цієї задачі з нашої точки зору можуть бути наступні:

RНР-скриптова мова загального призначення, інтенсивно застосовується для розробки веб-додатків. В даний час підтримується більшість хостинг-провайдерів і є одним з лідерів серед мов, що застосовуються для створення динамічних веб-сайтів.

Python - високоефективна мова програмування програм загального призначення з динамічною суворою типологізацією та автоматичним керуванням пам'яттю, орієнтованим на підвищення продуктивності розробників, читання кодів та його якості, а також забезпечення переносу переданих, написаних на ній програмі.

JavaScript - мультипарадигмна мова програмування. Підтримує об'єктно-орієнтований, імперативний та функціональний стилі. Є реалізацією специфікацій ECMA Script. JavaScript зазвичай використовується як вбудована мова для програмного доступу до об'єктів в веб-додатках.

Другий шлях – використати існуючі системи взаємодії «жардверного» обладнання з веб-системою обробки інформації. Провівши аналіз таких систем ми виділили таку, що відповідає вимогам до автоматизованих систем управління.

Node-RED-це інструмент програмування для об'єднання апаратних пристроїв, API та онлайн-сервісів новими та цікавими способами. Він надає редактор на основі браузера, який полегшує з'єднання потоків за допомогою широкого діапазону вузлів у палітрі, які можна розгорнути під час виконання одне натискання кнопки.

Node-RED позиціонується [5], як якась система, покликана об'єднувати розрізнені апаратні і програмні системи. В основі роботи системи лежить подія, яка генерується або зовнішнім джерелом, або таймером (процесом) всередині Node-RED. Подія це не просто імпульс, що дає поштовх до якого-небудь дії. Подія ще несе певне смислове навантаження і може містити безліч корисної інформації, адже подія в Node-RED є звичайний об'єкт мови JavaScript. Цей об'єкт, містить стандартний набір полів, але може розширюватися і модифікуватися (можна міняти структуру і значення) за допомогою обробки всередині Node-RED. Ну а там, де є JavaScript, там є неймовірна гнучкість і свобода в розробці. Мова, що з'явився як засіб автоматизації на стороні користувача браузера, завдяки своїй простоті і гнучкості, вирвався на широкий простір і застосовується все частіше і більше.

Тому провівши аналіз можливості розробки систем автоматизованого управління га базі веб-додатків, можна впевнено заявити, що це цілком можливо і надалі будемо проводити пошукову роботу в цьому напрямку, а також розглянемо можливість створення такої системи. Також вивчення даного питання наштовхує на ідеї використання мов веб-програмування та веб технологій для розробки

системи автоматизованого обліку досягнень студентів, основні принципи якої вже закладено у ДонДУУ [6].

Список літературних джерел

1. П.С. Пата, М.П. Трубін, Д.О. Семикоз, Є.В. Шлюєв, Перспективи вивчення мови програмування Python в закладах вищої та фахової передвищої освіти студентами спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», тези доповідей, Шостка VI Всеукраїнська науково-методична конференція, 2021.

2. AVADA-MEDIA™. ЩО ТАКЕ FIREBASE? [Електронний ресурс] / AVADA-MEDIA™. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://avada-media.ua/services/firebase/>.

3. Повний спектр обладнання для промислового Інтернету речей (IIoT) [Електронний ресурс] // Стаття. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://ipc2u.ru/articles/obzory-produktov/industrial-iiot/>.

4. Що таке MQTT і для чого він потрібен в IIoT? Опис протоколу MQTT [Електронний ресурс] // ipc2u - Стаття. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://ipc2u.ru/articles/prostye-resheniya/chto-takoe-mqtt/>.

5. Node-RED: что к чему и главное зачем. Разбираемся. [Електронний ресурс] // Стаття. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.kvv213.com/2020/07/node-red-chto-k-chemu-i-glavnoe-zachem-razbiraemysya/>

6. Сирмамійх, І. В. Розробка системи автоматизованого обліку досягнень студентів на Node.js з інтеграцією Firebase / І. В. Сирмамійх, І. П. Таранов, М. О. Романюта // Наука та виробництво : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Вип. 22, спецвип. – С. 255–262. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/28139>

ЗАДАЧА БЛОЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПІДГОТОВКОЮ ТА ПУСКОМ РАКЕТ (СУПП) РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ

І.В.Звершовський¹, С.В. Лапицький², О.А. Майстренко²

¹ДП «Державне ківське конструкторське бюро «Луч»

²Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України

Перед Україною дуже гостро стоїть проблема імпортозаміщення з виробництва елементів та високоефективних ракетних комплексів в цілому (системна розробка за часів СРСР ракетних, зенітно-ракетних, проти корабельних комплексів велася в Російській Федерації). Розробка такого озброєння на попередньому етапі включає проведення комплексних наукових досліджень з питань принципів побудови й функціонування їх основних елементів, а саме: обґрунтування алгоритмів роботи пускового обладнання, в першу чергу, систем управління підготовкою і пуском (СУПП) ракетних комплексів, систем управління та навігації саме ракет. СУПП забезпечує централізоване управління окремими елементами обладнання пускової установки (ПУ) та координує їх спільну роботу.

Основними труднощами наукових досліджень СУПП є: широта та багатогранність задачі, що вирішується; СУПП - складна логічна система управління і контролю та має у своєму складі багато взаємопов'язаних взаємодіючих між собою елементів. Кожен ракетний комплекс з точки зору його технічного виконання являє собою деяку множину обладнання різного ступеня складності, функціонально пов'язаного між собою та призначеного для вирішення задачі щодо знищення цілі.

Ця задача розпадається на ряд приватних завдань. Основними з них є: пошук, упізнання і стеження за ціллю; визначення координат цілі, рішення задачі зустрічі; підготовка стартовою системи, контроль і пуск ракети; управління ракетою на траєкторії. Кожне із зазначених приватних завдань вирішується конкретною системою, що представляє певний елемент обладнання комплексу.

Ракетні комплекси будуються з функціонально однотипного обладнання. Однак, за своїм конструктивним виконанням функціонально рівнозначне обладнання комплексів істотно відрізняється. Серед усіх елементів ракетного комплексу (РК) істотне місце відводиться стартовому обладнанню, яке призначене для зберігання завдань транспортування ракет, розгортання артилерійської частини або її наведення в певну точку простору з необхідним ступенем точності, підготовки до старту, здійснення передстартового контролю, здійснення пуску, а також для рішення ряду додаткових передстартових завдань.

Основним елементом стартового обладнання є пускова установка (ПУ) або пусковий пристрій. Все обладнання ПУ розділяється на наступні кілька груп: механічна частина (база та артилерійська частина); стартові системи управління і контролю (стартова автоматика); система електроживлення; система командно-сигнального зв'язку (або радіолокаційна система в разі її поєднання з ПУ); допоміжні системи (протиатомного захисту, зв'язку, протипожежної автоматики і т.і.).

До механічної частини слід віднести і заряджальний пристрій, якщо останній конструктивно сполучений з ПУ. До стартових систем управління і контролю відносяться: система розгортання або наведення артилерійської частини ПУ;

система управління стартом (СУС); апаратура передстартового контролю ракет. Останні два види обладнання об'єднуються під загальною назвою система управління підготовкою та пуском (СУПП), (в деяких випадках - апаратура передстартової підготовки, контролю та пуску (АПКП).

Поняття "система АПКП" ширше поняття "система управління стартом", тому що включає в себе крім СУС - апаратуру передстартового контролю ракет, а в загальному випадку і апаратуру автоматичного контролю обладнання ПУ. Апаратура автоматичного контролю в складі АПКП вирішує завдання: контролю справності комутаційних ланцюгів і вихідного стану бортових систем та систем ПУ; контролю вихідних параметрів окремих блоків бортової апаратури і апаратури ПУ за принципом "придатний-непридатний" або "нижче - в нормі - вище".

Пускова установка в цілому являє собою систему, що складається з багатьох функціонально самостійних елементів, що взаємодіють між собою. Ця взаємодія пов'язана з переробкою певного обсягу інформації про стан і роботу кожного елемента з метою забезпечення виконання системою покладених на неї функцій. При більшому обсязі інформації та обмеженому часу на її осмислення, переробку і прийняття рішення оператор не в змозі задовільно впоратися з цим завданням. Тому її виконання покладається на систему СУПП.

Система СУПП, в загальному випадку, є складною логічною системою управління і контролю. Основні питання аналізу і синтезу цієї системи відносяться до області компетенції теорії релейних пристроїв та кінцевих автоматів. Разом з тим, із загальної теорії систем стосовно СУПП дуже плідно може бути використана ідея ієрархічної організації складних систем. В теорії релейних пристроїв і кінцевих автоматів ця ідея знаходить своє відображення в завданні блочного синтезу. Подання системи СУПП у вигляді ієрархічної структури взаємодіючих автоматів дозволяє спростити задачу побудови цієї складної системи та звести її до побудови структури окремих більш простих автоматів і встановленню зв'язків між ними. Автомати, що входять в структуру системи СУПП належать до класу синхронних автоматів і в залежності від конкретного завдання, розв'язуваної ними, можуть бути автоматами з пам'яттю або без пам'яті.

В даний час теорія релейних пристроїв, яка в трактуванні охоплює всі питання, що розглядаються в теорії кінцевих автоматів та в теорії нейронних і логічних мереж, домоглася в своєму розвитку значних успіхів й продовжує швидко розвиватися. Найбільш складним завданням в теорії релейних пристроїв є завдання синтезу.

Процес синтезу релейного пристрою здійснюється в кілька послідовних етапів. В якості основних етапів синтезу релейного пристрою прийнято вважати наступні: етап блочного синтезу; етап абстрактного синтезу; етап структурного синтезу; етап комбінаційного синтезу; етап надійнісного синтезу; етап інженерної реалізації та моделювання. Прийнятий поділ, впорядковуючи процес синтезу, дозволяє полегшити вирішення задачі синтезу релейного пристрою.

На першому етапі синтезу здійснюється вироблення і формулювання умов роботи релейного пристрою. Якщо створюваний релейний пристрій являє собою складну систему, то він поділяється на окремі підсистеми або блоки, кожен з яких, в свою чергу при необхідності теж може розглядатися, як система. По відношенню до кожного блоку формулюються умови його функціонування, тобто

визначаються всі його входи і виходи й встановлюється загальна залежність між комбінаціями сигналів, які з'являються на них. Крім того, формуються умови взаємодії окремих блоків один з одним і з об'єктами, з якими пов'язаний створюваний релейний пристрій. На цьому етапі синтезу основну роль, на жаль, грають інтуїтивні прийоми, мистецтво і досвід проектувальника, хоча останнім часом для опису умов роботи релейних пристроїв все більше залучаються формальні методи. Блочна побудова релейного пристрою може передбачатися в зв'язку з необхідністю отримання різних модифікацій або ж у зв'язку з територіальною роз'єднаністю окремих блоків. При цьому, в останньому випадку, допускається деякий зсув поняття щодо блочного подання структури релейного пристрою з його конструктивною блоковою реалізацією в апаратурі. Кожен блок в структурі релейного пристрою працює згідно з визначеними умовами, які визначають алгоритм перетворення інформації цим блоком. Ця обставина викликає необхідність побудови різних формалізованих мов, за допомогою яких однозначно представляються алгоритми функціонування релейних пристроїв. В якості таких мов використовуються: мова регулярних подій, розроблена С.К. Кліні і вдосконалена В.М. Глушковим, мова числення предикатів, мова таблиць включення, мова таблиць переходів, а також ряд інших мов. Перехід до використання зазначених мов здійснюється вже на другому етапі синтезу. Кінцевим результатом цього етапу є завдання релейного пристрою одним з прийнятих способів, до яких відносяться таблиці переходів і виходів, таблиці переходів, матриці переходів, таблиці включень.

На етапі абстрактного синтезу визначається загальне число можливих станів, в яких можуть знаходитися входи і виходи релейного пристрою, число його різних внутрішніх станів, встановлюється залежність між зміною внутрішніх станів релейного пристрою і станами його виходів при різних станах його входів. На етапі абстрактного синтезу в залежності від прийнятого способу початкового уявлення алгоритму роботи релейного пристрою здійснюється багаторазовий перехід від однієї мови на іншу.

Так, під час запису умов роботи на мові регулярних подій за допомогою спеціальної регулярної процедури здійснюється перехід до мови таблиць переходів і виходів.

На першій стадії другого етапу синтезу здійснюється перехід від формулювання умов природною мовою до їх формулювання на якійсь формальній мові. Вибір формальної мови залежить від характеру поставленого завдання. Мова таблиць включень придатна для конкретних послідовностей, коли кількість їх невелика, мова таблиць переходів є більш загальною, тобто придатною як для конкретних послідовностей, так і для послідовностей загального типу, але ця мова має той недолік, що початковий етап їх побудови, що полягає у визначенні необхідного числа стійких станів внутрішніх елементів релейного пристрою для кожного з можливих станів входів, є інтуїтивним. Нескінченні послідовності описуються на мові регулярних подій. Ще більш широкою є мова логіки предикатів. Найбільш простими, а тому і найбільш широко використовуваними в інженерній практиці є мова таблиць включення і мова таблиць переходів, їх відносна простота спокутає властиві їм недоліки. На одній зі стадій виконання другого етапу синтезу вирішується завдання мінімізації числа внутрішніх станів релейного пристрою. Рішенням задачі мінімізації числа внутрішніх станів релейного пристрою і закінчується другий етап синтезу.

Третій етап, званий етапом структурного синтезу, включає в себе ряд послідовних кроків, які забезпечують отримання канонічних рівнянь. Найбільш суттєвим завданням на даному етапі синтезу є завдання розміщення або кодування станів, тобто зіставлення кожному з станів таблиці переходів певної комбінації станів внутрішніх елементів. У разі, якщо результатом другого етапу синтезу стало отримання таблиць переходів і виходів, то кодуванню передую вибір елементів пам'яті (елементарних автоматів).

При виконанні синтезу за методом Хафмана завдання вибору елементів пам'яті не виникає. Складніше вирішується питання кодування внутрішніх станів релейного пристрою. Ця складність обумовлена тим, що з одного боку кодування має забезпечити отримання найбільш простої структури, а з іншого боку - виключити можливість виникнення критичних станів. Після виконання операцій кодування таблиці переходів перетворюються по суті в таблиці станів, які зазвичай створюються для синтезу автоматів без пам'яті. На підставі цих таблиць легко виходять канонічні рівняння. Ці рівняння є або булевими функціями або потенційно імпульсними формами, що залежить від типу автомата.

Четвертий етап, етап комбінаційного синтезу. На цьому етапі вирішується питання на яких елементах буде реалізований автомат, вибирається остаточно його структура і будується його принципова схема. Етап комбінаційного синтезу найбільш розвинений. Розроблено методи реалізації автоматів як на контактних, так і на безконтактних елементах. На цьому етапі надзвичайно велике місце займають питання мінімізації булевих функцій.

Нарешті, п'ятий етап, який названий етапом надійнісного синтезу передбачає проведення перетворення і доповнення схем, отриманих на попередньому етапі, з метою забезпечення надійності їх функціонування. Зокрема рішення цієї задачі досягається за рахунок введення структурної надлишковості. Виділення етапу надійнісного синтезу в якості самостійного підкреслює велику важливість проблеми надійності релейних пристроїв.

Останній етап синтезу, названий умовно етапом інженерної реалізації передбачає проведення електричних та інших розрахунків елементів схеми, а також проведення моделювання її з метою перевірки працездатності.

Поділ процесу синтезу на етапи, полегшуючи процес побудови релейних пристроїв, може в ряді випадків приводити до ускладнення їх структури, тому з метою зменшення цього недоліку на кожному з етапів синтезу прагнуть враховувати його вплив на наступні етапи. Оскільки СУПП є системою, яка взаємодіє з людиною - оператором, то стан проблеми її побудови не обмежується тільки питаннями синтезу структури, так як сама ця структура залежить від характеру її зв'язків з оператором. Це означає, що в загальному плані однієї зі сторін рішення задачі побудови системи СУПП є розгляд питань співвідношення людини і машини в системі.

ПІДХОДИ ДО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У ВИРОБНИЦТВІ КОМПОНЕНТІВ ДЕТОНУЮЧОГО СКЛАДУ

Т.М. Шевцова, А.А. Дегтяр, В.І. Серeda

Шосткинський інститут Сумського державного університету
t.shevtsova@ishostka.sumdu.edu.ua

В даний час виробництво детонуючих складів є важливою галуззю оборонної промисловості. Детонуючий склад – порошкоподібна механічна суміш, що складається з перекристалізованого октогена та алюмінієвої пудри, застосовується у виготовленні неелектричних систем ініціювання, для хвилеводів системи «Імпульс».

Октоген - потужна вибухова речовина. Володіючи високою щільністю та кращою термічною стійкістю в порівнянні з гексогеном, октоген в даний час все більше застосовується знаходить у виготовленні термостійких боеприпасів.

Відомо кілька методів отримання октогена. В даний час октоген отримують уксусно-ангідридом способом шляхом нітролізу уротропіну з подальшим очищенням октогена-сирцю від домішок і перекристалізацією з ацетону.

За умови нітролізу уротропіну поряд з октогеном, гексогеном утворюються і нестійкі побічні домішки (ряд лінійних нітрамінів з різною довжиною ланцюга та з різними кінцевими ефірними групами, деякі циклічні та біциклічні нітраміни та ін.), що значно подовжують і ускладнюють ведення технології отримання чистого октогена. Недоліком вказаного способу отримання октогена є багатостадійність, тривалість, трудомісткість операцій, а отже, низька продуктивність процесу і висока собівартість продукту. Тому в даній роботі будемо розглядати метод отримання октогену перекристалізацією з ацетону.

Крім того, сучасний ринок вимагає вдосконалення технологічного процесу виготовлення детонуючого складу та його здешевлення, що, в свою чергу, дозволить знизити витрати на виготовлення різних видів вибухової продукції. Це можливо лише за умови комплексного підходу до автоматизації виробництва та модернізації робочих місць.

Для реалізації цього завдання проведемо удосконалення виробництва в напрямку збільшення кількості автоматизованих етапів виробництва та збільшення точності регулювання важливих технологічних параметрів за рахунок впровадження промислових роботів маніпуляторів і побудови системи управління на основі програмованого логічного контролера.

Для поліпшення якості продукції, що випускається, необхідно підвищення точності регулювання технологічних параметрів. Основним показником, що відповідає за якість продукту, є температура в баці-кристалізаторі. Для підвищення точності регулювання необхідно отримати математичний опис об'єкта управління (експериментальним методом) і розрахувати установки регулятора (методом незатухаючих коливань (Циглера-Ніколса), методом ЛАЧХ (Солодовнікова)).

Перекристалізація продукту проходить в баці-кристалізаторі, що представляє собою закрити ємність з сорочкою для обігріву та оснащений лопатевою мішалкою, що здійснює 200 - 250 об / хв.

Підігрів розчину та підтримка температури в баці на рівні 25-45 ° С в процесі перекристалізації здійснюється парою, яка надходить в сорочку для обігріву. Температура пари на вході в апарат повинна знаходитись в межах від 50 до 90 ° С.

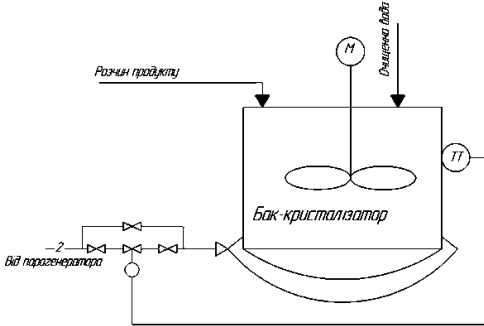


Рисунок 1 - Контур регулювання температури в баці-кристалізаторі.

В результаті проведення синтезу необхідно отримати перехідний процес з такими показниками:

- час перехідного процесу - $t_p \leq 20$ хв;
- перерегулювання - $\sigma \leq 25\%$.

Математична модель об'єкта управління у вигляді кривої розгону представлена на рисунку 2.

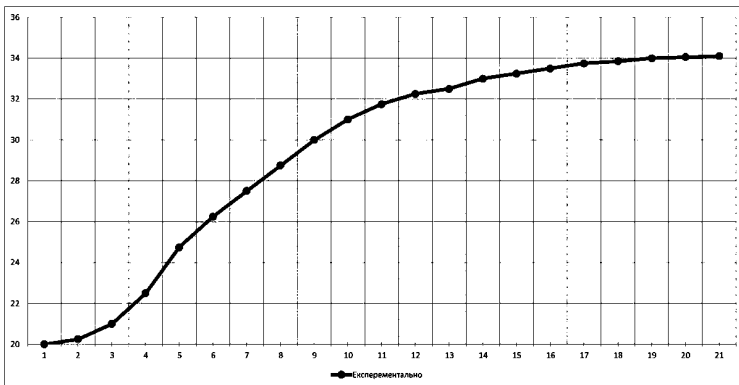


Рисунок 2 - Крива розгону об'єкта управління

Отримаємо передавальну функцію об'єкта управління на основі апроксимації "кривої розгону" з використанням методу Сімою. В ході проведених розрахунків виведена функція наступного виду:

$$W(s) = \frac{14,1}{14,462s^3 + 20,153s^2 + 8,21s + 1}$$

Перехідна характеристика побудована за умови використання передавальної функції та нормована крива розгону зображена на рисунку 3.

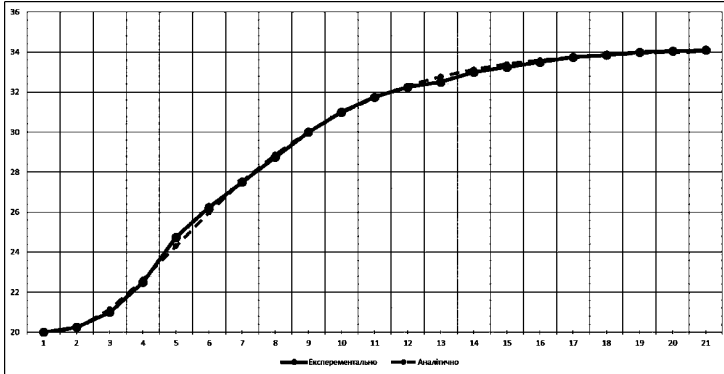


Рисунок 3 – Зіставлення перехідної характеристики, побудована за умови використання передавальної функції, та нормованої кривої розгону

З рисунка 3 видно, що криві розгону отримана експериментально і аналітично збігаються, їх можна вважати однаковими.

Визначимо параметри типового регулятора за методом незатухаючих коливань (Циглера-Ніколса). Проведемо розрахунок параметрів регулятора, що забезпечують оптимальне, за будь-яким критерієм якості, протікання перехідного процесу в системі.

Структурна схема моделювання в середовищі MatLab (Simulink) системи управління з ПІ-регулятором, настроєним методом незатухаючих коливань (Циглера-Ніколса) представлена на рисунку 2.

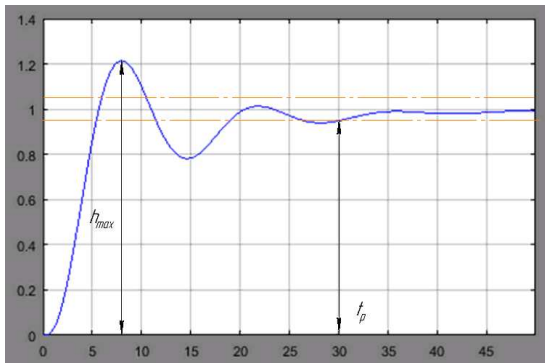


Рисунок 2 - Перехідний процес за умови розрахункових налаштувань

Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники:

- час перехідного процесу: $t_p = 30$ хв;
- перерегулювання: $\sigma = 21\%$.

Оскільки час перехідного процесу не відповідає заданим критеріям якості технологічного процесу, в пожежо-вибухонебезпечному виробництві може

привести до виникнення аварійної ситуації. Розрахуємо регулятор методом Солодовнікова.

Використовуючи вираз передавальної функції бажаної (скоригованої) розімкнутої системи, отримуємо перехідну характеристику замкнутої системи, яка представлена на рисунку 3.

