

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ



# **ВІСНИК**

**Східноукраїнського  
національного університету  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 8 (256)  
2019**

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

Сєвєродонецьк 2019

# ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

**№ 8 (256) 2019**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ

ВИХІД З ДРУКУ - ДВНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК

Засновник

Східноукраїнський національний університет  
імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано

в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію

серія КВ № 15607-4079ПР

від 18.08.2009 р.

# VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST  
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

**№ 8 (256) 2019**

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 1996

IT IS ISSUED TWELVE TIMES A YEAR

Founder

Volodymyr Dahl East Ukrainian National  
University

Registered by the Ministry

of Justice of Ukraine

Registration Certificate

KB № 15607-4079ПР

dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН №1328 21.12.2015 р.), (Наказ МОН №515 16.05.2016 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних, економічних та історичних наук відповідно.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2018: 59.34).

ISSN 1998-7927

## Головна редакційна колегія:

*Поркуян О.В.*, докт. техн. наук (голова редакційної колегії),

Галгаш Р.А., докт. екон. наук, (заступник голови  
редакційної колегії),

Кудрявцев С.О., канд. техн. наук, (заступник голови  
редакційної колегії),

Білобородова Т.О. канд. техн. наук,

Глікін М.А., докт. техн. наук,

Глікіна І.М., докт. техн. наук,

Горбунов М.І., докт. техн. наук,

Грицюк В.Ю., канд. техн. наук,

Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,

Ковтанець М.В., канд. техн. наук,

Кравченко К.О., канд. техн. наук,

Лорія М.Г., канд. техн. наук,

Ноженко В.С., канд. техн. наук,

Носко О.П., канд. техн. наук,

Проказа О.І., канд. техн. наук,

Семененко І.М., докт. екон. наук,

Сергієнко О.В., канд. техн. наук,

Скарга-Бандурова І.С., докт. техн. наук,

Соколов В.І., докт. техн. наук,

Суворін О.В., докт. техн. наук,

Целіщев О. Б., докт. техн. наук

**Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент Кудрявцев С.О.**

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 3 від 29 листопада 2019 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2019

© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019

## CONTENTS

<b>Антощенко М. І., Тарасов В. Ю., Захарова О. І., Зубцов Є.І</b> ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТОПЛАСТІВ .....	7
<b>Белкін Д.І., Демченко О.О.</b> СИНТЕЗ ПЕНТАЕРИТРИТУ В РЕАКТОРАХ РІЗНОГО ТИПУ .....	17
<b>Білошицька Н.І., Білошицький М.В., Татарченко З.С., Медвідь І.І.</b> АНАЛІЗ КОМФОРТНОСТІ ПРИБУДИНКОВИХ ТЕРИТОРІЙ РІЗНИХ ТИПІВ ЗАБУДОВИ У М. СЕВЕРОДОНЕЦЬК .....	23
<b>Денисов О.С., Корчуганова О.М.</b> ОДЕРЖАННЯ ЦИНК ОКСИДУ: КАРБАМІДНЕ ОСАДЖЕННЯ .....	30
<b>Дісковська Т.А., Білошицька Н.І., Піддубний С.В.</b> ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКЦІЙНЕ РІШЕННЯ ПІДГОТОВКИ ПІДЖИВЛЮВАЛЬНОЇ ВОДИ ТЕЦ .....	35
<b>Клочков Ю. П., Ганношина І. М.</b> РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕРМОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ ОБЛАДНАННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН НА БАЗІ МЕТОДУ КІЛЬКІСНОЇ ТЕРМОГРАФІЇ .....	40
<b>Кулешова Т.С., Галстян А.Г., Галстян Г.А.</b> КІНЕТИКА РЕАКЦІЇ ОКИСНЕННЯ МЕТИЛФЕНІЛКАРБІНОЛУ ОЗОНОМ В АЦЕТАТНІЙ КИСЛОТІ .....	47
<b>Кульгінна З.П., Исак А.Д., Попов Е.В.</b> ПРЯМОЕ ВВЕДЕНИЕ АМИНОГРУППЫ В АРОМАТИЧЕСКОЕ ЯДРО IV. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕНЗОЛКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ С ГИДРОКСИЛАМИНОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ .....	51
<b>Піддубний С. В., Білошицький М.В.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ .....	57
<b>Philips Tobenna C., Kudryavtsev S.A., Glikina I.M., Korol D.R.</b> INFLUENCE OF CATALYTIC MASS CONTENT IN CATALYTIC COMBUSTION OF ISOPROPYL ALCOHOL USING AEROSOL NANOCATALYSIS TECHNOLOGY .....	62
<b>Рымар Т.Э.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ ПЕНОСТАБИЛИЗАТОРОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЖИДКОСТЕКООЛОННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ ХОЛОДНОЙ ПОРИЗАЦИИ .....	70
<b>Соколенко В.М., Подлевський О.Е., Соколенко К.В.</b> ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕДУМОВИ ДОПОВНЕННЯ ФУНКЦІЙ РЕГІОНАЛЬНОЇ ТИПОЛОГІЇ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ .....	74
<b>Соколенко Н.М., Попов Є.В.</b> ВИВЧЕННЯ УМОВ ПРОЦЕСУ КОНДЕНСАЦІЇ ФЕНОЛУ, ФОРМАЛЬДЕГІДУ ТА СУЛЬФІТУ НАТРІУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОРОЗЧИННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН .....	81
<b>Татарченко Є. С., Лифар В. О.</b> МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ ІТ КОМПАНІЙ .....	86
<b>Татарченко Г. О., Калачов Ю.О., Медвідь І.І., Поркуян С. Л.</b> АНАЛІЗ СКЛО- АЛЮМІНІЄВИХ ФАСАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА СИСТЕМ КРІПЛЕННЯ .....	94
<b>Татарченко Г. О., Кравченко.І. В., Писаренко М. В., Поркуян С. Л.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ АВТОТРАНСПОРТУ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....	99
<b>Уваров П.С., Татарченко Г.О., Білошицька Н.І, Шпарбер М.Є.</b> КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ЛОГІКО-СМИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПЕРЕДПРОЕКТНО-ПРОЕКТНИХ ЦИКЛАХ «ПРОЕКТУВАННЯ - БУДІВНИЦТВО - РЕКОНСТРУКЦІЯ» .....	105

---

---

<b>Усов Д.І., Архипов О.Г., ЛЮБИМОВА-Зінченко О.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОПОРУ ГРУНТУ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЕНЬ ПІД ЧАС ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	111
<b>Хорошун Г.М.</b> МОДЕЛЬ НАДАННЯ ПОСЛУГИ З ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ В УМОВАХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ПОТРЕБ ЗАМОВНИКА.....	118
<b>Целішева М. О., Целішев О.Б., Лорія М.Г.</b> ОБГРУНТУВАННЯ ФОТОХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ХЛОРВМІСТНОГО ПЕСТИЦИДНОГО ПРЕПАРАТУ СІМАЗИН.....	123
<b>Чигирик Н.Д., Сумцов А.Л., Вихопень І.Р., Силенко А.В.</b> ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	129
<b>Масуд Абдо-Аллах, Шипідченко М.В., Мороз О. В., Попов Є.В., Ісак О.Д.</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СИНЕЗУ 6-МЕТИЛУРАЦІЛ-5-СУЛЬФОХЛОРИДУ ТА ОДЕРЖАННЯ СУЛЬФОНАМІДІВ І СУЛЬФОЕФІРІВ НА ЙОГО ОСНОВІ.....	137
<b>Захожай О.І.</b> ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ГІБРИДНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ДЛЯ ОБРОБКИ НЕОДНОРІДНИХ ДАНИХ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ.....	141

## ЗМСТ

<b>Antoshchenko M.I., Tarasov V.Y., Zakharova O.I., Zubtsov Y.I.</b> ESTABLISHING HAZARDOUS PROPERTIES OF COAL MINES.....	7
<b>Belkin D.I., Demchenko O.O.</b> SYNTHESIS OF PENTAERYTHRITOL IN VARIOUS TYPE REACTORS.....	17
<b>Biloshytska N.I., Biloshytskiy M.V., Tatarchenko Z.S., Medvid I.I.</b> ANALYSIS OF COMFORTABILITY OF HOUSE TERRITORIES OF DIFFERENT BUILDING TYPES IN SEVERODONETSK TOWN.....	23
<b>Denysov O.S., Korchuganova O.M.</b> THE ZINC OXIDE PRODUCTION: UREA PRECIPITATION.....	30
<b>Diskovska T.A., Biloshytska N.I., Piddubnyi S.V.</b> ENGINEERING - CONSTRUCTION PICTURES OF PREPARATION OF PIVIENTLY WATER THERMAL POWER PLANT.....	35
<b>Klochkov Y.P., Gannoshina I.M.</b> DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF THERMOGRAPHIC ANALYSIS OF THE EQUIPMENT OF SHIPS ON THE BASIS OF THE METHOD OF QUANTITATIVE THERMOGRAPHY.....	40
<b>Kuleshova T.S., Galstyan A.G., Galstyan G.A.</b> KINETICS OF OXIDATION REACTION OF METHYLPHENYL CARBINOL WITH OZONE IN ACETIC ACID.....	47
<b>Kulygina Z.P., Isak A.D., Popov E.V.</b> DIRECT INTRODUCTION OF THE AMINO GROUP IN THE AROMATIC NUCLEUS IV. INTERACTION OF BENZENE CARBONIC ACIDS WITH HYDROXYLAMINE IN AN ACID MEDIUM IN THE PRESENCE OF METALS OF VARIABLE VALENCY.....	51
<b>Piddubnyi S.V., Biloshytskiy M.V.</b> APPLICATION OF PRODUCTION WASTE FOR THE MANUFACTURE OF ROAD CEMENT CONCRETE.....	57
<b>Philips Tobenna C., Kudryavtsev S.A., Glikina I.M., Korol D.R.</b> INFLUENCE OF CATALYTIC MASS CONTENT IN CATALYTIC COMBUSTION OF ISOPROPYL ALCOHOL USING AEROSOL NANOCATALYSIS TECHNOLOGY.....	62
<b>Rymar T.E.</b> THE USE OF SURFACE-ACTIVE AGENTS AS FOAM STABILIZERS IN THE PREPARATION OF LIQUID-GLASS INORGANIC FOAM MATERIALS OF COLD POROSITY.....	70
<b>Sokolenko V. M., Podlevsky O.E., Sokolenko K.V.</b> PROBLEMS AND PREREQUISITES OF THE ADDITION OF FUNCTIONS OF A REGIONAL TYPOLOGY IN MODERN CONDITIONS OF THE LUHANSK REGION.....	74
<b>Sokolenko N.M., Popov E.V.</b> STUDYING THE CONDITIONS OF THE PROCESS OF PHENOL, FORMALDEHYDE AND SODIUM SULFITE CONDENSATION IN THE TECHNOLOGY OF WATER-SOLUBLE SURFACTANTS.....	81
<b>Tatarchenko Y.S., Lyfar V.O.</b> MODELS AND METHODS OF ASSESSING THE STATE OF IT COMPANIES.....	86
<b>Tatarchenko G., Kalachov Y., Medved I., Porkuyan S.</b> ANALYSIS OF GLASS-ALUMINUM FACADES MOUNTING SYSTEMS.....	94
<b>Tatarchenko G.O., Kravchenko I.V., Pisarenko N.V., Porkuyan S.L.</b> STUDY OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION BY EXHAUST GASES IN AN URBAN ENVIRONMENT.....	99
<b>Uvarov P.E., Tatarchenko G.O., Biloshytska N.I., Shparber M.E.</b> CLASSIFICATION AND LOGICAL-SEMANTIC MODELING IN PRE-DESIGN-DESIGN CYCLES «PLANNING - CONSTRUCTION – RECONSTRUCTION».....	105

---

---

<b>Usov D.I., Arkhypov O.G., Liubymova-Zinchenko O.V.</b> RESEARCH OF ELECTROCHEMICAL DESCRIPTIONS AND RESISTANCE OF SOIL OF ANODIC GROUNDING AT AN HOUR JF TRIAL OPERTION.....	111
<b>Khoroshun G.M.</b> MODEL OF SERVICE PROVIDING ON THE USE OF OPTICAL LABORATORY IN CONDITIONS OF INDIVIDUAL CUSTOMER NEEDS.....	118
<b>Tselishcheva M.O., Tselishchev O.B., Loria M.G.</b> RATIONALE OF PHOTOCHEMICAL TECHNOLOGY FOR THE DISORDER .....	123
<b>Chygyryk N.D., Sumtsov A.L., Vykhopen I.R., Silenko A.V.</b> REDUCING THE ENERGY CUNSUMPTION OF TRACTION ROLLING STOCK IN OPERATION .....	129
<b>Abdo-Allah M., Shypidchenko M.V., Moroz A.V., Popov Ye.V., Isak A.D.</b> PERFECTION OF TECHNOLOGY OF THE SYNTHESIS 6-METHYLURACYL-5- SULFOCHLORIDE AND PREPARATIONS OF SULFONAMIDES AND SULFONATES ON HIS BASIS.....	137
<b>Zakhozhay O.I.</b> INFORMATION TECHNOLOGY OFHYBRID PATTERNS RECOGNITION FOR HETEROGENOUS DATA PROCESSING IN COMPLEX SYSTEMS.....	141

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-7-16>

УДК 622.4

## ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТОПЛАСТІВ

Антощенко М.І., Тарасов В.Ю., Захарова О.І., Зубцов Є.І.

## ESTABLISHING HAZARDOUS PROPERTIES OF COAL MINES

Antoshchenko M.I., Tarasov V.Y., Zakharova O.I., Zubtsov Y.I.

Створення безпечних умов ведення гірничих робіт в підземних умовах до теперішнього часу залишається актуальною проблемою для всіх вугледобувних країн. Більшість аварій, які мають важкі наслідки, сталися в результаті раптового викиду вугілля і газу, суфлярного виділення метану, здатності вугільного пилу до утворення пилу та вибуховості, схильності вугілля до самозаймання і деякі інші. Перераховані небезпечні властивості шахтопластів в тій чи іншій мірі зумовлені природними факторами метаморфізму. Встановлено, що діюча нормативна база, яка регламентує безпеку ведення гірських робіт, недостатньо враховує результати наукових досліджень в суміжних областях гірських наук (геології, фізико-хімічного складу вугілля, геотехнічних процесів та ін.). Основними складовими летючих продуктів термічного розкладання вугілля є водень, метан і оксиди вуглецю. Розглядаючи загальну масу або обсяг цих газів, неможливо однозначно визначити хімічний склад вихідного матеріалу вугілля і його властивості, так як вміст кожного з утворених компонентів не є сталим. Тобто параметр  $V^{daf}$ , враховуючи різні фізичні і хімічні властивості газів ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) та їх співвідношення, не може в повній мірі характеризувати властивості сукупності утворених газів, а тим більше властивості вихідного матеріалу (вугілля). Складний і неоднозначний характер мають залежності зміни фізико-механічних і теплотворних властивостей вугілля від виходу легких речовин і вмісту вуглецю. Так, наприклад, якщо  $V^{daf}$  змінюється у діапазоні  $47 \div 25$  %, теплотворна здатність збільшується від  $7400 \div 8500$  кал/кг до  $8600 \div 8800$  кал/кг. В інтервалі  $V^{daf}$   $25 \div 15$  % теплотворна здатність залишається відносно постійною ( $8600 \div 8800$  кал/кг), а при  $V^{daf} < 15$  % теплотворна здатність знижується з  $8600 \div 8800$  кал/кг до  $8000 \div 8300$  кал/кг. Ідентифікація газів термічного розкладання має важливе значення для виявлення небезпечних властивостей шахтопластів, проте в жодному нормативному документі щодо безпечного ведення гірничих робіт конкретні складові газів виходу летючих речовин не розглядаються.

Таким чином, проведений аналіз і систематизація відомих результатів досліджень, а також застосування науково обґрунтованих підходів, показали можливість суттєвого поліпшення нормативної бази, яка регламентує безпечне відпрацювання вугільних шахтопластів.

**Ключові слова:** метаморфізм, гірничі роботи, систематизація, геологічні порушення, класифікаційний показник.

### Вступ

До теперішнього часу створення безпечних умов ведення гірничих робіт в підземних умовах залишається актуальною проблемою для всіх вугледобувних країн [1]. Більшість аварій, які мають важкі наслідки, сталися в результаті прояви небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірських робіт і порушень вихідного природного стану вуглеводородної товщі, зокрема газонасиченість вугілля, небезпечка пластів за раптовими викидами вугілля і газу, суфлярних виділення метану, здатність вугілля до утворення пилу, вибуховість, схильність до самозаймання і деякі інші. Формування перерахованих небезпечних властивостей шахтопластів, в тій чи іншій мірі, обумовлено природними факторами при геологічних процесах (метаморфізмі).

### Постановка проблеми

Метаморфізм, за визначенням, є незворотнім процесом послідовного підвищення вмісту вуглецю в результаті зміни хімічного складу, фізичних властивостей і внутрішньої будови викопного вугілля під дією температури і тиску, що розвиваються в результаті геологічних процесів. Встановлено [2], що чинна нормативна база, яка регламентує безпеку ведення гірських робіт, недостатньо використовує результати наукових досліджень в суміжних областях гірських наук (геології, фізико-хімічного складу вугілля, геотехнічних процесів та ін.)

Для характеристики всього різноманіття небезпечних властивостей вугільних шахтопластів застосовується обмежена кількість класифікаційних параметрів. Зокрема, для характеристики процесів метаморфізму, основним показником є масовий вихід летючих речовин ( $V^{daf}$ ) при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря. В цьому випадку між зміною під впливом геологічних процесів хімічного

складу, фізичних властивостей і внутрішньої будови вугілля та загальною кількістю газів, що виділилися з наважки вугілля, практично ставиться знак рівності.

Основними складовими летючих продуктів термічного розкладання вугілля ( $V^{daf}$ ) є водень, метан і оксиди вуглецю. Загальна маса або обсяг цих газів не дозволяє однозначно визначити хімічний склад вихідного матеріалу вугілля і його властивості, тому що вміст кожного з утворених компонентів не є сталим. Тобто параметр  $V^{daf}$ , враховуючи різні фізичні і хімічні властивості газів ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) та їх співвідношення, не може в повній мірі характеризувати властивості сукупності утворених газів, а тим більше властивості вихідного матеріалу (вугілля).

Додатковим класифікаційним показником небезпечних властивостей антрацитів є питомий електроопір ( $Ig\rho$ ). Цей показник відображає зміну тільки внутрішньої структури вугілля в процесі метаморфізму, і не є показником хімічного складу вугілля.

Систематизація вугілля для будь-яких потреб є дуже складною задачею. При необхідності виявлення небезпечних властивостей вугілля, труднощі полягають у відсутності хоча б одного класифікаційного параметра, який відповідав би таким вимогам [1]:

- існування у всьому діапазоні ряду метаморфізму вугілля;
- зміна в одному напрямку без досягнення мінімумів або максимумів;
- мінімальна розбіжність експериментальних даних близько усереднених ліній в межах похибки їх зміни.

Основні класифікаційні показники  $V^{daf}$  і  $Ig\rho$ , що застосовуються в нормативних документах для виявлення небезпечних властивостей вугілля, не відповідають цим вимогам. Тому встановлення класифікаційних показників, що визначають зміну хімічного складу, фізичні властивості і внутрішню будову вугілля на різних стадіях метаморфізму, є актуальним завданням.

#### Мета

Для виявлення небезпечних властивостей вугілля в окремих діапазонах ряду метаморфізму встановити межі зміни відомих класифікаційних показників, що характеризують в сукупності хімічний склад, фізичні властивості і внутрішню будову вугілля.

#### Ідея

Для встановлення споживчих властивостей вугілля розроблено кілька промислових класифікацій [3-9], які враховують безпосередньо хімічний склад вугілля і кілька десятків класифікаційних показників, що характеризують властивості та внутрішню будову вугілля. Використовуючи ці результати можна встановити зв'язок класифікаційних показників і діапазонів зміни хімічного складу, властивостей і

внутрішньої будови вугілля з відповідними проявами небезпечних властивостей деякої частини ряду метаморфізму.

#### Методика проведення досліджень

Зміни співвідношення між основними компонентами органічної маси (C, O, H, N) в процесі вуглефікації і їх варіювання в деяких межах є достовірними [10] на підставі статистичної обробки даних хімічного аналізу (рис. 1). Межі зміни основних компонентів органічної маси в залежності від виходу летких речовин (рис. 2 і 3) визначені досить точно. Крім наведеної інформації про зміну хімічного складу, є експериментальні дані [3, 6, 13-15, 18] про взаємну залежність близько двадцяти пар класифікаційних показників, які характеризують зміну властивості і структуру вугілля в вузьких діапазонах ряду ступеня метаморфізму. Якщо зіставити склад органічної маси, вологи і мінеральних домішок в цих діапазонах з класифікаційними показниками метаморфізму, то можна прогнозувати наявність чи відсутність тих чи інших небезпечних властивостей шахтопластів.

#### Результати досліджень та обговорення

Встановлена практично функціональна оберненопропорційна залежність (коефіцієнт кореляції 0,995) між збільшенням вмісту Карбону ( $C^o$ ) і сумою інших компонентів ( $O^o$ ,  $H^o$ ,  $N^o$ ) в органічній масі вугілля (рис. 1).

Найбільш хімічно активними компонентами органічної маси є атоми Оксигену. Скорочення вмісту Оксигену від 21 % до нуля відбувається у всьому інтервалі збільшення Карбону з 67,4 % до 97,4 %. При вмісті  $C^o$  менше ніж 88 %, вміст Оксигену зменшувався прямопропорційно, а зміна вмісту інших компонентів ( $H^o$  і  $N^o$ ) в органічній масі не відбувалася. Їх вміст залишався сталим в досить вузькому діапазоні (близько 2,0 %).

В діапазоні вмісту Карбону ( $C^o$ ) від 67,4 % до 88,0 % тільки в трьох випадках з 177 пар статистично оброблених даних, експериментальні точки перебували за межами передбачуваної нижньої межі зміни вмісту атомів Оксигену (рис. 1б). Це не вплинуло на збільшення розкиду точок від прямої (рис. 1а) функціональної залежності  $\Sigma (C^o, H^o, N^o) = f(c)$ . Характер зміни основних складових компонентів свідчить про те, що збільшення вмісту атомів Карбону ( $C^o$ ) в діапазоні 67,4÷88,0 % відбувалося тільки за рахунок зниження Оксигену ( $O^o$ ). Вміст інших компонентів ( $H^o$ ,  $N^o$ ) не змінювався.

При вмісті  $C^o$  більше 88 % залежність  $O^o = f(c)$ , за даними експериментів, з прямолінійною переходить в нелінійну, асіптотично наближаючись до нуля (рис. 1б). Вміст Гідрогену ( $H^o$ ) також різко зменшується (рис. 1в), що вказує на можливу зміну властивостей вугілля при зростанні вмісту  $C^o$  і скорочення інших компонентів, крім Оксигену.



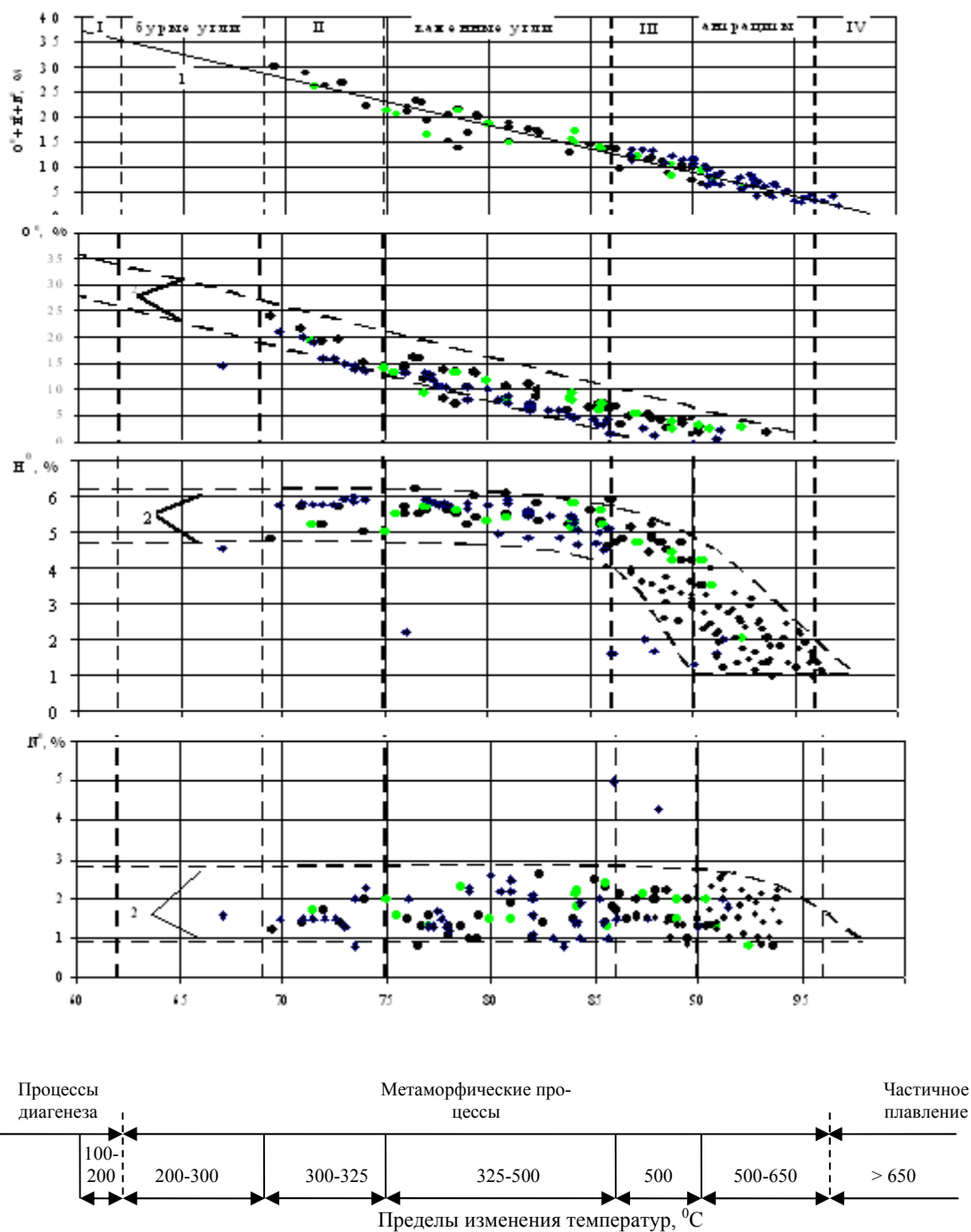


Рис. 1. Залежність зміни вмісту вуглецю з сумарним вмістом O°, H° і N° (а), O° (б), H° (в) і N° (г): I, II, III, IV - орієнтовні діапазони температури і вмісту C°, в яких змінюються властивості при переході відповідно від торфу до бурого вугілля, від бурого до кам'яного, від кам'яного до антрациту, від антрациту до графіту;

1 – усереднена лінія за результатами обробки експериментальних даних [6, 11-13];  
 2 – можливі межі розглянутих компонентів з урахуванням експериментальних даних [6, 11-13] і діапазонів їх зміни для вугілля різного ступеня метаморфізму за [4];  
 • – експериментальні дані [6, 11-13]

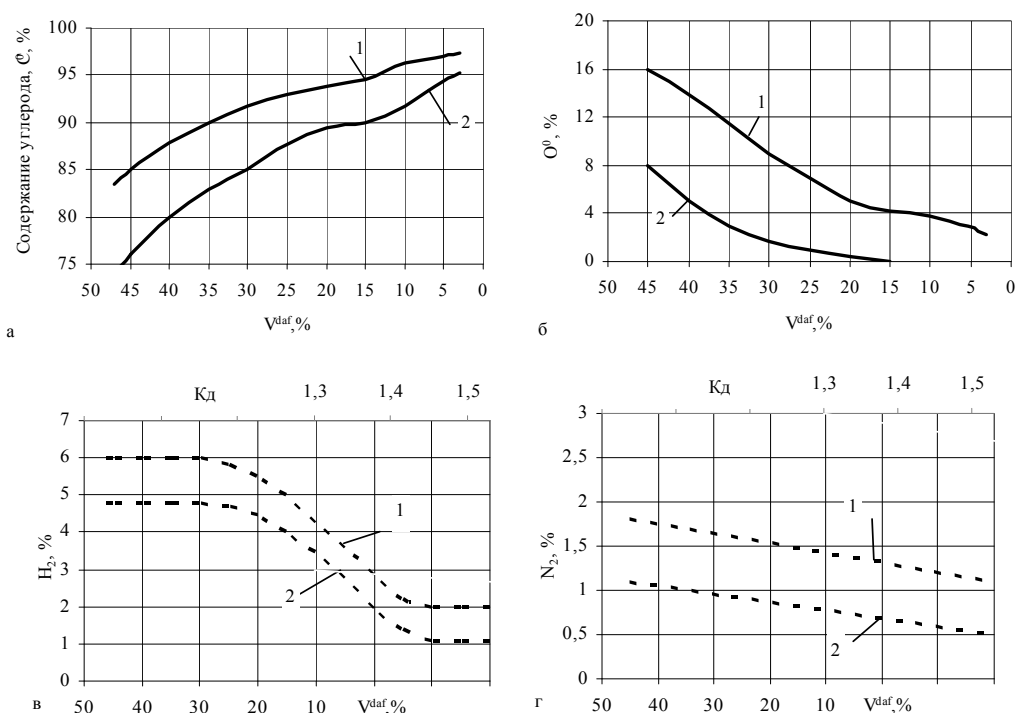


Рис. 2. Зміна складу основних компонентів органічної маси вугілля Донбасу [6]:  
1,2 – верхня та нижня межі зміни параметрів

Залежності (рис. 2б) зміни інтервалів вмісту Оксигену в органічній масі свідчать [6], що при  $V^{daf} < 17,2\%$  зміна вмісту  $O^{\circ}$  відбувається в межах  $0,0 \div 4,1\%$ . Діапазон зміни  $C^{\circ}$  при значеннях  $V^{daf} < 17,2\%$  відповідно [6] знаходиться у межах  $90 \div 97,5\%$  (рис. 2а). Дещо інший характер зміни  $C^{\circ}$  спостерігається при  $V^{daf} < 17,2\%$  (рис. 3а), про що свідчать результати обробки додаткової кількості експериментальних даних [11-13].

При  $V^{daf}$  в інтервалі  $17,2 \div 6,1\%$  коливання значень  $C^{\circ}$  були незначними, в середньому близько  $90\%$ , що свідчить про високе значення показника карбонізації вугілля  $\left( C_n = \frac{C^{\circ}}{O^{\circ} + H^{\circ} + N^{\circ}} = 10,0 \right)$ .

При  $V^{daf}$  менше  $6,1\%$  вміст  $C^{\circ}$  знаходився в більш широкому діапазоні  $80 \div 98\%$  (рис. 3а), а  $C_n$  для таких значень  $C^{\circ}$  становив  $4,0 \div 97,2\%$ . Оксиген в органічній масі при  $V^{daf} < 6,1\%$  був відсутній (рис. 3б).

Наведені результати статистичної обробки експериментальних даних [6, 11-13] свідчать про те, що при високому ступені карбонізації ( $C_n > 10,0$ ), вмісті Карбону близько  $90,0\%$  і  $V^{daf} = 17,2 \div 6,1\%$  помітна присутність Оксигену до  $9\%$  (рис. 3а). Це може сприяти активності хімічних реакцій за участю органічної маси. З іншого боку, в групу з  $V^{daf} < 6,1\%$  входять вугілля з меншим вмістом Карбону ( $80\%$ ) і як наслідок низьким показником карбонізації (близько  $4,0$ ), але в цій групі вугілля відсутній Оксиген в органічній масі. Тобто, незважаючи на середній рівень карбонізації, завдяки відсутності Оксигену

в органічній масі, слід очікувати, що вугілля цієї групи буде хімічно інертним.

Непропорційна зміна вмісту основних компонентів органічної маси ( $C^{\circ}$ ,  $O^{\circ}$ ,  $H^{\circ}$ ,  $N^{\circ}$ ) вказує на відмінності хімічних процесів на окремих стадіях вуглеутворення. До аналогічного висновку приводить аналіз зміни вмісту газів термічного розкладання вугілля без доступу повітря (рис. 4). Ідентифікація газів термічного розкладання має важливе значення для виявлення небезпечних властивостей шахтопластів, але в жодному нормативному документі щодо безпечного ведення гірничих робіт, конкретні складові газів виходу летючих речовин не розглядаються.