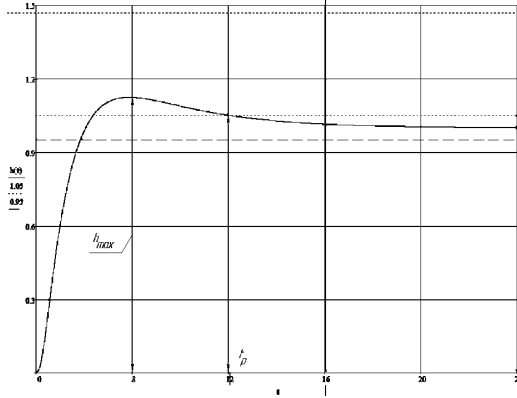


Рисунок 3 - Перехідний процес в скоригованій системі
 Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:
 - час перехідного процесу: $t_p = 12$ хв;
 - перерегулювання: $\sigma = 15\%$.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики показників якості системи

Метод синтезу	Показники якості	Одиниця виміру	Числові значення
Солодовнікова	перерегулювання	$\sigma, \%$	15
	час перехідного процесу	$t_p, \text{хв}$	12
Незатухаючих коливачів	перерегулювання	$\sigma, \%$	21
	час перехідного процесу	$t_p, \text{хв}$	30

Порівнявши характеристики показників якості, наведених у таблиці 1 можна зробити висновок, що параметри регулятора розраховані методом Солодовнікова, на відміну від розрахунку методом незатухаючих коливачів має показники, які задовольняють якість перехідного процесу. Тому в якості регулятора виберемо передавальну функцію регулятора отриману методом Логарифмічно-амплітуда-частотних характеристик.

Список літературних джерел:

1. Технологический регламент «Детонирующего состава». Шостка - ШКЗ «Импульс» 2003г.
2. Клюев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. Под. ред. А.С.Клюев. - М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.

POLARIZATION CONVERSION DEVICE BASED ON A WAVEGUIDE WITH PINS

A.V. Bulashenko¹, S.I. Pilyay¹, V.Y. Dmytrenko¹, O.V. Bulashenko²

¹Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

²Ivan Kozhedub Shostka Professional College of Sumy State University
a.bulashenko@kpi.ua, crosspolar@ukr.net, dmitrenkovitalina6@gmail.com,
ol_bulashenko@ukr.net

Today, one of the key elements of antenna systems engaged in polarization signal processing are polarization devices. These devices are used to convert the types of polarization. The following designs of polarizers in the form of waveguide structures with posts [1-3], irises [4-8], ridged structures [9], polarizers with thin metal septum [10-13] are known. The designs of polarizing devices in the form of slots [14-16] are complex in design. Phase shifters and filters also had such constructions [17-20]. In addition, polarizers are built directly into antennas [21-23].

The 3-D model of the polarizer device is present in Fig. 1.

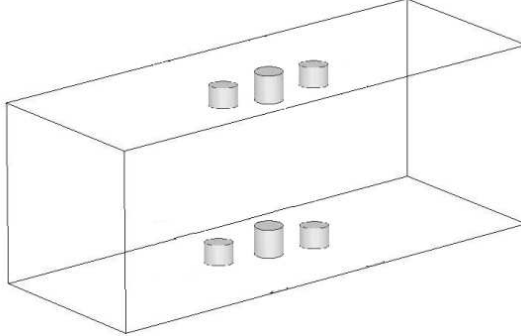


Figure. 1. 3-D model of the polarizer device

The design of the waveguide polarizer is shown in Fig. 2. The structure contains two posts of height h_1 and diameter d , one post of height h_2 and diameter d , the distance between the posts is l . Moreover, the height of the central post h_2 is greater than the height of the other posts h_1 .

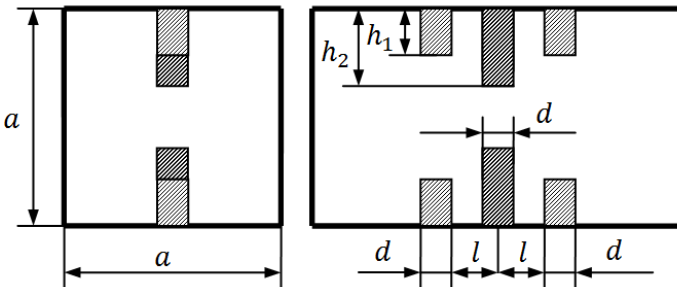


Figure. 2. Polarizer design based on a waveguide with three posts

The presence of a cylindrical post allows you to adjust the characteristics of the device by changing the length of the post.

The characteristics of the polarizer are as follows: phase, matching and polarization [24-26]. Phase and matching are the differential phase shift and the voltage stand wave ratio (VSWR). The polarizing characteristics of a polarizer are the axial ratio and the crosspolar discrimination (XPD).

We form general wave matrices on the basis of the theory of microwave, having broken the circuit of the polarizer into smaller circuits

$$[S_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} S_{\Sigma 11} & S_{\Sigma 12} \\ S_{\Sigma 21} & S_{\Sigma 22} \end{bmatrix} = \frac{1}{T_{\Sigma 11}} \begin{bmatrix} T_{\Sigma 21} & |T| \\ 1 & -T_{\Sigma 12} \end{bmatrix},$$

$$[T_{\Sigma}] = [T_1] \cdot [T_2] \cdot [T_3] \cdot [T_4] \cdot [T_5] = \begin{bmatrix} T_{\Sigma 11} & T_{\Sigma 12} \\ T_{\Sigma 21} & T_{\Sigma 22} \end{bmatrix},$$

$$[T_2] = [T_4] = \begin{bmatrix} e^{j\theta} & 0 \\ 0 & e^{-j\theta} \end{bmatrix},$$

$$[T_1] = [T_5] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 + Y_{p1} & -Y_{p1} \\ -Y_{p1} & 2 - Y_{p1} \end{bmatrix},$$

$$[T_3] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 + Y_{p2} & -Y_{p2} \\ -Y_{p2} & 2 - Y_{p2} \end{bmatrix},$$

where Y_p is the conductivity of the post, θ is electric line length.

Differential phase shift is determined by the expression

$$\Delta\varphi = \varphi_{\Sigma 21,L} - \beta l.$$

VSWR is determined by the formula

$$VSWR = [1 + |S_{11}|] / [1 - |S_{11}|].$$

The axial ratio is determined

$$r = 10 \lg \left(\frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(\Delta\varphi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(\Delta\varphi)}} \right),$$

where $A = 1$, $B = |S_{21}|$.

XPD is calculated by the formula

$$XPD = 20 \lg \left[(10^{0.05r} + 1) / (10^{0.05r} - 1) \right].$$

Fig. 3 shows the matching characteristics of the mathematical model, and Fig. 4 shows the polarization characteristics of this model.

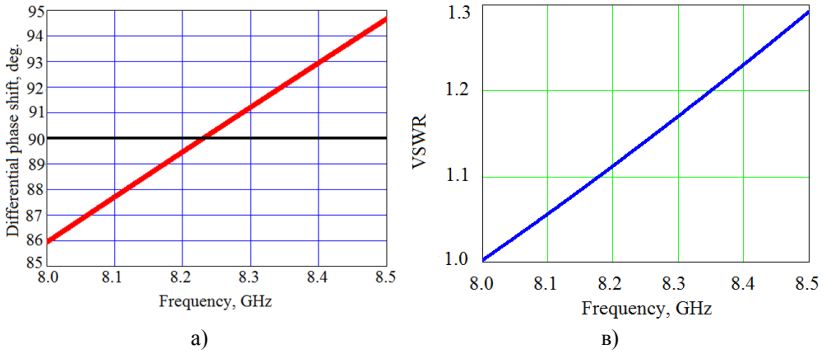


Figure 3. Matching characteristics of the mathematical model

Fig. 3a demonstrates that the maximum deviation of the differential phase shift from 90° is 4.5° . Fig. 3 б shows that the maximum value of VSWR is 1.28.

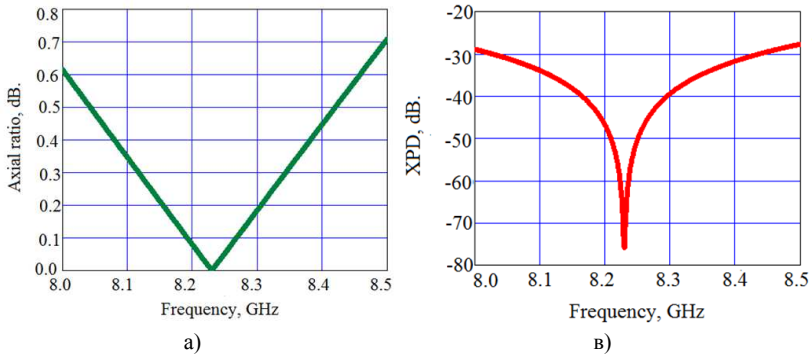


Figure 4. Polarization characteristics of the mathematical model

Fig. 4 a contains the dependence of the axial ratio on the frequency, and Fig. 4 б contains the dependence of the XPD on the frequency. From fig. 4 we see that at a frequency of 8.5 GHz the axial ratio acquires its maximum value of 0.71 dB. Also at this frequency, the XPD acquires a maximum value of 29 dB.

Fig. 5 shows the matching characteristics of the polarizer. Fig. 5 a contains the dependence of the differential phase shift on the frequency, and Fig. 5 б contains the dependence of VSWR on the frequency in the operating frequency range from 8.0 GHz to 8.5 GHz of the studied prototype.

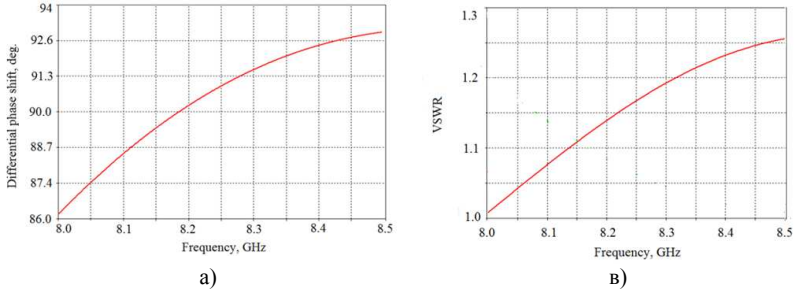


Figure 5. Matching characteristics of the prototype

Fig. 5a demonstrates that the maximum deviation of the differential phase shift from 90° is 4.2° . Fig. 5 b shows that the maximum value of VSWR is 1.26.

Fig. 6 shows the polarization characteristics of the device in the operating frequency range from 8.0 GHz to 8.5 GHz. Fig. 6 a contains the dependence of the axial ratio on the frequency, and Fig. 6 b contains the dependence of the XPD on the frequency. The figure shows that at a frequency of 8.0 GHz, the axial ratio acquires its maximum value of 0.55 dB. Also at this frequency, the XPD acquires a maximum value of 31 dB.

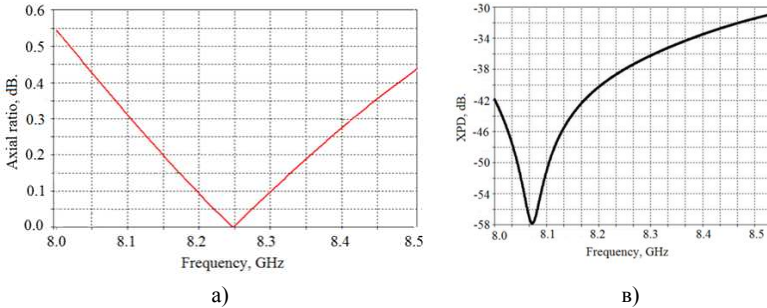


Figure 5. Polarization characteristics of the prototype

Such characteristics provide the optimal design of the polarizer, which are presented in table 1.

Table 1. Optimal characteristics of the polarizer

a, mm	l, mm	h_1, mm	h_2, mm	d, mm
30.0	2.92	2.0	4.28	2.0

As you can see, the matching and polarization characteristics of the mathematical model and prototype simulated in CST Microwave Studio coincide with the corresponding accuracy.

Thus, the developed waveguide polarizer with three posts has the following characteristics. The range of change of the differential phase shift is $90^\circ \pm 4.2^\circ$. The polarizer provides VSWR less than 1.26. Axial ratio is less than 0.55 dB. XPD is higher than 31 dB.

Перелік посилань

1. Zhu Q.C. Reactance of posts in circular waveguide / Q.C. Zhu, A.G. Williamson, M.J. Neve// *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2007. – Vol. 55, No. 8. – pp. 1685-1688. DOI: [10.1109/TMTT.2007.901605](https://doi.org/10.1109/TMTT.2007.901605).
2. Polishchuk A. Compact posts-based waveguide polarizer for satellite communications and radar systems / A. Polishchuk, A. Bulashenko, S. Pilytay, O. Bulashenko, I. Zabegalov. // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 78–83.
3. Pilytay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable post / S. Pilytay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // *Path of science*. – 2020. – Vol. 6, no. 11. – pp. 5001-5009. DOI: [10.22178/pos.64-6](https://doi.org/10.22178/pos.64-6).
4. Pilytay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Pilytay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. –2020.– Vol. 12, no. 5. – pp. 05024-1-5. DOI: [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
5. Pilytay S.I. Compact polarizers for satellite information systems / S.I. Pilytay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – pp. 557-562. DOI: [10.1109/PICST51311.2020.9467889](https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9467889).
6. Pilytay S. Comparative analysis of compact satellite polarizers based on a guide with diaphragms / S. Pilytay, A. Bulashenko, I. Fesyuk, O. Bulashenko // *Advanced Electromagnetics*. – 2021. – Vol. 10, no. 2. – p. 44–55. DOI: [10.7716/aem.v10i2.1713](https://doi.org/10.7716/aem.v10i2.1713).
7. Pilytay S. Development and optimization of microwave guide polarizers using equivalent network method / S. Pilytay, A. Bulashenko, V. Shuliak // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. – 2021. – Vol. 35, 2021. DOI: [10.1080/09205071.2021.1980913](https://doi.org/10.1080/09205071.2021.1980913).
8. Dubrovka F.F. Analytical and numerical method of constructive synthesis of optimal polarizers based on three irises in square waveguide / F.F. Dubrovka, A.V. Bulashenko, A.M. Kuprii, S.I. Pilytay // *Radioelectronics and Communications Systems*. – 2021. – Vol. 64, no 4. – pp. 204–215. DOI: [10.3103/S073527272104004X](https://doi.org/10.3103/S073527272104004X).
9. Tribak A. Ultra broadband low axial ratio corrugated quad-ridger polarizer / A.Tribak, A. Mediavilla, et al. // *European Microwave Conferences*, Rome, Italy. – October 2009. – pp. 284–287. DOI: <http://doi.org/10.23919/EUMC.2009.5295927>.
10. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths / F.F. Dubrovka, S.I. Pilytay, et al. // *Radioelectronics and Communications Systems* – 2020. – Vol. 63, no. 1. – pp. 15-23. <http://doi.org/10.3103/I07352720010021>.
11. Dubrovka F. Compact X-band stepped-thickness septum polarizer / F. Dubrovka, S. Pilytay, O. Sushko, et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, Ukraine, September 2020, pp. 135–138. DOI: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252583](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252583).
12. Dubrovka F. Circularly polarised X-band H11- and H21-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station / F. Dubrovka et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, Ukraine, September 2020, pp. 196–202. DOI: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252600](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252600).
13. Deutschmann B. Broadband septum polarizer with triangular common port / B. Deutschmann, A.F. Jacob // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2020. – Vol. 68, No. 2. – pp. 693-700. DOI: [10.1109/TMTT.2019.2951138](https://doi.org/10.1109/TMTT.2019.2951138).
14. Kirilenko, A.A. Application of the generalized scattering matrix technique for the dispersion analysis of 3D slow-wave structures / A.A. Kirilenko, S.L. Senkevich,

S.O. Steshenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2015. – Vol. 74, no. 17. – pp. 1497-1511, 2015. DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v74.i17.10](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v74.i17.10).

15. Kulik D.Yu. Compact-size polarization rotators on the basis of irises with rectangular slots / D.Yu. Kulik,, A.O. Perov, N.G. Kolmakova // *Telecommun. and Radio Engineering*. – 2016. – Vol. 75, no. 10. – pp. 857-865, 2016. DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v75.i10.10](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v75.i10.10).

16. Kirilenko A.A. A tunable compact polarizer in a circular waveguide / A.A. Kirilenko, S.O. Steshenko, et al. // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2019. – Vol. 67, No. 2. – pp. 592-596. DOI: [10.1109/TMTT.2018.2881089](https://doi.org/10.1109/TMTT.2018.2881089).

17. Qiu L.-L. Dual-band filtering differential phase shifter using cascaded wideband phase shifter and bandstop network with two same phase shifts / L.-L. Qiu and L. Zhu // *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. – 2021. – Vol. 31, no. 3. – pp. 261–264. DOI: [10.1109/LMWC.2020.3046247](https://doi.org/10.1109/LMWC.2020.3046247).

18. Omelianenko M.Y. Waveguide planar E-plane filter with ultra-wide stopband / M.Y. Omelianenko et al.// *Radioelectron. Commun. Syst.* – 2020. – Vol. 63, no. 12. pp. 650-655, 2020. DOI: [10.3103/S0735272720120031](https://doi.org/10.3103/S0735272720120031).

19. Omelianenko M.Y. Stopband characteristics improvement of waveguide planar E-plane Filters / M.Y. Omelianenko et al.// *Radioelectron. Commun. Syst.* – 2021. – Vol. 64, no. 2, pp. 53-63. DOI: [10.3103/S0735272721020011](https://doi.org/10.3103/S0735272721020011).

20. Omelianenko M.Y. E-plane stepped-impedance bandpass filter with wide stopband / M.Y. Omelianenko and T.V. Romanenko // *IEEE 40th Int. Conf. on Electronics and Nano technology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, pp. 838-841, 2020. DOI: [10.1109/ELNANO50318.2020.9088888](https://doi.org/10.1109/ELNANO50318.2020.9088888).

21. Zabegalov I.V. Waveguide slot feed section for antennas with circular polarization / I. V. Zabegalov, V.V. Shuliak, S.I. Piltiyai, A.V. Bulashenko, O. V. Bulashenko // *Вісник ВПІ*. –2021. – Vol. 3. – pp. 105–112. DOI: [10.31649/1997-9266-2021-156-3-105-112](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-156-3-105-112).

22. Zabegalov I.V. Waveguide feed network for horn antenna with circular polarization / I.V. Zabegalov, Y.E. Sharpan, I.I. Dikhtyaruk, S.I. Piltiyay, A.V. Bulashenko // *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 99–113. DOI: [10.24025/2306-4412.1.2021.229924](https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2021.229924).

23. Piltiyay S. I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S. I. Piltiyay et al. // *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu*. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14-26, 2020. DOI: [10.24025/2306-4412.4.2020.217129](https://doi.org/10.24025/2306-4412.4.2020.217129).

24. Piltiyay S. Analytical modeling and optimization of new Ku-band tunable square waveguide iris-post polarizer / S.I. Piltiyay et al. // *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*. – 2021. – Vol. 34, no. 5. – pp. 1–27. DOI: [10.1002/JNM.2890](https://doi.org/10.1002/JNM.2890).

25. Bulashenko A.V. Simulation of compact polarizers for satellite telecommunication systems with the account of thickness of irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltiyay, I.V. Demchenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–15. DOI: [10.20535/kpissn.2021.1.231202](https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.1.231202).

26. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltiyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // *Science-Based Technologies*. – 2021. – Vol. 49, no. 1. – pp. 39–48. DOI: [10.18372/2310-5461.49.15290](https://doi.org/10.18372/2310-5461.49.15290).

ADJUSTABLE POLARIZATION CONVERSION DEVICE FOR FSS-RANGE
A.V. Bulashenko¹, S.I. Pilyay¹, M.H. Kot¹, Y.I. Kalinichenko¹
O.V. Bulashenko², I. V. Zabegalov²

¹Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

²Ivan Kozhedub Shostka Professional College of Sumy State University

crosspolar@ukr.net, a.bulashenko@kpi.ua, rabbit0165@gmail.com, kaliza@ukr.net,

ol_bulashenko@ukr.net, zabgarik@ukr.net

Every year the need for the use of polarizing devices in modern telecommunications systems increases. Polarization signal processing used in satellite and telecommunication information processing systems is also becoming widespread [1-25]. Such devices are polarizers that have different designs, but they have one common function - the transformation of the types of polarization. The simplest and most popular are rectangular waveguides containing diaphragms and pins as reactive inhomogeneities [26-51], which are widely used in the Ku range, ie for satellite communication. In general, the Ku band can be divided into three subbands: 10.7-11.7 GHz; 11.7-12.5 GHz; 12.5-12.8 GHz, but in this paper the results for the whole band will be presented, without division into subbands. The polarizer contains reactive elements - diaphragms, which act as a reflective element for further coordination [52-66]. However, if the disadvantage of a polarizer with diaphragms only is that there is no further adjustment of the characteristics depending on the needs before use, ie the characteristics are static after manufacture, this is why we should still use the pins that help us with this dilemma.

The aim of the work is to study the main characteristics of the device for converting the polarization of the FSS range with the possibility of adjustment.

Тривимірний модель та внутрішня конструкція хвилевідного пристрою перетворення поляризації із чотирма діафрагмами та двома штирями сумарно, по 2 діафрагми та 1 штирю, що розташовані симетрично, зображені нижче. (рис. 1 та рис. 2). Висота двох діафрагм рівна h , та товщина w , два штиря висотою hp та діаметру d , відстань між діафрагмою та штирем становить l .

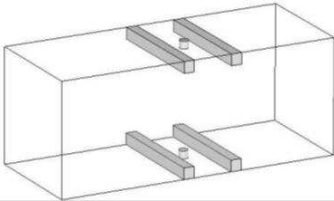


Fig. 1. Three-dimensional model and design of the polarizer

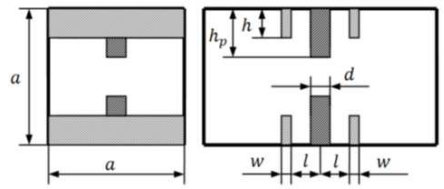


Fig. 2. The internal design of the polarizer

This design provides the basic polarization characteristics. The cylindrical pin provides adjustment of characteristics due to change of height hp

Before proceeding to the matching characteristics, it should be noted that we used the method of wave matrices to obtain the basic parameters of the wave matrix scattering:

$$[S_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} S_{11,\Sigma} & S_{12,\Sigma} \\ S_{21,\Sigma} & S_{22,\Sigma} \end{bmatrix}$$

So it is worth moving on to defining the characteristics. Let's start with the differential phase shift:

$$\Delta\varphi = \varphi_{21\Sigma L} - \varphi_{21\Sigma C}$$

VSWR horizontal and vertical polarization is determined by the formula:

$$VSWR = \left[1 + |S_{11}| \right] / \left[1 - |S_{11}| \right].$$

The coefficient of ellipticity r , which should be prematurely transferred to a linear scale:

$$r = 10 \lg \frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\varphi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(2\Delta\varphi)}}$$

The cross-polarization isolation (CPI) is determined by the formula:

$$CPI \text{ (dB)} = 20 \lg \left(\frac{r+1}{r-1} \right).$$

Below are the results of the study, namely the dependence of the characteristics on the frequency for our frequency range 10.7 GHz - 11.5 GHz, which were obtained in a specialized program using computer simulation.

In Fig. 3 presents the graphical dependence of the VSWR of the developed polarizer for horizontal and vertical polarization. As can be seen, the maximum level of VSWR for both linear polarizations is 2.0 and is reached at a frequency of 11.5 GHz.

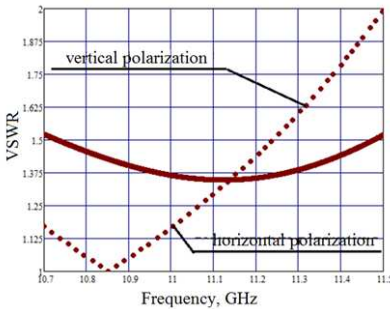


Fig. 3. Dependence of VSWR on frequency for both polarizations

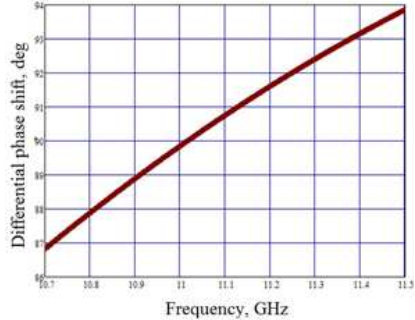


Fig. 4. Dependence of differential phase shift on frequency

In fig. 4 shows the dependence of the differential phase shift of the polarizer in the frequency range 10.7-11.5 GHz. As can be seen, the differential phase shift is equal to 90 ° at a frequency of 11.02 GHz. In the operating range, the differential phase shift of the polarizer varies from 87.1 ° to 93.9 °. The maximum deviation from 90 ° is 3.9 ° and is observed at 11.5 GHz.

The dependence of the ellipticity coefficient and CPI of the polarizer on the frequency in the operating frequency range can be seen in Fig. 5 and fig. 6 respectively. In fig. 5 you can see that the maximum value is 1.10 dB.

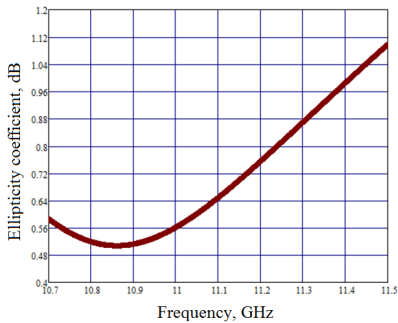


Fig. 5. Dependence of the ellipticity coefficient on frequency

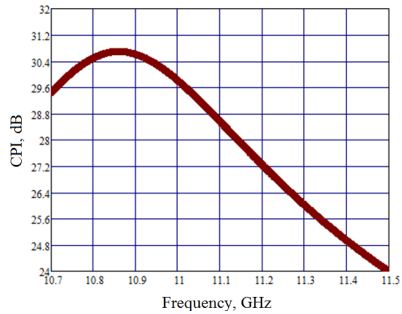


Fig. 6. Dependence of CPI on frequency

From fig. 6 we see that the maximum value of CPI is 31 dB. It should be noted that in the range of 10.7-11.5 GHz CPI takes values of 29.6 dB and 24 dB, respectively

Therefore, the study designed a polarization conversion device with diaphragms and pins for satellite systems in the range of 10.7-11.5 GHz, which showed the performance characteristics: VSWR, differential phase shift, ellipticity coefficient and CPI, which actually meet the requirements of modern satellite systems.

References

1. Choi J. Adaptive 5G architecture for an mmWave antenna front-end package consisting of tunable matching network and surface-mount technology / J. Choi, D. Choi, J. Lee, W. Hwang, W. Hong // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 10, No. 12. – pp. 2037-2046. DOI: [10.1109/TCPMT.2020.3034586](https://doi.org/10.1109/TCPMT.2020.3034586).
2. Pilyay S. Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems / S. Pilyay, A. Bulashenko, I. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 625–630. DOI: [10.1109/PICST51311.2020.9468073](https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9468073).
3. Bulashenko A.V. Data upload system using D2D technology in the unlicensed frequency range as part of the 5G communication system / A.V. Bulashenko // Technical Engineering. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 103–107. DOI: [10.26642/ten-2020-2\(86\)-103-107](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-103-107).
4. Bulashenko A.V. Combined criterion for the choice of routing based on D2D technology / A.V. Bulashenko // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–13. DOI: [10.15588/1607-3274-2021-1-1](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-1).
5. Bulashenko A.V. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. DOI: [10.20535/RADAP.2020.81.21-29](https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.81.21-29).
6. Bulashenko A. Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G networks / A. Bulashenko, S. Pilyay, and I. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC

- S&T), Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 537–542. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468035.
7. Bulashenko A.V. Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks / A.V. Bulashenko // KPI Science news. – 2020. – Vol. 3. – pp. 7–13. DOI: [10.20535/kpi-sn.2020.3.203863](https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2020.3.203863).
 8. Bulashenko A. New traffic model of M2M Technology in 5G wireless sensor networks / A. Bulashenko et al. // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 125–131. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349305.
 9. Myronchuk A.Y. Channel frequency response estimation method based on pilot's filtration and extrapolation / A.Y. Myronchuk, O.O. Shpylka, S.Y. Zhuk // *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36–42. DOI: [10.20535/RADAP.2019.78.36-42](https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.78.36-42).
 10. Myronchuk O. Two-stage channel frequency response estimation in OFDM systems / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // *Path of Science*. – 2020. – Vol. 6, No. 2. – pp. 1001–1007. DOI: [10.22178/pos.55-1](https://doi.org/10.22178/pos.55-1).
 11. Myronchuk O. Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*, 25–29 Feb. 2020, Lviv-Slavske, Ukraine. DOI: [10.1109/TCSET49122.2020.235385](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235385).
 12. Myronchuk O.Y. Two-Stage Method for Joint Estimation of Information Symbols and Channel Frequency Response in OFDM Communication Systems / O.Y. Myronchuk, A.A. Shpylka, S.Y. Zhuk // *Radioelectronics Communications System*. – 2020. – Vol. 63. – pp. 418–429. DOI: [10.3103/S073527272008004X](https://doi.org/10.3103/S073527272008004X).
 13. Мирончук О.Ю. Застосування нейронної мережі для оцінювання частотної характеристики багатопроміневого каналу в системах зв'язку з технологією OFDM / О.Ю. Мирончук, О.О. Шпилька, Д.Д. Струков, А.А. Петровський, А.О. Герасименко // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2021. – Вип. 4. – pp. 99–104. DOI: [10.31649/1997-9266-2021-157-4-99-104](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-99-104).
 14. Santamaria L. Electronically pattern reconfigurable antenna for IoT applications / L. Santamaria, F. Ferrero, R. Staraj, L. Lizzi // *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 546–554. DOI: [10.1109/OJAP.2021.3073104](https://doi.org/10.1109/OJAP.2021.3073104).
 15. Stutzman W.L. *Polarization in Electromagnetic Systems*, Artech House, Norwood 2018, 352 p.
 16. Pilyay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable post / S. Pilyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // *Path of science*. – 2020. – Vol. 6, no. 11. – pp. 5001–5009. DOI: [10.22178/pos.64-6](https://doi.org/10.22178/pos.64-6).
 17. Zabegalov I.V. Waveguide slot feed section for antennas with circular polarization / I. V. Zabegalov, V.V. Shuliak, S.I. Piltai, A.V. Bulashenko, O. V. Bulashenko // *Вісник ВПІ*. – 2021. – Vol. 3. – pp. 105–112. DOI: [10.31649/1997-9266-2021-156-3-105-112](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-156-3-105-112).
 18. Zabegalov I.V. Waveguide feed network for horn antenna with circular polarization / I.V. Zabegalov, Y.E. Sharpan, I.I. Dikhtyaruk, S.I. Pilyay, A.V. Bulashenko // *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 99–113. DOI: [10.24025/2306-4412.1.2021.229924](https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2021.229924).

19. Zhuk S.Ya. Synthesis of extremely wide stopband E-plane bandpass filters / S.Ya. Zhuk, M.Y. Omelianenko, T.V. Romanenko, O.V. Tureeva // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 84. – pp. 22-29. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.22-29.
20. Омеляненко М.Ю. Волноводно-планарные полосно-пропускающие фильтры с широкой полосой заграждения / М.Ю. Омеляненко, Т.В. Романенко // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 80. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.80.5-13.
21. Bulashenko A. Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers / A. Bulashenko, S. Piltyay, Y. Kalinichenko, and O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 330–336. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.
22. Zhu Q.C. Reactance of posts in circular waveguide / Q.C. Zhu, A.G. Williamson, M.J. Neve // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2007. – Vol. 55, No. 8. – pp. 1685-1688. DOI: [10.1109/TMTT.2007.901605](https://doi.org/10.1109/TMTT.2007.901605).
23. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kushnir H.S., Bulashenko O.V. // *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. – 2020. – Vol. 5, pp. 97–104. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-152-5-97-104.
24. Polishchuk A. Compact posts-based waveguide polarizer for satellite communications and radar systems / A. Polishchuk, A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bulashenko, I. Zabegalov. // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 78–83.
25. Piltyay S.I. Compact polarizers for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – pp. 557-562. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467889.
26. Piltyay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 5. – pp. 05024-1-5. DOI: [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
27. Piltyay S.I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14–26. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
28. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // *Science-Based Technologies*. – 2021. – Vol. 49, no. 1. – pp. 39–48. DOI: 10.18372/2310-5461.49.15290.
29. Bulashenko A.V. Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *Science-Based Technologies*. – 2020. – Vol. 47, no. 3. – pp. 287–297. DOI: 10.18372/2310-5461.47.14878.
30. Piltyay S.I. Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems / S. I. Piltyay, O. Yu. Sushko, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 19. – pp. 1673–1690, 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.

31. Piltyay S. Comparative analysis of compact satellite polarizers based on a guide with diaphragms / S. Piltyay, A. Bulashenko, I. Fesyuk, O. Bulashenko // *Advanced Electromagnetics*. – 2021. – Vol. 10, no. 2. – p. 44–55. DOI: 10.7716/aem.v10i2.1713.
32. Piltyay S.I. Compact polarization converter for satellite antenna systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Fesyuk, O.V. Bulashenko // *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 86–98. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.227633.
33. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer for radar and satellite systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, I.V. Zabegalov // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparatobuduvannia*. – 2021. – Vol. 86. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.86.5-13.
34. Bulashenko A.V. Tunable polarizers for X-band radar and telecommunication systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 7–15. DOI: 10.20535/kpissn.2021.2.236953.
35. Bulashenko A.V. Tunable square waveguide polarizer with irises and posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kalinichenko Y.I., Bulashenko O.V. // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 108–116. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.
36. Piltyay S. Analytical modeling and optimization of new Ku-band tunable square waveguide iris-post polarizer / S. Piltyay, A. Bulashenko, O. Sushko, O. Bulashenko, I. Demchenko // *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*. – 2021. – Vol. 34, no. 5. – pp. 1–27. DOI: 10.1002/JNM.2890
37. Piltyay S. New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT)*, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 342–348. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.
38. Kalinichenko Y. Adjustable iris-post waveguide polarizer for Ku-band satellite uplink systems / Y. Kalinichenko et al // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 40–45.
39. Dubrovka F.F. Eigenmodes of sectoral coaxial ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al. // *Radioelectron. and Commun. Systems*. – 2012. – Vol. 55, no. 6. – pp. 239–247. DOI: 10.3103/S0735272712060015.
40. Dubrovka F.F. Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al., *XI International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. Slavske, Ukraine, February 2012, pp. 191.
41. Dubrovka F.F. Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al. // *Information and telecommunication sciences*. – 2012. – Vol. 1, no. 1. – pp. 48–61. DOI: 10.20535/2411-2976.12014.48-61.
42. Piltyay S.I. Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides / S. I. Piltyay // *14th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET)*, Kyiv, Ukraine, August 2012, pp. 492–495. DOI: 10.1109/MMET.2012.6331195.
43. Deutschmann B. Broadband septum polarizer with triangular common port / B. Deutschmann, A.F. Jacob // *IEEE Transactions on Microwave Theory and*

- Techniques. – 2020. – Vol. 68, No. 2. – pp. 693-700.
DOI: [10.1109/TMTT.2019.2951138](https://doi.org/10.1109/TMTT.2019.2951138).
44. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths / F.F. Dubrovka, S.I. Pilytay, et al. // *Radioelectronics and Communications Systems* – 2020. – Vol. 63, no. 1. – pp. 15-23. <http://doi.org/10.3103/107352720010021>.
 45. Dubrovka F. Compact X-band stepped-thickness septum polarizer / F. Dubrovka, S. Pilytay, O. Sushko, et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, September 2020*, pp. 135–138. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.
 46. Dubrovka F. Circularly polarised X-band H11- and H21-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station / F. Dubrovka et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, September 2020*, pp. 196–202. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252600.
 47. Dubrovka F.F. Analytical and numerical method of constructive synthesis of optimal polarizers based on three irises in square waveguide / F.F. Dubrovka, A.V. Bulashenko, A.M. Kuprii, S.I. Pilytay // *Radioelectronics and Communications Systems*. – 2021. – Vol. 64, no 4. – pp. 204–215. DOI: 10.3103/S073527272104004X.
 48. Pilytay S. I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S. I. Pilytay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 18, pp. 1579–1597, November 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
 49. Bulashenko A. Analytical technique for iris polarizers development / A. Bulashenko, S. Pilytay, and I. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, October 2020*, pp. 593–598. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467981.
 50. Bulashenko A. V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A. V. Bulashenko, S. I. Pilytay, and I. V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1–06026-5, December 2020. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
 51. Bulashenko A. Synthesis of waveguide diaphragm polarizers using wave matrix approach / A. Bulashenko, S. Pilytay, O. Bykovskiy, O. Bulashenko // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021*, pp. 111–116.
 52. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A. V. Bulashenko and S. I. Pilytay // *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparobuduvannia*. – Vol. 83, pp. 17–28. – 2020. DOI: 10.20535/RADAP.2020.83.17-28.
 53. Pilytay S. Development and optimization of microwave guide polarizers using equivalent network method / S. Pilytay, A. Bulashenko, V. Shuliak // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. – 2021. – Vol. 35, 2021. DOI: 10.1080/09205071.2021.1980913.
 54. Pilytay S FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers / S. Pilytay, A. Bulashenko, Y. Herhil, O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020*, pp. 357–363. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.
 55. Pilytay S.I. Numerical performance of FEM and FDTD methods for the simulation of waveguide polarizers / S. I. Pilytay, A. V. Bulashenko, and Y. Y. Herhil / *Visnyk*

- NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, vol. 84, pp. 11–21. March 2021. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.11-21.
56. Kushnir H. Multiple reflections method for diaphragms polarizers development / H. Kushnir et al. // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology, Kharkiv, Ukraine, October 2021.
57. Piltyay S.I. Enhanced C-band coaxial orthomode transducer / S. I. Piltyay // Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparato-buduvannia. – 2014. – Vol. 58. – pp. 27–34, September 2014. DOI: 10.20535/RADAP.2014.58.27-34.
58. Dubrovka F.F. Novel high performance coherent dual-wideband orthomode transducer for coaxial horn feeds / F. F. Dubrovka et al.// XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), Kyiv, Ukraine, May 2017, pp. 277–280. DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972642.
59. Dubrovka F.F. A high performance ultrawideband orthomode transducer and a dual-polarized quad-ridged horn antenna based on it / F. F. Dubrovka et al.// VIII International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), Kyiv, Ukraine, September 2011, pp. 176–178. DOI: 10.1109/ICATT.2011.6170737.
60. Dubrovka F. F. Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 1. Theory / F. F. Dubrovka et al. // Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2013. – Vol. 54. – pp. 13–23. DOI: 10.20535/RADAP.2013.54.13-23.
61. Dubrovka F. F. Eigenmodes analysis of sectoral coaxial ridged waveguides by transverse field-matching technique. Part 2. Numerical results / F. F. Dubrovka et al. // Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2013. – vol. 55. – pp. 13–23. DOI: 10.20535/RADAP.2013.55.13-23.
62. Kalinichenko Y. Adjustable iris-post waveguide polarizer for Ku-band satellite uplink systems / Y. Kalinichenko et al. // IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 40–45.
63. Herhil Y. Characteristic impedances of rectangular and circular waveguides for fundamental modes / Y. Herhil et al. // IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 46–51.
64. Shuliak V. Modern microwave polarizers and their electromagnetic characteristics / V. Shuliak et al. // IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 21–26.
65. Piltyay S. Circular waveguide polarizer for weather radars and satellite information systems / S. Piltyay // Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications. – 2021. – Vol. 20, no. 3. – pp. 475–489. DOI: 10.1590/2179-10742021v20i31183.
66. Bulashenko A.V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Numerical results / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. –2021. – Vol. 13, no. 5. pp. 05017-1–05017-5, 2021. DOI: 10.21272/jnep.13(5).05023.

POLARIZATION TRANSFORMER WITH COMBINATION OF DIAPHRAGMS AND PINS

S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, A.P. Saranchuk

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine
crosspolar@ukr.net, a.bulashenko@kpi.ua, annasaranchuk01@gmail.com

Recently, polarization signal processing has become widespread. It is used in satellite information and telecommunication information processing systems. One of the key elements of such systems are polarization conversion devices. The basic function of such devices is to transform the types of polarization. There are different designs of polarizers. The most common are polarizers in the form of ridged structures [1-2], polarizers with thin metal septum [3-4], polarizers based on irises in the waveguide [5-10] and polarizers based on waveguides with posts [11-12]. There are also designs of polarizers with irises in the form of thin slots [13]. But such constructions are complex. The most broadband and simple design is a waveguide polarizer based on irises.

The 3-D model of the polarizer device is present in Fig. 1.

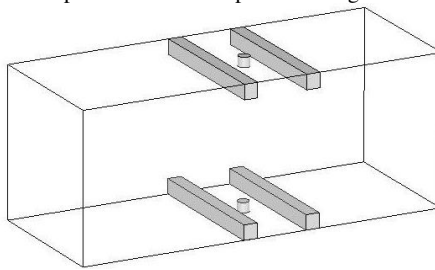


Figure 1. 3-D model

The design of the waveguide polarizer is shown in Fig. 2. The design contains two irises of height h and thickness w , two posts of height h_p and diameter d , the distance between the iris and the post is l .

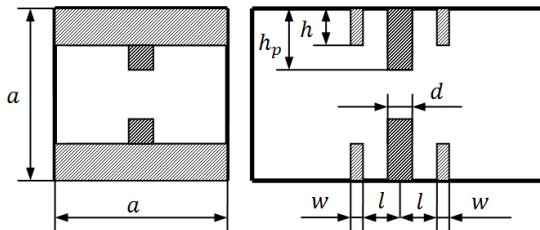


Figure 2. Polarizer design

The presented design provides the main polarization characteristics. Cylindrical post provides tuning and matching characteristics by changing the length of the post in the waveguide [14-18].

The matching characteristics of the polarizer are the differential phase shift and the voltage standing wave ratio (VSWR). The polarization characteristics of the polarizer are the axial ratio and the crosspolar discrimination (XPD).

Based on the theory of microwave circuits [19-25], we write the wave matrices of scattering and transmission of our model, breaking it into smaller circuits

$$[S_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} S_{\Sigma 11} & S_{\Sigma 12} \\ S_{\Sigma 21} & S_{\Sigma 22} \end{bmatrix} = \frac{1}{T_{\Sigma 11}} \begin{bmatrix} T_{\Sigma 21} & |T| \\ 1 & -T_{\Sigma 12} \end{bmatrix},$$

$$[T_{\Sigma}] = [T_1] \cdot [T_2] \cdot [T_3] \cdot [T_4] \cdot [T_5] = \begin{bmatrix} T_{\Sigma 11} & T_{\Sigma 12} \\ T_{\Sigma 21} & T_{\Sigma 22} \end{bmatrix},$$

$$[T_1] = [T_5] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}; [T_2] = [T_4] = \begin{bmatrix} e^{j\theta} & 0 \\ 0 & e^{-j\theta} \end{bmatrix}; [T_3] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 + Y_p & -Y_p \\ -Y_p & 2 - Y_p \end{bmatrix},$$

where Y_p is the conductivity of the post, θ is electric line length.

Differential phase shift is determined by the expression

$$\Delta\varphi = \varphi_{\Sigma 21.L} - \varphi_{\Sigma 21.C}$$

VSWR is determined by the formula

$$VSWR = [1 + |S_{11}|] / [1 - |S_{11}|].$$

The axial ratio is determined

$$r = 10 \lg \left(\frac{A^2 + B^2 + \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(\Delta\varphi)}}{A^2 + B^2 - \sqrt{A^4 + B^4 + 2A^2B^2 \cos(\Delta\varphi)}} \right),$$

where $A = |S_{\Sigma 21.L}|$, $B = |S_{\Sigma 21.C}|$.

XPD is calculated by the formula

$$XPD = 20 \lg \left(\frac{10^{0.05r} + 1}{10^{0.05r} - 1} \right).$$

Below are the graphs in accordance with the given mathematical model of the polarization device [26-31]. Fig. 3 shows the matching characteristics of the mathematical model, and Fig. 4 shows the polarization characteristics of this model.

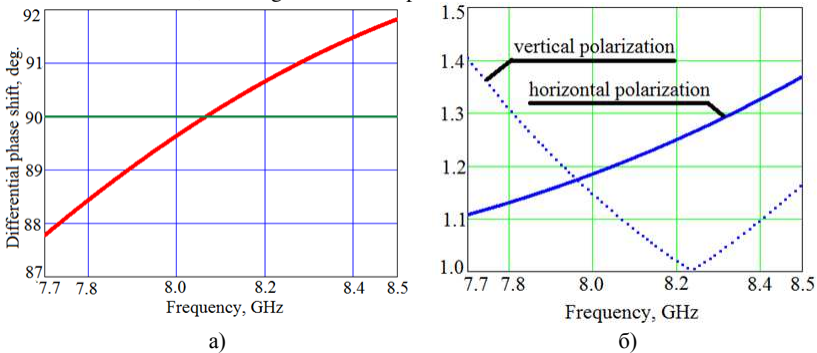


Figure 3. Matching characteristics of the mathematical model

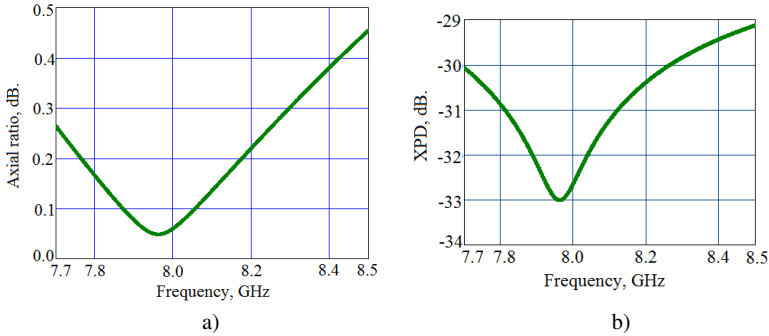


Figure 4. Polarization characteristics of the mathematical model

Fig. 3 a demonstrates that the maximum deviation of the differential phase shift from 90° is 2.2° . Fig. 3 b shows that the maximum value of VSWR for both polarizations is 1.41. Fig. 4 a contains the dependence of the axial ratio on the frequency, and Fig. 4 b contains the dependence of the XPD on the frequency. From Fig. 4 we see that at a frequency of 8.5 GHz the axial ratio acquires its maximum value of 0.45 dB. Also at this frequency, the XPD acquires a maximum value of 29 dB.

We will apply software to simulate and optimize the electrodynamic characteristics of the polarizing device [32-37]. Fig. 5 shows the matching characteristics of the polarizer. Fig. 5 a contains the dependence of the differential phase shift on the frequency, and Fig. 5 b contains the dependence of VSWR on the frequency in the operating frequency range from 7.7 GHz to 8.5 GHz of the test prototype.

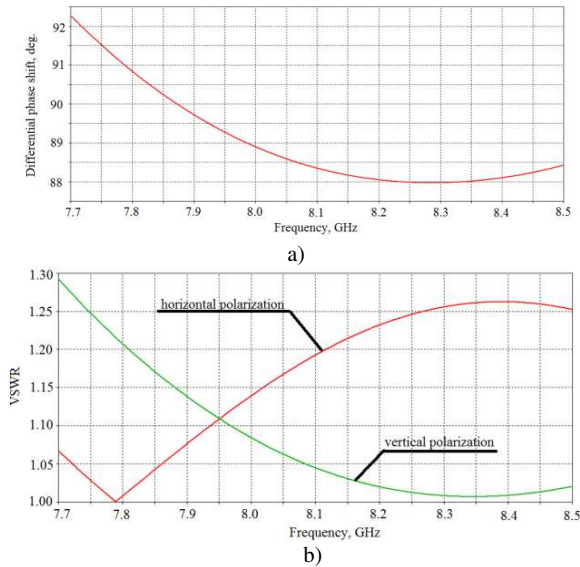


Figure 5. Matching characteristics of the prototype

Fig. 5a demonstrates that the maximum deviation of the differential phase shift from 90° is 2.2° . Fig. 5 b shows that the maximum value of VSWR for both polarizations is 1.29.