Вміст водню ( $H_2$ ) в продуктах термічного розкладання зі скороченням масового виходу летючих речовин пропорційно зростає до  $77 \div 87\%$ , а потім спостерігається деяке його зниження (рис. 4а). Послідовне збільшення, а потім зменшення вмісту метану спостерігається в продуктах термічного розкладання вугілля (рис. 4б). Характер цієї залежності істотно відрізняється від зміни вмісту водню. Максимум вмісту метану  $24 \div 30\%$  доводиться на значення  $V^{daf} \approx 30\%$ .

Дещо інший вигляд мають залежності вмісту  $CO$  і  $CO_2$ . Спочатку відбувається зниження їх вмісту, а потім при значеннях  $V^{daf}$  менше  $30\%$ , спостерігається стабілізація, відповідно в діапазонах  $2 \div 7\%$  і  $0 \div 3\%$  (рис. 4в, г).

При  $V^{daf}_{об} < 150 \text{ г/см}^3$  відбувається збільшення процентного вмісту  $CO$  і  $CO_2$  в діапазонах  $2 \div 16\%$  і  $0 \div 5,5\%$  відповідно.

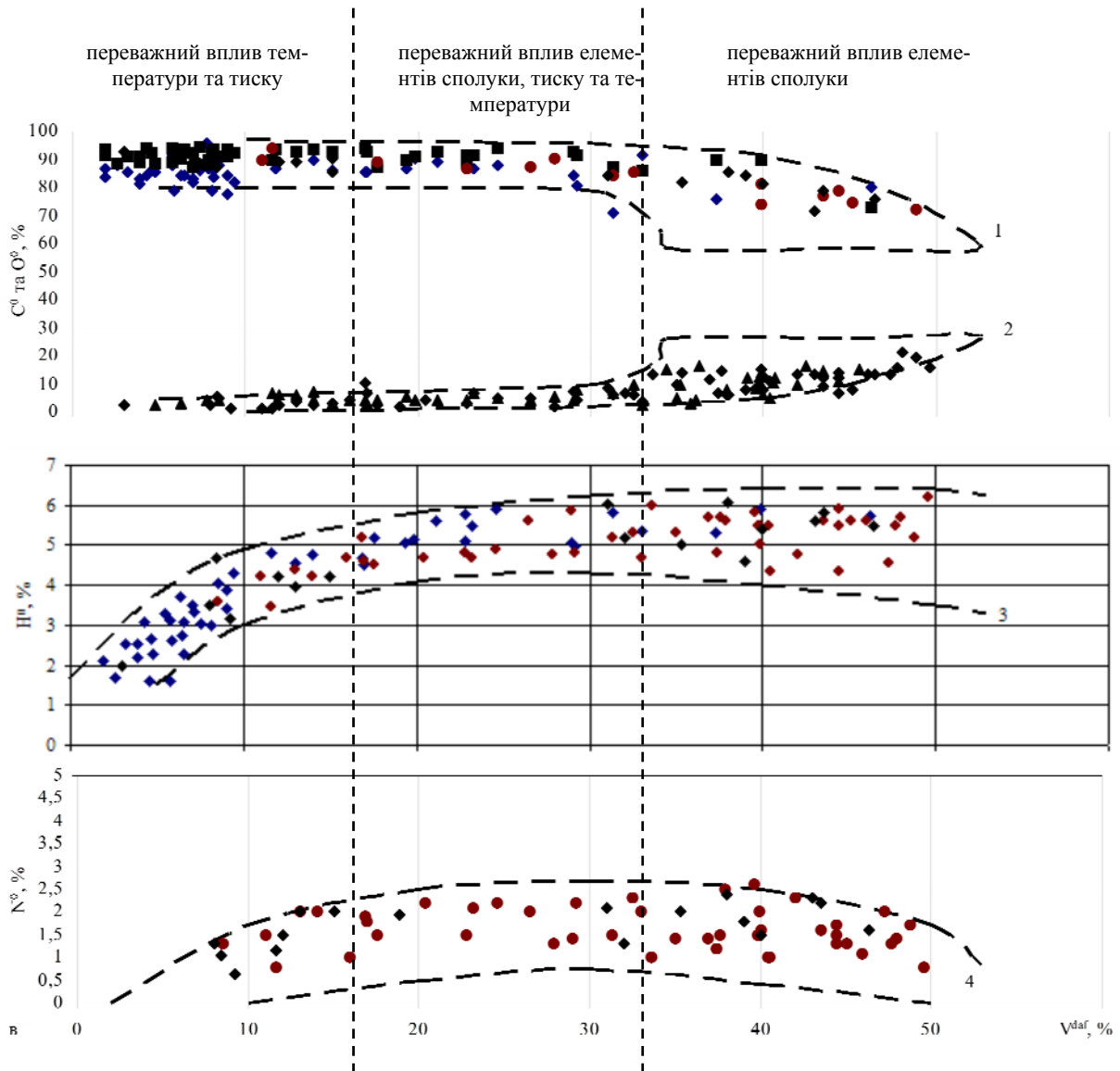


Рис. 3. Залежності зміни складу основних компонентів органічної маси вугілля Донбасу від вагового виходу летючих речовин ( $V^{daf}$ ) [6, 11-13]

Складний і неоднозначний характер носять зміни фізико-механічних і теплотворних властивостей вугілля від виходу легких речовин і вмісту  $C^o$  (рис.5). При зміні  $V^{daf}$  в діапазоні  $47 \div 25\%$  теплотворна здатність збільшується від  $7400 \div 8500$  кал/кг до  $8600 \div 8800$  кал/кг (рис.5а). В інтервалі  $V^{daf} 25 \div 15\%$  теплотворна здатність залишається відносно постійною ( $8600 \div 8800$  кал/кг), а при  $V^{daf} < 15\%$  знижується з  $8600 \div 8800$  кал/кг до  $8000 \div 8300$  кал/кг.

Істотно змінюється механічна міцність за Копром (Пк) в окремих інтервалах зміни  $V^{daf}$  (рис. 5б). При значеннях  $V^{daf} 45 \div 30\%$  механічна міцність знижується від  $400 \div 625$  г/см до  $30 \div 200$  г/см. В діапазоні зміни  $V^{daf} 30 \div 15\%$  міцність залишається відносно постійною і дорівнює  $30 \div 200$  г/см. При  $V^{daf} < 15\%$  спостерігається її зростання до  $1000$  г/см.

Механічна стійкість має один мінімум приблизно  $25\%$  при  $V^{daf} 25\%$ , а максимуми  $58\%$  і  $71\%$  від-

повідно при  $V^{daf} 42\%$  і  $8\%$  (рис. 5в). Здатність до подрібнення має один яскраво виражений максимум  $110\%$  при вмісті  $C^o 90\%$  (рис. 5г). Два мінімуму відповідають вмісту  $C^o$  у вугіллі  $75$  і  $96\%$ .

Питома електропровідність вугілля для різних їх марок від Б до А відрізняється на декілька порядків. Вугілля марок від Б до Т за величиною  $\rho = 108 \div 1010$  відносяться до ізоляторів, перехідні вугілля від марок Т до напівантрацити - до напівпровідників. Антрацити при  $\rho = 0,2 \div 8,5$  є провідниками (рис. 6а).

Діелектрична проникність має один мінімум при вмісті вуглецю в органічній масі близько  $88\%$  (рис. 6б).

Питома напруженість електричного поля пилового потоку ( $E^o$ ) має максимум при значному розкиді експериментальних даних, відповідних значенням  $V^{daf} 30\%$  (рис. 6а).

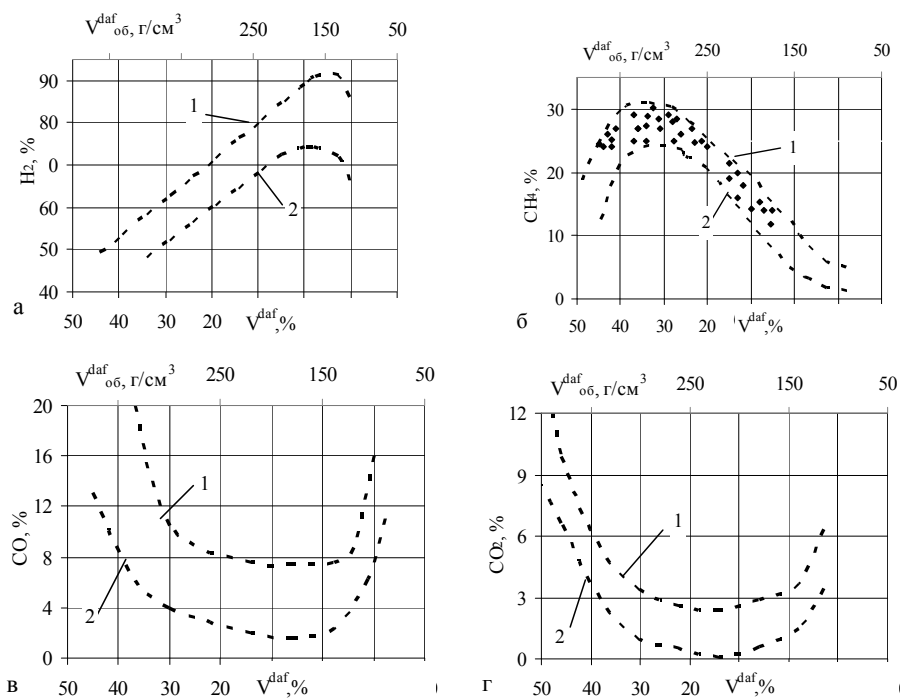


Рис. 4. Залежності змісту газів термічного розкладання вугілля від вагового ( $V^{daf}$ ) і об'ємного ( $V^{daf}_{об}$ ) виходу летючих речовин:  
 1,2 – верхня та нижня межі зміни параметрів [6]  
 • – експериментальні дані [6]

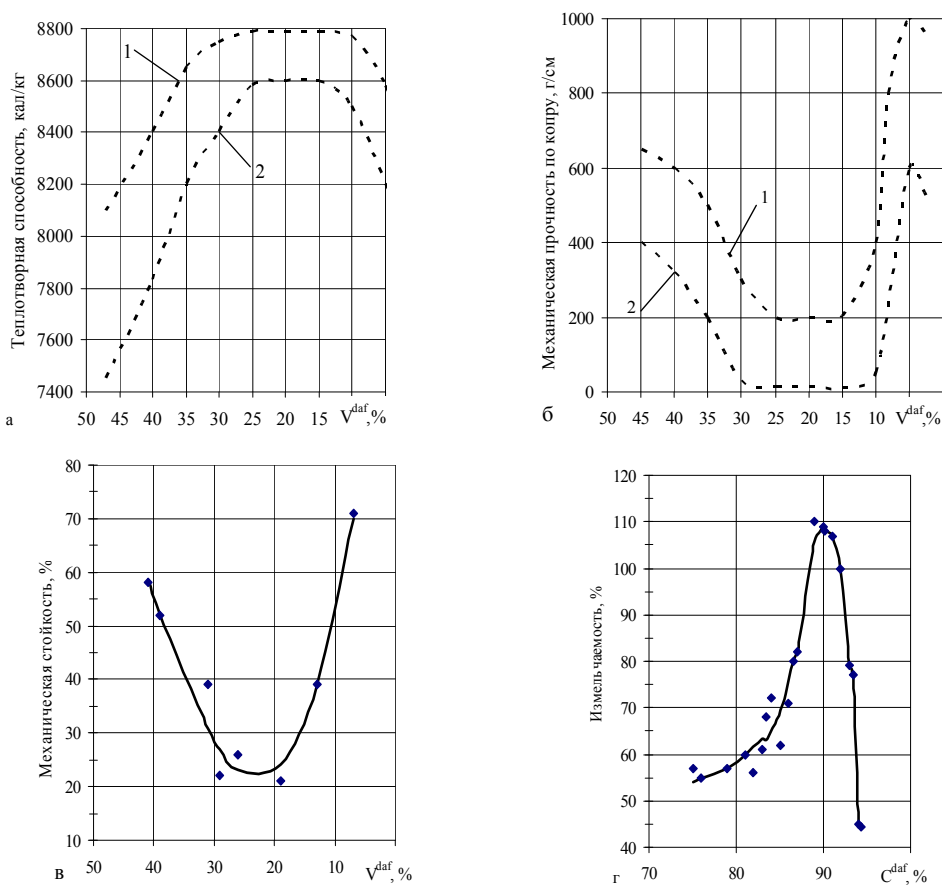


Рис. 5. Зміна фізико-механічних властивостей вугілля [3, 6, 14]:  
 1,2 – верхня і нижня межі зміни параметрів

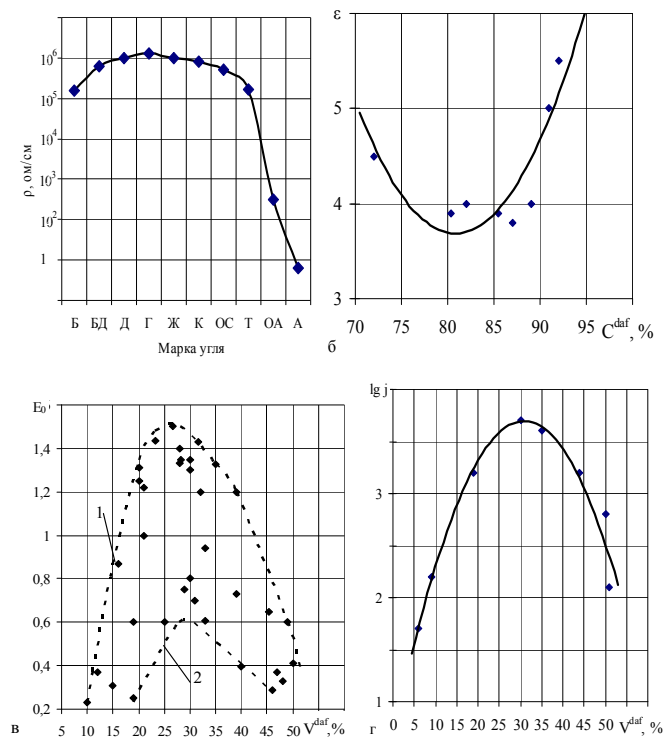


Рис. 6. Залежність електромагнітних параметрів від марки вугілля (а), вмісту вуглецю (б) і виходу летких речовин (в) і (г) [14, 15]:  
 1,2 – верхня і нижня межі зміни параметрів;  
 • – експериментальні дані

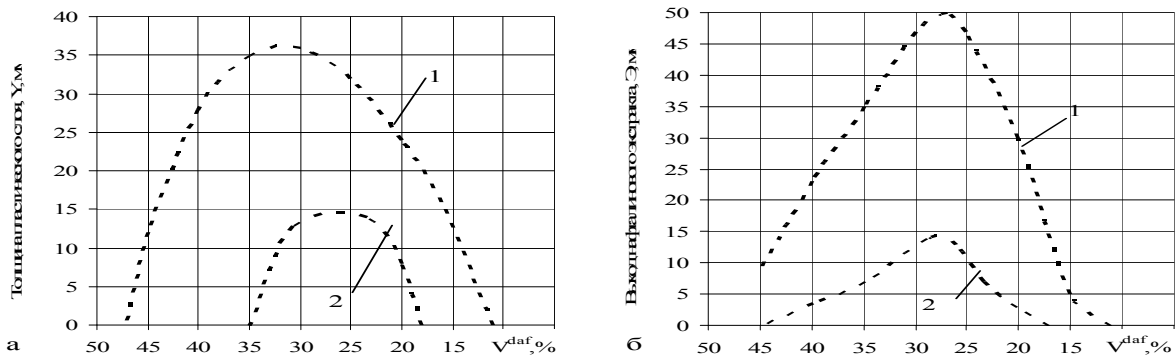


Рис. 7. Зміна товщини пластичного шару (γ) і виходу нафталінового екстракту (ε) від виходу летких речовин ( $V^{daf}$ ) згідно [11]:  
 1,2 – верхня та нижня межі зміни параметрів

Значенню  $V^{daf}$  30 % відповідає також максимум логарифма інтенсивності потоку емісії електронів високих енергій (рис. 6 г).

Схожий характер зміни діапазонів має залежність товщини пластичного шару і виходу нафталінового екстракту в залежності від  $V^{daf}$  (рис. 7).

При встановленні складу органічної маси (рис.3) і вмісту газів термічного розкладання високометаморфізованих кам'яного вугілля і антрацитів автори [6] застосували додатково в якості класифікаційних показників питому вагу і об'ємний вихід летких речовин. Одночасне застосування декількох показників обумовлено неоднозначним характером їх взаємної залежності (рис.8).

На окремих стадіях метаморфізму вугілля параметри, які нами розглядалися, можуть залишатися практично постійними, з цієї причини вони втрачають своє значення у якості класифікаційних. При масовому виході летких речовин менше 8 % значення цього показника змінюються в вузькому діапазоні, а показник Кд - зазнає значних змін (рис. 8 б). При постійному значенні  $V_{daf}$  300 см<sup>3</sup>/г параметр  $V_{daf}$  змінюється в широкому інтервалі від 8 % до 48 % (рис. 8 а), така зміна класифікаційних показників ( $V_{daf}$ ,  $V_{daf}$ об, Кд) вказує на неоднозначну зміну властивостей вугілля в процесі метаморфізму.

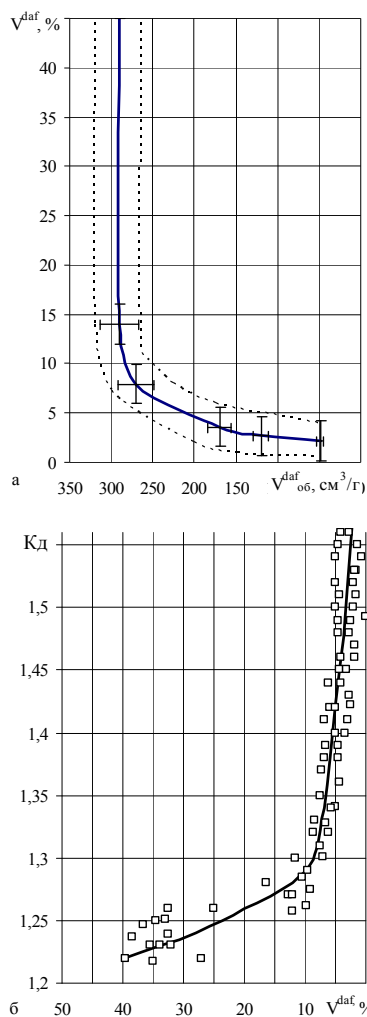


Рис. 8. Взаємозв'язок деяких класифікаційних параметрів ступеня метаморфізму вугілля [10]:  
1,2 – верхня і нижня межі зміни параметрів  
• – експериментальні дані

Додатково до параметрів  $V^{daf}$  і  $V^{daf}_{об}$  в [16] використовується логарифм питомого електроопору вугілля. Зокрема  $V^{daf}$  і  $V^{daf}_{об}$  частково характеризують склад органічної маси вугілля. Логарифм питомого опору відображає зміну внутрішньої структури вугілля. Параметри  $\lg \rho$  і  $V^{daf}_{об}$  ідентифікують вугілля високого ступеня метаморфізму і антрациту. Вони досить тісно корелюють між собою ( $r=0,91$ ), але через різну їх сутність і природу спостерігається значний розкид експериментальних даних щодо усередненої прямої (рис. 9). З цієї причини взаємна заміна класифікаційних показників ( $\lg \rho$ ,  $V^{daf}_{об}$ ,  $K_d$ ) для оцінювання ступеня метаморфізму вугілля може приводити до значних похибок.

#### Висновки

Проведений аналіз та систематизація відомих результатів досліджень, а також застосування обгрунтованого наукового підходу, показали можливість істотного покращення нормативної бази для регламентації безпечного відпрацювання вугільних шахтопластів.

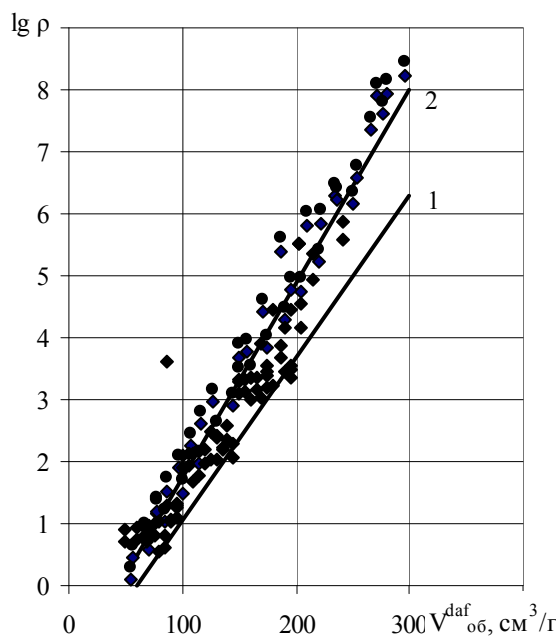


Рис. 9. Графік взаємозв'язку  $\lg \rho$  і  $V^{daf}_{об}$   
1,2 – усереднені прямі, відповідно рекомендована [16] та експериментально отримані [6, 12, 17]

#### Литература

1. Tarasov V. Occupational safety and health in the coal industry / V. Tarasov, Zakharova O., Zaika R., Zakharova A. // Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing/ Multi-authored monograph. - Petrosani: Romania, UNIVERSITAS Publishing, 2018. - p. 311-329. ISBN 978-973-741-592-9
2. Антощенко Н.И. Шепелевич В.Д. Метан в угольных пластах от образования до выделения : Монография. – Алчевск : ДонГТУ. – 2006. -267с.
3. Гапеев А.А. Твердые горючие ископаемые (каустобиолиты). – М.: Государственное издательство геологической литературы. – 1949. – 335с.
4. Миронов К.В. Справочник геолого-угольщикаю – М.: Недра. – 1982. -311с.
5. Аналитическая химия и технический анализ углей [Текст]: [Учебник для горных техникумов] / М. А. Менковский, А. А. Флодин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Недра, 1973. – 367 с.
6. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. – ДонУГИ. Вып. VIII/ - М.: Углетехиздат, - 1954 – 430с.
7. ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам = Brown coals, hards coals and anthracites. Classification according to genetic and technological parameters : государственный стандарт Союза ССР / Разработан М-вом угольной пром-сти. - Взамен ГОСТ 25543-82, ГОСТ 6869-87, ГОСТ 6991-86, ГОСТ 7026-86, ГОСТ 7049-86, ГОСТ 7050-86, ГОСТ 7055-86, ГОСТ 8150-87, ГОСТ 8162-87, ГОСТ 8180-86, ГОСТ 8931-86, ГОСТ 9280-86, ГОСТ 9477-86, ГОСТ 9478-86, ГОСТ 9588-87, ГОСТ 10101-87, ГОСТ 19122-87 / Введ. 01.01.90. - Москва : Изд-во стандартов, 1988. - 19 с.
8. ГОСТ 17070-87 Угли. Термины и определения. - М.: Стан-дартинформ, 2003. - 15 с.

9. ГОСТ 27313 – 87 (ст. СЭВ 750-77) Топливо твердое. Обозначение аналитических показателей и формулы перерасчетов результатов анализа для различных состояний топлива. Введ. 01.07.87. – М. : Издательство стандартов. – 1987. – 12с.
10. Антощенко Н.И. Влияние температуры на степень метаморфизма ископаемых углей / Н.И.Антощенко, Н.В. Томалак и [др.] // Уголь Украины. – 2002. - №7. – с. 36-38.
11. Черноусов, Яков Михайлович. Геология угольных месторождений [Текст] : [Учеб. пособие для геол. специальностей вузов] / Я.М. Черноусов. - Киев : Вища школа, 1977. - 176 с.
12. Желдаков М.Е., Иванова Э.И. Справочник по качеству антрацитов Советского Союза.- М.: Недра, 1980.-256 с
13. Тарасова А.А. О взрывчатых свойствах каменноугольной пыли //Сб. МакНИИ О газовойделении и пылеобразовании в угольных шахтах. Т.VII – М.: Углетехиздат – 1953 – с. 109-139.
14. Саранчук В.И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля / В. И. Саранчук, А. Т. Айруни, К. Е. Ковалев; АН УССР, Ин-т физ.-орг. химии и углехимии. - Киев : Наук. думка, 1988. - 190 с.
15. Тайц Е.М. Методы анализа и испытания углей / Е. М. Тайц, И. А. Андреева. - М. : Недра, 1983. - 301 с. : ил.; 22 см.; ISBN В пер. (В пер.)
16. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / СВ Янко, СП Ткачук – К. : Основа. – 1994. – 311с.
17. Вялов В.И. Качества и свойства антрацитов основных угольных бассейнов и месторождений СНГ и их рациональное использование. – М.: АО «Геоинформмарк». – 1994. 1-74с.
- Vved. 01.01.90. - Moskva : Izd-vo standartov, 1988. - 19 s.
8. GOST 17070-87 Ugli. Terminy i opredeleniya. - M.: Standartinform, 2003. - 15 s.
9. ГОСТ 27313 – 87 (ст. SEV 750-77) Toplivo tverdoe. Oboznachenie analiticheskikh pokazatelej i vormuly pererschetov rezultatov analiza dlya razlichnyh sostoyanij topliva. Vved. 01.07.87. – М. : Izdatelstvo standartov. – 1987. – 12s.
10. Antoshenko N.I. Vliyanie temperatury na stepen metamorfizma iskopaemyh uglej / N.I.Antoshenko, N.V. Tomalak i [dr.] // Ugol Ukrainy. – 2002. - №7. – s. 36-38.
11. Chernousov, Yakov Mihajlovich. Geologiya ugolnyh mestorozhdenij [Tekst] : [Ucheb. posobie dlya geol. specialnostej vuzov] / Ya.M. Chernousov. - Kiev : Visha shkola, 1977. - 176 s.
12. Zheldakov M.E., Ivanova E.I. Spravochnik po kachestvu antracitov Sovetskogo Soyuz.- M.: Nedra, 1980.-256 s
13. Tarasova A.A. O vzryvchatyh svojstvah kamennougolnoj pyli //Sb. MakNII O gazovydelenii i pylеobrazovanii v ugolnyh shahtah. T.VII – М.: Ugletehizdat – 1953 – s. 109-139.
14. Saranchuk V.I. Nadmolekulyarnaya organizaciya, struktura i svojstva uglya / V. I. Saranchuk, A. T. Ajruni, K. E. Kovalev; AN USSR, In-t fiz.-organ. himii i uglehimii. - Kiev : Nauk. dumka, 1988. - 190 s.
15. Tajc E.M. Metody analiza i ispytaniya uglej / E. M. Tajc, I. A. Andreeva. - M. : Nedra, 1983. - 301 s. : il.; 22 sm.; ISBN V per. (V per.)
16. Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyacii ugolnyh shaht / SV Yanko, SP Tkachuk – K. : Osнова. – 1994. – 311s.
17. Vyalov V.I. Kachestva i svojstva antracitov osnovnyh ugolnyh bassejnov i mestorozhdenij SNG i ih racionalnoe ispolzovanie. – М.: АО «Геоинформмарк». – 1994. 1-74s.

### References

1. Tarasov V. Occupational safety and health in the coal industry / V., Tarasov, Zakharova O., Zaika R., Zakharova A. // Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing/ Multi-authored monograph. - Petrosani: Romania, UNIVERSITAS Publishing. — 2018. — p. 311—329. - ISBN 978-973-741-592-9
2. Antoshenko N.I. Shepelevich V.D. Metan v ugolnyh plastah ot obrozovaniya do vydeleniya : Monografiya. – Alchevsk : DonGTU. – 2006. -267s.
3. Gapeev A.A. Tverdye goryuchie iskopaemye (kaustobility). – М.: Gosudarstvennoe izdatelstvo geologicheskoy literatury. – 1949. – 335s.
4. Mironov K.V. Spravochnik geologo-ugolshikayu – М.: Nedra. – 1982. -311s.
5. Analiticheskaya himiya i tehnikeskij analiz uglej [Tekst] : [Uchebnik dlya gornyh tehnikumov] / M. A. Menkovskij, A. A. Flodin. - 2-e izd., pererab. i dop. - Moskva : Nedra, 1973. - 367 s.
6. Geologo-uglehimicheskaya karta Doneckogo bassejna. – DonUGI. Vyp. VIII/ - М.: Ugletehizdat, - 1954 – 430с.
7. ГОСТ 25543-88. Ugli burye, kamennyie i antracity. Klassifikaciya po geneticheskim i tehnikeskim parametram = Brown coals, hards coals and anthracites. Classification according to genetic and technological parameters : gosudarstvennyj standart Soyuzа SSR / Razrabotan M-vom ugolnoj prom-sti. - Vzamen GOST 25543-82, GOST 6869-87, GOST 6991-86, GOST 7026-86, GOST 7049-86, GOST 7050-86, GOST 7055-86, GOST 8150-87, GOST 8162-87, GOST 8180-86, GOST 8931-86, GOST 9280-86, GOST 9477-86, GOST 9478-86, GOST 9588-87, GOST 10101-87, GOST 19122-87 /

### Антощенко Н. И., Тарасов В. Ю., Захарова О. И., Зубцов Е.И. К вопросу установления опасных свойств угольных шахтопластов

*Обеспечение безопасных условий ведения горных работ в подземных условиях до настоящего времени остается актуальной проблемой для всех угледобывающих стран. Большинство аварий с тяжелыми последствиями произошли в результате внезапных выбросов угля и газа, суфлярного выделения метана, пылеобразующей способности, взрывчатости угольной пыли, склонности углей к самовозгоранию и некоторые другие. В своей основе перечисленных опасных свойств шахтопластов, в той или иной мере, обусловлено природными факторами метаморфизмом. Установлено, что действующей нормативной базой, регламентирующей безопасность ведения горных работ, в недостаточной степени использованы результаты научных исследований в смежных областях горных наук (геологии, физико-химического состава углей, геотехнических процессов и др.). Основными составляющими летучих продуктов термического разложения углей является водород, метан и оксиды углерода. Рассматривая общую массу или объем этих газов невозможно однозначно судить о химическом составе исходного материала угля и их свойствах, так как доля каждого из образующихся компонентов непостоянна. Учитывая разные физические и химические свойства газов ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) и постоянство их соотношений, параметр  $V_{daf}$  не может, в полной мере, характеризовать свойства совокупности образующихся газов, а тем более исходного материала (углей). Сложный и неоднозначный характер носят изменения физико-механических и теплотворных свойств*

углей от выхода летучих веществ и содержания углерода. При изменении  $V^{daf}$  в диапазоне 47÷25% теплотворная способность увеличивается от 7400÷8500 кал/кг до 8600÷8800 кал/кг. В интервале  $V^{daf} = 25\pm 15\%$  она, остается относительно постоянной (8600÷8800 кал/кг), а при  $V^{daf} < 15\%$  снижается с 8600÷8800 кал/кг до 8000÷8300 кал/кг. Идентификация газов термического разложения имеет важное значение для выявления опасных свойств шахтопластов, но ни в одном нормативном документе по безопасному ведению горных работ конкретные составляющие газов выхода летучих веществ не рассматриваются.

Проведенные исследования по систематизации известных результатов исследований и применение научно-обоснованных подходов, показали возможность существенного улучшения нормативной базы, регламентирующей безопасную отработку угольных шахтопластов.

**Ключевые слова:** метаморфизм, горные работы, систематизации, геологічні порушення, класифікаційний показател.

**Antoshchenko M.I., Tarasov V.Y., Zakharova O.I., Zubtsov Y.I. Establishing hazardous properties of coal mines**

*Ensuring of safety conditions for underground mining till now remain an urgent challenge for all the coal-mining countries. Majority of severe accidents took place in result of abrupt coal and gas outburst, methane bleeding, dust-forming, coal dust explosibility, coal ignitability, and some others. At the root of listed hazardous characteristics of coal layers, they are conditioned upon the natural factor—metamorphism. It is established that current legal environment regulating the mining safety has not sufficiently used the research insights in adjacent fields of mining sciences (geology, physical and chemical composition of coals, geotechnical processes, etc.). The main constituents of coal thermal decomposition volatile products are: hydrogen, methane, and carbon oxides. When considering the total mass or volume of these gases, it is impossible to have unambiguous opinion concerning composition of their source material—coal and their properties, due to they have no permanent share of each generated component. Taking into account different physical and chemical properties of gases ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) and*

*permanent character of their ratios,  $V_{daf}$  parameter cannot fully define the properties of generated gases totality, and much less those of source material (coals). Changes of physical and mechanical properties and heat-producing properties of coals from their devolatilization to carbon content are complicated and ambiguous. When changing  $V^{daf}$  in 47÷25% range, the calorific heat value increases from 7400÷8500 cal/kg up to 8600÷8800 cal/kg. In  $V^{daf} = 25\pm 15\%$  interval, it remains relatively permanent (8600÷8800 cal/kg); and at  $V^{daf} < 15\%$ , it decreases from 8600÷8800 cal/kg down to 8000÷8300 cal/kg. Thermal decomposition gases identification is important to reveal the hazardous properties of coal layers, but none regulation on safety mining consider certain constituents of devolatilization gases.*

*Researches undertaken to systemize the known results of researches and apply the scientifically grounded approaches have shown possibility of essential improvement of the legal environment regulating the coal layers safety processing.*

**Key words:** metamorphism, mining, systemization, geological breaches, classification indicator.

**Антощенко Микола Іванович** – д.т.н., професор, професор кафедри хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. kaf.zfx.sti@gmail.com

**Тарасов Вадим Юрійович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. vatarasov81@gmail.com

**Захарова Ольга Іванівна** – к.х.н., доцент, доцент кафедри хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. rubej10@gmail.com

**Зубцов Євген Іванович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, mining\_07@mail.ua

Стаття подана 15.10.2019.



DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-17-22>

УДК 661.725:678.05:65.018.2

**СИНТЕЗ ПЕНТАЕРИТРИТУ В РЕАКТОРАХ РІЗНОГО ТИПУ****Бєлкін Д.І., Демченко О.О.****SYNTHESIS OF PENTAERYTHRITOL IN VARIOUS TYPE REACTORS****Belkin D.I., Demchenko O.O.**

Для реакторів періодичної і напівперіодичної дії і реакторів витіснення і змішення безперервної дії з використанням математичної моделі визначені залежності вибіркості реакцій процесу конденсації ацетальдегіду і формальдегіду в лужному середовищі, в яких утворюються пентаеритрит, дипентаеритрит, трипентаеритрит, метиловий ефір пентаеритриту, натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропаноат і циклічні напівацеталі ацетальдегіду і 3-гідроксибутаналу, від ступеня перетворення ацетальдегіду в ці продукти в умовах: загальне молярне співвідношення ацетальдегіду, формальдегіду і натрій гідроксиду 1:3-10:1,2; початкова або приведена концентрація ацетальдегіду 0,26-1,5 моль/л, температура 15-50 °С. Проведено порівняння розрахункових і експериментальних значень виходу продуктів. У реакторі періодичної дії і в реакторі витіснення безперервної дії вихід пентаеритриту можна підвищити практично тільки у тому випадку, коли використовується значний надлишок формальдегіду, а початкова концентрація ацетальдегіду не перевищує 0,6-0,7 моль/л. Вихід пентаеритриту в реакторі змішення залежить від тих же чинників, що і в реакторі періодичної дії, але за рівних умов завжди нижче при ступені перетворення більше 0,75-0,80 за рахунок значного збільшення виходу дипентаеритриту. У напівперіодичному реакторі при однаковому молярному співвідношенні реагентів вихід пентаеритриту вищий, ніж в реакторі періодичної дії і в реакторі змішення безперервної дії, а вихід дипентаеритриту і метилового ефіру пентаеритриту вищий, ніж в періодичному реакторі, але нижче, ніж в реакторі змішення безперервної дії. Залежність вибіркості реакцій синтезу від ступеня перетворення в каскаді реакторів змішення з введенням ацетальдегіду в кожен реактор завжди займає проміжне положення між подібними залежностями для реактора змішення безперервної дії і напівперіодичного реактора, зближуючись з останньою по мірі збільшення числа реакторів змішення в каскаді. Результати дослідження можуть бути використані при виборі ефективних типу реактора і умов проведення синтезу пентаеритриту, а також способів і умов процесів виділення і очищення цільових продуктів.

**Ключові слова:** пентаеритрит, синтез, реактори, математическая модель, вибіркості, конверсія.

**Вступ.** Пентаеритрит (2,2-біс(гідроксиметил)-1,3-пропандіол) синтезують конденсацією ацеталь-

дегіду і формальдегіду у присутності натрій гідроксиду і використовують для виробництва лаків, фарб, полімерів та інших продуктів. Вибір ефективних способів і умов синтезу, виділення і очищення пентаеритриту є актуальним для потужних його виробництв.

**Постановка проблеми.** У численних патентах, що стосуються способів одержання пентаеритриту, пропонується проводити синтез в реакторах різного типу. Але в патентах приводяться практично однакові високі виходи пентаеритриту і не наводиться склад побічних продуктів. Тому неможливо за патентними даними оцінити ефективність синтезу в реакторах певного типу та визначити спосіб виділення і очищення пентаеритриту і ефективність виробництва в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Літературні дані, що стосуються аналізу вибіркості реакцій у синтезі пентаеритриту і його ефективності в реакторах певного типу, нами не знайдені.

**Мета статті.** Для визначення ефективності синтезу пентаеритриту в реакторах різного типу необхідно виконати розрахунок вибіркості реакцій і виходу пентаеритриту і побічних продуктів з використанням математичної моделі і перевірити адекватність розрахунку порівнянням розрахункових і експериментальних значень цього виходу.

**Результати досліджень.** Розрахунок проводили з використанням математичної моделі [1, 2], що була доповнена рівняннями швидкості реакцій утворення натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропаноату і метилового ефіру пентаеритриту (2-метоксиметил-2-гідроксиметил-1,3-пропандіолу). Ступінь перетворення ацетальдегіду в кінцеві продукти розраховували по рівнянню

$$\beta = (C_P + 2C_{DP} + 2C_{BP} + C_{MP} + C_{PN} + 3C_{AD})/C_{A(0)} \quad (1)$$

де  $C_P, C_{DP}, C_{BP}, C_{MP}, C_{PN}, C_{AD}$  - концентрації відповідно пентаеритриту, дипентаеритриту (2,2,6,6-тетракіс(гідроксиметил)-4-окса-1,7-гептандіолу), біс-

пентаеритритформалю (2,2,8,8-тетратракис(гідроксиметил)-4,6-диоксанонандіолу), метилового ефіру пентаеритриту, натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропанату і циклічного напівацеталю альдоксану (4-метил-6-гідрокси-1,3-диоксациклогексану), що утворюються в побічних реакціях ацетальдегіду, моль/л;

$C_{A(0)}$  - концентрація ацетальдегіду, введеного в реакційну суміш, моль/л.

Вибірковість реакцій  $\sigma_i$ , в яких утворюються перераховані продукти, розраховували по рівняннях

$$\sum dC_i = dC_P + 2dC_{DP} + 2dC_{BP} + dC_{MP} +$$

$$+ dC_{PN} + 3dC_{AD} \quad (2)$$

$$\sigma_i = \frac{dC_i}{\sum dC_i} \quad (3)$$

де  $dC_i$  - кількість відповідного продукту що утворився за час  $dt$ , моль/(л·с).

Синтез пентаеритриту проводили в періодичному (одночасне змішування реагентів) режимі і в режимі поступового введення ацетальдегіду в суміш решти реагентів в умовах: загальне молярне співвідношення ацетальдегіду, формальдегіду і натрій гідроксиду 1:3-10:1,2; початкова або приведена концентрація ацетальдегіду 0,26-1,5 моль/л, температура 15-50 °С. У синтезі використовували рідкий ацетальдегід, формалін з масовою часткою формальдегіду 37% і метанолу 6% та водний розчин з масовою часткою натрій гідроксиду 40%.

Концентрацію пентаеритриту і побічних продуктів в реакційних розчинах визначали методом ГЖХ [3]. Концентрацію пентаеритриту визначали також методом отримання нерозчинного 3,9-дифеніл-2,4,8,10-тетраоксаспиро[5.5]ундекану [4].

Вибірковість реакцій синтезу в реакторі періодичної дії і в реакторі витіснення приведено на рис.1.

У початковому періоді синтезу в реакторі періодичної дії причиною зниження вибірковості по пентаеритриту є реакція диспропорціонування 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропаналу з утворенням натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропанату, а в подальшому періоді - реакції утворення дипентаеритриту, біспентаеритритформалю і метилового ефіру пентаеритриту, вибірковість яких зростає унаслідок підвищення концентрації зневоднених проміжних альдегідів і пентаеритриту.

Вибірковість реакцій практично не залежить від концентрації натрій гідроксиду, якщо його кількості достатньо для повного завершення синтезу. При підвищенні температури від 10 до 40 °С вибірковість реакції з утворенням натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропанату трохи знижується, а решти реакцій відповідно зростає.

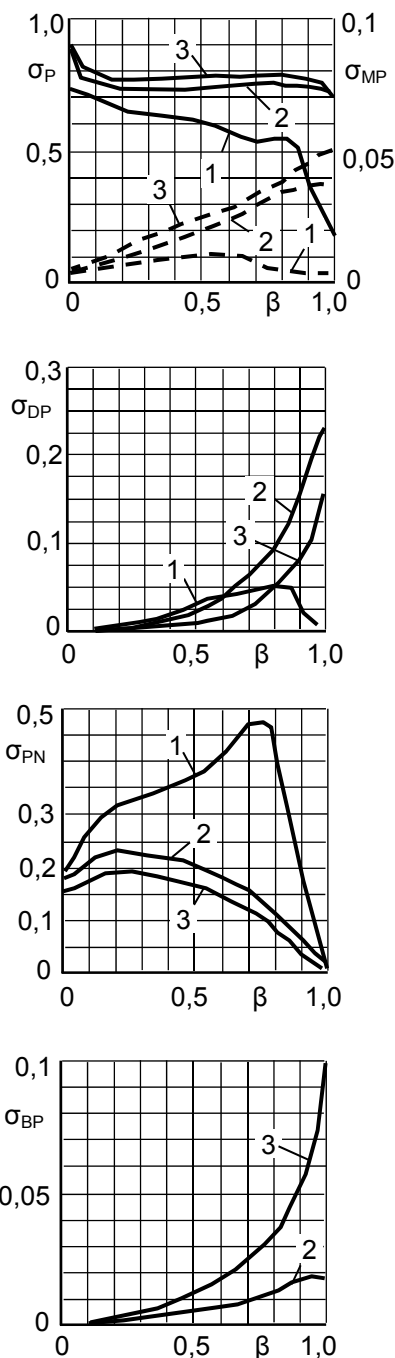


Рис. 1. Вибірковість реакцій синтезу в реакторі періодичної дії і в реакторі витіснення: молярне співвідношення ацетальдегіду, формальдегіду і натрій гідроксиду: 1 – 1:3:1,2, 2 – 1:5:1,2, 3 – 1:8:1,2; початкова концентрація ацетальдегіду 0,7 моль/л; температура 20 °С; -----  $\sigma_{MP}$

У реакторі періодичної дії і в реакторі витіснення безперервної дії вихід пентаеритриту можна підвищити практично тільки у тому випадку, коли використовується значний надлишок формальдегіду, а початкова концентрація ацетальдегіду не перевищує 0,6-0,7 моль/л (рис. 2).

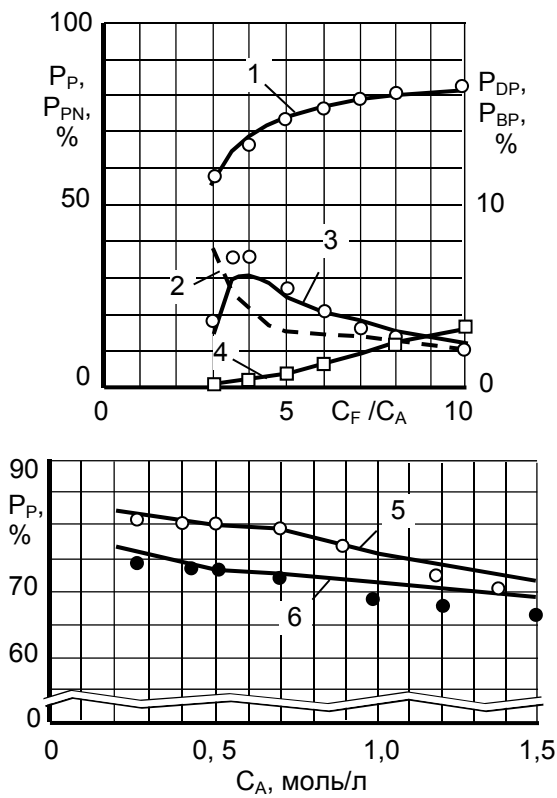


Рис. 2... Залежність виходу продуктів від молярного співвідношення формальдегіду і ацетальдегіду  $C_F/C_A$  і початкової концентрації ацетальдегіду  $C_A$  в реакторі періодичної дії і реакторі витіснення безперервної дії: молярне співвідношення ацетальдегіду і натрій гідроксиду 1:1,2; температура 30 °С; початкова концентрація ацетальдегіду  $C_A = 0,7$  моль/л; 1 -  $P_P$ ; 2 -  $P_{PN}$ ; 3 -  $P_{DP}$ ; 4 -  $P_{BP}$ ; молярне співвідношення ацетальдегіду і формальдегіду  $C_F/C_A$  5 - 1:8; 6 - 1:5; точки - експеримент, криві - розрахунок

Наприклад, при використанні стандартного формаліну при молярному співвідношенні ацетальдегіду і формальдегіду 1:10 і початковій концентрації ацетальдегіду 0,7 моль/л вихід продуктів: пентаеритриту 80-81, дипентаеритриту 1,8-2,4, біспентаеритритформалю 3,1-3,4, метилового ефіру пентаеритриту 2,9-3,2 і натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідрокси-пропаноату 11,0-11,6 %.

Вибірковість реакцій в реакторі змішення безперервної дії приведено на рис. 3.

В цьому реакторі при ступені перетворення менше 0,4 вибірковість реакцій практично така ж, як і в реакторі періодичної дії. При подальшому збільшенні ступеня перетворення в реакційній суміші збільшується концентрація пентаеритриту, внаслідок чого вибірковість по дипентаеритриту підвищується, а по пентаеритриту знижується.

Вихід пентаеритриту в реакторі змішення залежить від тих же чинників, що і в реакторі періодичної дії, але за рівних умов завжди нижче при ступені перетворення більше 0,75-0,80 за рахунок значного збільшення виходу дипентаеритриту (рис 4).

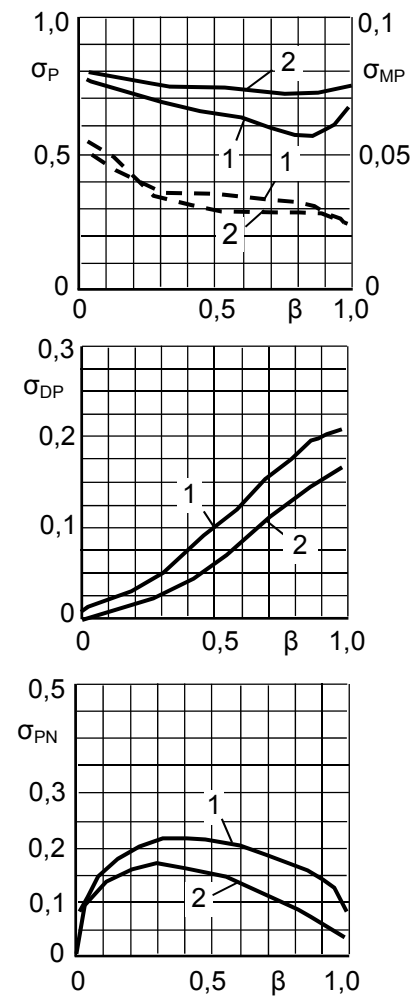


Рис. 3. Залежність вибірковості реакцій від ступеня перетворення в реакторі змішення безперервної дії; вхідний потік: молярне співвідношення ацетальдегіду, формальдегіду і натрій гідроксиду 1 - 1:4:1,2; 2 - 1:6:1,2; концентрація ацетальдегіду 0,7 моль/л; температура 30 °С; --- -  $\sigma_{MP}$

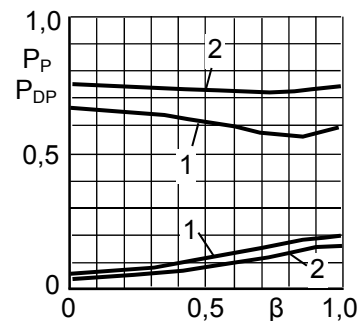


Рис. 4. Залежність виходу пентаеритриту і дипентаеритриту в системі реактор змішення - реактор витіснення від ступеня перетворення (умови синтезу по рис.3)

Наприклад, в системі реактор змішення - реактор витіснення при молярному співвідношенні аце-

тальдегіду, формальдегіду і натрій гідроксиду 1:6:1,2 і початковій концентрації ацетальдегіду 0,7 моль/л в потоці, що входить в реактор змішення, при ступені перетворення в реакторі змішення 0,9 вихід продуктів: пентаеритриту 71-73, дипентаеритриту 16-17, біспентаеритритформалю 1,7-2,0, метилового ефіру пентаеритриту 2,9-3,2 і натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідрокси-пропаноату 5,8-6,1 %.

Тому реактор змішення виявляється ефективним тільки у тому випадку, коли метою є не тільки виробництво пентаеритриту, але і виробництво дипентаеритриту, що є не менш цінним продуктом, ніж пентаеритрит.

Підвищенню виходу дипентаеритриту сприяє висока концентрація пентаеритриту в реакційній суміші, що зростає із збільшенням ступеня перетворення ацетальдегіду в кінцеві продукти, а також при зменшенні кількості води в потоці, що входить в реактор. При молярному співвідношенні ацетальдегіду, формальдегіду, натрій гідроксиду і води 1:4,2:1,2:40 в потоці, що входить в реактор, температурі в реакторі 40-45 °С і ступені перетворення ацетальдегіду 0,95 вихід продуктів складає: пентаеритриту 54,1, дипентаеритриту 24,2 %, біспентаеритритформалю 3,6 і натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідрокси-пропаноату 8,6 % [5].

Вихід дипентаеритриту можна значно підвищити, повертаючи в реактор пентаеритрит, що виділяється з реакційної суміші. У міру збільшення кількості пентаеритриту, що повертається, вихід дипентаеритриту зростає, а вихід пентаеритриту знижується. В результаті встановлюється стаціонарний режим, при якому кількість пентаеритриту, що повертається, залишається практично постійною і випускається в основному дипентаеритрит.

Наприклад, такий режим встановлюється в умовах: у потоці, що входить в реактор, молярне співвідношенні ацетальдегіду, формальдегіду, натрій гідроксиду і води 1:4,2:1,2:40; температура в реакторі 60-65 °С, а ступінь перетворення ацетальдегіду 0,95 [6].

Залежність вибіркової реакції від ступеня перетворення в напівперіодичному реакторі приведено на рис. 5.

У напівперіодичному реакторі при постійній температурі і рівномірному введенні ацетальдегіду в суміш решти реагентів із збільшенням ступеня перетворення вибірковість реакції з отриманням пентаеритриту знижується, а вибірковість решти реакцій підвищується. У однакових інших умовах при рівномірному зростанні температури від 20 до 48 °С вибірковість по пентаеритриту залишається такою ж, як і при постійній температурі, а вибірковість по натрій 2,2-біс(гідроксиметил)-3-гідроксипропаноату знижується за рахунок підвищення вибіркової реакції з отриманням дипентаеритриту і метилового ефіру пентаеритриту. Слід зазначити, що в промисловості такий спосіб проведення синтезу використовується найчастіше.

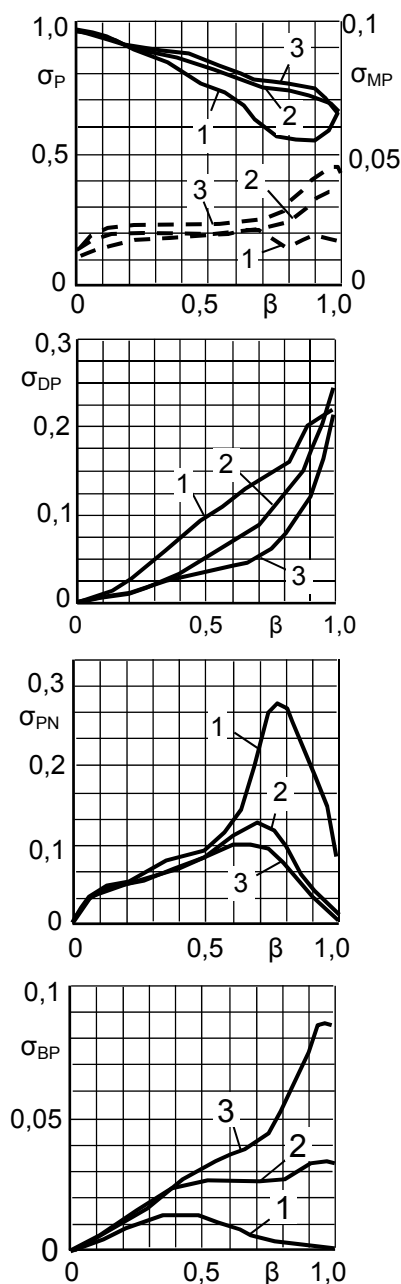


Рис. 5. Залежність вибіркової реакції від ступеня перетворення в напівперіодичному реакторі з введенням ацетальдегіду в суміш решти реагентів; тривалість введення ацетальдегіду 60 хв; температура 30 °С; молярне співвідношення ацетальдегіду, формальдегіду, натрій гідроксиду і води 1 - 1:4:1,2:70; 2 - 1:6:1,3:70;

3 - 1:8:1,2:70; --- -  $\sigma_{MP}$

У даному реакторі при однаковому молярному співвідношенні реагентів вихід пентаеритриту вищий, ніж в реакторі періодичної дії і в реакторі змішення безперервної дії, а вихід дипентаеритриту і метилового ефіру пентаеритриту вищий, ніж в періодичному реакторі, але нижче, ніж в реакторі змішення безперервної дії (рис. 6).

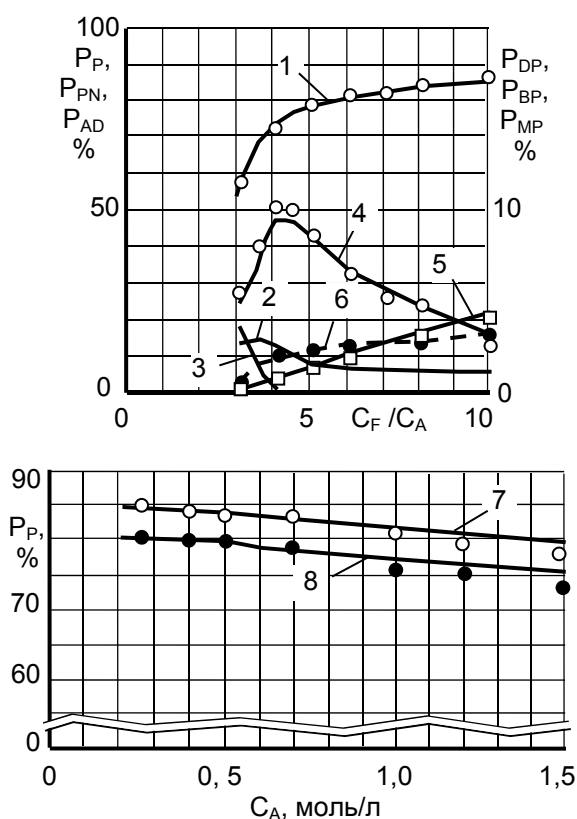


Рис. 6. Залежність виходу продуктів від молярного співвідношення формальдегіду і ацетальдегіду  $C_F/C_A$  і приведеної концентрації ацетальдегіду  $C_A$  в напівперіодичному реакторі; молярне співвідношення ацетальдегіду і натрій гідроксиду 1:1,2; температура 30 °С; приведена концентрація ацетальдегіду 0,7 моль/л; вихід: 1 – P<sub>P</sub>; 2 – P<sub>PN</sub>; 3 – P<sub>AD</sub>; 4 – P<sub>DP</sub>; 5 – P<sub>BP</sub>; 6 – P<sub>MP</sub>; молярне співвідношення ацетальдегіду і формальдегіду 7 – 1:8; 8 – 1:5

Із збільшенням концентрації реакційного розчину вихід пентаеритриту знижується за рахунок збільшення виходу дипентаеритриту і метилового ефіру пентаеритриту, а також відносному зменшенні рівноважної концентрації формальдегіду у наслідок реакцій утворення його тримеру і напівацеталів з пентаеритритом і метанолом.

У напівперіодичному реакторі однаковий вихід пентаеритриту може бути отриманий при певних поєднаннях температури і тривалості введення ацетальдегіду в реактор. Решта варіантів введення реагентів або не приводить до помітних змін виходу пентаеритриту, або призводить до його зниження.

Залежність вибіркової реакції синтезу від ступеня перетворення в каскаді реакторів змінюється з введенням ацетальдегіду в кожен реактор завжди займає проміжне положення між подібними залежностями для реактора змінювання безперервної дії і напівперіодичного реактора, зближуючись з останньою по мірі збільшення числа реакторів змінювання в каскаді.

Вихід пентаеритриту, незалежно від типу реактора і умов синтезу, може бути підвищений на 2-3 %

при використанні формаліну, що практично не містить метанол.

**Висновок.** В результаті проведеного дослідження визначена ефективність синтезу пентаеритриту в реакторах різного типу. Отримані дані можуть бути використані для вибору оптимального типу реактора і умов проведення синтезу, виділення і очищення пентаеритриту залежно від мети і можливостей конкретного виробництва.

#### Література

1. Белкин Д.И. Кинетика конденсации формальдегида и ацетальдегида / Д.И. Белкин // Ж. прикл. химии. - 1990. - Т. 63. - С. 2312-2320.
2. Демченко О.А., Белкин Д.И. Кинетика и механизм реакций образования дипентаэритрита и биспентаэритритформалья при конденсации формальдегида и ацетальдегида в щелочных растворах // Вісник СХУ ім. В. Даля. 2011. № 10 (2). С. 42-48.
3. Smith B., Gullberg L. Gas chromatographic analysis of mono-, di- and tripentaerythritol in the form of their trimethylsilyl ethers // Acta Chem. Scand.-1965.- Vol.19, № 3.- P. 605-611.
4. Крафт М.Я. Анализ пентаэритрита в растворах // Хим. пром. - 1931. - Т.8. - С. 507.
5. Пат. 58613 Україна, МКИ С07С 31/24. Спосіб одержання пентаеритриту і дипентаеритриту / Демченко О.О., Белкин Д.И. (Україна). - № u201012655; Заявлен 25.10.2010; Опубл. 26.04.2011.-7 с., Бюл. №8.
6. Пат. 69096 Україна, МПК С07С 31/24. Спосіб одержання дипентаеритриту // Белкин Д. И., Демченко О. О (Україна); - № u201109921; Заявл. 10.08.2011; Опубл. 25.04.2012. - 6 с., Бюл. № 8.

#### References

1. Belkin D.I. Kinetics of condensation of formaldehyde and acetaldehyde / D.I. Belkin // J. Prikl. chemistry. - 1990. - T. 63. - S. 2312-2320.
2. Demchenko O.A., Belkin D.I. Kinetics and reaction mechanism of dipentaerythritol and bispentaerythritol formal formation during the condensation of formaldehyde and acetaldehyde in alkaline solutions // Visnik SNU im. V. Dahl. 2011. No. 10 (2). S. 42-48.
3. Smith B., Gullberg L. Gas chromatographic analysis of mono-, di- and tripentaerythritol in the form of their trimethylsilyl ethers // Acta Chem. Scand.-1965.- Vol.19, No. 3.- P. 605-611.
4. Kraft M.Ya. Analysis of pentaerythritol in solutions // Chem. prom - 1931. - T.8. - S. 507.
5. Pat. 58613 Ukraine, IPC C07C 31/24. The method of obtaining pentaerythritol and dipentaerythritol / Demchenko O.O., Belkin D.I. (Ukraine). - № u201012655; Declared 25.10.2010; Publ. 26.04.2011.-7 p., Bul. №8.
6. Pat. 69096 Ukraine, IPC C07C 31/24. The method of obtaining dipentaerythritol // Belkin D.I., Demchenko O.O. (Ukraine); - № u201109921; Declared 10.08.2011; Publ. 25.04.2012. - 6 p., Bul. № 8.

**Белкин Д.И., Демченко О.А. Синтез пентаэритрита в реакторах разного типа**

*Для реакторов периодического и полупериодического действия, и реакторов вытеснения и смешения непрерывного действия с использованием математической модели определены зависимости избирательности реакций про-*

цесса конденсации ацетальдегида и формальдегида в щелочной среде, в которых образуются пентаэритрит, дипентаэритрит, трипентаэритрит, метиловый эфир пентаэритрита, 2,2-бис(гидроксиметил)-3-гидроксипропаноат натрия, циклические полуацетали ацетальдегида и 3-гидроксибутаналь, от степени превращения ацетальдегида в эти продукты в условиях: общее молярное соотношение ацетальдегида, формальдегида и гидроксида натрия 1:3-10:1,2; начальная или приведенная концентрация ацетальдегида 0,26-1,5 моль/л, температура 15-50 °С. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных значений выхода продуктов. В реакторе периодического действия и в реакторе вытеснения непрерывного действия выход пентаэритрита можно повысить практически только в том случае, когда используется значительный избыток формальдегида, а начальная концентрация ацетальдегида не превышает 0,6-0,7 моль / л. Выход пентаэритрита в реакторе смешения зависит от тех же факторов, что и в реакторе периодического действия, но при равных условиях всегда ниже при степени превращения больше 0,75-0,80 за счет значительного увеличения выхода дипентаэритрита. В полупериодическом реакторе при одинаковом молярном соотношении реагентов выход пентаэритрита выше, чем в реакторе периодического действия и в реакторе смешения непрерывного действия, а выход дипентаэритрита и метилового эфира пентаэритрита выше, чем в периодическом реакторе, но ниже, чем в реакторе смешения непрерывного действия. Зависимость избирательности реакций синтеза от степени превращения в каскаде реакторов смешения с введением ацетальдегида в каждый реактор всегда занимает промежуточное положение между подобными зависимостями для реактора смешения непрерывного действия и полупериодического реактора, сближаясь с последней по мере увеличения числа реакторов смешения в каскаде. Результаты исследования могут быть использованы при выборе эффективных типа реактора и условий проведения синтеза пентаэритрита, а также способов и условий процессов выделения и очистки целевых продуктов.

**Ключевые слова:** пентаэритрит, синтез, реакторы, математическая модель, избирательность, степень превращения.

#### **Belkin D.I., Demchenko O.A. Synthesis of pentaerythritol in reactors of various types**

*For batch and semi-batch reactors and continuous displacement and mixing reactors using a mathematical model, the dependences of the selectivity of the reactions of the condensation process of acetaldehyde and formaldehyde in an alkaline medium in which pentaerythritol, dipentaerythritol, and*

*tripentaerythritol, methyl pentaerythritol, sodium 2,2-bis (hydroxymethyl) -3-hydroxypropanoate, cyclic acetaldehyde and 3-hydroxybutanal halfacetals, depending on the degree of conversion of acetaldehyde to these products in conditions: the total molar ratio of acetaldehyde, formaldehyde and sodium hydroxide 1: 3-10: 1,2; initial or reduced concentration of acetaldehyde 0.26-1.5 mol / l, temperature 15-50 ° C. The calculated and experimental values of the product yield are compared. In the batch reactor and in the continuous-displacement reactor, the pentaerythritol yield can be increased practically only when a significant excess of formaldehyde is used, and the initial acetaldehyde concentration does not exceed 0.6-0.7 mol / l. The output of pentaerythritol in the mixing reactor depends on the same factors as in the reactor of periodic action, but under equal conditions is always lower when the degree of conversion is greater than 0.75-0.80 due to a significant increase in the yield of dipentaerythritol. In a semi-periodic reactor at the same molar ratio of reagents, the yield of pentaerythritol is higher than in the reactor of continuous action and in the continuous mixing reactor, and the yield of dipentaerythritol and methyl ether of pentaerythritol is higher than in the periodic reactor, but lower than the change. The dependence of the selectivity of synthesis reactions on the degree of transformation in the cascade of mixing reactors with the introduction of acetaldehyde in each reactor always occupies an intermediate position between similar dependencies for the continuous mixing reactor and the semi-periodic reactor and converges with the dependence for the semi-periodic reactor with increasing number of mixing reactors in the reactor cascade. The results of the study can be used to select the effective type of reactor and the conditions for the synthesis of pentaerythritol, as well as methods and conditions for the isolation and purification of target products.*

**Key words:** pentaerythritol, synthesis, reactors, mathematical model, selectivity, degree of conversion.

**Белкін Д.І.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри машин та апаратів хімічних виробництв Інституту хімічних технологій Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Рубіжне.

E-mail: dib@rambler.ua

**Демченко О.О.** – к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних виробництв Інституту хімічних технологій Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м Рубіжне.

E-mail: aleksdemcenko77@gmail.com

Стаття подана 30.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-23-29>

УДК 711.582

## АНАЛІЗ КОМФОРТНОСТІ ПРИБУДИНКОВИХ ТЕРИТОРІЙ РІЗНИХ ТИПІВ ЗАБУДОВИ У М. СЕВЕРОДОНЕЦЬК

Білошицька Н.І., Білошицький М.В., Татарченко З.С., Медвідь І.І.

## ANALYSIS OF COMFORTABILITY OF HOUSE TERRITORIES OF DIFFERENT BUILDING TYPES IN SEVERODONETSK TOWN

Biloshytska N.I., Biloshytskiy M.V., Tatarchenko Z.S., Medvid I.I.

*У статті наведено результати аналізу рівня комфортності прибудинкових територій різних типів міської житлової забудови (за роками будівництва). Визначено основні переваги та недоліки дворових просторів при формуванні комфортних умов проживання населення та запропоновано заходи з поліпшення середовища, а саме: організація освітлення, зонування території та пристрій покриттів.*

**Ключові слова:** прибудинкова територія, комфортне середовище, благоустрій, тип забудови.

**Вступ.** Міське середовище і житлові території, як його складові, зазнає значних перетворень в процесі розвитку міських просторів. Прибудинковий простір житлового будинку є зв'язуючою ланкою між особистим простором квартири і територією загальноміського користування і є основою комфортного середовища проживання. Кожний двір у місті є відображенням способу життя, традицій ведення господарства та дозвілля того часу, в яке був побудований квартал, мікрорайон. Прибудинкова територія є частиною повсякденного життя кожної людини і найбільш відвідуваною для дітей, людей похилого віку і маломобільних груп населення. В одному дворі затишно, безпечно і комфортно перебувати, а інші оминаємо якомога далі. Не є виключенням і місто Северодонецьк: серед великої кількості дворів з новими дитячими, спортивними та тихого відпочинку майданчиками та великою кількістю зелених насаджень можна натрапити на такі, в яких майже всю територію займають несанкціоновані парковки індивідуальних автомобілів поруч зі старими дитячими майданчиками. Тому головною вимогою планування дворових територій, як нової, так і вже існуючої житлової забудови є найбільш комфортна організація проживання та відпочинку населення. Вона здійснюється виконанням ряду архітектурно-планувальних, санітарно-гігієнічних і інженерних рішень: загальне композиційне рішення, розташування проїздів і тротуарів, озеленення території,

пристрій спортивних, господарських і дитячих майданчиків, а також розташування парковок автомобілів з урахуванням безпеки руху транспорту і пішоходів.

**Метою роботи** є аналіз факторів, що чинять вплив на рівень комфортності прибудинкових територій в умовах різних типів міської житлової забудови міста Северодонецька та формування заходів з реалізації середовища, комфортного для потреб громадян.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Місто Северодонецьк засновано у 1934 році. Спочатку це було селище Лисхімстрой, а з 19450 року – це місто Северодонецьк. З 2014 року є містом обласного значення в Луганській області, що виконує функції її адміністративного центру. Населення міста складає 113616 осіб на січень 2019 року [1].

Пріоритетними напрямками розвитку міста відповідно до [2] є інфраструктура міста, зокрема і покращення комфорту прибудинкових просторів шляхом реконструкції існуючих на них майданчиків (дитячих, спортивних та ін.) із залученням місцевого бюджету і громадських організацій.

Поняття комфортності проживання або життєпридатності території, житлових кварталів і описується трьома ознаками оточення: життєзабезпечення, безпека та співзвуччя [3].

1. Життєзабезпечення – наявність необхідних функціональних зон.

2. Безпека – функціонально-типологічна різноманітність і приватність.

3. Співзвучності – співмасштабність елементів середовища, ідентичність та поверховість.

У літературі [4] є різні методики поділу дворових територій на види, класи або типи. Одною з перших класифікацій дворових територій в 1961 р зробив Ланцберг Ю.С., розділяючи їх по конфігурації на прості і складні. Також він розділив двори за їх розміром на три категорії: малі – площею до 1500 м<sup>2</sup>; середні – 1500-5000м<sup>2</sup>; великі – площею понад

5000 м<sup>2</sup> [4]. Надалі поділ дворових територій пропонувалися у вигляді типології житлових просторів, функціонального зонування з метою їх містобудівного або екологічного благоустрою. У середині кожної групи кварталів за площею виділяються підгрупи за щільністю постійного населення, що проживає в будинках, розташованих в межах кварталу: висока щільність – більш 500 осіб/га, середня щільність – 260-500 осіб/га, низька щільність – менше 260 осіб/га.

Квартали з дворовими територіями були додатково розділені за переважним типом забудови:

- змішана різноповерхова;
- житлова середини 1920-х – першої половини 1930-х рр.;
- житлова 1935-1958 рр.;
- мікрорайони першого етапу індустріального домобудівництва (кінець 1950-х – перша половина 1960-х рр.);
- мікрорайони другого етапу індустріального домобудівництва (кінець 1960-х – 1970-ті рр.);
- пізнорадянські та пострадянські мікрорайони;
- сучасна забудова.

Шляхом містобудівного аналізу типів міської житлової забудови м. Северодонецька було визначено, що у ньому відсутня житлова забудова середини 1920-х – першої половини 1930-х рр., оскільки його будівництво було розпочато у 1934 році як робочого селища.

За типами дворового простору забудова класифікується: дрібна квартальна, рядкова, мікрорайонна, квартальна, точкова, малоповерхова (приватний сектор).

У роботі [3] зроблено спробу розподілу дворів міста Северодонецька за типами і критеріями для цього є структура дворового простору, функціональне зонування, навколишня забудова, озеленення.

З огляду на функціональну наповненість території, можливо виділити дві групи дворових просторів:

1. Монофункціональні дворові простори – в них територія виконує строго обмежену функцію (наприклад, присутній тільки дитячий ігровий майданчик або тільки місця для паркування), тобто територія виконує строго обмежену функцію і дворовий простір призначений тільки для визначеної частини жителів.

2. Поліфункціональні дворові простори – відповідають інтересам більшості жителів і включають в себе різні функціональні зони [5].

Існують також практико-теоретичні методи, зокрема метод Яна Гейла «12 якостей комфортного середовища» [6] та «Placemaking» Дж. Джейкобс і В. Вайта [7, 8].

Дані методи максимально докладно розкривають якості, характеристики, параметри соціальної активності громадського простору, які можна застосувати до дворової території.

Відомому датському архітектору та містобудівнику Яну Гейлу належить вислів: «Якщо на вулицях міста багато дітей і літніх людей, значить в місті гарна якість життя». Це визначення можливо застосовувати і для прибудинкових територій, які повинні бути комфортними для всіх мешканців прилеглих будинків.

Відповідно до методу «12 якостей комфортного середовища» Я. Гейла вибрані прибудинкові території були розглянуті з точки зору факторів, що забезпечують жителям безпеку, комфорт і задоволення та їх додаткових характеристик [6]:

– Захист і безпека: захист від транспорту і пригод; захист від злочинності і насильства; захист від неприємних відчуттів.

– Комфорт: можливість ходити; можливість стояти, проводити час; можливість сидіти; можливість бачити; можливість розмовляти і слухати; можливість грати і займатися спортом.

– Задоволення: масштаб; можливість насолоджуватися погодою; позитивні відчуття.

Самий загальний показник знаходження людей у дворовому просторі – це різноманітність і складність видів діяльності, включаючи цілеспрямоване переміщення пішки, зупинки, перепочинку, проведення часу і розмови. Людина знаходиться в дорозі, дивиться на інших людей і те, що відбувається навколо, зупиняється, щоб подивитися ближче або навіть взяти участь.

Сенс ходіння пішки полягає не тільки в переміщенні, а й у безпосередньому контакті з іншими людьми і оточуючою спільнотою, диханні свіжим повітрям, отриманні вражень та інформації. Ходіння пішки є особливою формою спілкування людей, які спільно користуються при домовими просторами. Джерелом більш значущих контактів є дитячі ігри або заняття спортом молодих людей, що використовують простір двору як місце зустрічі.

Метод «Placemaking» (англ. placemaking, від «place» – місце, «make» – робити, тобто створення місця). Історія існування цього методу починається в 1960-х рр., коли американські урбаніст, письменник Вільям Вайт і активістка, теоретик міського планування Джейн Джейкобс почали розвивати ідею облаштування міст таким чином, щоб вони були зручні не тільки для автомобілів і торговельних центрів, а й для людей. Placemaking об'єднує не тільки професіоналів, але і всі зацікавлені в процесі поліпшення публічних просторів боку, які працюють спільно, щоб максимізувати їх цінність. Прибудинкове середовище теж є публічним простором, яким користуються мешканці прилеглих будинків.

Метод визначення комфортності міського простору Дж. Джейкобс і В. Вайта має чотири основні характеристики: відкритість, зв'язок і доступність, комфорт, види використання та їх додаткові характеристики [7, 8]:

– Відкритість: різноманітний, доброзичливий, добросусідський, викликає гордість, дружелюбний, інтерактивний, кооперативний.



– Зв'язок і доступність: протяжний, близький, зв'язаний, зрозумілий, зручний для прогулянок, доступний.

– Комфорт: безпечний, чистий, «зелений», зручний для пішоходів, зручний для сидіння, одухотворений, чарівний, історичний.

– Види використання: веселий, активний, живий, особливий, реальний, корисний, оригінальний.

Таким чином, представляє інтерес аналіз прибудинкових територій з огляду на вище перераховані практико-теоретичні методи «12 якостей комфортного середовища» та «Placemaking».

#### Результати досліджень та їх обговорення.

З точки зору рівня комфортності прибудинкова територія розглядається як єдина система, яка формується під впливом комплексу природно-кліматичних, містобудівних, соціально-демографічних, культурно-економічних та інших факторів.

Розглянемо вплив на комфортність дворової території такого містобудівного фактора як тип просторів житлової забудови. Даний фактор був особливо виділений, тому що саме його структура та морфологія впливають на характеристики, а, відповідно, і впливають на рівень комфортності прибудинкової території незалежно від інших містоутворюючих факторів. При аналізі території міста були вибрані прибудинкові території на кожному з шести типів житлової забудови різних років будівництва (рис. 1, 2).

Для визначення рівня комфортності дворових просторів різних типів житлової забудови м. Северодонецька були обрані найбільш ефективні практико-теоретичні методи: «12 якостей комфортного середовища» Я. Гейла [6] та «Placemaking» Дж. Джейкобса і В. Вайта [7, 8].

Для визначення комфортності прибудинкових територій було опитано близько 30 респондентів з кожного досліджуваного двору. Всі респонденти були розподілені на групи: пенсіонери, дорослі з дітьми, дорослі без дітей, молодь. Для кожної з цих груп існують свої пріоритетні зони комфорту на території двору. Так, для пенсіонерів – тихий відпочинок; для дорослих з дітьми – прогулянки та ігри з дітьми; дорослі без дітей – спілкування, прогулянки, заняття спортом; для молоді – активний відпочинок та заняття спортом.

Метод «12 якостей комфортного середовища» максимально докладно розкриває якості, характеристики, параметри соціальної активності громадського простору, який можна також застосувати до дворової території.

При розрахунку відсотка комфортності кожної з шести прибудинкових територій даним методом виходили з того, що наявність всіх 12 якостей дорівнює 100%, а наявність виявлених якостей дорівнює X%. Результати обстеження досліджуваних прибудинкових територій за всіма 12 якостями наведено в табл.

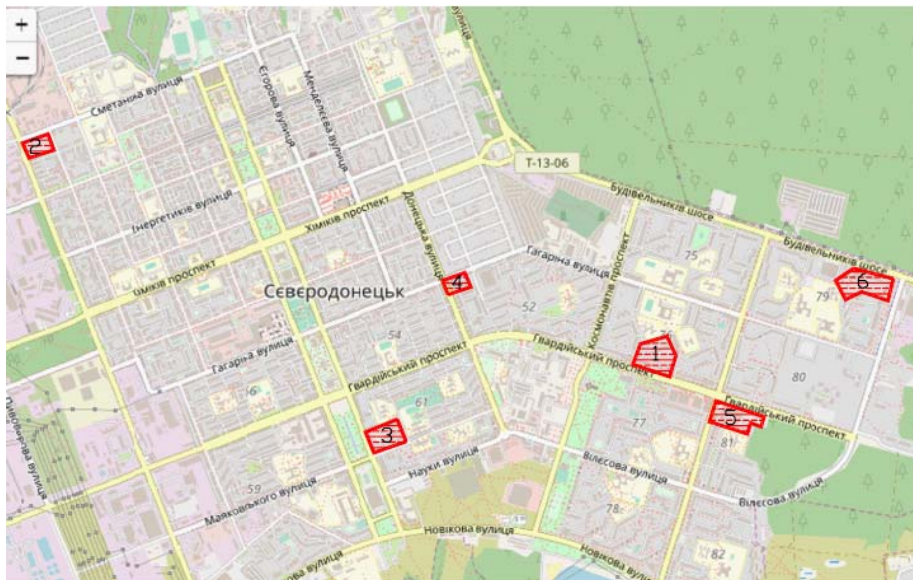


Рис. 1. Типи житлової забудови різних років будівництва м. Северодонецьк:

1 – змішана різноповерхова; 2 – житлова 1935-1958 рр.; 3 – мікрорайони першого етапу індустріального домобудівництва (кінець 1950-х – перша половина 1960-х рр.); 4 – мікрорайони другого етапу індустріального домобудівництва (кінець 1960-х – 1970-ті рр.); 5 – пізнорадянські та пострадянські мікрорайони; 6 – сучасна забудова



Рис. 2. Типи житлової забудови різних років будівництва м. Северодонецьк (фото): а – змішана різноповерхова; б – житлова 1935-1958 рр.; в – мікрорайони першого етапу індустріального домобудівництва (кінець 1950-х – перша половина 1960-х рр.); г – мікрорайони другого етапу індустріального домобудівництва (кінець 1960-х – 1970-ті рр.); д – пізньорадянські та пострадянські мікрорайони; е – сучасна забудова

Таблиця

### Результати обстеження прибудинкових територій

Якості комфортності	Тип прибудинкової території					
	1	2	3	4	5	6
Захист від транспорту і пригод	+	+/-	+/-	+/-	+	+
Захист від злочинності і насильства	-	-	-	-	+/-	+
Захист від неприємних відчуттів	+/-	-	-	+/-	+/-	+
Можливість ходити	+	+	+	+	+	+
Можливість стояти, проводити час	+	+	+	+	+	+
Можливість сидіти	+	+/-	+/-	+	+	+
Можливість бачити	+	+	+	+	+	+
Можливість розмовляти і слухати	+	+	+	+	+	+
Можливість грати і займатися спортом	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+
Масштаб	+	+/-	+/-	+/-	+	+
Можливість насолоджуватися погодою	+	+	+	+	+	+
Позитивні відчуття	+	-	-	+	+	+
%	79	58	67	75	87,5	100

Таким чином, зроблено висновок про те, що найбільш комфортними прибудинковими просторами міської житлової забудови є дворові території 5 та 6, тобто забудова пізньюрадянських, пострадянських мікрорайонів (87,5%) та сучасної забудови (100%) (рис. 3).

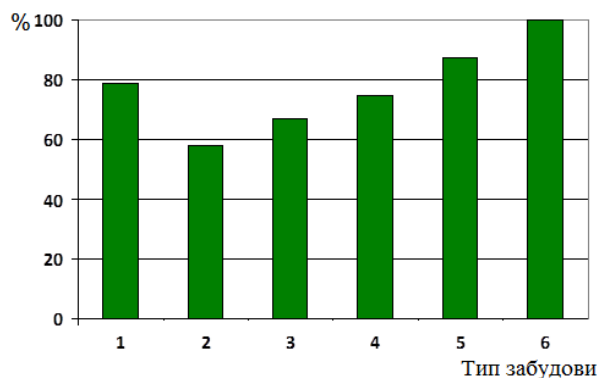


Рис. 3. Якість прибудинкових просторів за методом «12 якостей комфортного середовища»

Як і в методі «12 якостей комфортного середовища» комфортність прибудинкового середовища методом «Placemaking» кожного типу міської житлової забудови виходили з того, що наявність всіх 28 якостей дорівнює 100%, а наявність виявлених якостей дорівнює Х% (рис. 4).

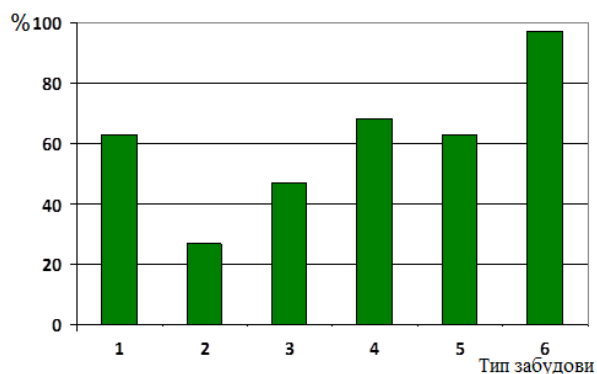


Рис. 4. Якість прибудинкових просторів за методом «Placemaking»

Відповідно до методу «Placemaking» найбільш комфортними прибудинковими просторами міської житлової забудови є дворові території 4 та 6, тобто забудова кінця 1960-х – 1970-х років (68,4%) та сучасної забудови (97,2%) (рис. 4). Найнижчим показником якості володіють території житлової забудови 1935-1958 рр. Більшу частину дворового простору займають господарська забудова та гаражі для індивідуального простору, відсутні дитячі майданчики та освітлення.

Прибудинкова територія у сучасній забудові має високий рівень комфортності завдяки тому, що згідно існуючим нормативам з планування і забудови територій забудовник повинен здавати об'єкти в експлуатацію з повним комплексом благоустрою:

пристроєм всіх майданчиків та виконаним озелененням, якщо дозволяє сезон, але з завезеним і спланованим рослинним ґрунтом – обов'язково, в будь-який час року.

Основними факторами, що вплинули на високий відсоток ефективності даних дворових просторів, стали зручна просторова організація прибудинкової території, рік забудови будівлі і розташування в центральній частині міста. Також, одним із факторів є наявність ігрових майданчиків і дитячих просторів на прибудинкових територіях. Зокрема, комфортно мешканці тих дворів, де є зони тихого відпочинку та обмежений в'їзд автотранспорту на територію. Такі дворові простори мають високий відсоток комфортності як за методом Я. Гейла так і за методом «Placemaking», мешканці задоволені їх станом і зовнішнім виглядом.

На більшості прибудинкових територій існують наступні проблеми: розміщення автомобілів по всій території; відсутність або поганий стан малих архітектурних форм (зокрема відсутність обладнання для маломобільних груп населення); зношене покриття двору або взагалі відсутнє; низький рівень безпеки та функціонального зонування.

З огляду на існуючі проблеми, пропонується ряд заходів для поліпшення комфорту дворового простору:

1. Сформувані функційні зони за допомогою зелених насаджень (живопліт або зелені стіни) та відмежувати територію двору від інших територій міста.

2. Локалізувати знаходження автотранспорту на території двору та створення парковок за його межами. Це дасть можливість збільшити дитячі майданчики та зони тихого відпочинку.

3. Дитячі майданчики необхідно облаштувати відповідно до вікових груп (до 3 років, від 3 до 6 років, від 6 до 12 років), окремі майданчики для активного відпочинку для дітей старшого шкільного віку на межі кількох дворів.

4. Провести заходи з відновлення, а в деяких місцях покласти нове покриття. Особливо це стосується дитячих майданчиків.

5. Організація освітлення, в першу чергу для безпеки і комфортного знаходження на прибудинковій території у темний час дня.

6. Організація пішохідного руху, пристосованого до потреб маломобільних груп населення.

Усі майданчики повинні бути розміщені відповідно до існуючих нормативних документів.

На даний момент тенденція створення нових і перетворення існуючих прибудинкових просторів силами місцевих громад і приватної ініціативи дозволяє продемонструвати приклад відкритого процесу, в якому городяни можуть відстояти свою думку і висловити ідеї щодо вирішення спільних проблем, взяти участь в його благоустрої. Наприклад, побудувати «розумний двір», комфортний для всіх вікових груп, освітлений і безпечний.



**Висновки:** За результатами проведених досліджень прибудинкових територій і дитячих ігрових майданчиків на них та інших зон, була виявлена закономірність між рівнем комфортності прибудинкових просторів і характеристиками певних типів міської житлової забудови. Високий рівень комфортності виявився у таких типах забудови, як пізнорадянські, пострадянські та сучасній мікрорайони, для яких характерна висока організація всіх зон і майданчиків прибудинкової території.

Для поліпшення прибудинкового середовища та, перш за все безпеки, необхідна організація освітлення, зонування території та пристрій покриттів.

### Л і т е р а т у р а

1. Чисельність наявного населення України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_chnn2019.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf).
2. Стратегія розвитку міста Северодонецька на період до 2020 року [Електронний ресурс]: – Режим доступу <https://sed-rada.gov.ua/diyuchi-programi-sievierodoneckoyi-miskoyi-radi/strategiya-rozvitku-mista-sievierodonecka-na-period-do-2020-roku>
3. Білошицька Н.І. Прибудинкові території: тенденції організації та їх проблеми / Н.І. Білошицька, Г.О. Татарченко, М.В. Білошицький, П.С. Уваров // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2019. – № 3 (251). – С. 39-47. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU\\_2019\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2019_3_8)
4. Ланцберг Ю.С. Благоустройство дворовых территорий. – М.: Изд-во коммун. хоз-ва, 1961. – 123 с.
5. Черноушек М. Психология жизненной среды /Пер. с чешек. И.И. Попа /М. Черноушек. М.: Мысль, 1989. – 174 с.
6. Гейл Я. Города для людей / Пер. с англ. Альпина Паблшер. – М.: Крост, 2012. –277 с.
7. Placemaking Guide. Project for Public Spaces, 2017. – 50 p.
8. Places in the Making: How placemaking builds places and communities. Massachusetts Institute of Technology, 2013. – Режим доступу: [https://dusp.mit.edu/sites/dusp.mit.edu/files/attachments/p](https://dusp.mit.edu/sites/dusp.mit.edu/files/attachments/project/mit-dusp-places-in-the-making.pdf)

### R e f e r e n c e s

1. Chiselnist nayavnogo naseleण्या Ukrayini [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_chnn2019.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf).
2. Strategiya rozvitku mista Syevyerodonecka na period do 2020 roku [Elektronnij resurs]: – Rezhim dostupu <https://sed-rada.gov.ua/diyuchi-programi-sievierodoneckoyi-miskoyi-radi/strategiya-rozvitku-mista-sievierodonecka-na-period-do-2020-roku>
3. Biloshicka N.I. Pribudinkovi teritoriyi: tendenciyi organizaciyi ta yih problemi / N.I. Biloshicka, G.O. Tatarchenko, M.V. Biloshickij, P.Ye. Uvarov // Visnik Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya. – 2019. – № 3 (251). – S. 39-47. – Rezhim dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU\\_2019\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VISUNU_2019_3_8)

4. Lancberg Yu.S. Blagoustrojstvo dvorovyh territorij. – М.: Izd-vo kommun. hoz-va, 1961. – 123 s.
5. Chernoushek M. Psihologiya zhiznennoj sredy /Per. s cheshek. I.I. Popa /M. Chernoushek. М.: Mysl, 1989. – 174 s.
6. Gejl Ya. Goroda dlya lyudej / Per. s angl. Alpina Pablsher. – М.: Krost, 2012. –277 s.
7. Placemaking Guide. Project for Public Spaces, 2017. – 50 p.
8. Places in the Making: How placemaking builds places and communities. Massachusetts Institute of Technology, 2013. – Режим доступа: [https://dusp.mit.edu/sites/dusp.mit.edu/files/attachments/p](https://dusp.mit.edu/sites/dusp.mit.edu/files/attachments/project/mit-dusp-places-in-the-making.pdf)

### Белошицкая Н.И., Белошицкий Н.В., Татарченко З.С., Медведь И.И. Анализ комфортности придомовых территорий разных типов застройки в г. Северодонецк

*В статье приведены результаты анализа уровня комфортности придомовых территорий различных типов городской жилой застройки (по годам строительства). Определены основные преимущества и недостатки дворовых пространств при формировании комфортных условий проживания населения и предложены меры по улучшению среды, а именно: организация освещения, зонирование территории и устройство покрытий.*

**Ключевые слова:** придомовая территория, комфортная среда, благоустройство, тип застройки.

### Biloshytska N., Biloshytskiy M., Tatarchenko Z., Medvid I. Analysis of comfortability of house territories of different building types in Severodonetsk town

*Article contents the results of analysis about comfortability of house territories of different building types (according to date of building): mixed multistoried; residential 1935-1958; residential microdistricts of the first stage of industrial house building (late 1950s - first half of 1960s); residential microdistricts of the second stage of industrial house building (late 1960s - 1970s); late Soviet and post-Soviet residential microdistricts; modern buildings.*

*Practical-theoretical methods were used to analyze the comfort level of the environment: the method of "12 qualities of a comfortable environment" by Jan Gayle and "Placemaking" by Jane Jacobs and William White.*

*In accordance with Jan Gayle's method of "12 qualities of a comfortable environment" selected outlying areas have been considered in terms of factors that provide residents with safety, comfort and satisfaction.*

*The method of determining the comfort of urban space by Jane Jacobs and William White has four main characteristics: openness, communication and accessibility, comfort, uses.*

*These methods reveal in detail the qualities, characteristics, parameters of social activity of public space that can be applied to the yard space.*

*The main advantages and disadvantages of yard space in the formation of comfortable living conditions has been identified. The building area in the modern construction has a high level of comfort due to the fact that in accordance with the existing standards for planning and development of areas, the developer must put the objects into operation with a complete set of amenities: setting of all sites, providing landscaping, if season permits, but in any case with required brought in and planned plant soil.*

*The main factors that influenced the high percentage of efficiency of yard space were the convenient spatial organiza-*

---

*tion of the adjoining territory, the year of building construction and location in the central part of the city. Also, one of the factors is the presence of playgrounds at the adjoining territories. In particular, residents of those yards where there are quiet areas and restricted entry of vehicles into the territory feel comfortable in the adjoining area. Such courtyards have a high percentage of comfort, residents are satisfied with their condition and appearance.*

*Improvement of the home environment and, above all, safety, requires lighting, zoning and path coverage.*

**Key words:** *house territories, comfortable environment, improvement, type of building.*

**Білошицька Н.І.** – к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, E-mail: [beloshitska@ukr.net](mailto:beloshitska@ukr.net)

**Білошицький М.В.** – к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, E-mail: [beloshitskiyukr.net](mailto:beloshitskiyukr.net)

**Медвідь І.І.** – к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, E-mail: [iw.medwed@yandex.ua](mailto:iw.medwed@yandex.ua)

**Татарченко З.С.** – асистент будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, E-mail: [tatarchenkogalina@gmail.com](mailto:tatarchenkogalina@gmail.com).

Стаття подана 05.11.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-30-34>

УДК: 546.05;661.8

## ОДЕРЖАННЯ ЦИНК ОКСИДУ: КАРБАМІДНЕ ОСАДЖЕННЯ

Денисов О. С., Корчуганова О. М.

## THE ZINC OXIDE PRODUCTION: UREA PRECIPITATION

Denysov O.S., Korchuganova O.M.

*У статті представлено результати досліджень осадження цинк гідроксикарбонату карбамідом. Цинк гідроксикарбонат використовується для одержання високодисперсного цинк оксиду, який в свою чергу є напівпровідниковим матеріалом і може використовуватися в різних галузях електроніки. З метою визначення співвідношення реагентів було проведено потенціометричне титрування розчинів цинк нітрату та цинк ацетату. За встановленими співвідношеннями було проведено осадження цинк гідроксикарбонату з розчинів цинк нітрату та цинк ацетату.*

**Ключові слова:** карбамід, цинк гідроксикарбонат, потенціометрія, осадження.

**Вступ.** Цинк оксид має напівпровідникові властивості, завдяки яким, він використовується у різних галузях електроніки, а саме: виробництві сонячних панелей, світлодіодів, транзисторів, дисплеїв та ін [1]. Основними характеристиками для напівпровідників є ширина забороненої зони (eВ), опір (Ом), сила току (А), напруга (В), а також коефіцієнт корисної дії (ККД, %). Ширина забороненої зони цинк оксиду складає 3,2-3,4 eВ (середня ширина забороненої зони).

Для підсилення напівпровідникових властивостей цинк оксиду, його наносять на підложку. Підложка це матеріал, на який необхідну речовину наносять у вигляді плівки, підложка це також напівпровідник, необхідний для створення *p-n*-переходу. Таким чином, при використанні цинк оксиду підложка є утворювачем дірок, а матеріал нанесення донором електронів, що необхідно для створення руху електронів. Це використовується у виробництві транзисторів, мікросхем, тощо. У якості підложки часто використовують кремній та скло [2].

Слід зауважити, що використовують не тільки чистий цинк оксид, але й також його наносять в суміші з іншими оксидами, наприклад з оксидом алюмінію. Так, на кремній наноситься цинк з магній оксидом, а на поверхню плівки ще наноситься плівка «алюміній – цинк оксид» [3].

Існують різні види нанесення: магнетронне нанесення, золь-гель метод, розпилювальний піроліз. При використанні золь-гель методу спочатку одержують цинк гідроксикарбонат, а потім, проводячи термообробку, отримують високодисперсний цинк оксид.

Піролізне оприскування є недорогим і простим методом виробництва плівок. Використовується для масового виробництва виробів. Якість розпилення залежить від властивостей підложки, концентрації попередника та ін. Щодо до недоліків - це нерівномірність нанесення плівки, енергетичні витрати на підігрів підложки, на яку далі буде наноситися плівка [1].

При магнетронному нанесенні підложка розміщується у камері з «мішенями» (джерело металу, що є основним компонентом плівки) в атмосфері інертного газу. При потребі, для створення оксидів металів додається кисень. На мішень подається живлення, утворюється газовий розряд, що призводить до утворення плазми, яка допомагає перенести з «мішені» сировину на підложку [4]. Недоліками магнетронного наплення можна назвати високу витрату електроенергії (більше 10 кВт/год), робоча зона повинна знаходитися під вакуумом, використання інертного газу та кисню, а також залишкова напруга, що сильно впливає на товщину отриманих плівок [5].

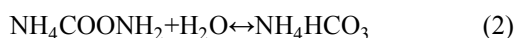
Золь-гель це метод одержання високодисперсних осадів – гідроксидів та солей, при якому утворюються золі, а потім відбувається утворення гелю. Зазвичай, в процесі утворення гелю використовують воду та органічні сполуки у якості розчинників. Слід зауважити що золь-гель метод надає можливість наносити продукт на підложку, використовуючи летючі властивості розчинника або його низьку температуру кипіння [6]. До недоліків можна віднести токсичність деяких компонентів, які використовуються (ацетон, диметиламін, та інші), та тривалість процесу нанесення на підложку (іноді до 24 годин). В деяких випадках необхідне спеціальне обладнання

(центрифуга, форсунка за для нанесення золю-гелю на підложку, тощо).

Для отримання цинк оксиду високої дисперсності пропонується використовувати метод «мокрої» хімії, а саме гомогенне осадження карбамідом з водного розчину солі (золь-гель технологія), який дозволяє отримувати потрібний продукт без використання токсичних розчинників.

Використання карбаміду у якості осаджувача дозволяє контролювати мікроструктури на стадії росту та утворення сполук. Для одержання цинк оксиду високої чистоти переважно використовують цинк нітрат і цинк ацетат, залишки цих солей легко видаляються при термообробці. Використання цинк нітрату у якості прекурсору дає можливість отримати стержні цинк гідроксикарбонату розміром 10 мкм, а цинк ацетат при використанні у якості прекурсору дає змогу контролювати отримання цинкгідроксикарбонату розміром 10 мкм і менше [7].

Під час осадження карбамід гідролізується, що призводить до утворення аміаку та поступового підвищення рН-розчину. Аміак вступає в реакції з солями, та спричиняє випадіння цинк гідроксиду. Іншим продуктом гідролізу карбаміду є карбон (IV) оксид, що спричиняє утворення цинк карбонату. Процеси гідролізу описуються реакціями (1-3).



Випадіння осаду цинк гідроксиду починається при рН 6.5 і закінчується при 8.5. Також, слід зауважити, що цинк оксид є амфотерним, тому починає розчинятися при рН 10.5. Запропонований метод є привабливим, бо використовується досить нескладне обладнання, невисока температура 100-150 °С.

Метою роботи є з'ясування співвідношення реагентів в процесі осадження сполук цинку.

**Методи.** Дослідження проводили шляхом прямого та зворотного потенціометричного титрування солей металів розчином, що містить продукти гідролізу карбаміду. В експериментах використовували наступні солі металів реактивної кваліфікації:  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (виробництва Shanghai Ruizheng Chemical Technology Co, Ltd.). При проведенні експериментів використовували карбамід ПАТ «Севєродонецьке об'єднання «Азот».

Після приготування солей з кристалогідратів, їх концентрацію було уточнено комплексонометричними методами. Для потенціометричного титрування використовували солі цинку з концентрацією розчину цинк нітрат – 2,16 N, цинк ацетат – 1,77 N.