Fig. 6 shows the polarization characteristics of the device in the operating frequency range from 7.7 GHz to 8.5 GHz. Fig. 6 a contains the dependence of the axial ratio on the frequency, and Fig. 6 b contains the dependence of the XPD on the frequency. The figure shows that at a frequency of 8.45 GHz, the axial ratio acquires its maximum value of 0.4 dB. Also at this frequency, the XPD acquires a maximum value of 29 dB.

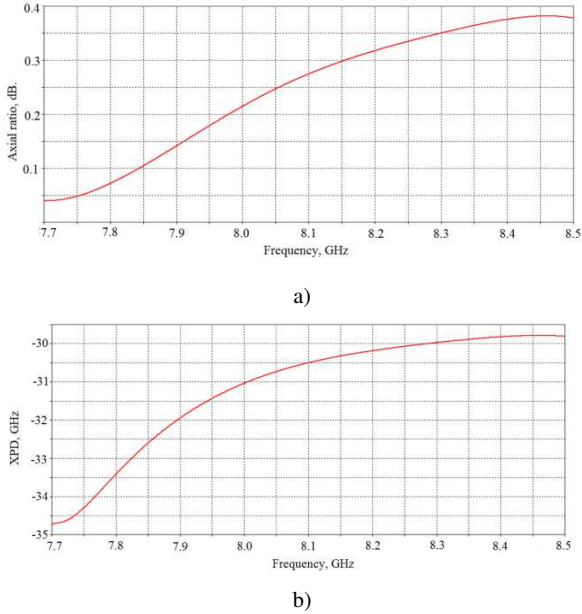


Figure 6. Polarization characteristics of the prototype

Such characteristics provide the optimal design of the polarizer, which are presented in table 1.

Table 1. Optimal characteristics of the polarizer

<i>a, mm</i>	<i>w, mm</i>	<i>l, mm</i>	<i>h, mm</i>	<i>hp, mm</i>	<i>d, mm</i>
28.9	3.1	5.3	2.60	2.65	2.4

As you can see, the matching and polarization characteristics of the mathematical model and prototype simulated in CST Microwave Studio coincide with the corresponding accuracy.

Thus, the developed device has the following matching and polarization characteristics. The range of change of the differential phase shift is $90^\circ \pm 2.2^\circ$. The polarizer provides VSWR less than 1.29. Axial ratio is less than 0.4 dB. XPD is higher than 29 dB.

References

1. Tribak A. Ultra broadband low axial ratio corrugated quad-ridger polarizer / A. Tribak, A. Mediavilla, J.L. Cano, M. Boussouis, K. Cepero. // *European Microwave Conferences*, Rome, Italy. – October 2009. – pp. 284–287. DOI: <http://doi.org/10.23919/EUMC.2009.5295927>.
2. Piltyay S.I. High performance extended C-band 3.4–4.8 GHz dual circular polarization feed system / S.I. Piltyay. // *XI International Conference on Antenna Theory and Techniques*, Kyiv, Ukraine. – 2017. – pp. 284–287. DOI: <http://doi.org/10.1109/ICATT.2017.7972644>.
3. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths / F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay, et al. // *Radioelectronics and Communications Systems* – 2020. – Vol. 63, no. 1. – pp. 15–23. <http://doi.org/10.3103/107352720010021>.
4. Dubrovka F. Compact X-band stepped-thickness septum polarizer / F. Dubrovka, S. Piltyay, O. Sushko, et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, Ukraine, September 2020, pp. 135–138. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.
5. Piltyay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 5. – pp. 05024-1-5. DOI: [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
6. Piltyay S.I. Compact polarizers for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – pp. 557–562. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467889.
7. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer for radar and satellite systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, I.V. Zabegalov // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 86. – pp. 5–13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.86.5-13.
8. Piltyay S. I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 18. – pp. 1579–1597. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
9. Piltyay S. Development and optimization of microwave guide polarizers using equivalent network method / S. Piltyay, A. Bulashenko, V. Shuliak // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. – 2021. – Vol. 35, 2021. DOI: 10.1080/09205071.2021.1980913.
10. Piltyay S. Comparative analysis of compact satellite polarizers based on a guide with diaphragms / S. Piltyay, A. Bulashenko, I. Fesyuk, O. Bulashenko // *Advanced Electromagnetics*. – 2021. – Vol. 10, no. 2. – p. 44–55. DOI: 10.7716/aem.v10i2.1713.
11. Zhu Q.C. Reactance of posts in circular waveguide / Q.C. Zhu, A.G. Williamson, M.J. Neve // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2007. – Vol. 55, No. 8. – pp. 1685–1688. DOI: 10.1109/TMTT.2007.901605.
12. Polishchuk A. Compact posts-based waveguide polarizer for satellite communications and radar systems / A. Polishchuk, A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bulashenko, I. Zabegalov. // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 78–83.
13. Kirilenko A.A. A tunable compact polarizer in a circular waveguide / A.A. Kirilenko, S.O. Steshenko, et al. // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2019. – Vol. 67, No. 2. – pp. 592–596. DOI: [10.1109/TMTT.2018.2881089](http://doi.org/10.1109/TMTT.2018.2881089).

14. Piltyay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable post / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // *Path of science*. – 2020. – Vol. 6, no. 11. – pp. 5001-5009. DOI: 10.22178/pos.64-6
15. Bulashenko A.V. Tunable polarizers for X-band radar and telecommunication systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 7–15. DOI: 10.20535/kpissn.2021.2.236953.
16. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kushnir H.S., Bulashenko O.V. // *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. – 2020. – Vol. 5, pp. 97–104. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-152-5-97-104.
17. Bulashenko A.V. Tunable square waveguide polarizer with irises and posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kalinichenko Y.I., Bulashenko O.V. // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 108–116. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.
18. Bulashenko A.V. Simulation of compact polarizers for satellite telecommunication systems with the account of thickness of irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–15. DOI: 10.20535/kpissn.2021.1.231202.
19. Piltyay S. Development and optimization of microwave guide polarizers using equivalent network method / S. Piltyay, A. Bulashenko, V. Shuliak // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. – 2021. – Vol. 35, 2021. DOI: 10.1080/09205071.2021.1980913.
20. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A. V. Bulashenko and S. I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia*. – Vol. 83, pp. 17–28. – 2020. DOI: 10.20535/RADAP.2020.83.17-28.
21. Bulashenko A. V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1–06026-5, December 2020. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
22. Bulashenko A. Synthesis of waveguide diaphragm polarizers using wave matrix approach / A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bykovskiy, O. Bulashenko // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 111–116.
23. Piltyay S. I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 18, pp. 1579–1597, November 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
24. Bulashenko A. Analytical technique for iris polarizers development / A. Bulashenko, S. Piltyay, and I. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 593–598. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467981.
25. Dubrovka F.F. Analytical and numerical method of constructive synthesis of optimal polarizers based on three irises in square waveguide / F.F. Dubrovka, A.V. Bulashenko, A.M. Kuprii, S.I. Piltyay // *Radioelectronics and Communications Systems*. – 2021. – Vol. 64, no 4. – pp. 204–215. DOI: 10.3103/S073527272104004X.

26. Bulashenko A. Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers / A. Bulashenko, S. Piltyay, Y. Kalinichenko, and O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 330–336. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.

27. Piltyay S. Analytical modeling and optimization of new Ku-band tunable square waveguide iris-post polarizer / S. Piltyay, A. Bulashenko, O. Sushko, O. Bulashenko, I. Demchenko // International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. – 2021. – Vol. 34, no. 5. – pp. 1–27. DOI: 10.1002/JNM.2890.

28. Bulashenko A.V. Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // Science-Based Technologies. – 2020. – Vol. 47, no. 3. – pp. 287–297. DOI: 10.18372/2310-5461.47.14878.

29. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // Science-Based Technologies. – 2021. – Vol. 49, no. 1. – pp. 39–48. DOI: 10.18372/2310-5461.49.15290.

30. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer for radar and satellite systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, I.V. Zabegalov // Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia. – 2021. – Vol. 86. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.86.5-13.

31. Kushnir H. Multiple reflections method for diaphragms polarizers development / H. Kushnir et al. // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology, Kharkiv, Ukraine, October 2021.

32. S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and Y. Y. Herhil, “Numerical performance of FEM and FDTD methods for the simulation of waveguide polarizers”, *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 84, pp. 11–21. March 2021. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.11-21.

33. Piltyay S FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers / S. Piltyay, A. Bulashenko, Y. Herhil, O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 357–363. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.

34. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths / F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay, et al. // Radioelectronics and Communications Systems – 2020. – Vol. 63, no. 1. – pp. 15-23. <http://doi.org/10.3103/I07352720010021>.

35. Zabegalov I.V. Waveguide feed network for horn antenna with circular polarization / I.V. Zabegalov, Y.E. Sharpan, I.I. Dikhtyaruk, S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko // Bulletin of Cherkasy State Technological University. – 2021. – Vol. 1. – pp. 99–113. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.229924.

36. Piltyay S.I. Compact polarization converter for satellite antenna systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Fesyuk, O.V. Bulashenko // Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2021. – Vol. 1. – pp. 86–98. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.227633.

37. Piltyay S.I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14–26. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.

90 DEGREE PHASE SHIFTER BASED ON A SQUARE WAVEGUIDE WITH DIAPHRAGMS

A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, T.V.Shtyk, O.V. Bulashenko

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine
Ivan Kozhedub Shostka Professional College of Sumy State University
a.bulashenko@kpi.ua, crosspolar@ukr.net, shtuktanya@gmail.com,
ol_bulashenko@ukr.net

Modern antenna systems with polarization signal processing are used to improve the information parameters of the signals processed in them [1-5]. The basic elements of such systems are waveguide filters, phase shifters and polarizers [6-8]. Phase shifters provide the required phase values at the output. Polarizers provide a differential phase shift at the output of 90° [9-11]. The most common structures of waveguide polarizers are structures with diaphragms [12-15], pins [16-18], combined with pins and diaphragms [19-23], and coaxial and ribbed structures [24-26]. Differential phase shifter is used in the development of phased array antennas, in the formation of the beam in modern antenna systems and for power supply systems of modern antennas [27-30]. Modern 90° phase shifters [31, 32] have advanced functionality, simple compact geometric shape, resistant to amplitude imbalance, the ability to maintain a stable phase with multibeam propagation. In addition, such devices are sometimes used in 5G systems [33-40].

The aim of the work is to study the main characteristics of a phase shifter based on a square waveguide with diaphragms in the operating frequency range of 7-10 GHz.

Конструктивно фазозсувача на основі квадратного хвилеводу із трьома діафрагмами, що розміщені симетрично відносно центральної діафрагми, зображений на рис. 1. Висота двох крайніх діафрагм рівна h_1 , а висота середньої вища за крайні h_2 , товщина всіх діафрагм w , та відстань між діафрагмами є однаковою і становить l .

The created design of the phase shifting device provides the main phase and matching characteristics. Design optimization is carried out in a suitable commercial software environment by changing the geometric dimensions of the device design [41-43]

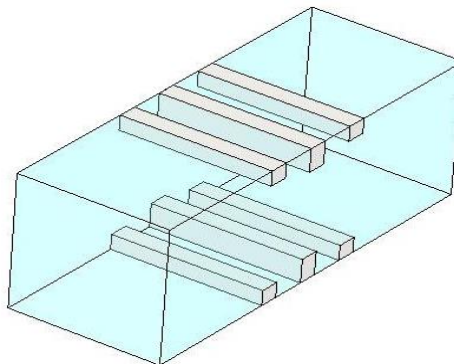


Fig. 1. Phase shifter design based on a square waveguide with three diaphragm

Using the method of wave matrices [44, 45] and equivalent circuits [46, 47], the basic parameters of the wave matrix of phase scattering device were obtained

$$[S_{\Sigma}] = \begin{bmatrix} S_{11,\Sigma} & S_{12,\Sigma} \\ S_{21,\Sigma} & S_{22,\Sigma} \end{bmatrix}.$$

Thus, through the elements of the obtained scattering matrix of the bulges determined the differential phase shift of the device according to the formula

$$\Delta\varphi = \varphi_{21,\Sigma L} - \varphi_{21,\Sigma C}$$

The constant voltage wave coefficient (VSWR) was also determined according to the analytical expression

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}.$$

The frequency dependences of a phase shifter based on a square waveguide with three diaphragms in the operating frequency range 7–9 GHz for the given method and two known electrodynamic methods FDTD and FEM, respectively, are presented below [48, 49].

Fig. 2 contains the dependence of the differential phase shift of the waveguide phase shifter in the frequency range 7-10 GHz. As can be seen, the differential phase shift of the device is $90^\circ \pm 5^\circ$ for the given method, $90^\circ \pm 4^\circ$ for the FDTD method and $90^\circ \pm 6^\circ$ for the FEM method

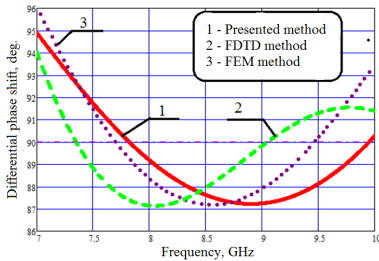


Fig. 2. Dependence of differential phase shift on frequency

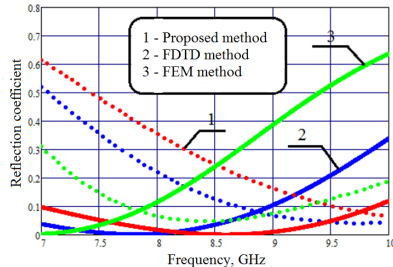


Fig. 3. The dependence of the reflection coefficient on the frequency for both polarizations

In Fig. 3 presents a graphical dependence of the reflection coefficient of the developed phase shift device for horizontal and vertical polarization for the given method, FDTD method, FEM method. The solid line shows the vertical polarization, and the dot represents the horizontal polarization. As you can see, the maximum level of the reflection coefficient is 0.6 for the given method, 0.52 for the FDTD method and 0.63 for the FEM method

Therefore, the results of device design by the given method and known electrodynamic methods correlate well with each other [50-58].

Thus, in the course of scientific research, a phase-shifting device based on a square waveguide with three diaphragms in the operating range of 7-10 GHz was developed. The proposed device supports a differential phase shift of $90^\circ \pm 5^\circ$. The peak value of the reflection coefficient for vertical and horizontal polarizations is 0.52 at a frequency of 7 GHz. Therefore, the proposed device can be used in modern phased array antennas.

References

1. Stutzman W.L. *Polarization in Electromagnetic Systems*, Artech House, Norwood 2018, 352 p.
2. Piltyay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable post / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // Path of science. – 2020. – Vol. 6, no. 11. – pp. 5001-5009. DOI: 10.22178/pos.64-6.
3. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer for radar and satellite systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, I.V. Zabegalov // Visnyk NTUU KPI Seria – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia. – 2021. – Vol. 86. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.86.5-13.
4. Bulashenko A.V. Tunable polarizers for X-band radar and telecommunication systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // KPI Science news. – 2021. – Vol. 2. – pp. 7–15. DOI: 10.20535/kpissn.2021.2.236953.
5. Piltyay S.I. Compact polarizers for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine. – 2020. – pp. 557-562. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467889.
6. Qiu L.-L. Dual-band filtering differential phase shifter using cascaded wideband phase shifter and bandstop network with two same phase shifts / L.-L. Qiu and L. Zhu // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2021. – Vol. 31, no. 3. – pp. 261–264. DOI: 10.1109/LMWC.2020.3046247.
7. Zhuk S.Ya. Synthesis of extremely wide stopband E-plane bandpass filters / S.Ya. Zhuk, M.Y. Omelianenko, T.V. Romanenko, O.V. Tureeva // Visnyk NTUU KPI Seria – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia. – 2021. – Vol. 84. – pp. 22-29. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.22-29.
8. Омеляненко М.Ю. Волноводно-планарные полосно-пропускающие фильтры с широкой полосой заграждения/ М.Ю. Омеляненко, Т.В. Романенко // Visnyk NTUU KPI Seria – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia. – 2020. – Vol. 80. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.80.5-13.
9. Piltyay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2020. – Vol. 12, no. 5. – pp. 05024-1-5. DOI: [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
10. Piltyay S.I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14–26. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
11. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // Science-Based Technologies. – 2021. – Vol. 49, no. 1. – pp. 39–48. DOI: 10.18372/2310-5461.49.15290.
12. Bulashenko A.V. Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // Science-Based Technologies. – 2020. – Vol. 47, no. 3. – pp. 287–297. DOI: 10.18372/2310-5461.47.14878.
13. Piltyay S.I. Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems / S. I. Piltyay, O. Yu. Sushko, A. V. Bulashenko, and I. V.

Demchenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2020. – Vol. 79, no. 19. – pp. 1673–1690, 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.

14. Piltyay S. Comparative analysis of compact satellite polarizers based on a guide with diaphragms / S. Piltyay, A. Bulashenko, I. Fesyuk, O. Bulashenko // Advanced Electromagnetics. – 2021. – Vol. 10, no. 2. – p. 44–55. DOI: 10.7716/aem.v10i2.1713.

15. Piltyay S.I. Compact polarization converter for satellite antenna systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Fesyuk, O.V. Bulashenko // Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2021. – Vol. 1. – pp. 86–98. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.227633.

16. Zhu Q.C. Reactance of posts in circular waveguide / Q.C. Zhu, A.G. Williamson, M.J. Neve // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2007. – Vol. 55, No. 8. – pp. 1685–1688. DOI: 10.1109/TMTT.2007.901605.

17. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kushnir H.S., Bulashenko O.V. // Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute. – 2020. – Vol. 5, pp. 97–104. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-152-5-97-104.

18. Polishchuk A. Compact posts-based waveguide polarizer for satellite communications and radar systems / A. Polishchuk, A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bulashenko, I. Zabegalov. // IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 78–83.

19. Bulashenko A.V. Tunable square waveguide polarizer with irises and posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kalinichenko Y.I., Bulashenko O.V. // Technical Engineering. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 108–116. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.

20. Piltyay S. Analytical modeling and optimization of new Ku-band tunable square waveguide iris-post polarizer / S. Piltyay, A. Bulashenko, O. Sushko, O. Bulashenko, I. Demchenko // International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields. – 2021. – Vol. 34, no. 5. – pp. 1–27. DOI: 10.1002/JNM.2890

21. Bulashenko A. Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers / A. Bulashenko, S. Piltyay, Y. Kalinichenko, and O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 330–336. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.

22. Piltyay S. New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT), Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 342–348. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.

23. Kalinichenko Y. Adjustable iris-post waveguide polarizer for Ku-band satellite uplink systems / Y. Kalinichenko et al // IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 40–45.

24. Dubrovka F.F. Eigenmodes of sectoral coaxial ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al. // Radioelectron. and Commun. Systems. – 2012. – Vol. 55, no. 6. – pp. 239–247. DOI: 10.3103/S0735272712060015.

25. Dubrovka F.F. Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al., XI International Conference on

Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Slavske, Ukraine, February 2012, pp. 191.

26. Dubrovka F.F. Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al. // Information and telecommunication sciences. – 2012. – Vol. 1, no. 1. – pp. 48–61. DOI: 10.20535/2411-2976.12014.48-61.

27. Zabegalov I.V. Waveguide slot feed section for antennas with circular polarization / I. V. Zabegalov, V.V. Shuliak, S.I. Piltiai, A.V. Bulashenko, O. V. Bulashenko // Вісник ВПІ. –2021. – Vol. 3. – pp. 105–112. DOI: 10.31649/1997-9266-2021-156-3-105-112.

28. Zabegalov I.V. Waveguide feed network for horn antenna with circular polarization / I.V. Zabegalov, Y.E. Sharpan, I.I. Dikhtyaruk, S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko // Bulletin of Cherkasy State Technological University. – 2021. – Vol. 1. – pp. 99–113. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.229924.

29. Bulashenko A.V. Multibeam arrays on the basis of Rotman lenses / A.V. Bulashenko // Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2010. – Vol. 42. – pp. 178–186. <http://doi.org/10.20535/RADAP.2010.42.178-186>.

30. Sushko O. Symmetrically fed 1-10 GHz log-periodic dipole antenna array feed for reflector antennas / O. Sushko, S. Piltyay, F. Dubrovka, // IEEE Ukraine Microwave Week, 21-25 Sept. 2020, Kharkiv, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252778.

31. Hensley D.M. Stretchable liquid metal coaxial phase shifter / D.M. Hensley, C.G. Christodoulou, N. Jackson // IEEE Open Journal of Antennas . – 2021. – Vol. 2. – pp. 370–374. DOI:10.1109/OJAP.2021.3063289.

32. Amin F. Compact and low-loss phase shifters and multibit phase shifters based on inverted-E topology / F. Amin, Y. Liu, Y. Zhao, S. Hu // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques . – 2021. – Vol. 69, No. 4. – pp. 2120–2129. DOI:10.1109/TMTT.2021.3061482.

33. Bulashenko A.V. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. DOI: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29.

34. Bulashenko A.V. Combined criterion for the choice of routing based on D2D technology / A.V. Bulashenko // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–13. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-1-1.

35. Bulashenko A.V. Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks / A.V. Bulashenko // KPI Science news. – 2020. – Vol. 3. – pp. 7–13. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.203863.

36. Bulashenko A.V. Data upload system using D2D technology in the unlicensed frequency range as part of the 5G communication system / A.V. Bulashenko // Technical Engineering. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 103–107. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-103-107.

37. Myronchuk A.Y. Channel frequency response estimation method based on pilot's filtration and extrapolation / A.Y. Myronchuk, O.O. Shpylka, S.Y. Zhuk // Visnyk NTUU KPI Seriiia - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36-42. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.36-42.

38. Piltyay S. Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, and I. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T),

- Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 625–630. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468073.
39. Bulashenko A. Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G networks / A. Bulashenko, S. Piltyay, and I. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 537–542. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468035.
40. Bulashenko A. New traffic model of M2M Technology in 5G wireless sensor networks / A. Bulashenko, S. Piltyay, A. Polishchuk, O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 125–131. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349305.
41. Dubrovka F.F. Analytical and numerical method of constructive synthesis of optimal polarizers based on three irises in square waveguide / F.F. Dubrovka, A.V. Bulashenko, A.M. Kuprii, S.I. Piltyay // Radioelectronics and Communications Systems. – 2021. – Vol. 64, no 4. – pp. 204–215. DOI: 10.3103/S073527272104004X.
42. Piltyay S. I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2020. – Vol. 79, no. 18, pp. 1579–1597, November 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
43. Bulashenko A. Analytical technique for iris polarizers development / A. Bulashenko, S. Piltyay, and I. Demchenko // IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 593–598. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467981.
44. Bulashenko A. V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1–06026-5, December 2020. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
45. Bulashenko A. Synthesis of waveguide diaphragm polarizers using wave matrix approach / A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bykovskiy, O. Bulashenko // IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 111–116.
46. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A. V. Bulashenko and S. I. Piltyay // Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia. – Vol. 83, pp. 17–28. – 2020. DOI: 10.20535/RADAP.2020.83.17-28.
47. Piltyay S. Development and optimization of microwave guide polarizers using equivalent network method / S. Piltyay, A. Bulashenko, V. Shuliak // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2021. – Vol. 35, 2021. DOI: 10.1080/09205071.2021.1980913.
48. Piltyay S FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers / S. Piltyay, A. Bulashenko, Y. Herhil, O. Bulashenko // IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 357–363. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.
49. S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and Y. Y. Herhil, “Numerical performance of FEM and FDTD methods for the simulation of waveguide polarizers”, *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 84, pp. 11–21. March 2021. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.11-21.

50. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths / F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay, et al. // *Radioelectronics and Communications Systems* – 2020. – Vol. 63, no. 1. – pp. 15-23. <http://doi.org/10.3103/107352720010021>.
51. Dubrovka F. Compact X-band stepped-thickness septum polarizer / F. Dubrovka, S. Piltyay, O. Sushko, et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, September 2020*, pp. 135–138. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.
52. Dubrovka F. Circularly polarised X-band H11- and H21-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station / F. Dubrovka et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, September 2020*, pp. 196–202. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252600.
53. Piltyay S.I. Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides / S. I. Piltyay // *14th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET)*, Kyiv, Ukraine, August 2012, pp. 492–495. DOI: 10.1109/MMET.2012.6331195.
54. Kushnir H. Multiple reflections method for diaphragms polarizers development / H. Kushnir et al. // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology, Kharkiv, Ukraine, October 2021*.
55. Kirilenko, A.A. Application of the generalized scattering matrix technique for the dispersion analysis of 3D slow-wave structures / A.A. Kirilenko, S.L. Senkevich, S.O. Steshenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2015. – Vol. 74, no. 17. – pp. 1497-1511, 2015. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v74.i17.10.
56. Kulik D.Yu. Compact-size polarization rotators on the basis of irises with rectangular slots / D.Yu. Kulik,, A.O. Perov, N.G. Kolmakova // *Telecommun. and Radio Engineering*. – 2016. – Vol. 75, no. 10. – pp. 857-865, 2016. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v75.i10.10.
57. Kirilenko A.A. A tunable compact polarizer in a circular waveguide / A.A. Kirilenko, S.O. Steshenko, et al. // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2019. – Vol. 67, No. 2. – pp. 592-596. DOI: 10.1109/TMTT.2018.2881089.
58. Deutschmann B. Broadband septum polarizer with triangular common port / B. Deutschmann, A.F. Jacob // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2020. – Vol. 68, No. 2. – pp. 693-700. DOI: 10.1109/TMTT.2019.2951138.

ШИРОКОСМУГОВИЙ ОРТОМОДОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

С.І. Пільтай¹, А.В. Булашенко¹, Т.В.Савенчук¹,

О.В. Булашенко², І. В. Забегалов²

¹Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

²Ivan Kozhedub Shostka Professional College of Sumy State University

crosspolar@ukr.net, a.bulashenko@kpi.ua, zabgarik@ukr.net,

re01.savenchuk.taya@gmail.com, ol_bulashenko@ukr.net,

Останнім часом широко розвиваються нові телекомунікаційні мережі 5G [1, 2]. Це відбувається завдяки розвитку нових технологій, що використовує цей стандарт. До них можна віднести технології взаємодії між пристроями D2D [3-6], технології взаємодії між машинами M2M [7, 8], технології із ортогональними частотами OFDM [9-13], технології IoT [14] та інших. Поряд з ними все більше використовуються технології поляризаційного рознесення [15, 16], що використовуються у антенних системах з поляризаційною обробкою сигналів [17, 18]. В них використовуються різноманітні поляризаційні пристрої, фільтруючі та фазозсувні пристрої [19-21]. Вони конструюються на основі штирів [22-24], діафрагм [25-32], їх комбінацій [33-38], ребристих та коаксіальних структурах [39-42] та пластинчатих перетворювачів поляризації [43-46]. Такі пристрої широко використовуються в різноманітних телекомунікаційних інформаційних системах. Крім того, існує багато методів розрахунку таких пристроїв [47-56].

Сучасні радіоастрономічні приймачі містять ортомодові перетворювачі. Сьгодні ортомодовий перетворювач є пасивним пристрій, що здійснює розділення два ортогонально лінійно поляризованих сигналів в межах того ж частотного діапазону. Конструкція пристрою містить три порти та має властивості пристрою із чотирма полюсами. Як правило, вхідний порт є хвилевід із квадратним або круглим перетином забезпечує два електричних порти, що відповідають незалежним поляризованим. Цей пристрій забезпечує високий рівень поляризаційної ізоляції між ортогональними сигналами, низький рівень внесених втрат та добре узгодження всіх електричних портів із відносно смугою пропускання 30% та вище. Крім того, існують конструкції ортомодових перетворювачів, що забезпечують смуги пропускання менше 30% [57-59]. Щоби усунути збудження хвиль більш високого порядку, необхідно виготовляти високосиметричні структури та досягти широкої смуги пропускання, до 40% та більше.

Продуктивність ортомодового перетворювача можна покращити за рахунок зменшення довжини вхідної секції квадратного хвилеводу пристрою. На рис. 1 представлена конструкція ортомодового перетворювача із максимальною короткої довжини вхідного хвилеводу. У конструкції фізична довжина хвилеводного кола пристрою приймає значення від 6,5 мм до 20 мм. Використовується міні-фланц для овалного виходу хвилеводу, що дає можливість додавати до блоку глибоко посаджені кармани для двох інших фланців. Такий підхід зводить до мінімуму довжину входу та виходу квадратного хвилеводу. Крім того, кінцевий розмір міні-фланцу вимагає збереження додаткові довжини хвилеводу, що складає 11 мм, мінімум 5,5 мм та місце для кріплення. Більш того, була збільшена довжина прямокутної ділянки хвилеводу між поляризаційних частотним детектором із двома сходами та овальним хвилеводом. Центральні штифти та отвори під гвинти міні-фланцу знаходяться на колі для болтів 11 мм. Суматор потужності та додаткові скрутки хвилеводу у бічних рукавах використовуються для усунення

механічних завад між штифтами міні-фланца та гвинтами із хвилевідним контуром. Оскільки міні-фланец майже повністю оточує хвилевідне коло, то додаткова пара гвинтів 1-72, що використовується в перехідній конструкції, була видалена а. Деталі кріплення фланцу використовуються для додавання додаткової сили затискання половини блоку роз'ємну поряд із контуром.

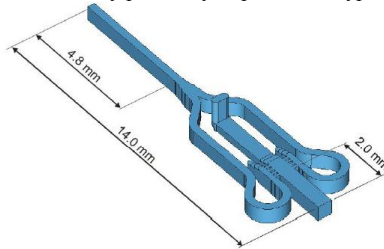


Рис. 1. Конструкція ортомодового перетворювача

На рис. 2 та рис. 3 представлені результати моделювання характеристик ортомодового перетворювача. Були проаналізовані два випадки для ортомодового перетворювача при $\delta = 2$ мкм, $\delta = 5$ мкм. Отримані результати свідчать, що вхідні відбиття слабо залежать від δ та нижче -17 дБ у діапазоні 40–100 ГГц.

На рис. 2 наведена залежність ізоляції від частоти. Можна зазначити, що ізоляція приймає значення порядку -35 дБ та -42 дБ для $\delta = 2$ мкм та 5 мкм відповідно. Отже, при зменшенні довжини квадратного хвилеводу на виході пристрою з 2 мм до нуля (ідеальний випадок), то рівень кросполяризаційної ізоляції із поперечним перетином $\delta = 5$ мкм між половинки блока зменшаться приблизно до -30 дБ.

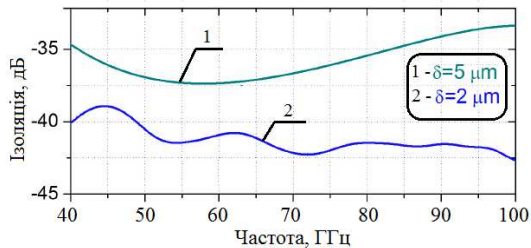


Рис.2. Залежність ізоляції від частоти

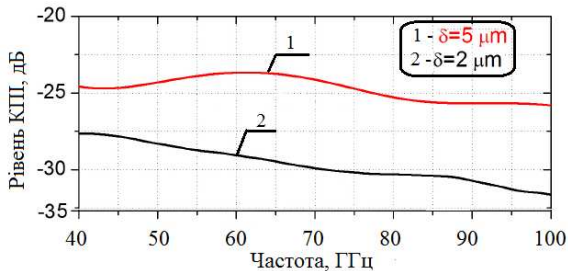


Рис.3. Залежність рівня КПП від частоти

На рис. 3 подана залежність рівня кросполяризаційної ізоляції від частоти у діапазоні частот 40-100 ГГц. Звідси видно, що рівень перехресної поляризації зменшується до -30 дБ з $\delta = 2$ мкм.

Отже, був розглянутий ортомодовий перетворювач у діапазоні 40-100 ГГц. Внесені втрати склали 2 дБ, відбиття стало менше -10 дБ, ізоляція була менше -25 дБ, а рівень кросполяризації менше -10 дБ для обох каналів поляризації.

Список літературних джерел

1. Choi J. Adaptive 5G architecture for an mmWave antenna front-end package consisting of tunable matching network and surface-mount technology / J. Choi, D. Choi, J. Lee, W. Hwang, W. Hong // *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. – 2020. – Vol. 10, No. 12. – pp. 2037-2046. DOI: 10.1109/TCPMT.2020.3034586.
2. Piltyay S. Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, I. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 625–630. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468073.
3. Bulashenko A.V. Data upload system using D2D technology in the unlicensed frequency range as part of the 5G communication system / A.V. Bulashenko // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 103–107. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-103-107.
4. Bulashenko A.V. Combined criterion for the choice of routing based on D2D technology / A.V. Bulashenko // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 7–13. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-1-1.
5. Bulashenko A.V. Evaluation of D2D Communications in 5G networks / A.V. Bulashenko // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 81. – pp. 21–29. DOI: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29.
6. Bulashenko A. Energy efficiency of the D2D direct connection system in 5G networks / A. Bulashenko, S. Piltyay, and I. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 537–542. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468035.
7. Bulashenko A.V. Resource allocation for low-power devices of M2M technology in 5G networks / A.V. Bulashenko // *KPI Science news*. – 2020. – Vol. 3. – pp. 7–13. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.203863.
8. Bulashenko A. New traffic model of M2M Technology in 5G wireless sensor networks / A. Bulashenko et al. // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 125–131. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349305.
9. Myronchuk A.Y. Channel frequency response estimation method based on pilot's filtration and extrapolation / A.Y. Myronchuk, O.O. Shpylka, S.Y. Zhuk // *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2019. – Vol. 78. – pp. 36-42. DOI: 10.20535/RADAP.2019.78.36-42.
10. Myronchuk O. Two-stage channel frequency response estimation in OFDM systems / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // *Path of Science*. – 2020. – Vol. 6, No. 2. – pp. 1001-1007. DOI: 10.22178/pos.55-1.

11. Myronchuk O. Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter / O. Myronchuk, O. Shpylka, S. Zhuk // *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*, 25-29 Feb. 2020, Lviv-Slavske, Ukraine. DOI:10.1109/TCSET49122.2020.235385.
12. Myronchuk O.Y. Two-Stage Method for Joint Estimation of Information Symbols and Channel Frequency Response in OFDM Communication Systems / O.Y. Myronchuk, A.A. Shpylka, S.Y. Zhuk // *Radioelectronics Communications System*. – 2020. – Vol. 63. – pp. 418–429. DOI: 10.3103/S073527272008004X.
13. Мирончук О.Ю. Застосування нейронної мережі для оцінювання частотної характеристики багатопроменевого каналу в системах зв'язку з технологією OFDM / О.Ю. Мирончук, О.О. Шпилька, Д.Д. Струков, А.А. Петровський, А.О. Герасименко // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2021. – Вип. 4. – pp. 99–104. DOI: 10.31649/1997-9266-2021-157-4-99-104.
14. Santamaria L. Electronically pattern reconfigurable antenna for IoT applications / L. Santamaria, F. Ferrero, R. Staraj, L. Lizzi // *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 546-554. DOI: 10.1109/OJAP.2021.3073104.
15. Stutzman W.L. *Polarization in Electromagnetic Systems*, Artech House, Norwood 2018, 352 p.
16. Piltyay S. Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable post / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, O. Bulashenko // *Path of science*. – 2020. – Vol. 6, no. 11. – pp. 5001-5009. DOI: 10.22178/pos.64-6.
17. Zabegalov I.V. Waveguide slot feed section for antennas with circular polarization / I. V. Zabegalov, V.V. Shuliak, S.I. Piltai, A.V. Bulashenko, O. V. Bulashenko // *Вісник ВІП*. – 2021. – Vol. 3. – pp. 105–112. DOI: 10.31649/1997-9266-2021-156-3-105-112.
18. Zabegalov I.V. Waveguide feed network for horn antenna with circular polarization / I.V. Zabegalov, Y.E. Sharpan, I.I. Dikhtyaruk, S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko // *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 99–113. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.229924.
19. Zhuk S.Ya. Synthesis of extremely wide stopband E-plane bandpass filters / S.Ya. Zhuk, M.Y. Omelianenko, T.V. Romanenko, O.V. Tureeva // *Visnyk NTUU KPI Serii a – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 84. – pp. 22-29. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.22-29.
20. Омеляненко М.Ю. Волноводно-планарные полосно-пропускающие фильтры с широкой полосой заграждения/ М.Ю. Омеляненко, Т.В. Романенко // *Visnyk NTUU KPI Serii a – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2020. – Vol. 80. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.80.5-13.
21. Bulashenko A. Mathematical modeling of iris-post sections for waveguide filters, phase shifters and polarizers / A. Bulashenko, S. Piltyay, Y. Kalinichenko, and O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 330–336. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349321.
22. Zhu Q.C. Reactance of posts in circular waveguide / Q.C. Zhu, A.G. Williamson, M.J. Neve// *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2007. – Vol. 55, No. 8. – pp. 1685-1688. DOI: 10.1109/TMTT.2007.901605.

23. Bulashenko A.V. Compact waveguide polarizer with three antiphase posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kushnir H.S., Bulashenko O.V. // *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. – 2020. – Vol. 5, pp. 97–104. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-152-5-97-104.
24. Polishchuk A. Compact posts-based waveguide polarizer for satellite communications and radar systems / A. Polishchuk, A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bulashenko, I. Zabegalov. // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 78–83.
25. Piltyay S.I. Compact polarizers for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – pp. 557-562. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467889.
26. Piltyay S.I. Waveguide iris polarizers for Ku-band satellite antenna feeds / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 5. – pp. 05024-1-5. DOI: [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(5\).05024](http://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05024).
27. Piltyay S.I. High performance waveguide polarizer for satellite information systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*. – 2020. – Vol. 4. – pp. 14–26. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129.
28. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer with three irises for antennas of satellite television systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, H.S. Kushnir, O.V. Bulashenko // *Science-Based Technologies*. – 2021. – Vol. 49, no. 1. – pp. 39–48. DOI: 10.18372/2310-5461.49.15290.
29. Bulashenko A.V. Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, I.V. Demchenko // *Science-Based Technologies*. – 2020. – Vol. 47, no. 3. – pp. 287–297. DOI: 10.18372/2310-5461.47.14878.
30. Piltyay S.I. Compact Ku-band iris polarizers for satellite telecommunication systems / S. I. Piltyay, O. Yu. Sushko, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 19. – pp. 1673–1690, 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i19.10.
31. Piltyay S. Comparative analysis of compact satellite polarizers based on a guide with diaphragms / S. Piltyay, A. Bulashenko, I. Fesyuk, O. Bulashenko // *Advanced Electromagnetics*. – 2021. – Vol. 10, no. 2. – p. 44–55. DOI: 10.7716/aem.v10i2.1713.
32. Piltyay S.I. Compact polarization converter for satellite antenna systems / S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, I.V. Fesyuk, O.V. Bulashenko // *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*. – 2021. – Vol. 1. – pp. 86–98. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2021.227633.
33. Bulashenko A.V. Waveguide polarizer for radar and satellite systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Y.I. Kalinichenko, I.V. Zabegalov // *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. – 2021. – Vol. 86. – pp. 5-13. DOI: 10.20535/RADAP.2021.86.5-13.
34. Bulashenko A.V. Tunable polarizers for X-band radar and telecommunication systems / A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, Ye.I. Kalinichenko, O.V. Bulashenko // *KPI Science news*. – 2021. – Vol. 2. – pp. 7–15. DOI: 10.20535/kpissn.2021.2.236953.

35. Bulashenko A.V. Tunable square waveguide polarizer with irises and posts / Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kalinichenko Y.I., Bulashenko O.V. // *Technical Engineering*. – 2020. – Vol. 86, No. 2. – pp. 108–116. DOI: 10.26642/ten-2020-2(86)-108-116.
36. Piltyay S. Analytical modeling and optimization of new Ku-band tunable square waveguide iris-post polarizer / S. Piltyay, A. Bulashenko, O. Sushko, O. Bulashenko, I. Demchenko // *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*. – 2021. – Vol. 34, no. 5. – pp. 1–27. DOI: 10.1002/JNM.2890
37. Piltyay S. New tunable iris-post square waveguide polarizers for satellite information systems / S. Piltyay, A. Bulashenko, H. Kushnir, and O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT)*, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 342–348. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349357.
38. Kalinichenko Y. Adjustable iris-post waveguide polarizer for Ku-band satellite uplink systems / Y. Kalinichenko et al // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 40–45.
39. Dubrovka F.F. Eigenmodes of sectoral coaxial ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al. // *Radioelectron. and Commun. Systems*. – 2012. – Vol. 55, no. 6. – pp. 239–247. DOI: 10.3103/S0735272712060015.
40. Dubrovka F.F. Prediction of eigenmodes cutoff frequencies of sectoral coaxial ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al., XI International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Slavske, Ukraine, February 2012, pp. 191.
41. Dubrovka F.F. Boundary problem solution for eigenmodes in coaxial quad-ridged waveguides / F. F. Dubrovka et al. // *Information and telecommunication sciences*. – 2012. – Vol. 1, no. 1. – pp. 48–61. DOI: 10.20535/2411-2976.12014.48-61.
42. Piltyay S.I. Numerically effective basis functions in integral equation technique for sectoral coaxial ridged waveguides / S. I. Piltyay // *14th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET)*, Kyiv, Ukraine, August 2012, pp. 492–495. DOI: 10.1109/MMET.2012.6331195.
43. Deutschmann B. Broadband septum polarizer with triangular common port / B. Deutschmann, A.F. Jacob // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. – 2020. – Vol. 68, No. 2. – pp. 693-700. DOI: 10.1109/TMTT.2019.2951138.
44. Dubrovka F.F. Optimum septum polarizer design for various fractional bandwidths / F.F. Dubrovka, S.I. Piltyay, et al. // *Radioelectronics and Communications Systems* – 2020. – Vol. 63, no. 1. – pp. 15-23. <http://doi.org/10.3103/107352720010021>.
45. Dubrovka F. Compact X-band stepped-thickness septum polarizer / F. Dubrovka, S. Piltyay, O. Sushko, et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, Ukraine, September 2020, pp. 135–138. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252583.
46. Dubrovka F. Circularly polarised X-band H11- and H21-modes antenna feed for monopulse autotracking ground station / F. Dubrovka et al. // *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Kharkiv, Ukraine, September 2020, pp. 196–202. DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252600.
47. Dubrovka F.F. Analytical and numerical method of constructive synthesis of optimal polarizers based on three irises in square waveguide / F.F. Dubrovka, A.V. Bulashenko, A.M. Kuprii, S.I. Piltyay // *Radioelectronics and Communications*

- Systems. – 2021. – Vol. 64, no 4. – pp. 204–215. DOI: 10.3103/S073527272104004X.
48. Piltyay S. I. Analytical synthesis of waveguide iris polarizers / S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2020. – Vol. 79, no. 18, pp. 1579–1597, November 2020. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i18.10.
49. Bulashenko A. Analytical technique for iris polarizers development / A. Bulashenko, S. Piltyay, and I. Demchenko // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 593–598. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9467981.
50. Bulashenko A. V. Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Theory / A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2020. – Vol. 12, no. 6. – pp. 06026-1–06026-5, December 2020. DOI: 10.21272/jnep.12(6).06026.
51. Bulashenko A. Synthesis of waveguide diaphragm polarizers using wave matrix approach / A. Bulashenko, S. Piltyay, O. Bykovskiy, O. Bulashenko // *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, Lviv, Ukraine, August 2021, pp. 111–116.
52. Bulashenko A.V. Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development / A. V. Bulashenko and S. I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – Vol. 83, pp. 17–28. – 2020. DOI: 10.20535/RADAP.2020.83.17-28.
53. Piltyay S. Development and optimization of microwave guide polarizers using equivalent network method / S. Piltyay, A. Bulashenko, V. Shuliak // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. – 2021. – Vol. 35, 2021. DOI: 10.1080/09205071.2021.1980913.
54. Piltyay S FDTD and FEM simulation of microwave waveguide polarizers / S. Piltyay, A. Bulashenko, Y. Herhil, O. Bulashenko // *IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, Kyiv, Ukraine, November 2020, pp. 357–363. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349339.
55. S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and Y. Y. Herhil, “Numerical performance of FEM and FDTD methods for the simulation of waveguide polarizers”, *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, vol. 84, pp. 11–21. March 2021. DOI: 10.20535/RADAP.2021.84.11-21.
56. Kushnir H. Multiple reflections method for diaphragms polarizers development / H. Kushnir et al. // *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, Ukraine, October 2021.
57. Piltyay S.I. Enhanced C-band coaxial orthomode transducer / S. I. Piltyay // *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*. – 2014. – Vol. 58. – pp. 27–34, September 2014. DOI: 10.20535/RADAP.2014.58.27-34.
58. Dubrovka F.F. Novel high performance coherent dual-wideband orthomode transducer for coaxial horn feeds / F. F. Dubrovka et al. // *XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT)*, Kyiv, Ukraine, May 2017, pp. 277–280. DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972642.
59. Dubrovka F.F. A high performance ultrawideband orthomode transducer and a dual-polarized quad-ridged horn antenna based on it / F. F. Dubrovka et al. // *VIII International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT)*, Kyiv, Ukraine, September 2011, pp. 176–178. DOI: 10.1109/ICATT.2011.6170737.

ELECTRONIC CIRCUIT SIMULATION

D. V. Riabchuk

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine
dmytro.r.v@gmail.com

Electronic circuit simulation uses mathematical models to replicate the behavior of an actual electronic device or circuit. Simulation programs or simulation software allows for developing a circuit and discovering its properties without actually making a physical one. Today such softwares are widely used for different purposes. They took a perfect place in the education process. Many colleges and universities use this type of software for the teaching of electronics technician and electronics engineering programs. Electronic circuit simulator is a perfect choice for testing your knowledge in the real world. They help to understand the meaning of physical formulas.

As it was said before, simulating electronic circuits has a great amount of advantages. First of all, when talking about simulation software, should be mentioned the lack of need in realisation the device for more detailed research. It is also useful for students. With simulators students have an opportunity to explore the processes in the circuits by themselves.

At the same time, the simulators can twist the imaging of the real world as the mathematical modeling doesn't take into consideration a lot of factors that can affect the result in the physical world.

ADVANTAGES

- discovering the circuit without assembling the physical one;
- easy way to practise the skills after learning the theory;
- visualization of theoretical laws and formulas;

DISADVANTAGES

- receiving results from ideal environment;

Now it is time to move from overall view to more specific information. One of the most widely used simulator is a product by National Instruments Electronics Workbench Group called Multisim.

NI Multisim is an electronic schematic capture and simulation program which is part of a suite of circuit design programs, along with NI Ultiboard.

Multisim was originally created by Electronics Workbench Group, which is now a division of National Instruments Corporation. Multisim can support the custom libraries as well as preinstalled libraries by developers. This fact makes Multisim one of the most flexible simulator on the market. Multisim is widely used in academia and industry for circuits education and electronic schematic design.

Multisim has a simple interface and that is one more reason why it is so common in different universities. In the majority of cases the user will not need any guides and manuals.

The program meets the user with the designing table (fig. 1), on which all of the circuits are usually built. The default view settings contains the Design Toolbox on the left, the spreadsheet at the bottom and status bar. The view can be easily changed at any time.