Розчин, що містить продукти гідролізу карбаміду, готували кип'ятінням в продовж одного часу розчину 1M карбаміду. Після гідролізу розчин містить 0,66 г/л вільного аміаку та 5,28 г/л карбон (IV) оксиду, які є осаджувачами гідроксидів та карбонатів металів.

Потенціометричне титрування проводилось за стандартною методикою. Для вимірювання рН використовували рН-метр рНТ-028, оснащений вимірювальним скляним електродом та порівняльним електродом. Точність вимірювання  $\text{pH} \pm 0,01$ , допустимий діапазон вимірювання  $\text{pH} = 0-14$ .

Криві прямого та зворотного потенціометричного титрування було побудовано у координатах рН – співвідношення еквівалентів осаджувача/ катіон металу ( $N_{oc}/N_{кам}$ ). Для визначення точок еквівалентності використовували диференційний метод [8].

**Експериментальна частина.** Для з'ясування можливості одержання осадів гідроксиду та карбонату цинку за допомогою продуктів гідролізу карбаміду було проведено розрахунки рівноваги «осад-розчин». Розрахунки здійснювалися за формулами:

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} / ([\text{H}^+]^2 + (K_1 * K_2) + K_1 * [\text{H}^+]) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{K_a}{(K_a + [\text{H}^+])} \quad (5)$$

$$C = \sqrt{K_{sp}/\alpha} \quad (6)$$

де,  $K_{1,2}$  – константа дисоціації карбонатної кислоти,  $K_{sp}$  – добуток розчинності,  $C$  – рівноважна концентрація солі, моль/л,  $K_a$  – константа дисоціації води,  $[\text{H}^+]$  – концентрація іонів водню, моль/л. Результати розрахунків рівноваги представлено в таблиці.

Таблиця  
Результати розрахунку рівноваги процесу

Компонент осаду	$K_{sp}$	$K_a$	$[\text{H}^+]$ , моль/л	$\alpha$	$C$ , моль/л
$\text{ZnCO}_3$	$1,45 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$	0,00001	$2,07 \cdot 10^{-7}$	0,0084
			0,000001	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,001
			0,0000001	0,0004	0,0002
			0,00000001	0,005	$5,6 \cdot 10^{-5}$
			0,000000001	0,05	$1,8 \cdot 10^{-5}$
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$1,2 \cdot 10^{-17}$	$1 \cdot 10^{-14}$	0,00001	$1 \cdot 10^{-9}$	0,00011
			0,000001	$1 \cdot 10^{-8}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$
			0,0000001	$1 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
			0,00000001	$9,99 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
			0,000000001	$9,99 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$

Результати розрахунку свідчать, про те, що цинк гідроксид є менш розчинним, ніж цинк карбонат, і потребує для осадження меншого значення рН розчину (більша концентрація  $[\text{H}^+]$ ). Зважаючи на менше значення добутку розчинності цинк гідроксиду  $K_{sp} = 1,2 \cdot 10^{-17}$ , що значно менше ніж  $K_{sp} = 1,4 \cdot 10^{-11}$  цинк карбонату, що свідчить про те, що в разі утворення основного карбонату цинку спочатку відбувається осадження цинк гідроксиду, а потім цинк карбонату.

Результати потенціометричних досліджень представлені на рисунках 1 та 2. Криві прямого та зворотного титрування створюють невеликий «гістерезис», що свідчить про утворення основних солей різного складу в разі різного надлишку осаджувача.

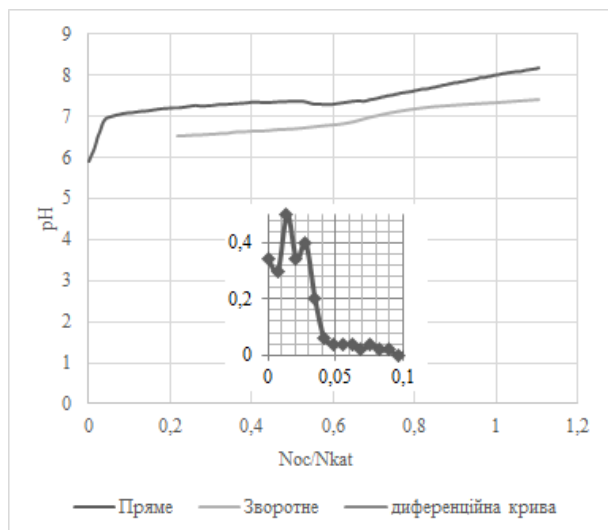


Рис. 1. Пряме та зворотне титрування для цинк ацетату

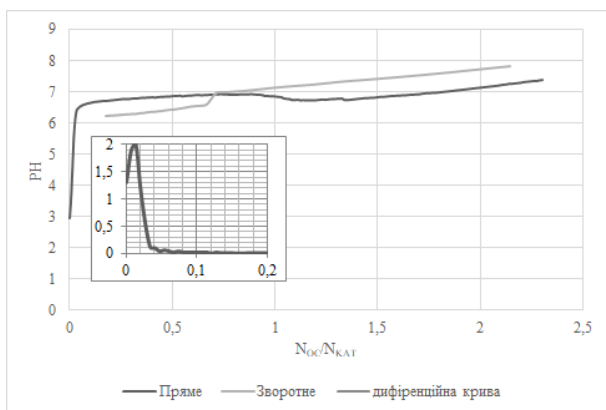


Рис. 2. Пряме та зворотне титрування для цинк нітрату

Встановлене необхідне для осадження співвідношення реагентів. Так, для осадження цинк гідроксикарбонату з розчину цинк нітрату необхідне співвідношення складає 1.5, з цинк ацетату це становить 0.83

Далі, за встановленим співвідношенням було проведено експерименти з одержання осадів з концентрованих розчинів в умовах поступового гідролізу карбаміду.

Дослідження осадження цинк гідроксикарбонату з розчину цинк нітрату та цинк ацетату карбамідом проводилась на установці зображеній на рисунку 3. Осадження проводили з розчину цинк нітрат з концентрацією 2,77 N, для цинк ацетату 1,66 N.

В п'ятигорлу колбу 3, наливали розчин цинк нітрату (цинк ацетату), після чого додавали розраховану кількість карбаміду. Колбу розміщували у піщаній бані 2 з електрообігрівачем 1, після чого у колбу занурювали цифровий датчик температури 4 типу Dallas Temperature 18B20 у водозахисному корпусі. Вимірювання температури здійснювалося з похибкою в  $\pm 0,5$  °C, діапазон температур від -55 до +125 °C. В центральне горло розміщували перехід-

ник 5, а всі інші горла колби закривали гумовими пробками 6. До перехідника 5 під'єднали холодильник 6, з виходу холодильника алонж 8, який одним кінцем був занурений у приймач конденсату 9. Цифровий датчик температури Dallas Temperature 18B20 було під'єднано до плати ARDUINO UNO на базі мікроконтролера ATmega328 - PV 10, у якості дисплея для виведення інформації стосовно температури був використаний дисплей LCD 1602 з шиною I2C. Контроль температури здійснювався періодично відповідно до відбору проб.

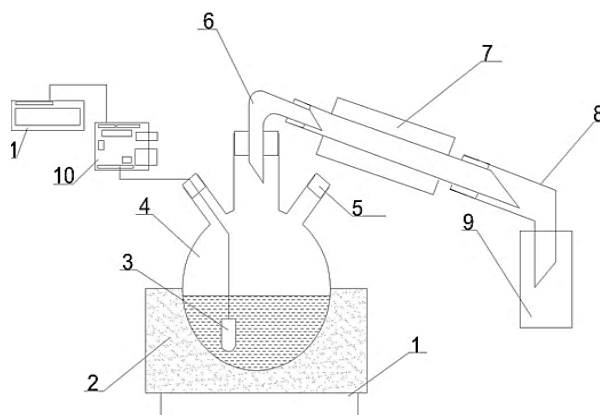
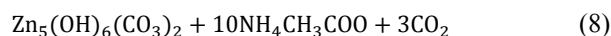
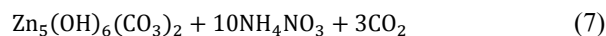
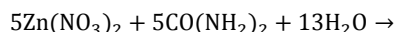


Рис. 3 Експериментальна установка:

1 – електропід; 2 – піщана баня; 3 – цифровий датчик температури DS18B20; 4 – п'яти горла колба; 5 – пробка гумова; 6 – перехідник; 7 – холодильник; 8 – алонж; 9 – збірник конденсату; 10 – Плата ARDUINO UNO; 11 – LCD дисплей 1602

Сумарна реакція осадження цинк гідроксиду з даної реакційної суміші має наступний вигляд:



Аналіз розчину проводили стандартними методами. Склад розчину цинку перевіряли комплексонометричним титруванням. Ступінь осадження розраховували, як відношення кількості цинку, який знаходиться у вигляді нерозчинених сполук до його загальної кількості, взятої для осадження.

$$\alpha = \frac{M_0 - M_a}{M_0} \quad (9)$$

де  $\alpha$  - ступінь осадження;

$M_0$  и  $M_a$  – загальна маса цинку та його маса у вигляді розчинених сполук, г.

У результаті дослідження було виявлено наступне – при температурі 92°C почався гідроліз карбаміду та виділення вуглекислого газу, що створювало видимість кипіння розчину. При температурі



101°C розчин почав кипіти, початок кипіння визначали за появою конденсату у холодильнику.

По мірі відгонки конденсату температура кипіння зростала, при цьому безперервно утворювався вуглекислий газ. При температурі 101°C починалось випадіння осаду. Процес осадження цинку з розчину представлено на рис. 4.

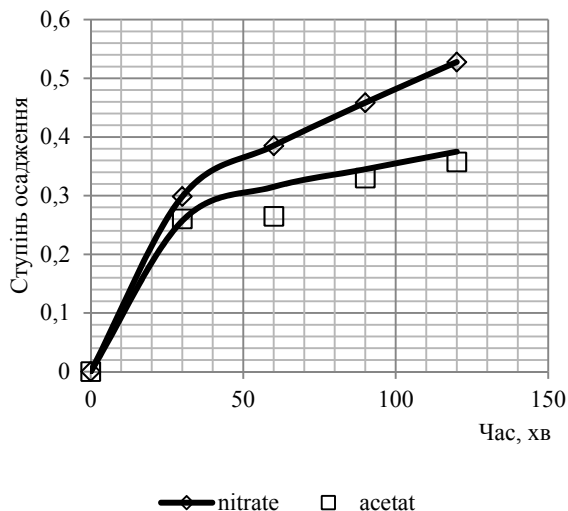


Рис. 4. Графік змінення ступеню осадження в часі

Осадження припиняли по досягненні температури для цинк нітрату 103,25 °C і 102,59 °C для цинк ацетату. Початок утворення осаду було відзначено через 30 хвилин від початку експерименту.

**Висновки.** Проведено дослідження карбамідного осадження сполук цинку з розчинів цинк нітрату та цинк ацетату. Було проведено аналіз взаємодії продуктів гідролізу карбаміду з розчинами солей. Методом потенціометричного титрування встановлене значення співвідношення осаджувач/катион цинку: 1,5 (цинк нітрат) та 0,83 (цинк ацетат). Значення цього показника використовували для розрахунку кількості карбаміду для процесу осадження з одночасним гідролізом карбаміду. За результатами проведених експериментів встановлено: за дві години було досягнуто ступінь осадження: 52,7% для цинк нітрату і 35,7% для цинк ацетату.

#### Л і т е р а т у р а

1. Bedia A. Morphological and Optical properties Of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis on glass substrates at various temperatures for integration in solar cell / A. Bedia, F. Z. Bedia, M. Aillria. // Energy Procedia. – 2015. – №74. – С. 529-538.
2. Smirnov M. Structural and optical characteristics of spin-coated ZnO thin films / M. Smirnov, C. Baban, G. I. Rusu. // Applied Surface Science. – 2010. – №256. – С. 2405–2408.
3. Pietruszka R. Improved efficiency of n-ZnO/p-Si based photovoltaic cells by band offset engineering / R. Pietruszka, R. Schifano. // Solar Energy Materials & solar Cells. – 2016. – №147. – С. 164–170.

4. Rashid A. Effects of Residual Stress Distribution on Interfacial Adhesion of Magnetron Sputtered AlN and AlN/AlNanostructured Coatings on a (100) Silicon Substrate / A. Rashid, R. Marco. // Nanomaterials. – 2018. – №8. – С. 896-914.
5. Charles B. Vacuum Deposition onto Webs, Films, Foils / Bishop Charles. – Oxford, 2016. – 602 с. – William Andrew. – 3rd Edition.
6. Sol gel process [Електронний ресурс] // spin coating – Режим доступу до ресурсу: <https://www.spincoating.com/en/applications/sol-gel-process-spin-coater/208/>.
7. Николаева Н. С. Синтез высокодисперсных форм оксида цинка: химическое осаждение и термоліз / Н. С. Николаева, В. Иванов, А. А. Шубин. // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2. – 2010. – №3. – С. 153–173
8. Потенциометрическое осадительное титрование растворов металлов / Е. Н. Корчуганова, К. Р. Абузарова, Э. В. Танцюра, Э. В. Овсиенко. // Труды БГТУ. – 2015. – №3. – С. 48–55.

#### References

1. Bedia A. Morphological and Optical properties Of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis on glass substrates at various temperatures for integration in solar cell / A. Bedia, F. Z. Bedia, M. Aillria. // Energy Procedia. – 2015. – №74. – С. 529-538.
2. Smirnov M. Structural and optical characteristics of spin-coated ZnO thin films / M. Smirnov, C. Baban, G. I. Rusu. // Applied Surface Science. – 2010. – №256. – С. 2405–2408.
3. Pietruszka R. Improved efficiency of n-ZnO/p-Si based photovoltaic cells by band offset engineering / R. Pietruszka, R. Schifano. // Solar Energy Materials & solar Cells. – 2016. – №147. – С. 164–170.
4. Rashid A. Effects of Residual Stress Distribution on Interfacial Adhesion of Magnetron Sputtered AlN and AlN/AlNanostructured Coatings on a (100) Silicon Substrate / A. Rashid, R. Marco. // Nanomaterials. – 2018. – №8. – С. 896-914.
5. Charles B. Vacuum Deposition onto Webs, Films, Foils / Bishop Charles. – Oxford, 2016. – 602 с. – William Andrew. – 3rd Edition.
6. Sol gel process [Електронний ресурс] // spin coating – Режим доступу до ресурсу: <https://www.spincoating.com/en/applications/sol-gel-process-spin-coater/208/>.
7. Nykolaeva N. S. Syntez vysokodispersnykh form oksyda tsynka: khymycheskoe osazhdenye ta termolyz / N. S. Nykolaeva, V. Yvanov, A. A. Shubyn. // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 2. – 2010. – №3. – С. 153–173.
8. Potentsyometrycheskoe osadytelnoe tytrovanye rastvorov metallo/ E. N. Korchuhanova, K. R. Abuzarova, E. V. Tantsiura, O. L. Ovsyenko. // Trudy BHTU. – 2015. – №3. – С. 48–55.

#### Денисов О. С. Корчуганова Е. Н. Получение оксида цинка: карбамидное осаждение.

В статье представлены результаты исследований осаждения цинк гидроксикарбоната карбамидом из растворов цинк нитрата и цинк ацетата. Цинк гидроксикарбонат используется для получения высокодисперсного цинк оксида, который в свою очередь является полупроводниковым материалом и может использоваться в раз-

ных отраслях электроники. С целью определения соотношения реагентов было проведено потенциометрическое титрование растворов цинк нитрата и цинк ацетата раствором, содержащим продукты гидролиза карбамида. В результате были определены необходимые для максимально полного осаждения цинка соотношения между количеством цинка в растворе и количеством осадителя. В соответствии с полученными результатами были проведены эксперименты по получению цинк гидроксикарбоната из растворов цинк нитрата и цинк ацетата.

**Ключевые слова:** карбамид, цинк гидроксикарбонат, потенциометрия, осаждение.

**Denysov O., Korchuganova O. The zinc oxide production: urea precipitation**

The article presents the results of studies on the precipitation of zinc hydroxycarbonate by urea. Zinc hydroxycarbonate is used to produce highly dispersed zinc oxide, which in turn is a semiconductor material and can be used in various fields of electronics.

The equilibrium of the sediment-solution system was calculated. As a result, it was found that zinc hydroxide precipitation requires less pH than zinc carbonate.

The potentiometric titration of zinc nitrate and zinc acetate solutions was performed to determine the reagent ratio. Forward and reverse potentiometric titration of the solutions was performed. Zinc nitrate and zinc acetate solutions and a solution of urea hydrolysis products were used as reagents. The ratio of the precipitant equivalents to the metals cation was determined by the curves of the forward and reverse potentiometric titration. Equivalence points were determined by the differential method.

Zinc hydroxycarbonate from zinc nitrate and zinc acetate solutions was precipitated according to the established ratios. During the experiment, the temperature was monitored and the solution was periodically sampled and further analyzed for zinc cation content. The ARDUINO platform was used to measure temperature during a chemical experiment. The use of the ARDUINO platform will not only automate the measurement of temperature but also it could be able to temperature regulation. Zinc content in solution has been analyzed. The content of  $Zn^{2+}$  ions in the solution has been analyzed by the complex metric method, which is based on the formation of a colored complex with Eriochrome black indicator T.

According to the results of the experiments it was established that within two hours the degree of deposition was reached: 52.7% for zinc nitrate and 35.7% for zinc nitrate.

**Key words:** urea, zinc hydroxycarbonate, potentiometry, precipitation.

**Денисов Олег Сергійович** – аспірант кафедри хімії та охорони праці, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: denisov@snu.edu.ua

**Корчуганова Олена Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та охорони праці, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: korchuganova@snu.edu.ua

Стаття подана 15.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-35-39>

УДК 504.75.06

## ІНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКЦІЙНЕ РІШЕННЯ ПІДГОТОВКИ ПІДЖИВЛЮВАЛЬНОЇ ВОДИ ТЕЦ

Дісковська Т.А., Білошицька Н.І., Піддубний С.В.

## ENGINEERING - CONSTRUCTION PICTURES OF PREPARATION OF PIVIENTLY WATER THERMAL POWER PLANT

Diskovska T.A., Biloshytska N.I., Piddubnyi S.V.

*В роботі запропоновано і впроваджено вузол дозування хімічних реагентів різного призначення і приєднання його до існуючої схеми підготовки води. Забезпечення безперервного автоматичного дозування хімічних реагентів дозволять не проводити додатково термічну деаерацію, призводить до більш ефективного використання реагентів і як наслідок до зниження інтенсивності корозії, запобігання утворенню внутрішніх відкладень і знищення бактерій, що викликають виразкову підшлямову корозію трубопроводів і обладнання.*

**Ключові слова:** *спосіб дозування, підживлювальна вода, корозія, накип, хімічні реагенти.*

**1. Вступ.** Високі вимоги до охорони навколишнього середовища та необхідність підвищення ефективності роботи ТЕЦ і ТЕС змушують заново переглядати існуючі технологічні схеми основного і допоміжного обладнання з метою їх вдосконалення.

Надійність та економічність роботи обладнання ТЕЦ значною мірою залежить від водно-хімічного режиму. Для водопостачання енергооб'єктів використовуються в основному природні води, як поверхневі (з річок, озер, водоймищ), так і ґрунтові (з артезіанських свердловин). Усі домішки, що забруднюють воду, поділяються на три види залежно від розміру їхніх частинок. Грубодисперсні домішки мають розмір частинок більше  $10^{-4}$  мм. Це частинки піску, глини, рослинні залишки та інші. Потрапляння грубо-дисперсних домішок у котел призводить до вспінання води в барабані, на екранних трубах утворюються прикипілі відкладення, забиваються нижні колектори контурів циркуляції котла. Тому грубо-дисперсні домішки обов'язково вилучаються з води на ХВО методом фільтрації та відстою. Колоїднодисперсні домішки мають розмір частинок порядку  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  мм. Це домішки органічного походження – продукти розкладання органічних речовин, гумінові речовини; або мінерального походження – кремнієві кислоти, з'єднання заліза. У разі потрапляння їх у котел вода в барабані сильно пі-

ниться і можливий її закид у пароперегрівник, а також утворюється прикипілий накип на поверхнях нагріву. Колоїднодисперсні домішки вилучаються з води на ХВО методом коагуляції. Молекулярно-дисперсні домішки мають розмір частинок менш ніж  $10^{-6}$  мм. Це розчинні у воді гази ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ), а також катіони та аніони солей, кислот, лугів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $OH^-$  та ін.). Ці домішки вилучаються методом деаерації, осадження, катіонування та аніонування [1].

У процесі експлуатації систем тепlopостачання та гарячого водопостачання (ГВП), оборотних систем охолодження, дистиляційних опріснювальних установок і випарників, парових котлів низького тиску при нагріванні води може відбутися пересичення води солями, в першу чергу карбонатом кальцію, що призводить до утворення накипу на теплообмінних поверхнях. При високій корозійній агресивності води накопичення сполуки заліза у воді визначає утворення на теплообмінних поверхнях залізоокисних відкладень. Наявність накипу і відкладень призводить до погіршення теплообміну, зменшення ефективності роботи обладнання, у деяких випадках до пережогу труб котлів та економічних втрат [2, 3].

Існуючі способи запобігання відкладень часто малоефективні (застосування неорганічних поліфосфатів для систем оборотного охолодження) або багато витратні (пом'якшення води для систем тепlopостачання і парових котлів низького тиску). Крім цього, для ефективного використання підживлювальної води з реагентами виникає проблема з системами їх подачі і дозування.

**2. Мета роботи.** прийняття інженерно-конструктивного рішення для дозування одночасно декількох реагентів, яке дозволить найбільш ефективно знизити агресивний вплив води на металеві поверхні обладнання ТЕЦ та забезпечити безнакипний та антибактеріальний режим його експлуатації.

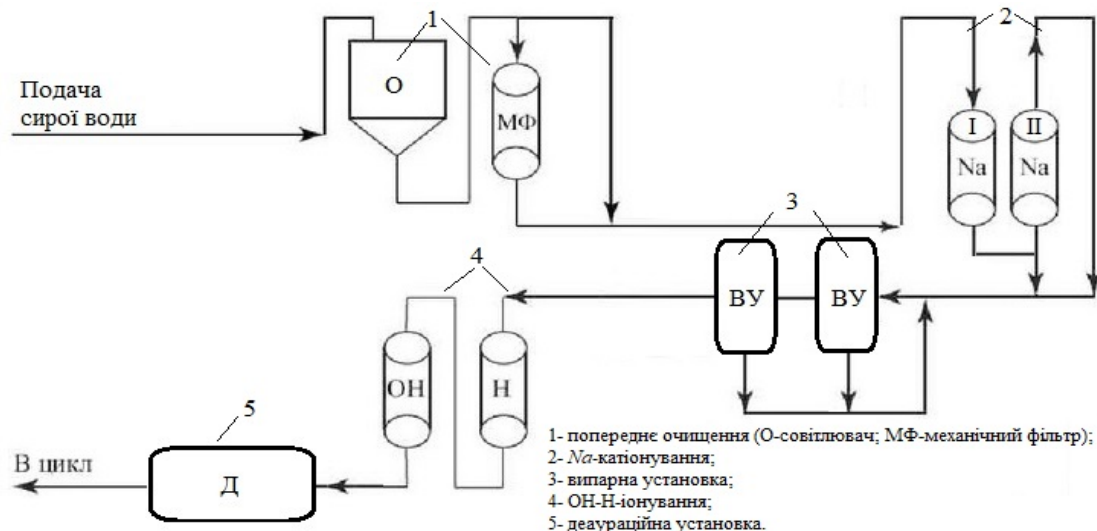


Рис. 1. Загальна схема підготовки води [4]

**3. Методи дослідження.** Відповідно до чинної в Україні нормативної документації водно-хімічний режим повинен забезпечувати роботу обладнання без пошкоджень його елементів і зниження економічності, викликаних корозією внутрішніх поверхонь, а також без утворення накипу і шламу. Для оцінювання якості природних вод і вод на різних стадіях їх очистки використовують такі основні показники: жорсткість, лужність, вміст заліза та хлоридів, рН. Методи контролю цих показників співпадають з нормативними посиланнями ДСТУ 7525:2014.

**Аналіз літературних даних.** На прикладі ТЕЦ ТОВ «Краматорськтеплоенерго» розглянемо схему, з традиційними технологіями і схемами очищення води (рис.1). В якості вихідної води використовується вода каналу «Сіверський Донець-Донбас», в якості резервного джерела – вода річки Казенний Торець. Вихідна вода в необхідній кількості подається на установку попереднього очищення, де методом вапнування (або содо-вапнування) з коагуляцією відбувається попередня обробка річкової води й поліпшення її якості – зниження жорсткості, солемісту, зважених речовин та інших показників відповідно до режимної карти з експлуатації обладнання установки.

Далі оброблена вода (декарбонізована та освітлена) подається на установку хімводоочищення, що працює за схемою двоступеневого Na-катионування. На установці в якості I ступеня пом'якшення використовуються типові прямооточні фільтри, іноді використовують більш новітні технології - протиточні фільтри. Для II ступеня використовуються типові прямооточні іонітні фільтри.

Пом'якшена вода після I ступеню використовується для підживлення теплової мережі і подається на фільтри II ступеню для приготування сильно пом'якшеної (хімочищеної) води для живлення котлів низького тиску і випарної установки. Знесолена на випарній установці вода (дистиллят) подається на

установку ОН-Н-іонування для глибокого її знесолення і, далі, на деаераційну установку котлів високого тиску. Випарна та знесолювальна установок служать для поповнення втрачаної пари та конденсату обладнання котлотурбінного цеху ТЕЦ. З деаераційної установки живильна вода насосами подається на котли для отримання пари високого тиску.

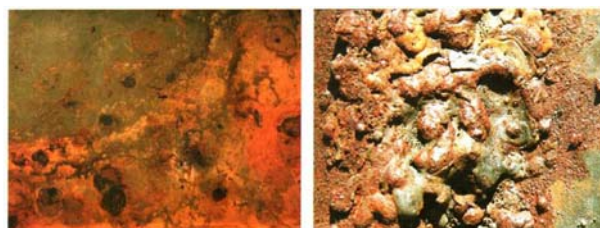


Рис. 2. Зовнішній вигляд кисневої корозії

Однією з умов забезпечення оптимального водно-хімічного режиму є застосування раціональної схеми корекційної обробки теплоносія та підживлювальної води для теплових мереж. Очищення води методом іонного обміну шляхом проведення натрій-катионування призводить до збільшення швидкості корозії металу приблизно на 20-30% (рис. 2). Тому в переважній більшості випадків до підживлювальної, живильної та котлової води доцільно дозувати хімічні препарати, які або гальмують процес корозії металів, або сприяють протіканню рівномірної корозії замість дуже небезпечної локальної або виразкової. Також за допомогою хімічних реагентів можна домогтися утворення на поверхні металів тонких захисних плівок, які будуть перешкоджати агресивному впливу води.

Обробка води антинакипінами дозволяє запобігти утворенню мінеральних відкладень на поверхнях передаючих тепло з високою накипформуючою здатністю води (рис. 3), забезпечуючи роботу обладнання без пошкоджень внаслідок відкладення накипу і шламу при повному або ча-

стковому відключенні установок, за допомогою яких знижується жорсткість і (або) лужність води.

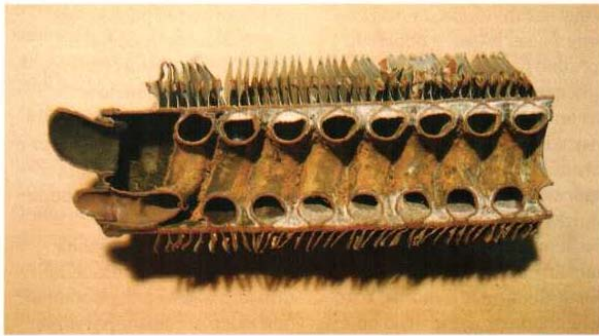


Рис. 3. Відкладення накипу в теплообміннику котла

Застосування інгібіторів корозії дозволяє запобігти накопиченню сполук заліза у воді й утворення залізо-окисних відкладень, а також зменшити пошкодженість обладнання й трубопроводів від внутрішньої корозії [5, 6].

В той же час існує проблема присутності бактерій, що викликають виразкову підшлямову корозію трубопроводів і обладнання і, отже антибактеріальні заходи також потрібні. Виходячи з необхідності складного процесу підготовки підживлювальної води виникає проблема введення і дозування хімічних реагентів щоб добитися максимального зниження агресивного впливу води на металеві поверхні обладнання ТЕЦ та забезпечення безнакипного та антибактеріального режиму експлуатації [7-9].

**4. Результати впроваджень та їх обговорення.** Дозування реагентів повинно проводитися до живильної та (або) котлової води парових кот-

лів, підживлювальної та (або) мережевої води систем теплопостачання, водогрійних котлів, систем гарячого водопостачання.

Застосуванню реагентів передують обов'язкове попереднє обстеження теплових енергоустановок спеціалізованою організацією та дослідження води, яка використовується.

Спеціалізована організація повинна здійснювати повний комплекс робіт по вибору і застосуванню реагентів, проводити дослідження використаної води, уточнювати експлуатаційні характеристики теплових енергоустановок, виробляти пуск і налагодження установок дозування реагентів. Вона обирає вид реагентів і встановлює їх дозу за результатами послідовних хімічних випробувань з різним дозуванням. Не допускається підбір доз реагентів по аналогам і графічним, а також вибір дози в залежності від кількісних показників складу води (наприклад, за показниками жорсткості та лужності).

Для надійності й економічності роботи обладнання ТЕЦ, а також забезпечення його оптимального водно-хімічного режиму НДПІ «Водоочисні технології» була розроблена та впроваджена схема корекційної обробки підживлювальної води для теплових мереж.

Створено новий вузол дозування хімічних реагентів, який розміщено в ізольованому приміщенні, розташованому на вільній площі бойлерних установок.

Хімічний реагент з пересувної ємності Е 2 бочковим насосом Н2 перекачується у видаткову ємність Е1. Насосами-дозаторами Н 1/3-Н1/6 з ємності Е1 засіб подається до відповідних вузлів вводу реагентів і, далі, у підживлювальну воду бойлерних установок.

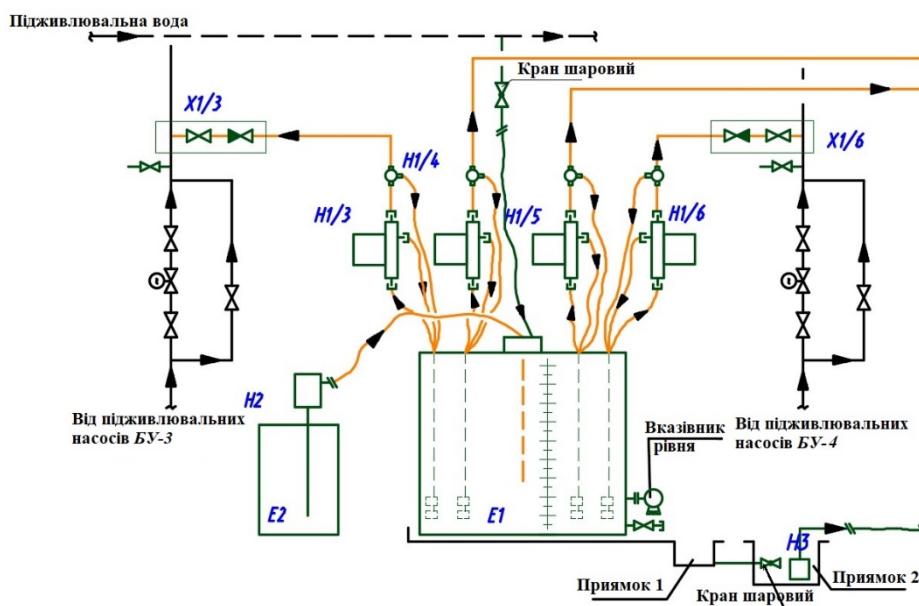


Рис. 4. Схема дозування хімічних реагентів

Для роботи насосів-дозаторів в автоматичному режимі від існуючих вузлів вимірювання витрат підживлювальної води подаються відповідні сигнали управління.

Наявність нітратів і нітритів у контурі теплової мережі при використанні як питної, так і технічної або річкової води, може викликати біологічну корозію. Для її запобігання рекомендується періодична (1-2 рази на рік) бактерицидна обробка мережної води. Хімічним реагентом для цього можна рекомендувати засіб бактерицидної обробки, розроблений НДПІ «Водоочисні технології», з різким своєрідним «медичним» запахом, який зберігається в сильно розбавлених водних розчинах. Крім цього, обробка теплової мережі засобом бактерицидної обробки є самоокупним заходом, оскільки дозволяє виявити місяця протікання теплоносія, знизити об'єм підживлення і сформулювати план ремонтно-відновлювальних робіт обладнання теплової мережі і ТЕЦ.

Періодична подача засобу бактерицидної обробки до мережевої води виконується з ємності насосами-дозаторами, тобто за проектною схемою. Для забезпечення функціональності та управління обладнанням установки передбачаються необхідні контрольно-вимірювальні прилади й автоматизація, а також пробовідбірні точки для здійснення аналітичного контролю при проведенні пусконаладжувальних робіт та при експлуатації встановленого обладнання.

Управління встановленим обладнанням здійснюється з існуючого автоматизованого робочого місця (АРМ) і за місцем. Для проектування установки передбачені сучасне обладнання та арматура. Усе технологічне обладнання підібрано з розрахунку роботи установки в нормальному режимі та в аварійних ситуаціях (наявність робочого і резервного обладнання).

Продуктивність установки забезпечує обробку 70÷250 м<sup>3</sup>/год підживлювальної води для теплових мереж в нормальному режимі роботи і 400 м<sup>3</sup>/год при заповненні системи та аварійних ситуаціях. Використання для двох різного призначення хімічних реагентів одного вузла дозування, приєднання його до існуючої схеми підготовки дозволяє не проводити термічну деаерацію, знизити поточні і капітальні витрати.

**5. Висновки.** Запропоновано і впроваджено вузол дозування хімічних реагентів різного призначення і приєднання його до існуючої схеми підготовки води. Запропоноване інженерно – конструкційне рішення призводить до поліпшення якості підживлювальної мережної води, а саме: відбувається зниження інтенсивності корозії, запобігання утворенню внутрішніх відкладень і знищення бактерій, що викликають виразкову підшлямову корозію трубопроводів і обладнання. Забезпечення безперервного автоматичного дозування коригувальних реагентів дозволяє не проводити термічну деаерацію. Зростання терміну міжремонтний експлуатації обладнання, а

також зниження поточних і капітальних витрат дозволяє знизити собівартість кінцевої продукції підприємства.

Автори статті висловлюють подяку робітникам НДПІ «Водоочисні технології» за надану допоміжну інформацію.

#### Л і т е р а т у р а

1. Бойко В.О. Водопідготовка в промислових котельнях / В.О. Бойко., Ю.Г. Поржезінський. – К.: ЮНІДО, 2015 – 49 с.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/TM\\_16.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/TM_16.pdf)
2. Татарченко Г.О. Комплексные соединения с антикоррозионными и антискалантными свойствами / Г.О. Татарченко, Н.А. Топорко // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – №4 (1). – С. 277-279.
3. Татарченко Г.О. Влияние температуры на коррозию углеродистой стали в оборотной воде / Г.О. Татарченко, Т.А. Краснокутская, Б.Н. Шукайло та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів, Спец. випуск № 10. – 2014. – Т. 2 – С. 128-132.
4. Справочник по водоподготовке котельных установок/ Лифшиц О.В. – М.: Энергия, 1976. – 288 с.
5. Керівний документ-рекомендації. Рекомендації з технології обробки води комплексонами в системах тепlopостачання / РД 204 УРСР 231-90. К.: УкрНДІнжпроект, 1999. – 26 с.
6. Чаусов Ф.Ф. Комплексонный водно-химический режим теплоэнергетических систем низких параметров / Ф.Ф. Чаусов, Г.А. Раевская. Москва; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2002. – 235 с.
7. Р 204 УРСР157-84. Рекомендації по проектуванню та експлуатації силікатної обробки води для захисту від корозії внутрішніх поверхонь трубопроводів гарячого водопостачання// Збірник керівних документів по захисту від корозії систем тепlopостачання та гарячого водопостачання. –К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. –С. 136-190.
8. Р 204 України 001-96. Рекомендації з протикорозійної обробки води систем підживлення теплових мереж за допомогою магнієвих фільтрів // Збірник керівних документів по захисту від корозії систем тепlopостачання та гарячого водопостачання. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. –С. 87-98.
9. Р 204 України 243-93. Рекомендації з протикорозійної електролітичної обробки води в системах гарячого водопостачання// Збірник керівних документів по захисту від корозії систем тепlopостачання та гарячого водопостачання. –К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. –С. 99-114.

#### R e f e r e n c e s

1. Bojko V.O. Vodopidgotovka v promislovih kotelnyah / V.O. Bojko., Yu.G. Porzhezinskij. – K.: YuNIDO, 2015 – 49 s.[Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/TM\\_16.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/TM_16.pdf)
2. Tatarchenko G.O. Kompleksnye soedineniya s antikorroziionnymi i antiskalantnymi svojstvami / G.O. Tatarchenko, N.A. Toporko // Voprosy himii i himicheskoy tehnologii. – 2011. – №4 (1). – S. 277-279.
3. Tatarchenko G.O. Vliyanie temperatury na korroziyu uglerodistoj stali v oborotnoj vode / G.O. Tatarchenko,



- T.A. Krasnokutskaya, B.N. Shukajlo ta in. // Fiziko-himichna mehanika materialiv, Spec. випуск № 10. – 2014. –Т. 2 – S. 128-132.
4. Spravochnik po vodopodgotovke kotelnyh ustanovok/ Lifshic O.V. – M.: Energiya, 1976. – 288 s.
  5. Kerivnij dokument-rekomendaciyi. Rekomendaciyi z tehnologiyi obrobki vodi kompleksonami v sistemah teplopostachannya / RD 204 URSR 231-90. K.: UkrNDInzhproekt, 1999. – 26 s.
  6. Chausov F.F. Kompleksonnyj vodno-himicheskij rezhim teploenergeticheskijh sistem nizkijh parametrov / F.F. Chausov, G.A. Raevskaya. Moskva; Izhevsk: Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika, 2002. – 235 s.
  7. R 204 URSR157-84. Rekomendaciyi po proektuvannu ta ekspluataciyi silikatnoyi obrobki vodi dlya zahistu vid koroziyi vnutrishnih poverhon truboprovodiv garyachogo vodopostachannya// Zbirnik kerivnih dokumentiv po zahistu vid koroziyi sistem teplopostachannya ta garyachogo vodopostachannya. –K.: Derzhavnij komitet budivnictva, arhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraini, 1999. –S. 136-190.
  8. R 204 Ukraini 001-96. Rekomendaciyi z protikoroziynoyi obrobki vodi sistem pidzhivlennya teplovih merezh za dopomogoyu magniyevih filtriv // Zbirnik kerivnih dokumentiv po zahistu vid koroziyi sistem teplopostachannya ta garyachogo vodopostachannya. –K.: Derzhavnij komitet budivnictva, arhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraini, 1999. –S. 87-98.
  9. R 204 Ukraini 243-93. Rekomendaciyi z protikoroziynoyi elektrolitichnoyi obrobki vodi v sistemah garyachogo vodopostachannya// Zbirnik kerivnih dokumentiv po zahistu vid koroziyi sistem teplopostachannya ta garyachogo vodopostachannya. –K.: Derzhavnij komitet budivnictva, arhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraini, 1999. –S. 99-114.

**Дисковская Т.А., Белошицкая Н.И., Поддубный С.В. Инженерно - конструкционное решение подготовки подпиточной воды ТЭЦ**

*В работе предложен и внедрен узел дозирования химических реагентов разного назначения и присоединение его к существующей схеме подготовки воды. Обеспечение непрерывного автоматического дозирования химреагентов позволят не проводить дополнительно термическую деаэрацию, приводит к более эффективному использованию реагентов и как следствие к снижению интенсивности коррозии, предотвращению образования внутренних отложений и уничтожению бактерий, вызывающих язвенную подиламовую коррозию трубопроводов и оборудования.*

**Ключевые слова:** способ дозирования, подпиточная вода, коррозия, накипь, химические реагенты.

**Diskovska T., Biloshytska N., Piddubnyi S., Engineering - construction pictures of preparation of piviently water Thermal power plant**

*The high requirements for environmental protection and the need to improve the efficiency of TPP make it necessary to re-review the existing technological schemes of the basic and auxiliary equipment in order to improve them.*

*The reliability and cost-effectiveness of operation of TPP equipment depends to a large extent on the water-chemical regime. During the operation of the heating and hot*

*water systems, water may be saturated with salt when heated, resulting in scale formation on the heat exchange surfaces. At high corrosive aggressiveness of water, the accumulation of iron compounds in water determines the formation of iron oxide deposits on the heat exchange surfaces. The presence of scale and deposits leads to a deterioration of heat exchange, a decrease in the efficiency of the equipment, in some cases, to the burning of boiler pipes and economic losses.*

*Water treatment with anti-scale substances prevents the formation of mineral deposits on the surfaces transferring heat with a high scale forming ability of water, ensuring the operation of the equipment without damage. The use of corrosion inhibitors prevents the accumulation of iron compounds in water and the formation of iron-oxide deposits. At the same time, there is a problem of the presence of bacteria that cause ulcerative sludge corrosion of pipelines and equipment, so antibacterial measures are also needed.*

*Dosing of reagents should be carried out to the feed and (or) boiler water of steam boilers, feed and (or) mains water of the heat supply systems, hot water boilers, hot water systems.*

*For the reliability and cost-effectiveness of operation of TPP equipment, as well as ensuring its optimal water-chemical regime, the SRDI "Water Purification Technologies" has developed and implemented a scheme of correction treatment of feed water for thermal networks.*

*A new chemical reagent dispensing unit has been created, which is located in an isolated room placed on the free space of the boiler plants. The chemical reagent from the displacement tank is pumped into the dispensing tank with a barrel pump. Dispenser pumps feed the solvent to the appropriate nodes of the input from the tank with reagents and, further, to the feed water of the boiler plants. The periodic supply of the bactericidal treatment agent to the network water is carried out according to the design scheme. Installation capacity ensures the processing of 70 ÷ 250 m<sup>3</sup>/h of feed water for thermal networks in normal operation and 400 m<sup>3</sup>/h for system filling and emergency situations.*

*The use of a single dosing unit for two different purposes of chemical reagents, joining it to the existing scheme of preparation allows not to conduct thermal deaeration and to reduce current and capital costs.*

**Keywords:** dosage method, make-up water, corrosion, scale, chemical reagents.

**Білошицька Наталя Іванівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: beloshitska@ukr.net

**Піддубний Сергій Васильович** – ст. викладач кафедри «Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. пр. Центральний - 59А, м. Северодонецьк, Україна, e-mail: [poddubniys25@gmail.com](mailto:poddubniys25@gmail.com)

**Дісковська Тетяна Анатоліївна** – асистент кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [disco2105@gmail.com](mailto:disco2105@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-40-46>

УДК 621.3.048:621.315.61

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕРМОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ ОБЛАДНАННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН НА БАЗІ МЕТОДУ КІЛЬКІСНОЇ ТЕРМОГРАФІЇ

Клочков Ю.П., Ганношина І.М.

### DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF THERMOGRAPHIC ANALYSIS OF THE EQUIPMENT OF SHIPS ON THE BASIS OF THE METHOD OF QUANTITATIVE THERMOGRAPHY.

Klochkov Y.P., Gannoshina I.M.

*Сучасний і перспективний розвиток морського флоту нерозривно пов'язане з безпекою мореплавання, яке забезпечується безвідмовним і надійним функціонуванням систем життєзабезпечення і суднового устаткування. У зв'язку з цим виникає необхідність в розвитку сучасних методів оперативної діагностики для контролю технічного стану обладнання.*

*Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що запропоновано систему технічної діагностики обладнання морського судна на базі методу кількісної термографії. Дана система дозволяє зменшити для компанії, власників суден кількість експлуатаційних витрат, капіталовкладень та збитків. Тепловізійна діагностика є ефективним методом оцінки технічного стану обладнання на судах морського флоту і берегових підприємствах. Застосування методів кількісної термографії обумовлено необхідністю виявлення дефектів електро- і теплоенергетичних пристроїв на ранній стадії безпосередньо в режимі експлуатації.*

*Представлена система тепловізійних випробувань, об'єктів або матеріалів об'єднує різні заснована на телевізійної час зйомки. Представлені основні етапи застосування системи технічного контролю суднових пристроїв і засобів на основі методів кількісної термографії. Метод тепловізійного обстеження електротехнічного обладнання в цілому являє собою сукупність заходів, необхідних для проведення випробувань і вироблення адекватної експертної оцінки. Розглянуто приклади застосування телевізійної техніки на морських судах, наведені результати телевізійних випробувань на прикладі аналізу стану суднових кабельних трас. Представлені матеріали імітаційного моделювання. Нові методи та засоби діагностики та прогнозування, призначені для підвищення експлуатаційної надійності суднових систем та механізмів.*

**Ключові слова:** *судове обладнання, система технічної діагностики, експлуатація судна, термографічна діагностика, тепловізор.*

**Постановка проблеми.** Експлуатаційна готовність судна, тобто можливість використовувати його за призначенням, залежить від рівня надійності суднового устаткування (енергетичної установки, суднових пристроїв, допоміжних механізмів). Сучасні суднові системи відносяться до структурно-складних систем, що характеризуються високим ступенем складності не тільки через кількість включаються елементів, але, головним чином, внаслідок складності функціональних і логічних зв'язків між елементами і частинами системи, можливістю відновлюваних і невідновлюваних відмов у одних і тих же елементів в залежності від характеру відмови, наслідком, що виражається в необхідності відключення ряду справних елементів при ремонті відмовили і т.п. При вирішенні питань надійності та безпеки в якості елементів системи виступають такі складні технічні пристрої, як турбо- і дизель генератори, різні перетворювачі, системи автоматичного регулювання напруги і частоти обертання, автоматичні синхронізатори і перемикачі харчування, різні апарати комутації, захисту, регулювання.

На забезпечення тривалого безвідмовного функціонування обладнання спрямовані заходи, передбачені системою обслуговування. Найбільш проста стратегія обслуговування «за фактом відмови» мало придатна для суднового устаткування, оскільки не забезпечує профілактику відмов. Сам процес оцінки стану технічного об'єкта передбачає вимірювання параметрів, як в процесі експлуатації, так і при виконанні експериментальних досліджень об'єктів і діагностичних приладів, грамотне проведення яких не може бути організовано без опори на основи теорії вимірювань, метрології, планування експериментів і обробки числових даних. Завданням тепловізійної діагностики на судах є інженерний аудит різноманітно-



го обладнання та виявлення дефектів елементів судового енергетичного та механічного устаткування з урахуванням рівня навантаження, умов і термінів експлуатації, районів плавання, перспектив ремонту і заміни елементів обладнання на основі оперативного неруйнівного контролю безпосередньо при робочих режимах експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** З класичних зарубіжних робіт, присвячених цим напрямкам, можна відзначити праці Р. Фішера, Р. Шеннона, Д. Гіммельблау, Е. Фьорстера, Б. Ренца, Е. Патрика, Дж. Тейлора, Дж. Ту, Р. Гонсалеса, Х. Харта, К. Фукунага, Г. Харман, Р. Хеммінга, Д. Хейса, Р. Дуди, П. Харта, І. Пфанцагля, Д. Льюнг, Г. Девіда, Дж. Клейна і ін. В інженерному плані, наближеному безпосередньо до інтересів розробників діагностичних методів, слід виділити роботи Б. Диллона, Ч. Сінгха, Е. мійок, Х. Штріккерта, Р.А. Коллакота і ін. [1 ÷ 10].

У значній частині публікацій, присвячених технічній діагностиці, розглядаються як теоретичні аспекти, що знайшли свої відображення з зазначеними вище додатками класичних теорій, так і варіанти їх технічного застосування в якості засобу підвищення експлуатаційної надійності технічних об'єктів [11 ÷ 12] з урахуванням вимог, викладених в низці нормативних документів [13 ÷ 15]. В рамках напрямку, що розглядається в даній роботі, особливий інтерес представляють результати вітчизняних досліджень і інженерних розробок, які створили науково-технічні напрацювання і безпосередньо спрямованих на створення діагностичного забезпечення судового і корабельного енергетичного та механічного обладнання.

**Метою статті** є розробка системи термографічного аналізу з метою вдосконалення технічної експлуатації флоту і забезпечення безпеки плавання в сучасних умовах судноплавства.

#### Виклад основного матеріалу

Аналіз показує, що важливе місце у вирішенні цих проблем займає завдання вдосконалення інформаційних процесів для забезпечення технічної експлуатації судна та енергетичної установки. Технологічні процеси збору, аналізу і обробки інформації, а тим більше прийняття рішення залишаються прерогативою досвіду і інтуїції судових фахівців.

Інфрачервоний спектр відповідає області випромінювання речовини при температурах, які спо-

стерігаються на поверхні Землі. При цих температурах всі тіла мають помітне випромінювання.

Інфрачервона термографія (ІЧТ) - метод отримання інформації про просторовий і тимчасовий розподіл теплової енергії (температури) об'єктів шляхом безконтактної реєстрації оптичного випромінювання в інфрачервоному діапазоні [16].

Однак термографія може використовуватися не тільки для діагностики об'єктів електроенергетики, вона застосовується також у військовій промисловості, медицині, житлово-комунальному господарстві та інших галузях. При цьому за допомогою термографії можна виконувати не тільки якісний, але і кількісний аналіз дефектів.

Кількісна ІЧТ - метод аналізу структури, системи, процесу або об'єкта шляхом присвоєння чисельних значень спостережуваних особливостей інфрачервоного зображення.

Приладову базу термографії складають інфрачервоні системи вимірювання температури, які складаються з телевізора та ПК, які дозволяють отримувати теплові (інфрачервоні) зображення об'єкта.

На судах в основному експлуатуються засоби контролю працездатності, а засоби пошуку дефектів і прогнозування стану відсутні, що знижує ефективність використання обладнання. Застосування тепловізійної техніки направлено на те, щоб усунути наявні недоліки у вживаних в даний час технічних засобів діагностування.

Тепловізори (термографи) – відносяться до пристроїв, що дозволяє отримувати теплові (інфрачервоні) зображення (термограми) і виробляти якісний або кількісний аналіз температурного поля поверхні об'єкта [17]. Відмінною характеристикою сучасних тепловізійних приладів є їх робота в певному діапазоні довжин хвиль, що пов'язано, перш за все, з особливостями поглинання ІЧ-випромінювання в атмосфері, що має «вікна» пропускання випромінювання, обумовлені параметрами газової повітряного середовища. Коефіцієнт пропускання атмосфери досягає одиниці в певних інтервалах довжин хвиль, що дозволяє створювати прилади, що працюють в спектральних діапазонах короткохвильовому (від 3 до 5 мкм) і довгохвильовому (від 8 до 13 мкм). Тепловізор як прилад складається з:

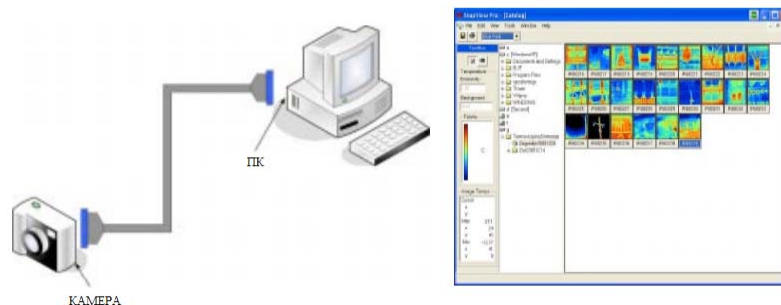


Рис. 1. Схема інфрачервоної системи вимірювання температури (варіант)



Рис. 2. Структура системи діагностування на основі кількісної термографії



Рис. 3. Структура системи діагностування на основі кількісної термографії (спеціальний режим)

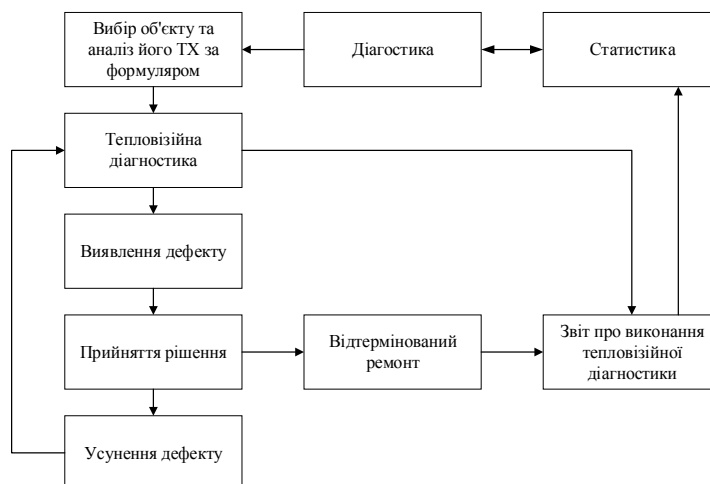


Рис. 4. Система діагностування судна на основі кількісної термографії

- ІК приймача (детектора випромінювання);
- оптики;
- сканера;
- пристрої охолодження ІК приймача (крім сучасних аналогів);
- вбудованого еталона температури;
- електронного блоку;
- монітора;
- системи запису і твердого копіювання термограмм;
- системи транспортування;
- блоку живлення.

Система технічної діагностики суднового устаткування на основі кількісної термографії має дві структури. Перша структура приведена на рис. 2.

Друга структура (рис. 3) відноситься до спеціального режиму системи діагностування, при якому обстежується суднове електрообладнання та системи автоматики, які використовуються періодично.

Методичною основою системи технічної діагностики судна і суднового устаткування (станом та розкладом) є методика інфрачервоної діагностики на основі кількісної термографії. Принцип організації системи діагностики обладнання морського судна з використанням тепловізійної техніки в загальному вигляді представлений на рис. 4 і включає в себе взаємопов'язані етапи, замкнених в цикл і визначають послідовність виконуваних робіт і їх інформативність.

Перший етап включає в себе проведення технічного аудиту обладнання судна за розробленою методикою на основі кількісної термографії.

Обстежуваний об'єкт повинен знаходитися в робочому стані, оптимальний стан об'єкта для діагностування під номінальним навантаженням, в деяких випадках допускається приведення об'єкта під максимальне навантаження.

Другий етап - у паспортних даних об'єкта необхідно знайти інформацію про робочі температури, умов і тривалості експлуатації, аварійності і т.п.

Третій етап - тепловізійна діагностика проводиться з використанням відповідної тепловізійної техніки з температурною похибкою не більше 0.1 °С, а також супутнього обладнання (термометр, пірометр, струмовимірвальні кліщі).

Вимірювання проводяться при сталому режимі роботи тепловізора при повному ході або стоянці судна.

Виявлення дефекту (четвертий етап) здійснюється по можливості на ранній стадії розвитку, тому що використовується тепловізор повинен володіти достатньою чутливістю навіть при впливі ряду несприятливих факторів, які можуть спостерігатися при експлуатації.

На п'ятому етапі прийняття рішень проводиться аналіз даних, отриманих від тепловізійної діагностики, здійснюється оцінка виявлених дефектів, прогноуються можливості їх розвитку і терміни відновлення. В результаті обладнанню присвоюється відповідна категорія технічного стану і приймається рішення про необхідність технічного обслуговування і ремонту.

Після усунення виявленого дефекту (шостий етап) необхідно провести повторне діагностування (четвертий етап) для оцінки якості виконаного ремонту.

У загальній базі даних повинна міститися інформація про всі проведені обстеження, що включає в себе дані про кожен об'єкт: тип, термін служби, умови експлуатації, режими роботи, обсяги і види ремонтних робіт, результати профілактичних випробувань і вимірювань і інші відомості, що дозволяють на підставі розгляду всього комплексу чинників судити про технічний стан однотипних об'єктів. Після накопичення статистичних даних можна зробити оцінку і прогнозування показників експлуатаційної надійності обладнання.

Для моделювання застосовувався програмний комплекс ELCUT, який дозволяє вирішувати задачі нестационарної теплопередачі.

Схематично процес вирішення завдання в ELCUT представлений на наступному рисунку (рис. 4)

На прикладі суднового кабелю було проведено моделювання процесу нагрівання кабелю для оцінки його впливу на що примикає до нього об'єкт з дерева.

На рис. 5 представлена геометрична модель, яка складається з суднового кабелю і примикає до кабелю об'єкта з дерева.

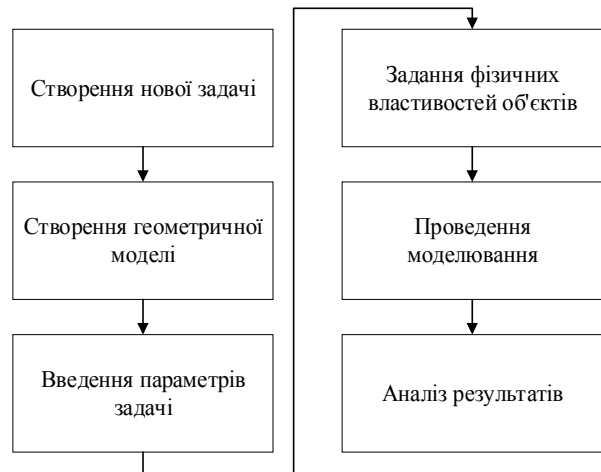


Рис. 4. Схема рішення задачі в програмному комплексі ELCUT

Були задані умови, кабель і дерев'яний об'єкт знаходяться при кімнатній температурі, на лівому торці кабелю температура становить 1000 К, температура навколишнього середовища в решти населених пунктів області поля 300 К.

Згодом температура уздовж кабелю і дерев'яного об'єкта підвищується, що фактично призводить до займання дерева, так як його температура досягає 500 К (рис. 6).

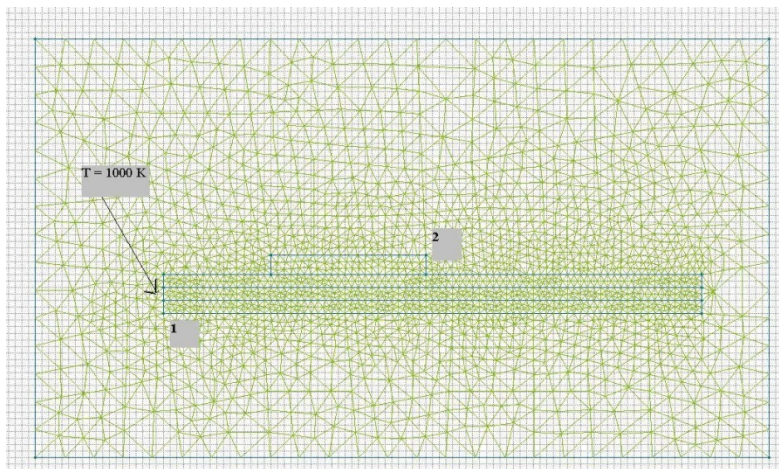


Рис. 5. Геометрична модель:  
1 – судновий кабель, 2 – об'єкт з дерева

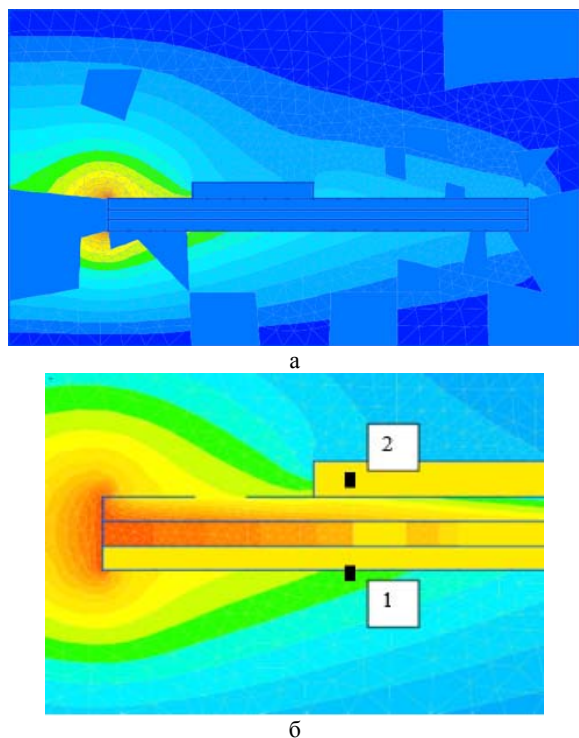


Рис. 6. а – аналіз теплового поля моделювання;  
б – збільшене зображення місця примикання дерев'яного  
об'єкта до ізоляції кабелю,  
1 – точка на ізоляції, 2 – точка на дерев'яному об'єкті

Перед імітаційним моделюванням поставлено наступні завдання:

- визначити чи поширяться полум'я по кабелю після перегордки;
- якщо так, то на яку відстань, і як це вплине на об'єкти що знаходиться поблизу;
- визначити коефіцієнт температуропровідності ізоляції кабелю.

Подібним способом може бути промодельовати теплоенергетичне та електричне обладнання судна, проведена оцінка впливу нагрітого обладнання на прилегли суднові конструкції і пристрої з метою електробезпеки та попередження пожеж.

Таблиця

Експериментальні дані

№ п/п	Розріз, м	$\tau, c$	$\Theta$	$F_0$	$a_i$	$\Delta a_i$	$\Delta a_i^2$
1	0,03	862	0,52	0,57	$5,95 \cdot 10^{-7}$	$-1,28 \cdot 10^{-8}$	$1,64 \cdot 10^{-16}$
2	0,03	951	0,55	0,63	$5,96 \cdot 10^{-7}$	$-1,17 \cdot 10^{-8}$	$1,37 \cdot 10^{-16}$
3	0,03	1147	0,63	0,81	$6,36 \cdot 10^{-7}$	$2,76 \cdot 10^{-8}$	$7,62 \cdot 10^{-16}$
4	0,03	1200	0,64	0,83	$6,23 \cdot 10^{-7}$	$1,45 \cdot 10^{-8}$	$2,11 \cdot 10^{-16}$
5	0,03	1311	0,65	0,86	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$-1,76 \cdot 10^{-8}$	$3,08 \cdot 10^{-16}$
$\Sigma =$							$1,58 \cdot 10^{-15}$

Отримане середнє значення коефіцієнта температуропровідності дорівнює  $a_{cp} = 6,08 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Ефективне значення похибки вимірювання  $\sigma = 8,9 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ , випадкова похибка вимірювання коефіцієнта температуропровідності з довірчою ймовірністю  $\alpha = 0,95$   $\Delta a = 2,57 \cdot 8,9 \cdot 10^{-9} \approx 0,23 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . На рис. 8 представлені графіки залежності температури в різних точках від часу.

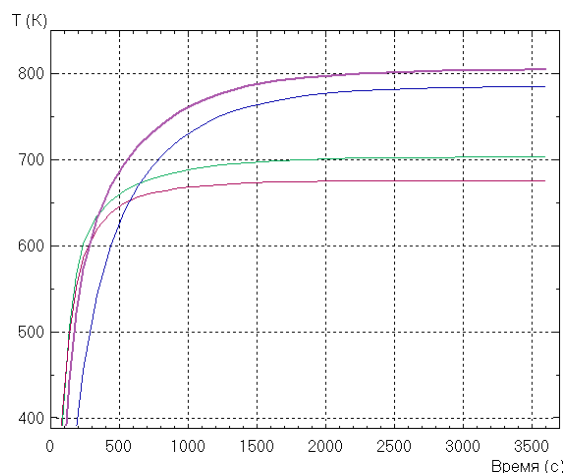


Рис. 8. Розподіл температури в різних перетинах поля:  
1 – точка на ізоляції, 2 – точка на дерев'яному об'єкті,  
3 – точки контролю температури навколишнього середовища

Проведено дослідження пожежонебезпечної ситуації, пов'язаної з можливістю поширення горіння по судновому кабелю, на основі методу кількісної термографії. Після проходження через перегородку горіння суднового кабелю припинилося.

Однак температура його поверхні досягла значень, що перевищують  $120^\circ\text{C}$ . Це необхідно врахувати в ході проектування і експлуатації судна. Що виникає інтенсивне теплове вплив кабелю може впливати на горючі матеріали і обладнання, розташовані безпосередньо поруч з кабелем або в близькості від нього, що може привести до пошкоджень, виходу з ладу обладнання та виникнення пожежі. Також термографічний метод може використовуватися для визначення надійності і довговічності кабельної продукції в реальній експлуатації.

**Висновки.** В якості вихідних передумов виконаних досліджень були сформульовані основні проблеми, актуальні для сучасного етапу розвитку засобів діагностування суднового енергетичного устаткування:

- надзвичайна різноманітність конструкцій, принципів дії, умов експлуатації, фізико-хімічних процесів деградації технічного стану та їх проявів створює проблему обґрунтованого вибору глибини діагностування та переліку діагностичних завдань, актуальних для основних видів суднового енергетичного устаткування;

- широкі розмаїття запропонованих на ринку компонентів діагностичного забезпечення створює проблему раціонального вибору складу і структури діагностичних комплексів, адаптованих до специфічних особливостей суднового енергетичного та механічного устаткування.

В результаті проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновано систему технічної діагностики обладнання морського судна на базі методу кількісної термографії. Зазначена система дозволяє зменшити для суднових компаній кількість експлуатаційних витрат, капіталовкладень і збитків.