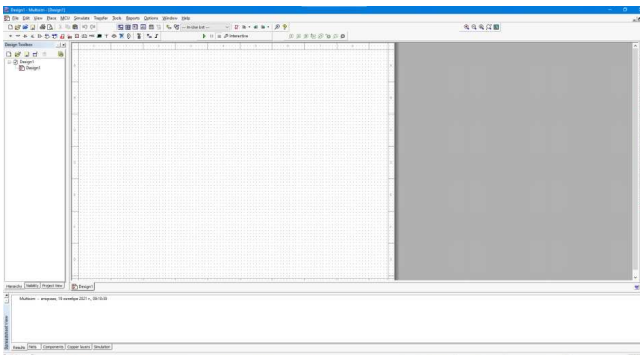
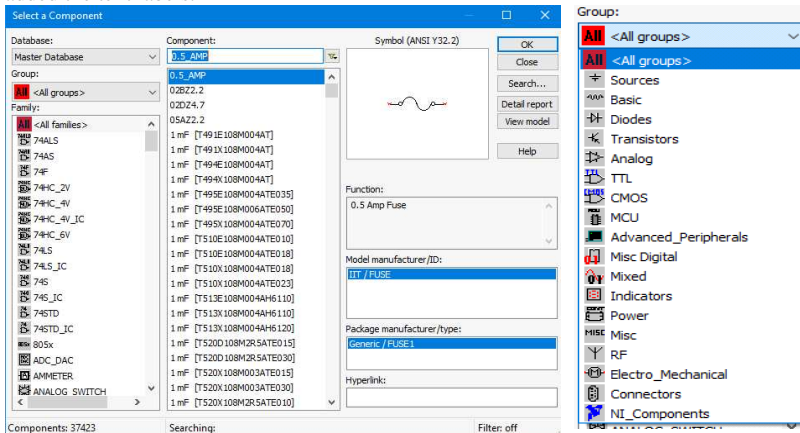


Figure 1. Starting screen of the program

The program has a wide choice of components. Any of them can be easily found as they are sorted by the types and libraries (fig. 2).

For example, in the group “Basic” can be found resistors, capacitors and inductors. Their types and properties can be chosen in the same window. More complicated components such as sources or transistors are located in separate groups. Custom components can also be found there.

How it was already mentioned before, the user assembles all of the circuits on the Design Table. The process of assembling is easy and intuitive. The leads of components are connected with wires. On any section of the wire the junction can be placed. The properties of the wires and junctions can be changed. Also on the Design Table can be added the text labels.



a)

b)

Figure 2. Component window and default groups

The values from the circuit can be received from the probes. There are some basic probes, which don't have specified properties and can be customized for different types of current (direct current or alternating current). On the other hand the user can pick

more complex probes. In such probes user can customize even the resistance of the probe. Such customizing will give more accurate results.

The Multisim also contains different types of scopes, generators and analyzers such as Function generator, Word generator, Bode Plotter, Oscilloscope, Spectrum analyzer, Distortion analyzer, Logic analyzer, etc. Some of them are shown in Fig. 3.

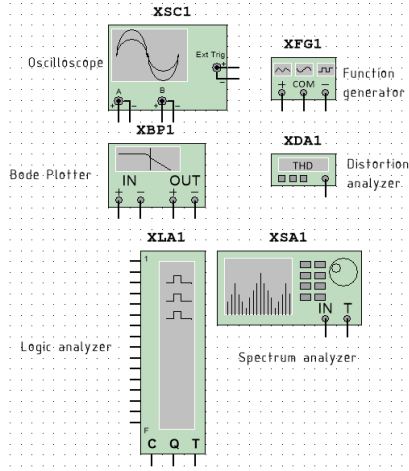
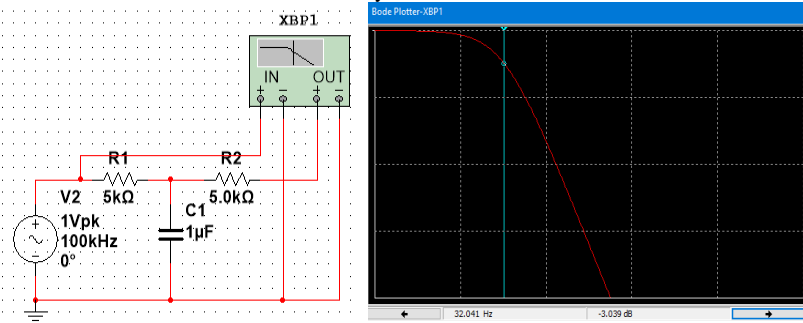


Figure 3. Examples of analyzers and generators

In Fig. 4 there is an example of a circuit which was made by me and some of my groupmates in university. We started using Multisim during learning the frequency filters in the second semester of our first year of education.



a)

b)

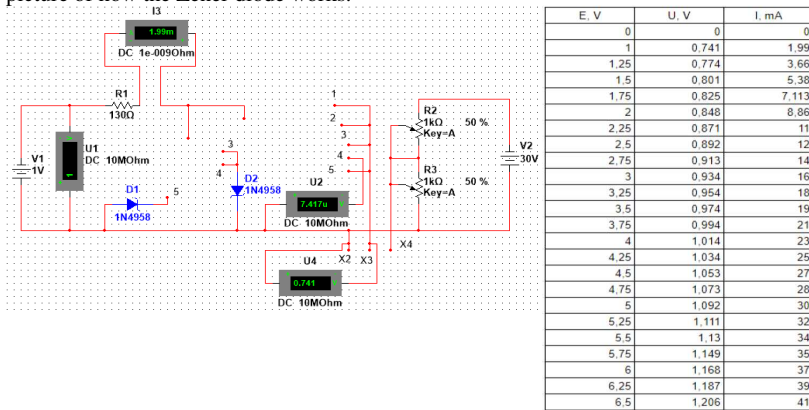
Figure 4. a - circuit of the low-pass filter; b - Frequency response of filter

The passive part of the circuit contains two resistors and capacitors. Combination such this is able to pass only signals with a frequency lower than a selected. That frequency is called cutoff frequency. The scheme attenuates signals with the frequencies higher than the cutoff frequency.

Cutoff frequency can be found in an analytical way (by using the formula) or by using the graph such as in the example. From the graph it is clear that the cutoff frequency is approximately 32 Hz.

Today me and my groupmates also work with Multisim. It is quite helpful during learning the components of circuits. We have already learned the properties of Zener diode as a task for the subject. The properties of component were firstly modulated and then tested in the laboratory.

In Fig 5. there are parts of my own work and some results. The value of voltage in column “U” is almost constant (Fig 5, b). After receiving results the user can form a full picture of how the Zener diode works.



a) b)
 Figure 5. a - general scheme for researching the Zener diode; b - some results from Multisim

And now it is time to conclude everything said before. It is clear which outlook has electronic circuit softwares. They have been already commonly used all around the world as a professional tool for technicians and engineers. And today such softwares is gaining more and more relevance because of the conditions of the world. Today, when students don't have an opportunity to visit colleges and universities, modulating software becomes a perfect solution.

Sources:

1. Моделирование электронных схем [Електронний ресурс] / Матеріал из Википедии — свободной энциклопедии – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_circuit_simulation
2. NI Multisim [Електронний ресурс] / Матеріал из Википедии – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/NI_Multisim
3. “Getting Started with NI Circuit Design Suite (Bilingual)” - National Instruments

СЕКЦІЯ 6
Хімія та фармацевтика

SECTION 6
Chemistry and pharmaceuticals

ДЕСОРБЦІЯ ВОДИ З ГІДРОГЕЛІВ НА ОСНОВІ ПВС ТА КРОХМАЛЮ

І.О. Ляшок, О.В. Іщенко, В.П. Плавач, Д. Михайлюк

Київський національний університет технологій та дизайну
liashok77@gmail.com

Полімерні гідрогелі мають широке та різноманітне застосування, чому сприяє їх унікальна пориста структура у поєднанні з присутністю гідрофільних функційних груп. Це забезпечує здатність набрякати у воді та інших полярних розчинниках та обумовлює високу їх проникність для розчинених низькомолекулярних речовин [1]. Гідрогелям властива еластичність та стабільність форми у водному середовищі, здатність поглинати та утримувати вологу, біосумісність, через що вони широко використовуються у біомедичній галузі як імпланти, матеріали для контактних лінз, різного роду пов'язок для ран та опіків, контрольованого вивільнення лікарських препаратів тощо [2].

Полімерні гідрогелі можна розділити на дві групи, в залежності від природи утворення взаємно проникної сітки, на хімічні та фізичні. Гідрогелі, утворені внаслідок фізичних взаємодій називають зворотніми, або фізичними. Перевагою фізичних гідрогелів є відсутність необхідності використання зшиваючих агентів для їх отримання. Серед методів одержання таких гелів відома зшивка за рахунок іонних взаємодій, найвідомішим прикладом є альгінат, який представляє собою полісахарид, що здатний до зшивки в присутності іонів кальцію[3], при кімнатній температурі і фізіологічних значеннях рН. Як наслідок альгінатні гелі дуже часто використовуються як біосумісні матеріали [4].

Прикладом полікатіонних полімерів, які можуть бути жельованими додаванням до їх розчину відповідних аніонів, є хітозан – біополімер. Гідрогелі на основі хітозану можуть бути отримані, наприклад, взаємодією розчину полімеру з натрій гліцеролфосфатом [5]. В присутності цієї солі, розчини хітозану залишаються рідкими при температурі нижче кімнатної, але досить швидко желуються при нагріванні. Такі гідрогелі ефективні в якості транспортерів білків, які стимулюють зростання хрящів і кісткової тканини в організмі [6].

Зшивання за рахунок кристалізації є ще одним методом одержання гідрогелів. Типовим прикладом є полівініловий спирт, гідрогелі якого формуються за рахунок формування кристалічних доменів при його заморожуванні і наступному відтаванні. Утворені гелі характеризуються високою механічною міцністю і еластичністю [7]. Властивості таких гідрогелів можуть регулюватися додаванням до розчину деяких полімерів, наприклад, альгінату, до заморожування. З ростом концентрації альгінату щільність зшивання гідрогелю росте [8]. Фізичні гідрогелі можна отримати на основі амфифільних блок- і прищеплених кополімерів, які здатні до самоорганізації у воді з утворенням полімерних міцел і гідрогелю, за рахунок агрегації гідрофобних сегментів [9]. Фізично зшиті гідрогелі на основі амфифільних блок- і прищеплених кополімерів, як правило, отримують з мультиблоккополімерів або прищеплених кополімерів. Останні можуть складатися з основного водорозчинного полімеру, до якого приєднані бічні гідрофобні блоки, або гідрофобні ланцюги, що містять гідрофільні групи.

Ще одним методом одержання фізичних гідрогелів є структурування за допомогою водневих зв'язків, яке відбувається при гідрофобній взаємодії полікислот. Водневі зв'язки утворюються лише в разі протонування карбоксильних груп кислоти. Це призводить до того, що набухання таких гелів

сильно залежить від значення рН [10]. Також відомий метод зшивання за рахунок білок-білкових взаємодій, що дозволяє регулювати послідовність пептидів та їх властивості за допомогою зміни в послідовності синтетичної ДНК [11].

За допомогою генної інженерії були отримані блоккополімери, що складаються з шовкоподібних і еластоподібних блоків, в яких наявність водонерозчинних шовкоподібних сегментів [12] призводить до утворення незворотніх гідрогелів при фізіологічних умовах внаслідок кристалізації шовкоподібних доменів. Деякі природні білки утворюють, так звані суперспіралі, що при підвищенні температури і збільшенні рН більше 8, переходять у розчин.

Практично всі фізичні процеси гелеутворення можуть відбуватися в кріоумовах внаслідок кристалізації низькомолекулярної рідини. Утворення фази полімерного гелю може відбуватися як на стадіях замерзання вихідної системи (наприклад, колоїдні дисперсії клейстеризованого крохмалю), так і при витримуванні системи в замороженому стані (в основному, формування хімічно зшитих кріогелів [13], а також під час відтавання (наприклад, при нековалентному гелеутворенні у водних розчинах ПВС [14]).

В даній роботі проведено дослідження властивостей гідрогелів на основі композицій полівінілового спирту та крохмалю. Для цього готували композицію 10%-го розчину ПВС марки 16/1, масова частка ацетатних груп не більше 0,9-1,7 %, та 10 % розчин картопляного крохмалю. Обидва розчини готували при нагріванні на водяній бані при постійному перемішуванні протягом 45 хвилин.

Композиції створювали у співвідношеннях ПВС/Крохмаль від 1/9 до 10/0 Після цього проводили розлив сумішей на пласку гладку поверхню, та заморожування при температурі -15 °С протягом 12 годин. Розморювання здійснювали поступово при кімнатній температурі.

Таким чином у композиції ПВС/Крохмаль при заморожуванні кристалізується крохмаль, а при розморюванні – ПВС (рис. 1).

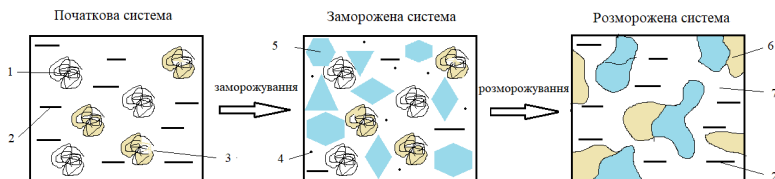


Рисунок 1 – Загальна схема гелеутворення композиції ПВС/Крохмаль в кріоумовах. 1 –глобули молекул ПВС; 2 – розчинник; 3 – молекули крохмалю; 4 – незамерзла рідка мікрофаза; 5 – полікристали замерзлого розчинника; 6 – полімерна сітка гідрогелю на основі ПВС та крохмалю; 7 – макропори

Відомо, що ПВС-гідрогелі за рахунок системи розвинених пор здатні поглинати та утримувати значну кількість рідини, що дозволяє використовувати їх в якості зволожувального малотравматичного покриття для ран. Гідрогелі на основі ПВС абсорбують раневий ексудат, стимулюють ріст грануляційних тканин та епітелію по всьому об'єму поверхні рани. Тому в роботі досліджували гравіметричним методом вплив складу композиції ПВС та крохмалю на процес висушування гідрогелів.

Десорбційні властивості оцінювали за зміною вмісту води у системі X (%) та розраховували за формулою:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%$$

де m_2 – маса зразка в певний момент часу, г; m_1 – маса сухого зразка, г.

На рис.2 наведено залежність десорбції води гідрогелів на основі ПВС та Крохмалю від часу висихання.

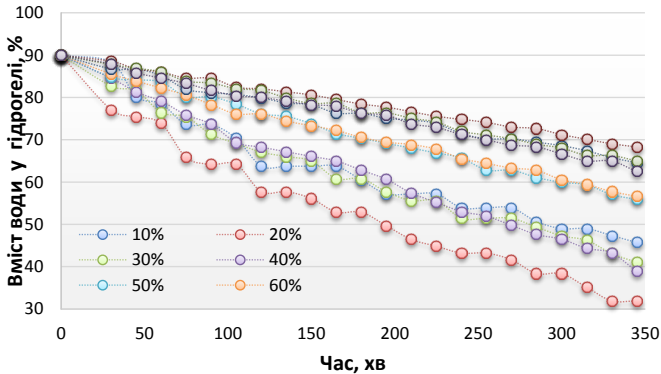


Рисунок 2 – Кінетика десорбції води гідрогелів на основі ПВС/Крохмаль

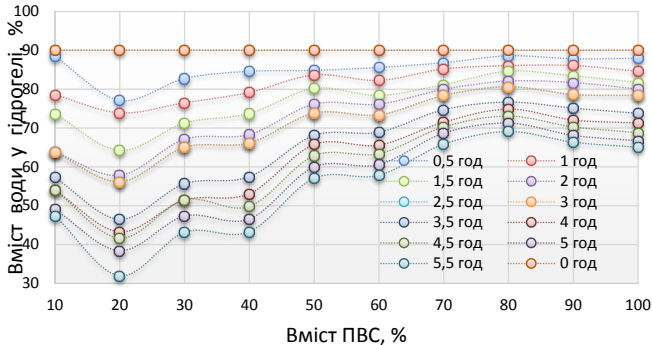


Рисунок 3 – залежність десорбції води з гідрогелів на основі ПВС/Крохмаль від вмісту ПВС та часу висихування

Для зразків із вмістом ПВС 70-100 % втрата вологи відбувається поступово, і за 5,5 годин складає до 30 %. Для гідрогелів із вмістом ПВС 30-60 % спостерігається загальне пришвидшення десорбції води, яке за 5,5 годин складає до 50 %. На рис. 3 наведена залежність десорбції води від вмісту ПВС та часу висихування. Для концентрації ПВС 20 % характерна найрізкіша втрата вологи – до 60 % від загальної маси гідрогеля. При вмісті в кріогідрогелі 10 % ПВС десорбція складає порядка 50 %, практично на рівні 30 % вмісту ПВС. Можливо це пов'язано з особливостями властивостей крохмальної компоненти гідрогелю.

Отже, крохмаль, у складі кріогідрогелю на основі ПВС підвищує швидкість процесу висихання при вмісті в композиції більше 20 %, а ПВС сприяє втримуванню вологи у структурі гідрогелів досліджуваних композицій. Таким чином полімерні композиції на основі ПВС 16/1 та крохмалю у співвідношенні 20:80 можна рекомендувати для одержання кріогідрогелів з підвищеними сорбційними властивостями.

Список літературних джерел

1. Enas M. Ahmed. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications / Enas M. Ahmed // *Journal of Advanced Research*. – 2015. – No 6. – P. 105–121.
2. Shoichet M. S. Polymer scaffolds for biomaterials applications / M. S. Shoichet // *Macromolecules*. – 2010. – V. 43. – P. 581–591.
3. Gacesa P. Alginates // *Carbohydr. Polym.* — 1998. — Vol. 8 — 161-182 p.
4. Khan, M. A holistic review of hydrogel applications in the adsorptive removal of aqueous pollutants: Recent progress, challenges, and perspectives // *Water Research*. – 2016. – Vol. 106. – P. 259-271
5. Chenite A., Chaput C., Wang D., Combes C., Buschmann M., Hoemann C., Leroux J., Atkinson B., Binette F., Selmani A. Novel injectable neutral solutions of chitosan form biodegradable gels in situ // *Biomaterials*. — 2000. — Vol. 21. — 2155-2161 p.
6. Yokoyama F., Masada I., Shimamura K., Ikawa T., Monobe K. Morphology and structure of highly elastic poly-(vinyl alcohol) hydrogel prepared by repeated freezing-and-melting // *Colloid Polym. Sci.* — 1996. — Vol. 264. — 595-601 p.
7. Lim D.W., Choi S.H., Park T.G. A new class of biodegradable hydrogels stereocomplexed by enantiomeric oligo(lactide) side chains of poly(HEMAg-OLA)s // *Macromol. Rapid Commun.* — 2000. — Vol. 21. — 464-471 p.
8. Lee D.S., Jeong B., Bae Y.H., Kim S.W. New thermoreversible and biodegradable block copolymer hydrogels // *Proc. Int. Symp. Controlled Release Bioact. Mater.* — 1996 — Vol. 23. — 228-229 p
9. Haglund B.O., Joshi R., Himmelstein K.J. An in situ gelling system for parenteral delivery // *J. Controlled Release*. — 1996. — Vol. 41. — 229-235 p.
10. Wu, Junhua, et al. "Rationally designed synthetic protein hydrogels with predictable mechanical properties." *Nature communications* 9.1 (2018): 1-11.
11. Cappello J., Crissman J.W., Crissman M., Ferrari F.A., Textor G., Wallis O., Whitedge J.R., Zhou X., Burman D., Aukerman L., Stedronsky E.R. In-situ self-assembling protein polymer gel systems for administration, delivery, and release of drugs // *J. Controlled Release*. — 1998. — Vol. 53. — 105-117 p.
12. Рихтер М., Аугустат З., Ширбаум Ф. Избранные методы исследования крахмала: перевод с немецкого (под ред. Н. П. Козьмной и В. С. Грюнера). — М.: Пищевая промышленность, 1975. — 183 с.
13. Hsieh C.Y., Tsai S.P., Ho M.H., D.M. Wang, Liu C.E., Hsieh C.H., R-C. Tseng, H.-J. Hsieh. Analysis of freeze-gelation and cross-linking processes for preparing porous chitosan scaffolds // *Carbohydrate Polymers*. — 2007. — Vol. 67, № 1. —124-132 p.
14. Damshkaln L.G., Simenel L.A., Lozinsky V.I. Study of cryostructurization of polymer systems. XV. Study of cryostructuration of polymer systems. XV. Freeze-Thaw-induced formation of cryoprecipitate matter from lowconcentrated aqueous solutions of poly(vinyl alcohol) // *Journal of Applied Polymer Science*. — 1999. — Vol. 74, № 8. —1978–1986 p.

**ТИПОВІ СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ
ВИКИДНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**
**О.В. Бабаков¹, Г.В. Кринець¹, А.В. Лапінський¹, О.В. Павленко²,
К.О. Полова¹, М.С. Поташна¹**

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Шосткинський інститут Сумського державного університету
krimets@xtf.kpi.ua

Одним з напрямів розвитку хімічних технологій в сучасному світі є максимально можлива уніфікація виробництв як на рівні обладнання, так і на рівні поєднання такого обладнання в технологічні ланцюги. Уніфікація обладнання суттєво спрощує ремонтні роботи і собівартість продукції, яка виробляється за допомогою такого обладнання. Уніфікація технологічних схем спрощує експлуатацію виробництв в цілому, а також підготовку кадрів. Крім того, уніфікація дозволяє масштабувати хімічні виробництва у бік мініатюризації. Таким чином на ринок потрапляють прилади, товари і послуги, які раніше не були доступні широким верствам населення, а вважалися прерогативою лише фахівців з хімічних технологій або споріднених професій. Прикладом можуть бути сучасні побутові установки для фінішного очищення води, в яких використовуються зворотньоосмотичні принципи.

В разі технологій очищення води, особливо, стічних вод виробництв, має місце гігантське різноманіття таких стоків. Зрозуміло, що уніфікувати процеси очищення для всіх стічних вод наразі неможливо, проте на рівні хоча б певної галузі такі підходи вже сьогодні слід запроваджувати, більш того, саме на уніфікацію в сфері промислового водоочищення слід звертати увагу під час підготовки майбутніх фахівців-технологів в профільних університетах. Продемонструємо, які підходи можуть бути застосовані на прикладі стічних вод фармацевтичних виробництв.

Сучасні фармацевтичні підприємства в Україні в більшості своїй працюють з використанням вже готових субстанцій, які або закуповуються на інших вітчизняних виробництвах, або імпортуються для власних потреб. Фактично, мова йде про так звані «сумішеві технології», а не про повний цикл. Такий підхід певним чином вплинув на якісний та кількісний склад стічних вод, що генеруються фармацевтичними виробництвами. Тому на часі оновити підходи до методології водоочищення в сфері фармацевтичної промисловості нашої країни.

Зрозуміло, що за фазово-дисперсним, якісним та кількісним складом різноманітність стічних вод не поменшилась, а, скоріше, в умовах ринкової економіки, навіть, збільшилась через тек, що асортимент готової сучасної продукції суттєво оновився і продовжує оновлюватися. Проте цей факт не обов'язково тягне за собою додаткові складнощі в методології водоочищення.

Перш за все, водоочищення не пов'язане безпосередньо з процесом синтезу нової речовини, мова йде виключно про технології відокремлення від основної речовини (макріальності) тих, чи інших домішок (напівмакро- або мікріальності). Однак сама вода свій хімічний, себто елементний склад не змінює. Більш того, сучасні технології підготовки води для потреб фармацевтичних підприємств практично однакові, це ультрафільтрація, зворотній осмос, дистиляція (одно- або багатократна). Вказані технології водопідготовки не зовсім безреагентними тому також є первинними, в технологічному ланцюгу

всього виробництва джерелами стічних вод. Водопідготовка генерує власні стічні води. Ці технології відокремлюють від води природні домішки або домішки, притаманні водогінній воді. Фактично, мова йде про концентрування домішок, власне їх якісний склад не потерпає змін, тому загальний підхід полягає в тому, що сегмент стічних вод, пов'язаних з водопідготовкою для власних потреб фармацевтичних виробництв накопичується і далі просто скидається до каналізації, або змішується з лівневими стічними водами і доправляється до каналізації після такого змішування.