2. Представлений метод оцінки впливу обладнання, нагрітого внаслідок розвитку пожежі або при протіканні аварійних струмів, на прилеглі суднові конструкції і пристрої з метою електробезпеки і попередження пожеж.

3. Виконано розрахунок даних тепловізійної ді агностики, спрямований на оцінку технічного стану суднового обладнання і підвищення безпеки мореплавання

Підсумком виконаних досліджень є розробка методології дослідження, аналізу і синтезу компонентів діагностичного забезпечення, яка має бути використана розробниками судових СТД в якості інструментарію для обґрунтованого компонування складу і структури діагностичного забезпечення та розширення його функціональних можливостей за рахунок розробки та адаптації до специфічних особливостей суднового енергетичного обладнання принципово нових методів та засобів діагностики і прогнозування, призначених для підвищення експлуатаційної надійності судової енергетики.

#### Література

1. Фишер, Р.А. Статистические методы для исследователей / Р.А. Фишер – М.: Гостсандарт, 1958. – 267 с.
2. Шеннон, Р.Дж. Имитационное моделирование систем-искусство и наука / Р.Дж. Шеннон – М.: Мир, 1978. – 418 с.
3. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау – М.: Мир, 1973. – 957 с.
4. Фёрстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Фёрстер, Б. Ренц – М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.
5. Патрик Э. Основы теории распознавания образов / Э. Патрик – М.: Советское радио, 1982. – 480 с.
6. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тейлор – М.: Мир, 1985. – 272 с.
7. Ту, Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес – М., Мир, 1978. – 412 с.
8. Харт, Х. Введение в измерительную технику / Х. Харт – М.: Мир, 1999. – 391 с. 382
9. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / К. Фукунага – М.: Наука, 1979. – 368 с.
10. Харман, Г. Современный факторный анализ / Г. Харман – М.: Статистика, 1972. – 489 с.
11. Коллакот, Р.А. Диагностика механического оборудования / Р.А. Коллакот – М.: Мир, 1980. – 296 с.
12. Коллакот, Р.А. Диагностика повреждений / М. Коллакот – М.: Мир, 1989. – 516 с.
13. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними – К.: Надійність машин та споруд, 1995.–24 с.
14. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення– К.: Надійність машин та споруд, 1994.–15 с.
15. Регістр судноплавства України // Юридична енциклопедія : [у 6 т.] / ред. кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.) [та ін.] — К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 2003. — Т. 5 : П — С. — 736 с. — ISBN 966-7492-05-2.
16. Власов, А. Б. Модели и методы термографической ди-

агностики объектов энергетики / А. Б. Власов. – М. : Колос, 2006. – 280 с.

17. Вавилов, В.П. Тепловизоры и их применение / В.П. Василов, А.Г. Климов. – М. : Интел Универсал, 2002. – 88 с.

#### References

1. Fisher, R.A. Statisticheskie metody dlya issledovatel-lej / R.A. Fisher – М.: Gostsandart, 1958. – 267 s.
2. Shannon, R.Dzh. Imitacionnoe modelirovanie sis-tem-iskusstvo i nauka / R.Dzh. Shannon – М.: Mir, 1978. – 418 s.
3. Himmelblau, D. Analiz processov statisticheskimi metodami / D. Himmelblau – М.: Mir, 1973. – 957 s.
4. Fyorster E. Metody korrelyacionnogo i regression-nogo analiza / E. Fyorster, B. Renc – М.: Finansy i statistika, 1983. – 304 s.
5. Patrik E. Osnovy teorii raspoznavaniya obrazov / E. Patrik – М.: Sovetskoe radio, 1982. – 480 s.
6. Tejlор Dzh. Vvedenie v teoriyu oshibok / Dzh. Tejlор – М.: Mir, 1985. – 272 s.
7. Tu, Dzh. Principy raspoznavaniya obrazov / Dzh. Tu, R. Gonsales – М., Mir, 1978. – 412 s.
8. Hart, H. Vvedenie v izmeritelnuyu tehniku / H. Hart – М.: Mir, 1999. – 391 s. 382
9. Fukunaga K. Vvedenie v statisticheskuyu teoriyu raspoznavaniya obrazov /K. Fukunaga – М.: Nauka, 1979. – 368 s.
10. Harman, G. Sovremennyy faktornyj analiz / G. Har-man – М.: Statistika, 1972. – 489 s.
11. Kollakot, R.A. Diagnostika mehanicheskogo oborudovaniya / R.A. Kollakot – М.: Mir, 1980. – 296 s.
12. Kollakot, R.A. Diagnostika povrezhdenij / M. Kolla-kot – М.: Mir, 1989. – 516 s.
13. DSTU 3004-95. Nadijnist tehniki. Metodi ocinki pokaznikov nadijnosti za eksperimentalnimi danimi – К.: Nadijnist mashin ta sporud, 1995.–24 s.
14. DSTU 2860-94. Nadijnist tehniki. Termini ta viznachennya– К.: Nadijnist mashin ta sporud, 1994.–15 s.
15. Registr sudnoplavstva Ukraini // Yuridichna enciklopediya : [u 6 t.] / red. kol. Yu. S. Shemshuchenko (vidp. red.) [ta in.] — К. : Ukrayinska enciklopediya im. M. P. Bazhana, 2003. — T. 5 : P — S. — 736 s. — ISBN 966-7492-05-2.
16. Vlasov, A. B. Modeli i metody termograficheskoy diagnostiki obektov energetiki / A. B. Vlasov. – М. : Kolos, 2006. – 280 s.
17. Vavilov, V.P. Teplovizory i ih primeneniye / V.P. Vasilov, A.G. Klimov. – М. : Intel Universal, 2002. – 88 s.

#### Клочков Ю. П., Ганношина И. Н. Разработка системы термографического анализа оборудования морских судов на базе метода количественной термографии

*Современное и перспективное развитие морского флота неразрывно связано с безопасностью мореплавания, которое обеспечивается безотказным и надежным функционированием систем жизнеобеспечения и судового оборудования. В связи с этим возникает необходимость в развитии современных методов оперативной диагностики для контроля состояния оборудования. Научная новизна исследования заключается в том, что предложена система технической диагностики оборудования морского судна на базе метода количественной термографии. Данная система позволяет уменьшить для компаний, владельцев судов количество эксплуатационных расходов, капиталоуложений и убытков. Тепловизионная диагностика*

является эффективным методом оценки технического состояния оборудования на судах морского флота и береговых предприятиях. Применение методов количественной термографии обусловлено необходимостью выявления дефектов электро- и теплоэнергетических устройств на ранней стадии непосредственно в режиме эксплуатации. Представленная система тепловизионных испытаний, объектов или материалов объединяет различные основана на телевизионной съемке. Представлены основные этапы применения системы технического контроля судовых устройств и средств на основе методов количественной термографии. Метод тепловизионного обследования электротехнического оборудования в целом представляет собой совокупность мероприятий, необходимых для проведения испытаний и выработки адекватной экспертной оценки. Рассмотрены примеры применения телевизионной техники на морских судах, приведены результаты телевизионных испытаний на примере анализа состояния судовых кабельных трасс. Представлены материалы имитационного моделирования. Новые методы и средства диагностики и прогнозирования, предназначенные для повышения эксплуатационной надежности судовых систем и механизмов.

**Ключевые слова:** судовое оборудование, система технической диагностики, эксплуатация судна, термографическая диагностика, тепловизор

**Klochkov Y., Gannoshina I Development of a system of thermographic analysis of the equipment of ships on the basis of the method of quantitative thermography.**

*Modern and prospective development of the navy is inextricably linked with the safety of navigation, which is ensured by the trouble-free and reliable functioning of life support systems and ship equipment. In this regard, there is a need to develop modern methods of operational diagnostics to control the technical condition of the equipment. The scientific novelty of the obtained results is that the system of technical diagnostics of the ship's equipment based on the method of quantitative thermography is proposed. This system allows to reduce the amount of operating costs, capital investments and losses for companies, shipowners. Thermal imaging diagnostics is an effective method of assessing the technical*

*condition of equipment on naval vessels and coastal enterprises. The use of quantitative thermography methods necessitates the detection of defects in electricity and heat power devices at an early stage directly in the operating mode. The presented system of thermal imaging tests, objects or materials integrates different television-based shooting times. The basic stages of application of the system of technical control of ship devices and facilities based on quantitative thermography methods are presented. The method of thermal imaging examination of electrical equipment as a whole is a set of measures necessary for testing and making an adequate expert evaluation. Examples of the use of television equipment on ships are considered, the results of television tests on the analysis of the condition of ship cable routes are given. Simulation modeling materials are presented. New diagnostic and forecasting methods and tools designed to improve the operational reliability of ship systems and mechanisms. The developed methodology for the study, analysis and synthesis of components of diagnostic support can be used by the developers of shipboard STDs as a tool for a reasonable layout of the composition and structure of diagnostic support and the expansion of its functionality by developing and adapting to the specific features of shipboard power equipment fundamentally new methods and Diagnostic and forecasting tools designed to increase the operational reliability of ship energetic.*

**Keywords:** ship equipment, technical diagnostics system, ship operation, thermographic diagnostics, thermal imager.

**Клочков Юрій Петрович** – кандидат економічних наук доцент кафедри судноводіння та керування судном Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій.

**Ганношина Ірина Миколаївна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри судноводіння та керування судном Київського інституту водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій

Стаття подана 12.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-47-50>

УДК 541.127: 542.943-92

## КІНЕТИКА РЕАКЦІЇ ОКИСНЕННЯ МЕТИЛФЕНІЛКАРБІНОЛУ ОЗОНОМ В АЦЕТАТНІЙ КИСЛОТІ

Кулешова Т.С., Галстян А.Г., Галстян Г.А.

## KINETICS OF OXIDATION REACTION OF METHYLPHENYL CARBINOL WITH OZONE IN ACETIC ACID

Kuleshova T.S., Galstyan A.G., Galstyan G.A.

Вивчено кінетику реакції метилфенілкарбінолу з озоном в ацетатній кислоті. Показано, що при температурі 15° С реакція перебігає, в основному, за бічним ланцюгом з утворенням ацетофенону з виходом 98%. Запропоновано та розглянуто можливі схеми перетворення метилфенілкарбінолу, що передбачає радикальний ланцюговий механізм окиснення.

**Ключові слова:** метилфенілкарбінол, окиснення, озон, ацетофенон, ацетатна кислота, константа швидкості, кінетика

**Постанова проблеми.** При окисненні етилбензену озонірованою сумішшю в ацетатній кислоті первинним відносно стійким продуктом реакції є метилфенілкарбінол [1]. В процесі утворення він сам підлягає різним перетворенням і не зважаючи на низку концентрацію у системі, без сумніву, відіграє важливу роль на різних стадіях перетворення етилбензену. У зв'язку з цим для розуміння цієї ролі у даній роботі досліджено кінетику окиснення метилфенілкарбінолу озонірованою сумішшю у розчині льодяної ацетатної кислоти.

**Мета.** Метою роботи є дослідження кінетики та механізму реакції окиснення метилфенілкарбінолу озном в ацетатній кислоті, визначення продуктів окиснення, кінетичних параметрів реакції та основних можливих напрямків його перетворення.

### Матеріали та результати дослідження.

Для дослідів застосовували льодяну ацетатну кислоту фірми «Sigma» кваліфікації «Х.Ч.», метилфенілкарбінол фірми «Acros organics» кваліфікації «Х.Ч.». Озон синтезували з повітря у бар'єрному розряді [2] на лабораторному озонаторі.

Окиснення проводили у скляній термостатованій колонці ємністю 0,02 дм<sup>3</sup> з перфорованою перетинкою для диспергування озонірованої суміші. В реактор завантажували

0,01 дм<sup>3</sup> ацетатної кислоти, 0,4 моль/л метилфенілкарбінолу і при 15 ° С пропускали озоніовану суміш зі швидкістю 20 л/год з концентрацією озону 5,2·10<sup>-4</sup> моль/л. Поточну концентрацію метилфенілкарбінолу і продуктів його подальшого перетворення у розчині визначали методом газорідинної хроматографії на хроматографі з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці довжиною 3м і діаметром 4мм, заповненою носієм „Інертон-супер”, з нанесеною нерухомою фазою “FFAP” у кількості 5% від маси носія за наступних умов: температура термостату – за програмою 115-220 ° С за 10 хв; швидкість газу носія (азот) – 1.8; водню – 1.8; повітря – 18 л/год. В якості внутрішнього стандарту використовували 4-нітрохлорбензен. Концентрацію озону визначали спектрофотометричним методом [2].

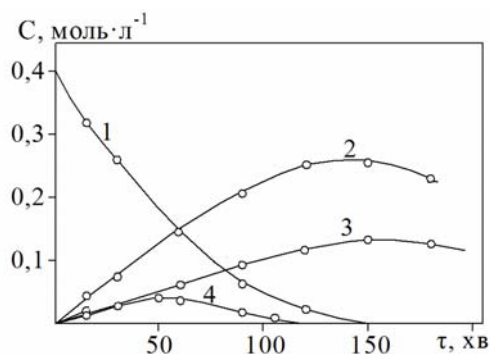


Рис. 1. Кінетика окиснення етилбензену озонірованою сумішшю в ацетатній кислоті:

$T = 15^{\circ} \text{C}$ ;  $[\text{ArCH}_2\text{CH}_3]_0 = 0,4$ ;  $[\text{O}_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ ;  $V_{\text{ж}} = 0,01 \text{ л}$ ;  $\omega = 30 \text{ л} \cdot \text{год}^{-1}$ ; Зміна концентрації етилбензену (1), озонідів (2), ацетофенону (3), метилфенілкарбінолу (4)

На рис.1 показано, що при окисненні етилбензену озном за етильною групою у початковий момент часу утворюється

метилфенілкарбінолу. Спирт накопичується практично відразу з додаванням озоноповітряною суміші в систему. Наявність на кривій (4, рис. 1) максимуму свідчить про те, що він є проміжним продуктом, який далі окиснюється до ацетофенону.

Проведене окиснення метилфенілкарбінолу підтверджує цей висновок (рис. 2). При температурі 15 ° С він окиснюється досить швидко: за 60 хв ступінь перетворення його в ацетофенон досягає 98%. Продуктів озонолітичної деструкції карбінолу в досліджуваній суміші та діоксиду вуглецю у відходячих газах ідентифіковано у слідових кількостях. На окиснення 1 моль спирту витрачається 1,3 моль озону.

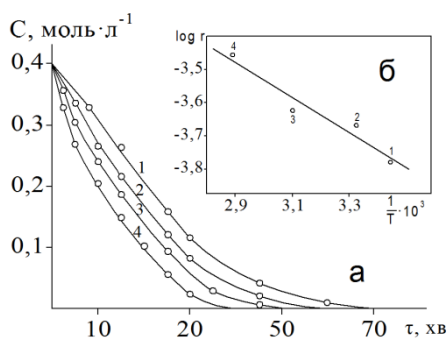


Рис. 2. Вплив температури на кінетику окиснення метилфенілкарбінолу озоноповітряною сумішшю в ацетатній кислоті: витрата метилфенілкарбінолу (а) та залежність  $\log \tau - 1/T \cdot 10^3$  (б).  $[O_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ ,  $[ArH]_0 = 0,4$  моль·л<sup>-1</sup>,  $\omega = 30$  л·год<sup>-1</sup>,  $V_p = 10$  мл. Температура: 15 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4) ° С

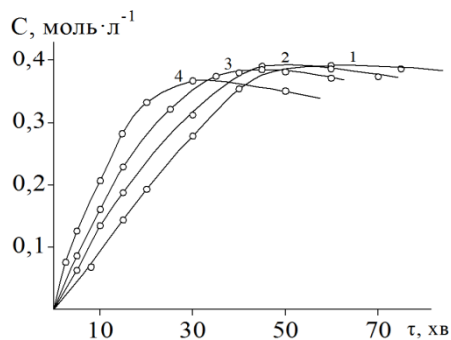


Рис. 3. Вплив температури на кінетику накопичення ацетофенону при окисненні метилфенілкарбінолу озоноповітряною сумішшю в ацетатній кислоті.  $[O_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ ,  $[ArH]_0 = 0,4$  моль·л<sup>-1</sup>,  $\omega = 30$  л·год<sup>-1</sup>,  $V_p = 10$  мл. Температура: 15 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4) ° С

На рисунках 2,3 приведено температурні залежності швидкостей окиснення метилфенілкарбінолу та накопиченні ацетофенону, а в табл. 1 – кінетичні параметри цієї реакції. З представлених даних видно, що температура у вивчених межах суттєво впливає лише на швидкість реакцій. Селективність окиснення за бічним ланцюгом в температурних межах 5-40° С майже не змінюється,

а при подальшому підвищенні дещо знижується (з 98 до 92%), що, вочевидь, пов'язане з подальшим окисненням ацетофенону. Про це свідчить і підвищення кількості витраченого озону з 1,3 моль при 15 ° С до 1,4 моль при 40 ° С на моль перетвореного субстрату (тобто на ті самі 6%).

Реакція озону з метилфенілкарбінолом у температурному інтервалі 10-40 ° С має перший порядок по реагентах (рис. 4). Знайдені значення констант швидкостей витрати озону в реакції зі спиртом (табл.) є ефективними і характеризують сумарну швидкість реакції озону за ароматичним кільцем і бічним ланцюгом.

Таблиця

Кінетичні параметри реакції озонування етилбензену і його похідних в ацетатній кислоті.  $[O_3]_0 = (1,0-7,7) \cdot 10^{-4}$ ;  $[ArH]_0 = (0,10 - 0,80)$  моль·л<sup>-1</sup>

Сполуки	T, К	$k'$	$k''$	$E'$	$E''$	$A'$	$A''$
		л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	кДж·моль <sup>-1</sup>	л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>
Етилбензен	283	0,37	-	13,9	50,3	$1,26 \cdot 10^2$	$2,67 \cdot 10^9$
	288	0,4	2,55				
	293	0,455	3,17				
	303	0,517	7,42				
	313	0,637	12,7				
$\alpha$ -Фенілетанол	288	0,75	-	8,3	-	23,6	-
	293	0,80	-				
	303	0,87	-				
Ацетофенон	288	0,04	-	19,5	80,4	$1,32 \cdot 10^2$	$4,98 \cdot 10^2$
	293	0,048	3,162				
	303	0,063	9,125				
	313	0,077	25,00				

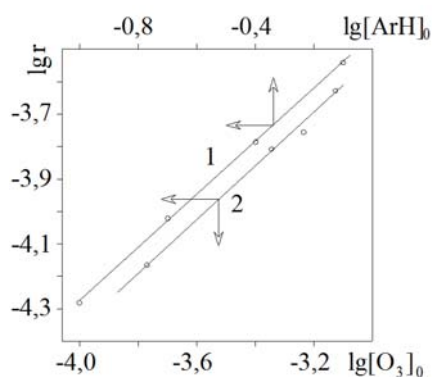
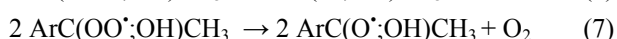
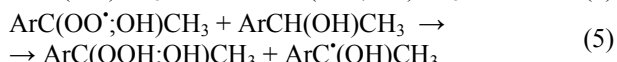
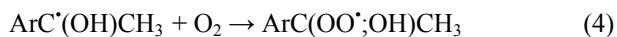
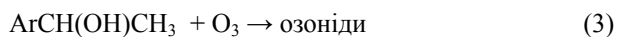


Рис. 4. Залежність швидкості окиснення метилфенілкарбінолу від концентрації субстрату (1) і озону (2) при 15 ° С

Для оціночних розрахунків співвідношення  $k_{1+2}/k_3$  припустимо, що на початку окиснення відношення кількості продуктів реакції за бічним ланцюгом до кількості продуктів озонолізу є пропорційним кількості поглиненого озону. Наприклад, при 15° С  $k_{\text{эф}} = 0,8$ ;  $k_{1+2} = 0,78$ ;  $k_3 = 0,02$  л·моль<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup>, а  $k_{1+2}/k_3 = 39,2$ .



За існуючими на сьогодні уявленнями про реакцію озону зі спиртами [3-6] озонування метилфенілкарбінолу може відбуватися за схемою:



Утворений радикал  $\text{ArC}^*(\text{OH})\text{CH}_3$  за реакцією (1) в атмосфері кисню перетворюється у пероксидний радикал (3) [3-5], який далі рекомбінує за реакціями (7) та (8) [4] з виникненням афетофенону. Утворення ацетофенону можливе і за реакцією (2), яка може відбуватися у клітці розчинника [3]:



За умов дослідів, тобто при низьких температурах, реакції продовження ланцюгу (4,5) та виродженого розгалуження (6) є маловірогідними, оскільки  $r_5 \ll r_{1+2}$ . Про це свідчать і наближені кінетичні розрахунки з використанням літературних і експериментальних даних.

При температурі  $15^\circ\text{C}$   $[\text{O}_3]_0 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ ,  $[\text{ArH}]_0 = 0,4$  моль  $\cdot$  л $^{-1}$ ;  $k_{1+2} = 0,78$ ;  $k_5 = 2,13$  [4];  $k_{7,8} = 0,5 \cdot 10^7$  л  $\cdot$  моль $^{-1} \cdot$  с $^{-1}$  [4] за умов стаціонарності концентрацій радикалів  $r_{1+2} = r_{7,8}$ , звідси  $[\text{ArC}(\text{OO}^*; \text{OH})\text{CH}_3] = (k_{1+2} [\text{ArCH}(\text{OH})\text{CH}_3]_0 [\text{O}_3]_0) / k_{7,8} = (0,78 \cdot 0,4 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4}) / (0,5 \cdot 10^7) = 5,8 \cdot 10^{-6}$  моль  $\cdot$  л $^{-1}$  і  $r_{1+2} = 0,78 \cdot 0,4 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4} = 1,7 \cdot 10^{-4}$  моль  $\cdot$  (л  $\cdot$  с) $^{-1}$ ;  $r_5 = 2,13 \cdot 5,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 = 4,9 \cdot 10^{-6}$  моль  $\cdot$  (л  $\cdot$  с) $^{-1}$ , тобто  $k_{1+2} / k_5 = 35$ .

**Висновок.** Показано, що при температурі  $15^\circ\text{C}$  метилфенілкарбінол в ацетатній кислоті окиснюється озоном переважно за бічним ланцюгом з утворенням ацетофенону з виходом 98%. Виявлено слідові кількості продуктів озонолітичної деструкції ароматичного кільця. Розглянуто можливу схему озонолітичного перетворення метилфенілкарбінолу, яка передбачає радикальний неланцюговий механізм окиснення.

#### Література

1. Галстян А.Г. Окиснення етилбензену озоном в оцтовій кислоті / А.Г. Галстян, О.О. Колбасюк, Г.А. Галстян, А.С. Бушуєв // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т.66, №6/6. – С. 8-11.
2. Разумовский С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г. Е. Заиков. – М.: Наука, 1974. – 322 с.

3. Эмануэль Н. М. Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе / Н. М. Эмануэль, Е. Т. Денисов, З. К. Майзус. – М.: Наука, 1965. – 375 с.
4. Эмануэль Н. М. Окисление этилбензола (модельная реакция) / Н. М. Эмануэль, Д. Гал. – М.: Наука, 1984. – 376 с.
5. Денисов Е.Т. Механизм жидкофазного окисления кислородсодержащих соединений / Е.Т. Денисов, Н.И. Мицкевич, В.Е. Агабеков. - Минск: Наука и техника, 1975. – 334с.
6. Галстян Г. А. Озон и его реакции с ароматическими соединениями в жидкой фазе / Г. А. Галстян, Н. Ф. Тюпало, С. Д. Разумовский. – Луганськ : ВУНУ, 2004. – 272 с.

#### References

1. Galstyan A.G. Okisnennya etilbenzeno ozonom v otstovly kisloti / A.G. Galstyan, O.O. Kolbasyuk, G.A. Galstyan, A.S. Bushuev // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredoviyh tehnologiy. – 2013. – Т.66, №6/6. – С. 8-11.
2. Razumovskiy S. D. Ozon i ego reaktzii s organicheskimi soedineniyami / S.D. Razumovskiy, G. E. Zaikov. – М.: Nauka, 1974. – 322 s.
3. Emanuel N. M. Tsepnyie reaktzii okisleniya uglevodorodov v zhidkoy faze / N. M. Emanuel, E. T. Denisov, Z. K. Mayzus. – М.: Nauka, 1965. – 375 s.
4. Emanuel N. M. Okislenie etilbenzola (modelnaya reaktsiya) / N. M. Emanuel, D. Gal. – М.: Nauka, 1984. – 376 s.
5. Denisov E.T. Mehanizm zhidkofaznogo okisleniya kislorodsoderzhaschih soedineniy / E.T. Denisov, N.I. Mitskevich, V.E. Agabekov. - Minsk: Nauka i tehnika, 1975. – 334s.
6. Galstyan G. A. Ozon i ego reaktzii s aromaticeskimi soedineniyami v zhidkoy faze / G. A. Galstyan, N. F. Tyupalo, S. D. Razumovskiy. – Lugansk : VUNU, 2004. – 272 s.

**Кулешова Т.С., Галстян А.Г. Галстян Г.А. Кинетика реакций окисления метилфенілкарбінола озоновоздушной смесью в ацетатной кислоте.**

*Изучена кинетика реакций метилфенілкарбінола с озоном в ацетатной кислоте. Показано, что при температуре  $15^\circ\text{C}$  реакция протекает, в основном, по боковой цепи с образованием ацетофенона с выходом 98%. Предложены и рассмотрены возможные схемы преобразования метилфенілкарбінола, которые предполагают радикальный нецепной механизм окисления.*

**Ключевые слова:** метилфенілкарбінол, окисление, озон, ацетофенон, ацетатная кислота, константа скорости, кинетика

**Kuleshova T., Galstyan A. Galstyan G. Kinetics of oxidation reaction of methylphenylcarbinol with ozone in acetic acid**

*For the experiments, glacial acetic acid of firm "Sigma" of Ch. Pur., methylphenylcarbinol of "Acros organics" of Ch. Pur. qualification was used. Ozone was synthesized from air in a barrier on a laboratory ozone generator.*

*At the oxidation of ethylbenzene with ozone, methylphenylcarbinol is formed at the initial point in time with ethyl group. Alcohol is an intermediate and is accumulated almost immediately with the addition of an ozone-air mixture to the system to form acetophenone.*

*At a temperature of  $15^\circ\text{C}$ , methylphenylcarbinol oxidizes rather quickly: in 60 minutes the degree of its*

conversion to acetophenone reaches 98%. The ozonolytic degradation products of carbinol in the test mixture and carbon dioxide have been identified in small quantities. Oxidation of 1 mole of alcohol consumes 1.3 mole of ozone.

It was found that the temperature within the studied limits had a significant effect only on the rate of reaction of ozone with alcohol. The selectivity of side-chain oxidation in the temperature range 5-40 °C is almost unchanged, and with further increase it decreases somewhat (from 98 to 92%), which is obviously related to the further oxidation of acetophenone. This is evidenced by the increase in the amount of ozone consumed from 1.3 mol at 15 °C to 1.4 mol at 40 °C per mole of converted substrate.

The reaction of ozone with methylphenylcarbinol in the temperature range of 10-40 °C is first order according to the reagents. The values found for the rate constants of ozone consumption in the reaction with alcohol are effective and characterize the total rate of ozone reaction in the aromatic ring and side chain.

Thus, it is shown that at a temperature of 15 °C, methylphenylcarbinol in acetate is oxidized by ozone mainly via the side chain to form acetophenone in 98% yield. Trace

amounts of products of the ozonolytic degradation of the aromatic ring have been identified. A possible scheme of the ozonolytic conversion of methylphenylcarbinol, which involves a radical non-chain oxidation mechanism, is considered.

**Key words:** methylphenylcarbinol, oxidation, ozone, acetophenone, acetate acid, rate constant, kinetics

**Кулешова Тетяна Сергіївна** – аспірант кафедри ХФТ Інституту хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, tov@iht.lg.ua

**Галстян Андрій Генрійович** – д.х.н., професор, зав. кафедри ХФТ Інституту хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, aggaalst@gmail.com.

**Галстян Генрі Аршавирович** – д.х.н., професор кафедри ХФТ Інституту хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, tov@iht.lg.ua

Стаття подана 1.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-51-56>

УДК 547.673.4

#### ПРЯМОЕ ВВЕДЕНИЕ АМИНОГРУППЫ В АРОМАТИЧЕСКОЕ ЯДРО IV. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕНЗОЛКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ С ГИДРОКСИЛАМИНОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ

Кулыгина З.П., Исак А.Д., Попов Е.В.

#### DIRECT INTRODUCTION OF THE AMINO GROUP IN THE AROMATIC NUCLEUS IV. INTERACTION OF BENZENE CARBONIC ACIDS WITH HYDROXYLAMINE IN AN ACID MEDIUM IN THE PRESENCE OF METALS OF VARIABLE VALENCY

Kulygina Z.P., Isak A.D., Popov E.V.

*Статья посвящена прямому введению первичной аминогруппы в бензольное кольцо, содержащее одну или несколько карбоксильных групп. Это оказалось возможным при использовании в качестве аминирующего агента гидроксиламина и проведения реакции в среде концентрированной серной кислоты. В качестве субстратов использованы бензойная кислота, изомерные бензолдикарбоновые кислоты, тримеллитовая кислота и их эфиры. Предложен механизм прямого введения аминогруппы с использованием гидроксиламина в кислой среде в присутствии металлов переменной валентности.*

**Ключевые слова:** Бензойная кислота, бензолдикарбоновые кислоты, тримеллитовая кислота, гидроксиламин, аминирование, свободные радикалы.

В литературе имеется сообщение о том, что аминирование ароматических соединений системой соль гидроксиламина - соль двухвалентного железа протекает по свободнорадикальному механизму с участием радикала  $\cdot\text{NH}_2$  [1]. Авторы работы, исходя из зависимости выходов *орто*-, *мета*- и *пара*-аминосоединений а также парциальных констант скорости аминирования в ядро бензойной кислоты смесью соль гидроксиламина – соль двухвалентного железа, учитывая величины свободной валентности различных положений бензойной кислоты, установили, что аминирование указанным аминирующим агентом протекает по свободнорадикальному механизму с участием радикала  $\cdot\text{NH}_2$ .

Легкость протекания реакции свободнорадикального замещения в ароматическое ядро зависит от резонансного и индукционного эффектов заместителя. Заместители, обладающие высоким резонансным эффектом или образующие способность усиливать электростатическое

взаимодействие реагирующего положения с радикалом, облегчают протекание реакции.

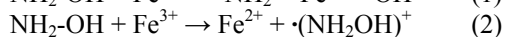
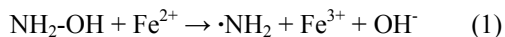
Одностадийный синтез ароматических методом свободнорадикального аминирования действием солей гидроксиламина и каталитического количества солей металлов с переменной валентностью за последнее время приобретает все больший интерес среди химиков-органиков. С целью исследования одностадийного синтеза аминов ароматических соединений были проведены опыты прямого введения аминогруппы в ядро бензойной кислоты. Уотерс с сотрудниками [2] и Коффман [3] в качестве реагента применяли систему  $\text{NH}_2\text{OH} - \text{Ti(III)}$  в эквивалентном отношении к  $\text{NH}_2\text{OH}$ .

В ряде работ японских химиков [1,4] на примере аминирования бензойной кислоты и бензоата натрия показано, что при взаимодействии бензойной кислоты с гидроксиламином в качестве катализатора с успехом можно использовать соль железа Fe(II) в каталитическом количестве. При проведении реакции в водном растворе на моль бензойной кислоты использовали 0,2 моля семиводного закисного железа.

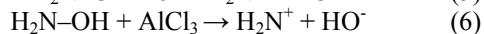
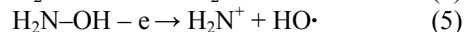
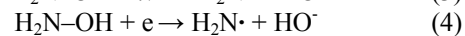
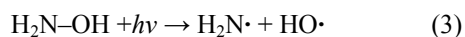
В случае проведения реакции в концентрированной серной кислоте соотношение субстрат : катализатор составило 1 : 0,065. Однако суммарный выход аминобензойных кислот составил около 11% на вступившую в реакцию бензойную кислоту. Авторами изучена зависимость между реакционной способностью каждого положения в ядре бензойной кислоты и его свободной валентностью показало, что аминирование действием соли гидроксиламина и двухвалентного железа, как и предполагалось, представляет собой

свободнорадикальную реакцию, в которой атакующим радикалом является  $\cdot\text{NH}_2$  группа.