Сегмент стічних вод фармацевтичних виробництв, пов'язаний безпосередньо з виробництвом лікарських препаратів має значно більше забруднень і повинен обов'язково бути або знешкодженим, або тим, чи іншим чином утилізованим. Такі стічні води утворюються при промиванні обладнання, особливо в разі використання періодичних хіміко-технологічних процесів. Крім того, джерелами стічних вод можуть бути будь-які технологічні стадії, від надання однорідності в змішувачах, або гомогенізаторах до формування і пакування готових лікарських форм у тару. Всі ці стічні води в наш час успішно піддаються порівняно невеликій кількості технологічних варіантів водоочищення. Невелика кількість є наслідком того, що сучасні технології і технологічне обладнання для їх реалізації не вимагає в більшості випадків використання підходів, які базуються на знешкодженні окремих стоків.

До традиційних методів очищення стічної води від лікарських препаратів відносяться: біологічні процеси, фільтрація і коагуляція, адсорбційні, окисні і мембранні процеси тощо. В процесах коагуляції і осадження використовують хімічні речовини, щоб підвищити ступінь утворення твердих сполук, пластівців, колоїдних утворень, які осідають. Ці методи вимагають подальшої обробки для видалення забруднюючих речовин із стічних вод. За останні десять років традиційні методи переглядаються для більш ефективного видалення фармацевтичних забруднювачів зі стічних вод [1]. Більш ефективні є методи біологічної та окисної обробки стічної води. Під біохімічним розкладом розуміють видалення органічних сполук за рахунок одночасно протікаючих процесів дисиміляції і асиміляції. Дисиміляція представляє собою сукупність enzymатичних процесів, в результаті яких органічна речовина послідовно перетворюється в більш просту органічну сполуку, причому кінцевими продуктами являються вуглекислий газ, вода, аміак, солі азотної і сульфатної кислоти і інші неорганічні компоненти вихідної речовини. Під асиміляцією розуміють сукупність реакцій, в результаті яких органічна речовина виявляється переробленою в біомасу. Органічні речовини розкладаються в результаті біохімічних процесів з різними механізмами, що визначаються їх складом і структурою. Процеси біохімічного розкладу залежать від фізико-хімічних, біологічних і хімічних факторів. До головних фізико-хімічних факторів належать температура, розчинність речовини в стічній воді, рН води, а також (у випадку аеробного розкладу) концентрація кисню, що розчинений в стічній воді. До головних біологічних факторів слід віднести вибраний комплекс мікроорганізмів і характер їх адаптації до специфічних речовин, співвідношення між концентрацією даної речовини і концентрацією сухої частини біомаси, а також активність мікроорганізмів, яка визначається перш за все віком культури. По мірі старіння активного мулу зменшується доля асимільованих органічних речовин і зростає кількість продуктів розкладу. Із хімічних факторів вирішувачими

являються склад і структура досліджуваної сполуки, присутність речовин, що легко піддаються біохімічному розкладу і біогенних елементів [2]. Окиснювачі застосовують в практиці підготовки питної води для знезараження і поліпшення її органолептичних показників. Однак в останні роки в зв'язку з прогресуючим забрудненням стічних вод хімічними та органічними сполуками антропогенного походження значення окиснювачів в практиці очищення стічних вод істотно зросла, так як багато забруднюючих речовин, що присутні у воді, руйнуються в тій чи іншій мірі під дією окиснювачів. Утворені продукти можуть значно відрізнитися від вихідних речовин забруднювачів не тільки за своєю хімічною структурою і фізико-хімічними властивостями, але і за токсичністю.

Досвід токсиколого-гігієнічної та технологічної оцінки ефективності використання окиснювачів показує, що найбільш важливим є вибір окиснювача для очищення стічної води від хімічних і органічних забруднень.

При цьому необхідно враховувати не тільки величину окисно-відновного потенціалу кожного окиснювача, але також і інші фактори, що роблять істотний вплив на ефективність очищення води: її склад; ступінь і характер забруднення; наявність природних сполук, таких як гумінові кислоти і складні феноли, що здатні окиснюватися; величину рН води тощо. При цьому повинна враховуватися здатність деяких окиснювачів до реакцій заміщення із включенням молекул окиснювача в утворенні хімічних речовин, в результаті чого у воді можуть з'явитися небезпечні і навіть небезпечні сполуки. Так, при обробці хлором води, що містить феноли, можуть утворюватися хлорфеноли, що додають їй різкий неприємний запах. У практиці водоочищення в основному застосовують такі окиснювачі: озон, перманганат калію, хлор і його похідні [3]. При цьому традиційні методи очищення стічних вод не завжди ефективні відносно фармацевтичних препаратів [4].

Одною з можливих стадій для модернізації очищення питної та стічної води на станціях очищення є застосування розширених окисних процесів (Advanced oxidation processes) [5-7].

Advanced oxidation process (AOPs) є окиснювальними методами, що засновані на генерації проміжних гідроксильних радикалів, що мають більшу реакційну здатність і меншу селективність, ніж інші окиснювачі (наприклад, хлор, озон тощо). Його стандартний окислювальний потенціал $E^0 = 2,8$ В, що є більшим, ніж в звичайних окиснювачах, це робить їх надзвичайно ефективними в окиснюванні різноманітних органічних сполук. У таких процесах, очікується, що органічні сполуки окиснюються до менш токсичних, які здатні до біодеградації або мінералізуються до CO_2 і H_2O [6].

Універсальність розширених окисних процесів відображається в різних варіантах генерування гідроксильних радикалів. Вони характеризуються різноманітністю реакцій, протікання яких включає комбінацію хімічних речовин (наприклад, озон, пероксид водню, перехідні метали, оксиди тощо) і допоміжного джерела енергії (наприклад, УФ-випромінювання, електричний струм, γ -випромінювання, ультразвук тощо). Іншими прикладами розширених окисних процесів є комбінована дія H_2O_2 – УФ; система Фентона ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$); фото- і електро-Фентон системи; хемоутворюючі речовини, що сприяють протіканню фото-Фентон процесів; гетерогенне фотоокиснення з використанням діокиду титану (TiO_2); γ -радіоліз і соноліз. Гідроксильні радикали представляють собою надзвичайно реакційно здатні частинки з константами швидкості реакції з

більшістю органічних молекул порядку $10^6 - 10^9$ 1/мс. Відсутність селективності взаємодії цих радикалів з речовиною, і в дуже забруднених водах вважається перевагою.

Згідно з дослідженнями найбільш ефективними є процеси окиснення органічних сполук пероксидом водню в присутності іонів металів змінної валентності (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Cr^{2+} , Ag^+). До ефективних процесів окиснення відносяться також системи Фентона ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{2+}$) і Раффа ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{3+}$).

Головна перевага процесів фотокаталітичного окиснення ґрунтується на протіканні реакцій окиснення при кімнатній температурі і можливості ефективного використання електромагнітного випромінювання в видимій або ультрафіолетовій частині спектра, які можуть привести до значних економічних заощаджень для великомасштабних очисних процедур.

Список літературних джерел

1. Кривець Г. В. Advanced Oxidation Processes для очищення стічних вод фармацевтичних підприємств від антибіотиків / Г. В. Кривець, Т. А. Хондока // Молодий вчений. — 2018. — №2с.
2. Яковлев С. В. Очистка сточных вод предприятий химико-фармацевтической промышленности / Т.А. Карюхина, С.А. Рыбаков. — К. : Стройиздат, 1985. — 252 с.
3. Сколубович Ю. Л. Окислительные и коагуляционные методы очистки воды для питьевого водоснабжения / Е. Л. Войтов, А. Ю. Сколубович // ВЕСТНИК ИрГТУ. — 2010. — № 6. — С. 121-125.
4. Желовицкая А. В. Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты / А. Ф. Дресвянников, О. Г. Чудакова // Вестник технологического университета. — 2015. - № 20. — С. 73-79.
5. Emzhina V. V. Oxidative degradation of model wastewater containing pharmaceuticals by fenton's reagent / S. N. Mirzoeva, N. A. Ivantsova // Успехи в химии и химической технологии. — 2014. — № 5. — С. 22-25.
6. Homem V. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices / Vera Homem, Lúcia Santos // A review. Science of the Total Environment. — 2011. — Vol.92 (10). — 2304-2347 p.
7. Kyrii S., Krimets G., Kosogina I.,Astrelin I., Fedorenko O.APPLYING AOPS FOR ANTIBIOTICS EXCSTRACTION FROM WASTEWATER Norwegian Journal of development of the International Science ISSN 3453-9875 №26/2019 VOL.2 pp. 26-31.

СЕКЦІЯ 7

Філософсько-методологічні та
соціальні аспекти виробництва

SECTION 7

Philosophical and methodological
and sociological aspects
of production

СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЧНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ ТОВАРІВ ШИРОКОГО ВЖИТКУ

Л.Є. Булітко

Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба СумДУ
41100, м. Шостка, вул. Інститутська, 1
bulitkole@gmail.com

Серед глобальних цілей сталого розвитку ціль 12 – відповідальне споживання, яке включає ефективне управління природними ресурсами та утилізацію токсичних відходів і речовин, що забруднюють довкілля. А заохочення галузей, підприємств і споживачів до зростання цільових показників цієї мети з точки зору Програми розвитку ООН є настільки ж важливим, як і підтримка країн, що розвиваються. Отже, соціальна відповідальність виробників буде полягати в тому, щоб сприяти відповідальному споживанню.

В той же самий час в різних частинах світу, в тому числі і в Україні, зростає попит населення на екологічно чисту продукцію та послуги. Обирати більш безпечні продукти харчування, засоби побутової хімії, будівельні матеріали, зелений туризм стало всесвітнім екологічним трендом. Дослідження, проведені на замовлення Єврокомісії у 2016 році надали оцінку світовому ринку екопродукції у 4200 млрд. євро з часткою ЄС – 21%. З 2010 року цей ринок щорічно зростає на 4% , має найбільший потенціал до зростання та вимагає відповідного ставлення до ведення бізнесу. Поєднати попит та пропозицію може екологічний маркетинг, мета якого – інформувати потенційних споживачів про переваги і особливості екопродукції.

Інститути громадянського суспільства також можуть відігравати свою роль у формуванні попиту на продукцію та послуги з покращеними екологічними характеристиками за рахунок екологічного виховання та освіти, популяризування екологізації споживання, повернення до традицій тощо. Так, з метою набуття необхідних ключових компетентностей у здобувачів освіти МОН пропонує під час вивчення дисциплін впроваджувати наскрізну лінію «Екологічна безпека та сталий розвиток».

Ствердження про покращені екологічні характеристики має бути не голосливим, а обґрунтованим. Підтвердженням екологічних переваг тих чи інших товарів чи послуг служить добровільна екосертифікація, що надає право наносити на товар екомаркування.

Екологічне маркування (environmental label, ecolabel – англ.) твердження, у якому зазначені екологічні аспекти певного продукту, засобу, матеріалу чи виробу (надалі – товару), послуги або об'єкта будівництва. Можуть застосовуватися у вигляді фраз, символу чи зображення на етикетці або пакуванні, у технічній документації, рекламних матеріалах тощо.

Першим екомаркуванням в світі стала німецьке маркування «Блакитний ангел», що було засновано в 1978 році за ініціативою Федерального агентства з навколишнього середовища Німеччини, яке розробляє екологічні критерії для сертифікації.

В 1994 році була заснована неурядова Глобальна мережа екологічного маркування (англ. Global Ecolabelling Network (GEN)). На сьогоднішній день ця міжнародна некомерційна організація об'єднує 27 програм екологічного маркування I типу згідно ISO 14024 «Екологічні маркування та декларації – Екологічне маркування типу I – Принципи та методи», що діють в 60 країнах

світу. Країни-члени GEN визнають екомаркування один одного. Таке маркування є орієнтиром для споживача, замовника, постачальника чи ритейлера орієнтованого на більш безпечну продукцію з поліпшеними екологічними характеристиками.

Поліпшені екологічні характеристики – покращені відносно загальнообов'язкових державних норм показники, що характеризують впливи продукції певної категорії на стан довкілля та здоров'я людини протягом її життєвого циклу.

В Україні органом екологічної сертифікації, що дозволяє впроваджувати екомаркування, згідно з міжнародним стандартом ISO 14024, є Центр екологічної сертифікації та маркування (орган з оцінки відповідності), що має міжнародну акредитацію GEN. Знаком українського екомаркування є "Зелений журавлик".



Рис. 1. Знак "Зелений журавлик", що є елементом маркування українського «Центру екологічної сертифікації та маркування».

Таке екомаркування на нашому ринку вже мають будівельні матеріали, текстильні вироби, алкогольні та безалкогольні напої, продукти харчування, косметика, мийні засоби, лакофарбові матеріали, добрива, меблі, вироби з паперу і пластику, побутові прилади, а також офісні приміщення. Так, в м. Шостка підприємство, що виготовляє засоби побутової хімії, змогло організувати своє виробництво таким чином, щоб отримати екосертифікат на свою продукцію під ТМ «Alles GUT!», що свідчить про поліпшені екологічні характеристики цих засобів в порівнянні з аналогічними товарами.

Наприклад, за екологічними критеріями згідно з COU OEM 08.002.12.065:2016 "Засоби мийні та засоби для чищення. Екологічні критерії оцінювання життєвого циклу" пральні порошки з екосертифікатом не повинні містити:

- лінійних алкілбензенсульфонатів,
- алкілфенолетоксилатів,

- ЕДТА (Трилон Б),
- ДТПА,
- нітрilotриоцтову кислоти,
- сполук фосфору, в тому числі фосфатів,
- гіпохлоритів та інших хлорактивних і хлорорганічних сполук,
- наночастинок тощо.

А також можуть мати обмежений вміст цеолітів, ароматизаторів, біоцидів, можуть використовуватися тільки харчові барвники. На виробництві мають бути впроваджені заходи енергозбереження, роздільний збір відходів для їх подальшої утилізації, є обмеження на використання матеріалів пакування, а також вимоги до концентрованості засобів та їх оптимального транспортування.

Виробництва, які ставлять за мету пройти екосертифікацію, створюють соціальний ефект, що виражається в наступних чинниках:

- економічний – економія ресурсів, інвестиції у виробництво, стимулювання споживачів до сплати справедливої ціни за продукцію з більшою собівартістю;
- екологічний – відмова від токсичних складників, наприклад, небіорозкладних поверхнево-активних речовин в мийних засобах, призводить до можливості відновлення водних екосистем, оптимальні пакування та логістика знижують вуглецевий слід;
- соціальний – збереження робочих місць на підприємствах, що виготовляють продукцію з конкурентними перевагами.

Такі ефекти цілком відповідають концепції сталого розвитку щодо більш раціональних моделей споживання та переходу до більш ресурсоефективної економіки.

Стимулювання переходу до ековиробництва з боку держави полягає в наданні переваг екопродукції в системі публічних закупівель та впровадженні норм законодавства, що захищають від недобросовісної конкуренції.

Отже, виробництво, купівля та використання екосертифікованих товарів допомагають досягати цілей сталого розвитку ООН, а саме 12-ої – відповідальне споживання.

Список використаних джерел

1. Глобальні цілі сталого розвитку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals/> –
2. Система екологічної сертифікації та маркування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ecolabel.org.ua/>
3. Наскрізнi змістові лінії [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України – Режим доступу до ресурсу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/naskrizni-zmistovi-liniyi> –
4. Н.В. Зіновчук, А.В. Ращенко. Екологічний маркетинг: Навчальний посібник. – Житомир: Видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2015. - 190 с.
5. Н.П. Новак. Соціальні аспекти розвитку органічного виробництва// Економіка та управління підприємствами. Випуск 12. 2016.
6. СОУ OEM 08.002.12.065:2016 Засоби мийні та засоби для чищення. Екологічні критерії оцінювання життєвого циклу.

ЗАПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДИК ТА ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАЛЬНО-ВИРОБНИЧІЙ ПРОЦЕС ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЬНОГО НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНОГО ЦЕНТРУ ДІЄТИЧНОГО ХАРЧУВАННЯ: НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ АСПЕКТ

С.В. Ковтун, Н.Ю. Баланюк

ДПТНЗ Шосткинське вище професійне училище

b.n.y@ukr.net

Модернізація професійно-технічної освіти в умовах сьогодення стає справжнім випробуванням для країни з точки зору входження до європейського освітнього простору, що, у свою чергу, супроводжується істотними змінами в педагогічній теорії і практиці навчально-виховного процесу із запровадженням та використанням новітніх ефективних інноваційно-технологічних засобів.

Хотілось би виокремити найактуальнішу проблему: за умов стрімкого світового науково-технологічного прогресу в рамках істотного підвищення науково-технічного рівня країни нажаль вітчизняні професійно-технічні заклади не спроможні відповідати потребам виробництва. За одночасних умов стабільного попиту з боку роботодавців на професії високого рівня кваліфікації: кухар, кондитер, офіціант, бармен, бариста – роботодавців не задовольняє якість підготовки і кваліфікація випускників професійно-технічної школи, як наслідок – серед молоді вищезазначені професії не користуються попитом у відповідному обсязі.

В свою чергу Україна плідно співпрацює з Європейським Фондом Освіти в аспекті модернізації національної системи професійно-технічної освіти відповідно до європейських стандартів. Рушійною силою стає прагнення до оновлення та входження у загальноєвропейський освітній простір, тому інноваційні проекти є невід’ємною частиною життя навчального закладу.

Тому на сьогоднішній день актуальним постає питання (на державному рівні) необхідності вироблення шляхів модернізації професійно-технічної освіти (далі – ПТО), що за підсумком у державних масштабах забезпечить динамічний розвиток й підвищення показників функціонування як окремих ринкових суб’єктів господарювання, так і економічної системи загалом. На локальному ж рівні – основою модернізаційних процесів професійно-технічної освіти стане структурно-функціональне перетворення освітнього середовища шляхом запровадження інноваційних технологій та методів професійного навчання із застосуванням сучасних виробничих потужностей, створення умов і можливостей всебічної реалізації освітнього потенціалу та повного використання ресурсів розвитку виробничого персоналу.

Згідно оголошеного МОН конкурсу ДПТНЗ «Шосткинським ВПУ» у березні місяці 2021 року було сформовано та надіслано заявку з метою запровадження науково-практичного центру дієтичного харчування (далі – НПЦДХ) в якості структурного підрозділу ДПТНЗ «Шосткинським ВПУ» із аргументованим переконанням фахівцями та науковцями закладу щодо необхідності модернізації освітнього середовища в процесі професійної підготовки за технологічно складними професіями.

Відповідно до Наказу Міністерства освіти і науки № 846, який 27 липня опубліковано на сайті відомства, конкурсною комісією МОН відібрано 62 заклади професійної освіти, які до кінця 2021 року отримують кошти на облаштування нових або дооснащення раніше створених навчально-практичних

центрів. У даному переліку знаходяться ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ» («кухар», «кондитер», «офіціант») [1].

Відповідно до поставленої мети ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ», керуючись у своїй діяльності наказом МОН за № 694 від 14.06.2012 року «Про затвердження Положення про навчально-практичний центр (за галузевим спрямуванням) професійно-технічного начального закладу, а також внутрішнім нормативно-правовим актом – Положенням про модельний навчально-практичний центр дієтичного харчування ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ», затвердженого Наказом ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ» за № 01-02 від 17.09.2018 року, розпочато на власній базі закладу роботу над поступовим запровадженням модельного навчально-практичного центру дієтичного харчування (далі – НПЦДХ) [2].

Отже, серед переваг запровадження НПЦДХ на базі професійно-технічного навчального закладу вбачаємо наступні:

1. Можливість підприємству поєднати альтернативні моделі виробництва та навчання на базі виробництва.

2. Висока ймовірність отримати конкурентні переваги, серед яких:

- монополізація ринку свого продукту;
- підвищення власного навчального та виробничого потенціалу – вдосконалення практичної підготовки учнів, слухачів;
- підвищення кваліфікації педагогічних працівників, фахівців підприємств, організацій, установ тощо.

З метою вирішення поставленого завдання необхідно здійснити акцент на наступних першочергових напрямках, а саме:

- адаптування установи до новітніх умов господарювання;
- часткова зміна його внутрішньої структури (моделювання нових форм і методів в управлінні як поточними виробничими процесами, так і процесами відтворювального характеру, безпосередньо пов'язаними із впровадженням науково-технічних досягнень);
- здійснення співробітництва з виробничими підприємствами, організаціями, установами, навчальними закладами, центрами зайнятості, місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування, державними і громадськими організаціями, іншими заінтересованими органами щодо впровадження інноваційних підходів до здійснення системного комплексного, орієнтованого на практику освітньо-виробничого процесу;
- робота над створенням цілісної системи новітніх методик професійного навчання на основі вивчення, апробації кращого досвіду та його впровадження в інших навчальних закладах і установах;
- поступове впровадження у навчально-виробничий процес інноваційних технологій та методів професійного навчання із застосуванням сучасних виробничих технологій, техніки, обладнання, інструментів і матеріалів [3].

Основними критеріями оцінювання результатів запровадження інноваційних методик та технологій в нашому випадку стануть:

- актуальність – розроблення навчально-методичного, інформаційного супроводу, спрямованого, в першу чергу, на підвищення якості професійної підготовки;
- практичність – організація стажування та підвищення кваліфікації кадрів на базі підприємства;
- значущість – надання практичної та методичної допомоги з питань

впровадження у навчально-виробничий процес новітніх технологій і матеріалів

– багатоаспектність – надання консультативної, інформаційної та посередницької допомоги з питань використання інноваційних матеріалів і технологій;

– маневреність – надання тренінгових, маркетингових, інформаційних, виробничих послуг з метою вирішення поточних і програмних завдань.

Напрямки діяльності НППЦДХ:

1. Співробітництво з:

- виробничими технологіями;
- навчальними закладами;
- місцевими органами виконавчої влади;
- органами місцевого самоврядування;
- державними і громадськими організаціями.

2. Вивчення та впровадження передового досвіду інших навчальних закладів та установ;

3. Діджиталізація процесу професійного навчання;

4. Впровадження у навчально-виробничий процес сучасних методик професійного навчання із застосуванням новітніх педагогічних та виробничих технологій.

Варто наголосити, що на даному етапі запровадження та розвитку НППЦДХ вбачається гострий дефіцит у наукових дослідженнях та розробках, через які відбуватиметься поетапне удосконалення процесу трансформування наукових ідей в практику роботи закладу вищої професійно-технічної освіти, пошук шляхів підвищення якості безперервного навчання науково-педагогічних кадрів, розвиток їх професійної майстерності, формування навичок науково-дослідної та експериментальної роботи та інноваційної освітньої діяльності. Отже, окремим додатковим напрямком вбачаємо створення на базі НППЦДХ науково-практичного відділу. Науково-експериментальна робота закладу професійно-технічної освіти в майбутньому надасть змогу визначити перспективи розвитку чинників модернізаційних процесів, але дана проблема обумовить тематику нашої наступної конкурсної роботи.

Отже, сучасні економічні умови вимагають значної уваги від організації інноваційної діяльності, забезпечення її результативності, підвищення ефективності роботи всіх учасників інноваційного процесу. Чим більше працівників організації долучається до інноваційної діяльності, тим гнучкішою і мобільнішою вона стає, тим вагомішою є віддача від реалізації інновацій завдяки скороченню термінів їх впровадження [4].

Процес запровадження інноваційних методик та технологій на практиці, на нашу думку, має враховувати потенційні можливості інновацій у формуванні саме конкурентних переваг, а з іншого – враховувати можливості кадрового, навчально-методичного, виробничого, а, головне, інвестиційного потенціалу підприємств. Це потребує економічного обґрунтування доцільності впровадження кожної, навіть, на перший погляд, перспективної новачі, що дасть змогу керівництву приймати позитивне рішення лише щодо тієї новинки, яка створить для установи «монополіні» переваги і забезпечить належну економічну віддачу.

Практичні результати (висновки). З огляду на теоретичний й практичний аспекти роботи можемо підсумувати наступне: домінуючими завданнями (рекомендаціями), дотримання яких має забезпечити результативність

запровадження інноваційних методик та технологій в навчально-виробничий процес шляхом створення модельного навчально-практичного центру, можна вважати:

- розроблення бази даних педагогічних інновацій і результатів їх впровадження та на її основі створення НПЦДХ;
- створення єдиної інноваційної системи професійного навчання учнів, адаптованої до динаміки розвитку сучасного виробництва;
- модернізація інноваційних технологій навчання та їх впровадження в навчально-виробничий процес професійно-технічних закладів;
- створення соціально-партнерської мережі закладів ПТО на регіональному, національному та міжнародному рівнях для підвищення їх престижу;
- координація розвитку соціального партнерства;
- підтримка співробітництва між роботодавцями і освітнім закладом;
- проведення профорієнтаційної та маркетингової роботи для створення позитивного іміджу закладу;
- вивчення та впровадження передового досвіду з професійної підготовки робітників;
- ефективне використання матеріально-технічної і навчальної бази;
- своєчасне оновлення змісту професійного навчання відповідно до змінених умов виробництва;
- покращення підготовки та підвищення кваліфікації майстрів виробничого навчання та викладачів.

За результатами поступового запровадження НПЦДХ в якості структурного підрозділу ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ» планується отримати монопольні переваги серед навчально-практичного середовища України в області професійно-технічної освіти відповідно із застосування інноваційних методик та технологій, що в подальшому отримає спрямування на створення і залучення із зовнішнього середовища таких інновацій, які б сприяли підвищенню його конкурентоспроможності, зміцненню ринкових позицій, забезпечували перспективу розвитку.

Додатково результати роботи можуть бути використані у освітньому процесі закладами національної системи ПТО щодо модернізації освітнього середовища на прикладі досвіду сучасного закладу ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ».

Список літературних джерел:

1. Положення про модельний навчально-практичний центр дієтичного харчування ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ», затверджене наказом ДПТНЗ «Шосткинське ВПУ» від 17.09.2018 №01-02.
2. Про затвердження переліку закладів професійної (професійно-технічної освіти), на базі яких у 2021 році будуть створені навчально-практичні центри сучасної професійної (професійно-технічної) освіти за рахунок коштів державного бюджету : Наказ Міністерства освіти і науки від 26.07.2021 року за № 846 // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2021, № 15.
3. Педагогіка: інновації в освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://readbookz.com/book/172/5545.html>.
4. Charles W.L., Hill Strategic Management Theory. An integrated approach / Charles W.L., Hill, Gareth R. Jones. – New York.: Houghton Mifflin company, 2004. – P. 89-90.

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ (НА ДОСВІДІ УКРАЇНА – ПОЛЬЩА)

О.П. Осипенко

ДПТНЗ Шосткинське вище професійне училище
o.o.p@ukr.net

Масове підсилення сучасних світових глобалізаційних процесів призводить до значного зростання міграцій населення, які відповідно формують невід’ємну складову сучасного ринку праці. Згідно показників міжнародного рівня щодо суттєвого зростання масштабів міжнародної міграції вбачаємо проблему у гострій потребі обліку й статистики вищевказаних процесів. На національному та регіональному рівнях виникає потреба в інституційному супроводі змін, причому в контексті трансформації ринкової економіки.

Вищезазначене формує наступний висновок: вплив міграційних процесів на формування економічних показників являється прямопропорційним, а отже процес вдосконалення механізму регулювання міграції населення в умовах трансформації регіональних ринків праці без шкоди економічній галузі є дуже актуальним.

Різні аспекти економічних проблем регулювання міграції між Україною та сусідньою Польщею досліджували вчені В.П. Антонюк, В.Я. Бідак, Н.С. Власенко, В.М. Геєць, В.Д. Лагутін, Е.М. Лібанова, І.І. Лукинов, В.О. Мандибуря, О.Ф. Новікова, В.М. Новіков, В.В. Онікієнко, С.І. Пирожков, І.Я. Сахань, В.К. Черняк, А.А. Чухно, Ю.О. Шклярський та інші. Міграційну складову виділяли при цьому такі українські вчені: Н.П. Бортник, О.П. Волошин, Е.М. Лібанова, О.А. Малиновська, О.Р. Овчинникова, В.В. Онікієнко, О.Р. П’ятковська, С.І. Пирожков, О.В. Позняк, І.М. Прибиткова, М.Д. Романюк, У.Я. Садова, С.Г. Стеценко, В.С. Стещенко, О.У. Хомра, М.О. Шульга, Б.М. Юськів та інші.

Незважаючи на численні публікації, які з’являються із року в рік, ми нажалі не виокремили дієвих механізмів регулювання трудової міграції, а особливо в період трансформації ринків праці між Україною та Польщею. Обмежену увагу приділено дослідженню політико-економічному апарату оцінки та аналізу міграції, її регіональної специфіки та міграційних установок, відсутнє комплексне вивчення підходів до механізму регулювання міграційних процесів та його впливу на економічні показники країни тощо.

Сформуємо визначення дефініції «міграція». Отже, міграція у широкому значенні слова – це територіальний рух населення між населеними пунктами. Відповідно, особи, які здійснюють ці територіальні переміщення, називаються мігрантами.

Оскільки міграція є складним і багатогранним процесом, необхідно розуміти її види і форми. Класифікація відбувається за різноманітними ознаками. Виділяють такі види міграції: переселення (безповоротна, стаціонарна міграція), маятникова, сезонна, епізодична [1].

Залежно від характеру меж, які перетинають мігранти, виділяють два типи міграції: внутрішня і зовнішня. По відношенню до конкретної країни зовнішня міграцію поділяють на: еміграцію (виїзд із однієї країни в іншу на постійне місце проживання), імміграцію (в’їзд в країну іноземних громадян з метою постійного в ній проживання чи тривалого перебування) та рееміграцію (добровільне самостійне повернення емігрантів на батьківщину) [1].

Залежно від причин, вчені виокремлюють наступні види міграції [2]:

релігійна, екологічна, культурно-оздоровча, освітня, політична, економічна.

Економічна міграція – переміщення населення між населеними пунктами в межах країни чи через міжнародні кордони з метою ведення економічної, інвестиційної, торговельної діяльності та спрямована на підвищення їхнього життєвого рівня. Основу економічної складає трудова міграція – територіальне переміщення економічно активного населення, пов'язане із зайнятістю чи пошуком роботи. Тих мігрантів, котрі перетинають кордони у пошуках роботи, або з метою купівлі/продажу товарів чи надання послуг, відносять до трудових мігрантів. Природно, що саме на останньому виді міграції сфокусовано науковий інтерес економістів – дослідників міграційної проблематики [2].

Стратегічний характер політики стимулювання міграційної активності українців до Польщі забезпечив щорічне зростання кількості заяв, поданих українськими громадянами для отримання дозволу на перебування у Польщі. Так, у 2018 р. було подано 140,3 тис. заяв на право тимчасового перебування, що на 27,4 тис. заяв (на 24,3%) більше, ніж у 2017 р. [1]. За 2013–2018 рр. чисельність заяв збільшилась на 129,8 од. (у 13,4 рази). Зауважимо, що у 2018 р. українськими громадянами додатково було подано ще 9,1 та 1,4 тис. заяв на право постійного проживання та право перебування довгострокового резидента ЄС відповідно [3].

Внаслідок цих тенденцій та завдяки активній міграційній політиці Польщі кількість українців, які сьогодні перебувають на території Польщі, становить близько 1,3 млн. осіб (що складає близько 3,5% населення Польщі та є суттєвим значенням).

Більшість українців працює в Польщі за так званою спрощеною процедурою (за деклараціями або заявками роботодавців, тобто oświadczenia), яка дає змогу працювати без дозволу на роботу упродовж шести місяців протягом наступних 12 місяців за умови фіксування такої декларації у повітовому відділі праці. При цьому найбільша зайнятість українців (рис. 1) на початку 2021 р. припадала на найпростіші професії (29,8%), операторів та монтажників машин і пристроїв (22,8%), промислових працівників та фермерів (34,5%).



Рис. 1 Структура зайнятості українських працівників у Польщі, що мають дозволу на працю (за групами великих класифікацій професій і спеціальностей) на початок 2021 р.

Джерело: складено за джерелами [3;4]

Українці працюють у Польщі також на основі дозволу на сезонну роботу (zezwolenie na pracę sezonową, тип “S”), введеного на початку 2018 р. Цей дозвіл дає можливість їм виконувати роботу протягом періоду не більше дев'яти місяців у сфері сільського господарства, садівництва, туризму та інших видах діяльності, зазначених у Положенні Міністерства сім'ї, праці та соціальної політики Польщі від 8 грудня 2017 р. відповідно до Польської класифікації видів діяльності. Зазначене є свідченням того, що значна частина українських трудових мігрантів здійснює трудову діяльність (рис. 2).



Рис. 2 – Розподіл дозволів на довготермінову роботу в Польщі, виданих іноземцями (зокрема, українцями) у 2016–2020 рр

Джерело: складено за джерелами [3;4]

Таблиця 1 Особливості та проблемні аспекти міграції з України в Польщу

Окремі характеристики	Проблемні аспекти
Підставами залучення українських трудових мігрантів, що превалюють, є декларація (заява) роботодавця; -ключовими спеціалізаціями українських трудових мігрантів є збирання врожаю, догляд за рослинами, догляд за тваринами, експлуатація сільгосптехніки; -сортування, прибирання; територією походження трудових мігрантів є сільські території України; -соціальний пакет українських трудових мігрантів переважно передбачає проживання, допомогу в оформленні формальностей, харчування, дорогу до місця праці; -вікова структура сезонних трудових мігрантів достатньо збалансована	Значна частка трансакційних та трансформаційних витрат під час доступу до польського ринку праці -наявність ризиків, пов'язаних з тіннізацією сектору посередницьких послуг під час переміщення кордону та оформлення зайнятості; -існування практик та проявів ненормованого робочого часу й зайнятості; -отримання доступу лише до найпростіших видів зайнятості та інституційні труднощі кар'єрного зростання; -обмеженість/відсутність програм підтримки створення власного бізнесу, -придбання/будівництва житла трудовими мігрантами у Польщі

На даному етапі ключові проблеми соціально-економічних інтересів України та Польщі в системі україно-польської територіальної міграційної системи залишаються відкритими, оскільки Польща вже на початку 2021 року почала недоотримувати кваліфікованої робочої сили в обсязі, достатньому для заміщення робочих місць власних емігрантів, а також для формування трудових ресурсних передумов сталого економічного розвитку

Натомість вбачаємо й іншу не менш актуальну проблему: Україна щороку почала втрачати значні обсяги інтелектуально-кадрового потенціалу, а міграційні тенденції залишаються практично не керованими, що дестабілізує внутрішнє середовище розвитку. За даними національного сайту статистики до Польщі та других країн ЄС щодня мігрує (не тільки на заробітки сезонно, але й вже на ПМЖ!) до 15 тис. українців. З огляду на виявлені обставини актуалізується завдання напрацювання спільних практик і нормативно-методичних положень міграційної політики обох держав.

З польської сторони високим потенціалом практичної апробації та ефективності характеризується впровадження інноваційних інструментів, що мають зосереджуватися на:

- покращення доступності більш престижних і фахових професій (а разом з тим надавати й відповідну фахову освіту українцям за більш доступними умовами);
- розроблення та реалізацію спеціальних програм підтримки започаткування українцями власного бізнесу;
- придбання чи будівництва житла в Польщі;
- стимулювання диверсифікованої сімейної/колективної зайнятості з подальшою груповою адаптацією українських трудових мігрантів до проживання та утвердження в Польщі.

Список літературних джерел:

1. Денисенко М. Б. Миграциология / М. Б. Денисенко, В. А. Ионцев, Б. С. Хорев. – М. : Изд-во МГУ, 1989. – С. 7.
2. Юдина Т. Н. Миграция: словарь основных терминов: Учеб.пособие [Електронний ресурс] / Т. Н. Юдина. – М: Из-во РГСУ; Академический Проект, 2007. – 472 с. – Режим доступу: <http://voluntary.ru/dictionary/949/word/klasifikacija-migracii>.
3. Nowiński A. To ucina spekulacje. W końcu udało się policzyć, ilu dokładnie jest Ukraińców w Polsce. URL: <https://natemat.pl/266145,ilu-ukraincow-mieszka-w-polsce-nowa-metoda-liczenia-podala-dokladna-liczbe> (дата звернення: 10.12.2019).
4. Ministerstwo Rodziny, Pracy I Polityki Społecznej: Rzeczpospolita Polska. Analizy i Raporty. 2019. URL: <https://www.gov.pl/web/rodzina/analizy-rynek-pracy> (дата звернення: 15.12.2021).

ЗМІСТ

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ	3
СЕКЦІЯ 1 Спеціальна хімічна технологія, виробництво боєприпасів та вибухові роботи в промисловості	10
2,4,6-TRINITROTOLUENE: REVIEW OF PRODUCTION METHODS AND APPLICATIONS Edyta Gawrysiak, Tomasz Jarosz	11
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ГОРЮЧЕ-СВЯЗУЮЩЕГО В СМЕСЕВОМ ТВЕРДОМ РАКЕТНОМ ТОПЛИВЕ Е.Д. Петленко, Е.Ю. Нестерова	19
ВЛАСТИВОСТІ ПРОТЕХНІЧНИХ БАЗОВИХ СКЛАДІВ: АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ Дарина Закусило ¹ , Томаш Салачинський ²	25
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПОСТРІЛІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ І ТИХ, ЩО ПРИДБАНІ ЗА ІМПОРТОМ М.С. Мошковський, С.Я. Мосійчук, О.В. Князьський	30
ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАЛОЧУТЛИВИХ БОЄПРИПАСІВ А.Н. Абрамсон, С.Я. Мосійчук, Е.С. Остапчук	40
СУЧАСНІ СПОСОБИ РОЗМІНУВАННЯ Ю.І. Войтенко ¹ , В.В. Бойко ² , Вугар Іфрат огли Оруджов ³	47
ОБ ЭНЕРГИИ КУМУЛЯТИВНЫХ СТРУЙ И КОМПАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ УДАРНЫХ СВОЙСТВ Ю.И. Войтенко ¹ , Р.В. Закусило ²	51
ВОГНЕЗАХИСТ ЛЕГКО ЗВЕДЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ТЕКСТИЛЬНИХ ЗАЙМИСТИХ ВИРОБІВ М.С. Мошковський ¹ , Ю.О.Сарапін ² , Ю. В. Цапко ³ , О. Ю. Цапко ⁴	55
ЗМІНИ ІЧ СПЕКТРУ КРОХМАЛЮ ПРИ ЙОГО НІТРУВАННІ АЗОТНОЮ КИСЛОТОЮ С.Д. Тищенко ¹ , В.К. Лукашов ²	65
ОЦІНКА ОБОРОННО-ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ, ЯК ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОЄННОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ У ВОЄННО-ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СФЕРІ І.Б. Чепков ¹ , О.В. Докучаєв ²	69
ADVANCES IN THE DESIGN OF EXPLOSIVES DETONATORS A.T. Wojewódka ^{1*} , M.M. Gerlich ^{2,3}	74
ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КЕРУВАННЯ КРАЙОВИМИ ЯВИЩАМИ В УМОВАХ МАСОВОГО ВИБУХУ В.Г.Кравець ¹ , А.М.Шукуров ² , Р.В.Закусило ³ , Б.С.Сагало ¹	83
ОТБОР ПРОБ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦХИМИИ БОЕПРИПАСОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ В УКРАИНЕ И ЗА РУБЕЖОМ Л.Н. Кириченко, В.Н. Уваров	91
ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ В ДОСЛІДЖЕННЯХ І ПРОЕКТУВАННІ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ К.Є. Варлан, О.С. Косіцина, І.Є. Шатило	95
ПРОПОЗИЦІЇ ТА ВИМОГИ ДО СПЕЦІАЛЬНОЇ МАШИНИ РАДІАЦІЙНОЇ, ХІМІЧНОЇ, БІОЛОГІЧНОЇ РОЗВІДКИ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН МОРСЬКОЇ ПІХОТИ НА БАЗІ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО БРОНЕТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ ПОТРЕБ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ І.М. Швець ¹ , З.М. Швець ²	101
СЕКЦІЯ 2 Загальна хімічна технологія, екологія та проблеми утилізації APPLICATION OF HIGH-ENERGY COORDINATION COMPOUND AS NEW "GREEN" ENERGETIC MATERIALS K. Pawlus, T. Jarosz	110
	111

DETECTION OF PICRIC ACID IN SOLUTIONS Magdalena Fabin	115
PHOTODEGRADATION OF CONGO RED USING ZINC (II) OXIDE IN CIRCULATING CONDITIONS K. Hutsul, I. Ivanenko, G. Krymets, T. Puzatko	125
ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ З ПОДАЛЬШИМ ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В.С. Коваленко	129
KINDS OF SORBENTS BASED ON CARBON AND THEIR PROPERTIES S.E. Svirska, I.M. Ivanenko, Yu.M. Fedenko	134
ВПЛИВ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ВОДИ НА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ В ЗАМКНЕНИХ ОБОРОТНИХ СИСТЕМАХ Н.А. Білоусова, І.В. Косогіна, С.О. Кириї, Д.О. Нечипорук, С.І. Лїнь	138
ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ О.О. Захаркін, В.Л. Акуленко	143
DZIAŁANIE ULTRADŹWIĘKU NA MIKROORGANIZMY W ŚRODOWISKU WODNYM I.Z. Koval, D.O. Lokhanova	148
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРОТИЛА И ГЕКСОГЕНА В СМЕСЕВЫХ БРИЗАНТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ В.А.Роботько ¹ , М.Ф.Буллер ² , С.П.Ярманова ¹	152
REMOVAL OF COPPER IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS T.I. Obushenko, N.M. Tolstopalova, M.D. Chyrieva	156
ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНАЦІЙ ПРОЦЕСІВ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ З ФІЗИКО-ХІМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ ВІДХОДІВ А.В. Івлева, С.Ю. Черниш	162
ДОСЛІДЖЕННЯ МАСОВИДДАЧІ В ГАЗОВІЙ ФАЗІ У РОЗВИНЕНОМУ ПІННОМУ ШАРІ В.Ф. Моїсєєв ¹ , Є.В. Манойло ¹ , О.М. Хухрянський ² , К.Ю. Репко ¹	167
ANALYSIS OF WASTEWATER SAMPLES FOR DETERMINATION OF MYCOTOXINS Romans Pavlenko ^{1,2} , Zane Bērziņa ^{1,2} , Mārtiņš Jansons ² , Vadims Bartkevics ^{1,2}	173
СЕКЦІЯ 3 Енергозбереження та альтернативні палива	179
GYROSCOPIC SOLAR POWER SATELLITE ENERGY SYSTEMS WITH ELEMENTAL COMPATIBILITY OF COMPONENTS AND A NEW ALGORITHM FOR CONVERTING SOLAR RADIATION ENERGY Yu. M. Mar'yinskykh	180
СИНТЕЗ ФЕРРОЦЕНМОДИФИЦІРОВАННОГО КАСТОРОВОГО МАСЛА Т.В. Огневая, Е.Ю. Нестерова	184
КОСМІЧНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ ТЕПЛОВОГО КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ Ю.М. Мар'їнських, А.Л. Баланюк	189
СЕКЦІЯ 4 Економіка виробництва та управління	193
ЕКОЛОГІЧНИЙ ПАСПОРТ ЯК СПЕЦИФІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО АУДИТУ І.О.Пригара, Ю.М.Мануйлович І.В.Вареник	194
МАКРОЕКОНОМІЧНЕ РАХІВНИЦТВО У СФЕРІ ГОСПОДАРСЬКОГО МЕХАНІЗМУ КРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ І.В. Вареник, Ю.М. Мануйлович	199
INNOVATIVE ACTIVITY AS A FACTOR IN INCREASING THE COUNTRY'S COMPETITIVENESS IN THE PROCESS OF EUROPEAN INTEGRATION T.S. Lukianenko ¹ , R.V. Zakusylo ² , L.S. Petrushova ¹ .	203

Е-ДЕМОКРАТІЯ В УКРАЇНІ ТА ЄС: ОСОБЛИВОСТІ І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ	209
О.М. Тур, І.В. Новикова, І.О. Пригара	
ВПЛИВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ	214
Ю.М. Мануйлович, І.В. Вареник	
СИСТЕМА ПЕНСІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УКРАЇНІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РЕФОРМУВАННЯ	218
І.В. Новикова, Н. Медведкова	
СЕКЦІЯ 5 Інформаційні технології, моделювання та автоматизація	223
ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ГАЗИФІКАЦІЇ (КОНВЕРСІЇ) ВУГЛЕВОДНІВ	224
А.Л. Концевой, С.А. Концевой	
ОСОВНИ МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МОВ ВЕБ-ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	232
П.С. Пата, М.П. Трубін, О.С. Терещенко	
ЗАДАЧА БЛОЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПІДГОТОВКОЮ ТА ПУСКОМ РАКЕТ (СУПП) РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ	236
І.В.Звершховський ¹ , С.В. Лапицький ² , О.А. Майстренко ²	
ПІДХОДИ ДО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У ВИРОБНИЦТВІ КОМПОНЕНТІВ ДЕТОНУЮЧОГО СКЛАДУ	240
Т.М. Шевцова, А.А. Дегтяр, В.І. Серета	
POLARIZATION CONVERSION DEVICE BASED ON A WAVEGUIDE WITH PINS	244
A.V. Bulashenko ¹ , S.I. Piltyay ¹ , V.Y.Dmytrenko ¹ , O.V. Bulashenko ²	
ADJUSTABLE POLARIZATION CONVERSION DEVICE FOR FSS-RANGE	250
A.V. Bulashenko ¹ , S.I. Piltyay ¹ , M.H. Kot ¹ , Y.I. Kalinichenko ¹ , O.V. Bulashenko ² , I. V. Zabegalov ²	
POLARIZATION TRANSFORMER WITH COMBINATION OF DIAPHRAGMS AND PINS	258
S.I. Piltyay, A.V. Bulashenko, A.P. Saranchuk	
90 DEGRE PHASE SHIFTER BASED ON A SQUARE WAVEGUIDE WITH DIAPHRAGMS	265
A.V. Bulashenko, S.I. Piltyay, T.V.Shtyk, O.V. Bulashenko	
ШИРОКОСМУГОВИЙ ОРТОМОДОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ	272
С.І. Пільтай ¹ , А.В. Булашенко ¹ , Т.В.Савенчук ¹ , О.В. Булашенко ² , І. В. Забегалов ²	
ELECTRONIC CIRCUIT SIMULATION	279
D. V. Riabchuk	
СЕКЦІЯ 6 Хімія та фармацевтика	283
ДЕСОРБЦІЯ ВОДИ З ГІДРОГЕЛІВ НА ОСНОВІ ПВС ТА КРОХМАЛЮ	284
І.О. Ляшок, О.В. Іщенко, В.П. Плаван, Д. Михайлюк	
ТИПОВІ СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВИКИДНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ	288
О.В. Бабаков ¹ , Г.В. Кримець ¹ , А.В. Лапінський ¹ , О.В. Павленко ² , К.О. Полова ¹ , М.С. Поташна ¹	
СЕКЦІЯ 7 Філософсько-методологічні та соціальні аспекти виробництва	292
СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЧНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ ТОВАРІВ ШИРОКОГО ВЖИТКУ	293
Л.С. Булітко	
ЗАПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДИК ТА ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАЛЬНО-ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЬНОГО НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНОГО ЦЕНТРУ ДІСТИЧНОГО ХАРЧУВАННЯ: НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ АСПЕКТ	296
С.В. Ковтун, Н.Ю. Баланюк	
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ (НА ДОСВІДІ УКРАЇНА – ПОЛЬЩА)	300
О.П. Осипенко	

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

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

(м. Шостка, 20-22 жовтня 2021 року)

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 13,49. Обл.-вид. арк. 23,13. Тираж 100 пр. Зам.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.