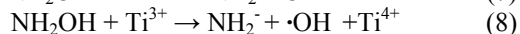
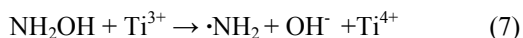
Кроме того, было установлено [4], что аминирование под действием гидросиламина и соли двухвалентного железа, как и аминирование с участием гидросиламина и соли трехвалентного титана, представляет собой свободнорадикальную реакцию с участием радикала  $\cdot\text{NH}_2$ , образующегося в результате переноса электрона в системе гидросиламин – соль металла. Медленной стадией, лимитирующей скорость этой реакции, является присоединение свободного радикала  $\cdot\text{NH}_2$  к ароматическому ядру. Установлено, что увеличение количества железного катализатора выход аминосоединений почти не изменяется. Отсюда следует, что в системе «гидросиламин – соль двухвалентного железа» достаточно применять каталитические количества соли двухвалентного железа и что свободный радикал  $\cdot\text{NH}_2$  эффективно образуется чередованием следующих реакций:



Считают, что связь N–O в молекуле гидросиламина может разрываться следующим образом:



Дэвис, Эванс и Хиггинсон [5] в результате подробного исследования реакции в системе  $\text{NH}_2\text{OH} - \text{Ti(III)}$  с использованием в качестве активатора восстановления соли трехвалентного титана установили, что в данной системе протекает реакция (3) с образованием радикала  $\cdot\text{NH}_2$  и не происходит реакция (4) с образованием радикала  $\cdot\text{OH}$ .



Поскольку образующийся по уравнению (8)  $\text{Ti(IV)}$  не восстанавливается гидросиламином, при использовании каталитических количеств соли титана свободный радикал  $\cdot\text{NH}_2$  не образуется. Для получения свободных радикалов требуется применять эквимолекулярное по отношению к гидросиламину количество соли трехвалентного титана, что, конечно, является недостатком метода.

Хараш и сотрудники [6] сообщили, что одновалентная медь эффективно связывает свободные группы и поэтому изменяет ход свободнорадикальных реакций. В ходе ряда опытов было установлено, что в присутствии одновалентной меди аминирование в ядро не идет. Этот факт можно объяснить, предположив, что одновалентная медь связывает свободные радикалы

$\cdot\text{NH}_2$  и что именно этот радикал является атакующим реагентом.

В связи с тем, что свободные радикалы в обычном состоянии обладают небольшой продолжительностью «жизни», они трудно поддаются обнаружению и исследованию. Поэтому были разработаны методы спектроскопического обнаружения и исследования свободных радикалов после превращения их в «замороженные» радикалы, обладающие большой продолжительностью «жизни», путем улавливания их соответствующими веществами-матрицами (ловушками). В результате физико-химического исследования таких «замороженных» радикалов (исследование с помощью методов ультрафиолетовой спектроскопии [7], электронно-спиновой резонанса [8, 9]) также было установлено присутствие свободного радикала  $\cdot\text{NH}_2$ .

Из сказанного выше ясно, что в соответствующих условиях можно выделить свободный радикал  $\cdot\text{NH}_2$ .

В связи с этим можно осуществить одностадийный синтез ароматических аминов в ходе реакции (уравнение 4) ароматического соединения  $\text{ArH}$  с полученным таким образом свободным радикалом  $\cdot\text{NH}_2$ .



Хотя метод авторов данной статьи во многих отношениях, в том числе и по выходу аминов, лучше известных методов аминирования в ядро [3, 4], но все же не обеспечивает достаточного, с точки зрения требований промышленности органического синтеза, выхода целевых продуктов и, следовательно, нуждается в дополнительных исследованиях.

В литературе имеются сообщения о том, что гидросиламин и его O-замещенные производные в присутствии треххлористого алюминия образуют группу  $\text{NH}_2^+$ , которая может участвовать в электрофильной реакции замещения в ароматическое ядро [10]. Реакциям, приписываемым атаке ароматического ядра группой  $\text{NH}_2^+$  посвящены сообщения Грабе и Кавачича [11].

Приведенные исследования каталитического аминирования ароматических соединений с использованием в качестве реагента солей гидросиламина показали, что существующие методы являются малоэффективными из-за низких выходов конечных продуктов реакции, хотя и являются весьма заманчивыми. Суммарный выход продуктов аминирования не превышал 10-12 % от теоретического, что ограничивает практическое применение этого направления. В приведенных работах в качестве катализаторов использовали  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ , соли меди.

В отличие от известных катализаторов, при использовании в качестве катализатора пентаоксида ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) реакция протекает намного

эфективнее. Причем молярное соотношениб суб-субстрат : катализатор – 1 : 0,04. Реакцию можно проводить в пределах 120 – 125 °С (не выше!). Уже при температуре 128 - 130 °С реакция становится неуправляемой. Очень резко возрастает температура вплоть до того, что закипает серная кислота. Это лишний раз подтверждает тот факт, что реакция прямого введения аминогруппы с использованием гидросиламина протекает по свободно-радикальному цепному механизму.

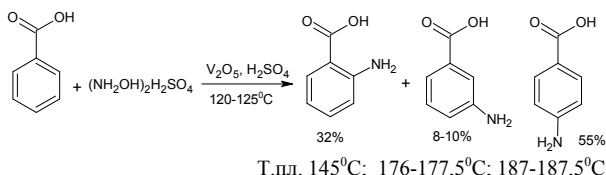
При растворении пентаоксида ванадия в концентрированной серной кислоте образуется светло-жёлтый раствор ванадилсульфата (IV):



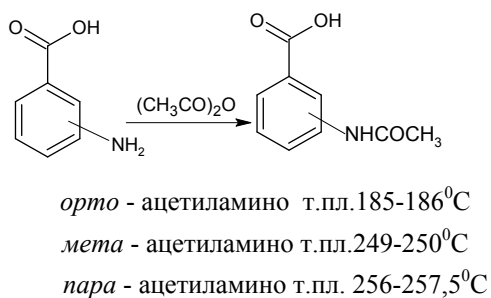
При добавлении к раствору гидросиламина, являющегося восстановителем, раствор приобретает светло-голубую окраску, характерную для радикала ·NH<sub>2</sub>.

Изучено взаимодействие бензойной кислоты и изомерных бензолдикарбоновых кислот с гидросиламинсульфатом в среде концентрированной серной кислоты в присутствии каталитических количеств пентаоксида ванадия. При этом для синтеза использовали хроматографически чистые соединения, отвечающие литературным данным.

Бензойная кислота в этих условиях образовывала смесь изомерных аминобензойных кислот:



При нагревании выделенной смеси аминобензойных кислот с уксусным ангидридом образуется смесь N-ацетиламинобензойных кислот, которую удалось разделить на хроматографической колонке с оксидом алюминия (вторая степень активности по Брокману) [12].

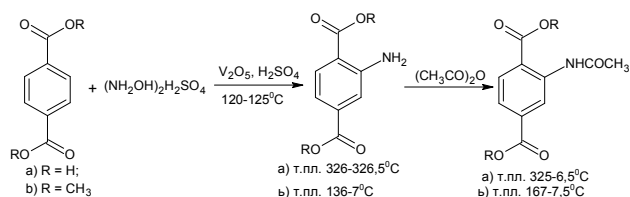


В аналогичные превращения и с высокими выходами продуктов аминирования вступает изофталева кислота. Однако, разделить полученную смесь аминов, ни продуктов их

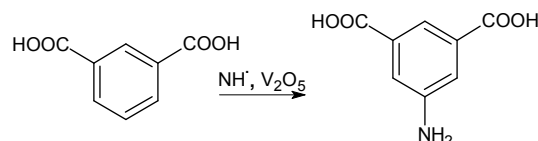
ацилирования, пока что не удалось. Хотя с помощью тонкослойной хроматографи на пластинках Silufol-254 обнаружено наличие трёх изомеров.

В аналогичных условиях при температуре 115 – 120 °С из 4-нитробензойной кислоты с хорошим выходом получена 4-нитроантраниловая кислота. Поскольку NO<sub>2</sub>-группа то согласно Полингу будет атаковать *мета*-положения.

Сравнительно гладко проходит аминирование терефталевои кислоты и её диметилового эфира, в которых имеется только один реакционный центр.



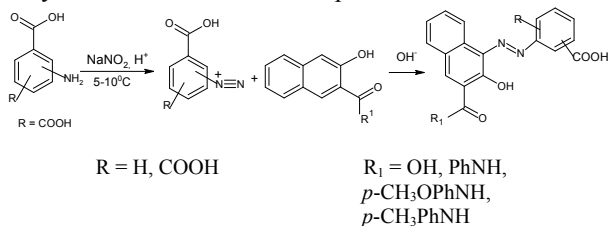
При использовании в качестве субстрата изофталевои кислоты (1,3-бензолдикарбоновои кислота) при взаимодействии NH<sub>2</sub>-радикалом, амино-группа будет ориентироваться в *мета*-положения.



В случае фталевои ангидрида или фталевои кислоты, в которой обе карбоксильные группы находятся рядом, они проявляют несогласованную ориентацию. Это означает, что если две одинаковые группы, как например, в нашем случае две карбоксильные группы расположены в *орто*- (фталевои кислота) или в *пара*-положении (терефталевои кислота), такие группы проявляют несогласованную ориентацию.

Первичные ароматические амины, как правило, определяют реакцией диазотирования, то есть, взаимодействием амина с раствором азотистой кислоты в слабосилой среде. Однако, среди продуктов реакции имеется небольшой избыток гидросиламина в конце реакции и значительный избыток вначале реакции. Поэтому часть нитрита натрия сначала расходуется на связывание гидросиламина, не вступившего в реакцию и только затем расходуется на реакцию диазотирования образовавшегося амина. В связи с этим, нельзя определить, где заканчивается реакция со свободным гидросиламином и где начинается реакция с образовавшимся амином. Диазокомпонента может количественно реагировать только с азокомпонентой, образуя азокраситель. В качестве азокомпоненты были выбраны β-оксинафтойная кислота (БОН-кислота), также некоторые азотолы, содержащие фенольный

гидроксил, и поэтому в реакции азосочетания вступают в слабощелочной среде.



Строение выделенных соединений подтверждено элементным анализом и данными ПМР-спектров <sup>1</sup>H, индивидуальность подтверждена тонкослойной и бумажной хроматографией.

**Синтез смеси аминокислот.** В трехгорлую колбу с механической мешалкой, обратным холодильником и контактным термометром в 25 мл (46 г) концентрированной серной кислоты загружают 6,1 г (0,05 моль) бензойной кислоты. К полученному раствору бензойной кислоты придают 5,75 г (0,070 моль) гидроксиламинсульфата и 0,080 г пентаоксид ванадия, растворенного в 2 мл концентрированной серной кислоты. Колбу с реакционной массой нагревают в масляной бане при размешивании до 120 - 125 °С (не выше!) и через каждые 30 минут отбирают кловную часть реакционной массы и определяют степень превращения исходного субстрата в виде суммы образующихся аминов. Пробу разбавляют водой, вносят несколько кристалликов бромида калия и диазотируют 0,01 н раствором нитрита натрия до слабого посинения йодкрахмальной бумажки. Избыток нитрита натрия удаляют придачей мочевины. Раствор полученной соли диазония нейтрализуют порошкообразным мелом и сочетают с 0,01н раствором 2,3-оксинафтойной кислоты или одного из азотолов. Конец реакции азосочетания определяют по вытекку с диазотированным п-нитроанилином. Аминирование продолжается 4-5 часов. После окончания выдержки реакционную массу охлаждают, разбавляют водой, фильтруют, промывают водой и сушат.

Получена смесь аминокислот с общим выходом 98,7 % (6,8 г). Состав смеси определен разделением на хроматографической колонке. При этом получено:

*o*-аминобензойная кислота (антралиловая кислота) – 36,5 %, T<sub>пл</sub>-145 °С;

*N*-ацетилантралиловая кислота – T<sub>пл</sub> – 185 °С;

*m*-аминобензойная кислота – 5,2 %, T<sub>пл</sub>- 174 °С;

*m*-*N*-ацетиламинобензойная кислота T<sub>пл</sub> – 249 °С;

*n*-Аминобензойная кислота – 58,0 %, T<sub>пл</sub>- 187 °С;

*n*-*N*-ацетиламинобензойная кислота T<sub>пл</sub> – 249 °С;

При температуре 110-115 °С процесс аминирования заканчивается за 5-7 часов практически с таким же выходом конечных продуктов.

**Синтез 2-амино-4-нитробензойной кислоты.** В трехгорлую колбу с механической мешалкой,

обратным холодильником и контактным термометром в 25 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> загружают 8,36 г (0,05 моля) п-нитробензойной кислоты, 5,75 г (0,070 моля) гидроксиламинсульфата и 0,080 г V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в 2 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Колбу с приготовленной реакционной массой помещают в предварительно нагретую масляную баню до 110 – 115 °С и при размешивании выдерживают в течении 3,5 - 4 часов. При этом через каждые полчаса отбирают пробу для количественного определения аминогруппы в продукте реакции.

После окончания реакции содержимое колбы охлаждают до комнатной температуры и выливают в стакан на 100 мл воды. На следующий день, выпавший осадок п-нитроантралиловой кислоты отфильтровывают и высушивают.

Получено 8,44 г (92,75%); T<sub>пл</sub>.-268-269°С (из АсОН).

**Синтез 2-аминотерефталевой кислоты.** В трехгорлую колбу с механической мешалкой, обратным холодильником и контактным термометром в 25 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> загружают 8,31 г (0,05 моля) терефталевой кислоты, 5,75 г (0,070 моля) гидроксиламинсульфата и 0,100 г V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в 2,5 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Колбу с приготовленной реакционной массой помещают в предварительно нагретую масляную баню до 120 °С и при размешивании выдерживают в течении 4,5 - 5 часов. При этом через каждые полчаса отбирают пробу для количественного определения аминогруппы в продукте реакции. После окончания реакции содержимое колбы охлаждают до комнатной температуры и выливают в стакан на 100 мл охлажденной воды. На следующий день, выпавший осадок 2-аминотерефталевой кислоты отфильтровывают и высушивают.

Получено 8,17 г (90,3%); T<sub>пл</sub>.-326-326,5°С (из АсОН).

**Синтез 5-аминоизофталевой кислоты.** В трехгорлую колбу с механической мешалкой, обратным холодильником и контактным термометром в 25 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> загружают 8,31 г (0,05 моля) изофталевой кислоты, 4,95 г (0,060 моля) гидроксиламинсульфата и 0,080 г V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в 2 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Приготовленную реакционную массу помещают в предварительно нагретую масляную баню до 115 – 120 °С и при размешивании выдерживают в течении 4 - 5 часов. При этом через каждые полчаса отбирают пробу для количественного определения аминогруппы в продукте реакции. После окончания реакции содержимое колбы охлаждают до комнатной температуры и выливают в стакан на 100 мл охлажденной воды. На следующий день, выпавший осадок 5-аминоизофталевой кислоты отфильтровывают и высушивают.

Получено 8,84 г (97,5%).

**Синтез смеси 3- и 4-фталевых кислот.** В трехгорлую колбу с механической мешалкой,

обратным холодильником и контактным термометром в 25 мл концентрированной  $H_2SO_4$  загружают 7,4 г (0,05 моля) фталевого ангидрида, 6,58 г (0,08 моля) гидроксилсульфата и 0,105 г  $V_2O_5$  в 2,5 мл концентрированной  $H_2SO_4$ . Приготовленную реакционную массу помещают в предварительно нагретую масляную баню до 120 – 125 °С (не выше!) и при размешивании выдерживают в течении 4,5 - 5 часов. При этом через каждые полчаса отбирают пробу для количественного определения аминогруппы в продукте реакции. После окончания реакции содержимое колбы охлаждают до комнатной температуры и выливают в стакан на 100 г толченого льда. На следующий день, выпавший осадок 3- и 4-смеси аминифталевых кислот отфильтровывают и высушивают.

Общий выход 8,54 г (94,5 %); 3-аминофталева кислота  $T_{пл.}$  - 225 °С (из  $AcOH$ ); 4-аминофталева кислота

**Выводы.** При изучении возможности прямого введения первичной аминогруппы в ядро ароматических кислот, содержащих одну или две карбоксильные группы в бензольном кольце, рассмотрено влияние металлов с переменной валентностью на механизм свободнорадикального аминирования бензольного ядра. При этом показано, что при наличии в бензольном кольце двух заместителей, место вхождения свободной аминогруппы зависит от полярности заместителей. Более электроотрицательный заместитель оказывает существенное влияние на место вхождения  $NH_2$ -группы.

Отработанна методика получения аминобензолкарбоновых кислот с высоким выходом продуктов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Иосида Дзэнъити. Прямое аминирование бензойной кислоты при помощи свободного аминорадикала / Иосида Дзэнъити, Мацумото Тосихико, Ода Рёхей // РЖХим. – 1963. - 13Ж149.
2. Seaman H., Taylor P.J., Waters W.A. // J. Chem. Sec.. – 1954. – P. 4690.
3. Coffma. D.D. / J. Am. Chem. Soc. – 1959. – V. 81, – P. 1489.
4. Иосида Дзэнъити. Влияние количества реагентов при прямом аминировании ядра бензойной кислоты / Иосида Дзэнъити, Мацумото Тосихико, Ода Рёхей // РЖХим. – 1965. - 1Ж185.
5. Davies D., Evans M.G., Higginson W.C.E. // J. Chem. Soc. – 1951. – P. 2563.
6. Kharasch M. New Metal Salt-Induced Homolytic Reactions. II. Modification of Free Radical Reactions by Copper Salts / Kharasch M.S., Fono A. // J. Org. Chem. – 1959. – V. 24(5). – P. 606.
7. Robinson G.W., McCarty M. // J. Chem. Phys. – 1958. – V. 28. – P. 349.
8. Foner S.N. et al. // Phys. Rev. Liirs. – 1958. – V. 1. – P. 9.
9. McConnel H.M. // J. Chem. Phys. – 1958. – V. 29. – P. 1422.
10. Keller R.N., Smith P.A.S. // J. Am. Chem. Soc. – 1944. – V. 66. – P. 1122.
11. Kovacic P., Bennet R.P. // J. Am. Chem. Soc. – 1961. – V. 83. – P. 211
12. Isak O.D. Хімія природних сполук / Isak O.D., Бальон Я.Г., Isak B.O. – Луганськ: Ноулідж, 2012. - С.26.

#### References

1. Iosida Dzjen'iti. Prjamoe aminirovanie benzojnoj kisloty pri pomoshhi svobodnogo aminoradikala / Iosida Dzjen'iti, Macumoto Tosihiko, Oda Rjohej // RZhHim. – 1963. - 13Zh149.
2. Seaman H., Taylor P.J., Waters W.A. // J. Chem. Sec.. – 1954. – P. 4690.
3. Coffma. D.D. / J. Am. Chem. Soc. – 1959. – V. 81, – P. 1489.
4. Iosida Dzjen'iti. Vliyanie kolichestva reagentov pri pryamom aminirovanii yadra benzojnoj kisloty / Iosida Dzjen'iti, Macumoto Tosihiko, Oda Rjohej // RZhHim. – 1965. - 1Zh185.
5. Davies D., Evans M.G., Higginson W.C.E. // J. Chem. Soc. – 1951. – P. 2563.
6. Kharasch M. New Metal Salt-Induced Homolytic Reactions. II. Modification of Free Radical Reactions by Copper Salts / Kharasch M.S., Fono A. // J. Org. Chem. – 1959. – V. 24(5). – P. 606.
7. Robinson G.W., McCarty M. // J. Chem. Phys. – 1958. – V. 28. – P. 349.
8. Foner S.N. et al. // Phys. Rev. Liirs. – 1958. – V. 1. – P. 9.
9. McConnel H.M. // J. Chem. Phys. – 1958. – V. 29. – P. 1422.
10. Keller R.N., Smith P.A.S. // J. Am. Chem. Soc. – 1944. – V. 66. – P. 1122.
11. Kovacic P., Bennet R.P. // J. Am. Chem. Soc. – 1961. – V. 83. – P. 211
12. Isak O.D. Himija prirodnih spoluk / Isak O.D., Ba-l'on Ja.G., Isak V.O. – Lugans'k: Noulidzh, 2012. - S.26.

**Кулігіна З.П., Ісак О.Д., Попов Є.В. Пряме введення аміногрупи в ароматичне ядро. IV. Взаємодія бензолкарбонових кислот з гідроксиламіном в кислому середовищі в присутності металів змінної валентності**

*Стаття присвячена прямому введенню первинної аміногрупи в бензольне кільце, що містить одну або кілька карбоксильних груп. Це виявилось можливим при використанні в якості амініуючого агента гідроксиламіна і проведення реакції в середовищі концентрованої сірчаної кислоти. В якості субстратів використані бензойна кислота, ізомерні бензолдікарбоніві кислоти, тримеллітова кислота та їх ефіри. Запропоновано механізм прямого введення аміногрупи з використанням гідроксиламіна в кислому середовищі в присутності металів змінної валентності. Вплив кількості реагентів при прямому амініванні ядра бензойної кислоти.*

**Ключові слова:** бензойна кислота, бензолдікарбоніві кислоти, тримеллітова кислота, гідроксиламін, амінівання, вільні радикали.

**Kulygina Z.P., Isak A.D., Popov Ye.V. Direct introduction of amino groups into the aromatic nucleus. IV. Interaction of benzene carbonic acids with hydroxylamine in an acid medium in the presence of metals of variable valency.**

*The article is devoted to the direct appending of a primary amino group into a benzene ring, which contains one or more carboxylic groups. In a series of experiments, it was*

found that the amination does not occur to the core in the presence of monovalent copper. This fact can be explained by assuming that monovalent copper binds free radicals of  $\cdot\text{NH}_2$  and that this particular radical is an attacking reagent. Researches of the catalytic amination of aromatic compounds with the use of hydroxylamine salts as a reagent showed that existing methods are ineffective because of the low yields of the final reaction products, although they are very attractive. The total yield of amination products did not exceed 10-12% from theoretical, which limits the practical application of this direction.  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ , and copper salts were used as catalysts.

We have developed a method for producing aminobenzenecarboxylic acids with a high yield of products when using vanadium pentoxide ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) as a catalyst. It was possible by using hydroxylamine as an amination agent and carrying out the reaction in concentrated sulfuric acid. Moreover, the molar ratio of substrate:catalyst is 1:0,04. The reaction can be carried out in the range of 120 - 125 °C (not higher!). Already at a temperature of 128 - 130 °C the reaction becomes uncontrollable. This once again confirms the fact that the reaction of direct introduction of the amino group with the use of hydroxylamine proceeds according to the free-radical chain mechanism. Benzoic acid, isomeric benzenedicarboxylic acids, trimellitic acid and their esters were used as substrates. The influence of metals with variable valency on the mechanism of free radical amination of a benzene core is considered. It was shown that in the presence of two substituents in the benzene ring, the occurrence of the free amino group depends on the polarity of the substituents. A

more electronegative substituent has a significant effect on the occurrence of the  $\text{NH}_2$  group. The more electronegative substituent has a significant effect on the occurrence of the  $\text{NH}_2$  group. It was offered a mechanism of direct appending of an amino group with the use of hydroxylamine in acidic medium in the presence of metals of variable valency.

**Keywords:** benzoic acid, benzenedicarboxylic acids, trimellitic acid, hydroxylamine, amination, free radicals.

**Кулигіна Зоя Павлівна** – асистент кафедри природничих та суспільно-гуманітарних дисциплін, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). [kulygina.zoya@gmail.com](mailto:kulygina.zoya@gmail.com)

**Ісак Олександр Дем'янович** – к.х.н., доцент кафедри природничих та суспільно-гуманітарних дисциплін, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). [Isak\\_ad@ukr.net](mailto:Isak_ad@ukr.net).

**Попов Євген Вадимович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри екології та технології полімерів. Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). [popov@iht.lg.ua](mailto:popov@iht.lg.ua)

Статья подана 30.10.2019 .



DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-57-61>

УДК 666.691.32

## ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ

Піддубний С.В., Білошицький М.В.

## APPLICATION OF PRODUCTION WASTE FOR THE MANUFACTURE OF ROAD CEMENT CONCRETE

Piddubnyi S.V., Biloshytskiy M.V.

*Проаналізовано науково-технічну інформацію про ефективність та перспективи застосування цементобетону в дорожньому будівництві. Отримані експериментальні результати, які підтверджують придатність шлакового щебеню з доменного відвального шлаку для використання його в якості заповнювача в дорожніх бетонах.*

**Ключові слова:** відвальний доменний шлак, цементобетон, дорожнє будівництво, відходи виробництва.

**Вступ.** У країнах Америки та Євросоюзу будівництво доріг з бетонним покриттям безперервно зростає, вони стають основним видом магістральних доріг.

У минулому столітті було побудовано чимало бетонних доріг, які представляли собою укладені на підготовлену основу збірні залізобетонні плити товщиною 20-25 см. При русі автомобілів такими дорогами внаслідок наявності стиків між плитами відбувалася вібрація та створювався чималий дискомфорт. Сучасні технології будівництва автомобільних доріг дозволяють зводити монолітне цементобетонне покриття.

Цементобетонне покриття дає техніко-економічні переваги при експлуатації доріг. Довговічність цементобетону в порівнянні з асфальтобетоном дозволяє скоротити витрати на утримання і ремонт доріг до мінімуму. Вважається, що через 8-10 років експлуатації загальні витрати на цементобетонні і асфальтобетонні дороги зрівнюються, а в подальшому цементобетонні стають все дешевше.

**Постановка проблеми.** Останнім часом в Україні почали будувати цементобетонні дороги. У квітні 2019 року в Україні відкрили для руху транспорту першу ділянку (1700 м) бетонної автодороги Н-31 Дніпро – Решетилівка, побудовану за сучасними технологіями. Вартість бетонної

дороги першої категорії складає 18-20 млн. гривень за 1 км. Якщо для виготовлення дорожнього бетону використовувати місцеві будівельні матеріали і відходи виробництва, вартість автомобільних доріг буде знижуватись. Використання доменного шлаку в якості крупного заповнювача в дорожніх бетонах дозволить знизити їх собівартість. Широке застосування в будівництві вторинних продуктів промисловості дає економічний і екологічний ефект, тому що при накопиченні відвальні шлаки забруднюють навколишнє середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Металургійні шлаки і шлаковий щебінь вже багато часу використовують для зведення підстилаючого шару при будівництві як цементобетонних, так і асфальтобетонних доріг. Шлаковий щебінь при укладанні і ущільненні не дробиться і зберігає рівність покриття при підвищених навантаженнях.

Відомо, що шлаковий щебінь з відвального доменного шлаку згідно [1] допускається використовувати в якості крупного заповнювача для бетонів. Шлаковий щебінь в районах зосередження металургійної промисловості обходиться значно дешевше інших наповнювачів, зокрема шлаковий щебінь в 1,5-2 рази дешевше природного і вимагає в 4,5 рази менше питомих капітальних вкладень [2].

Металургійна промисловість щорічно дає мільйони тон шлаків, а у відвалах їх вже накопичилося близько 100 млн. т. Це головним чином, доменні шлаки, а також мартенівські, ваграночні та ін. Так, при виплавці чавуну на кожну тону основної продукції отримують 0,5-1 т шлаку. За об'ємом шлаку виходить в 2-3 рази більше, ніж чавуну. З огляду на це, шлаки можна вважати не відходом виробництва, а попутно виробленим продуктом. Недостатнє використання металургійних шлаків призводить до подорожчання основної металургійної продукції за рахунок витрат на їх вивезення та утримання відвалів. Крім цього,

накопичуючись, відвальні шлаки забруднюють ґрунт, повітряний та водний басейни, негативно впливають на здоров'я людини [3].

Хімічний склад металургійних шлаків доволі різноманітний. Доменні шлаки складаються, в основному, з оксидів, а також містять домішки заліза, магнію, сірки і марганцю. Частково доменні шлаки використовують для виробництва різних видів шлакопортландцементу. Деяка їх частина застосовується для отримання шлаковати, литих виробів тощо. При цьому значний об'єм шлаків поточного виходу, і в першу чергу запаси відвальних шлаків можуть бути використані для отримання різних наповнювачів. Доменний шлак зі старих відвалів після дроблення і сортування можна використовувати в якості крупного заповнювача для цементного бетону.

Доменні і сталеплавильні шлаки за фізико-механічними характеристиками повністю відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-149:2008 і можуть бути використані для дорожнього будівництва в якості матеріалу для основи дорожнього одягу або входити до складу цементобетонної суміші при влаштуванні цементобетонної основи або покриттів.

Необхідно підкреслити, що бетони з заповнювачем з доменних шлаків відрізняються рядом переваг перед традиційними бетонами. Доменний шлак в складі портландцементного бетону виконує функцію активного заповнювача. Поверхневий шар шлаку реагує з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі аліту. В результаті реакції утворюється додаткова кількість гідросилікатів кальцію. Створюється надзвичайно міцний зв'язок заповнювача з цементною матрицею, і повністю зникають капілярні канали, які в результаті усадки цементного каменю утворюються між ним і поверхнею заповнювача [2]. Це призводить до підвищення корозійної стійкості бетону з активним заповнювачем в порівнянні з традиційними складами в більшості агресивних середовищ, навіть при кислотній хімічній агресії. Завдяки отриманій структурі і відсутності мікрозазорів на границі розділу в'язучої речовини і заповнювача, такі бетони володіють відмінними фізико-механічними характеристиками. Відомо, що міцність бетону залежить не тільки від механічних характеристик заповнювача і цементного каменю, але і визначається адгезією між ними [2].

Заміна у важких бетонах крупного заповнювача з щільних гірських порід шлаковим щебенем, отриманого подрібненням щільних металургійних шлаків, практично не знижує, а іноді кілька підвищує міцність бетону за рахунок їх більш розвиненої й активної поверхні. Недостатнє зчеплення цементного каменю з заповнювачами проявляється в зниженні міцності бетону, це призводить до того, що навіть при стиску цей матеріал часто руйнується від поперечного розтягу. При відсутності зчеплення цементного каменю з

заповнювачами останні практично не беруть участь в опорі дії навантаження.

Бетони на шлаковому щебені, як правило, мають більш високу міцність при розтягу і згині, ніж на гранітному. Щебінь становить 80-85% від загального об'єму бетону. Застосування такого заповнювача знижує процеси усадки і повзучості, підвищує щільність, міцність, тріщиностійкість, водонепроникність і морозостійкість конструкції. Саме цим зумовлене широке застосування бетонів на шлаковому заповнювачі в США, Японії та інших країнах [4].

В країнах пострадянського простору шлаковий заповнювач використовується порівняно рідко, тому є величезні резерви розширення виробництва бетонів на шлаковому заповнювачі. Утилізація відходів основного виробництва і отримання з них вторинних видів продукції таких, як шлаковий щебінь, дозволить значно зменшити зростання відвалів в районах розташування металургійних комбінатів.

Доменний шлак, що використовується в якості крупного заповнювача для важких бетонів, повинен задовольняти одній основній вимозі: не піддаватися розпаду. Тому придатність шлаку як заповнювача контролюється шляхом багаторазової обробки його в автоклаві і тривалого зберігання в насиченому розчині сірчанокислого натрію з періодичним зволоженням і висушуванням або петрографічним методом. Найбільш стійкими до розпаду є повільно охолоджені повністю закристалізовані кислі доменні шлаки. Стійкість основних доменних шлаків зростає при зниженні вмісту в них оксиду кальцію, сульфідів кальцію і марганцю, а також при дрібнокристалічній кристалізації в них мінералів. Вважається, що шлаки, витримані тривалий час у відвалах не мають ознак розпаду і їх можна вважати стійкими. Таким чином, одним з факторів стійкості шлаків є час зберігання у відвалах без ознак розпаду.

Сильно пористі шлаки в якості заповнювача бетонів не використовуються: середня щільність щебеню для важкого бетону згідно [1] повинна бути не менше  $1100 \text{ кг/м}^3$ . Міцність шлакового щебеню повинна забезпечувати можливість отримання бетону необхідної марки. Крім цього шлаковий щебінь повинен бути морозостійким, мати низьке водопоглинання і бути стійким до стирання.

Дорожній цементобетон – різновид важкого бетону, що працює в несприятливих умовах, і піддається не тільки дії транспортних засобів, але і атмосферних опадів, особливо багаторазово повторюваного зволоження і висушування, заморожування та відтавання. До них пред'являють підвищені вимоги за міцністю на згин, морозо- і зносостійкістю.

Для верхнього шару доріг 1 і 2 категорій мінімальний проектний клас бетону згідно з ДБН В.2.3-4:2015 повинен бути не нижче В35, мінімальний проектний клас бетону за міцністю на розтяг при згині  $V_{\text{бр}}4,4$  [5]. Стиранність дорожнього

бетону значною мірою пов'язана з його міцністю на стиск. Вважається, що бетон буде стійким до дії абразивних матеріалів при класі за міцністю не нижче В22,5.

Легкоукладальність шлакових бетонних сумішей залежить від водопотреби заповнювача. Зазвичай бетони на шлаковому щебені більш жорсткі і менш легкоукладні, ніж на гранітному. Для підвищення рухливості бетонної суміші рекомендується застосовувати різні пластифікуючі добавки.

Крім збільшення рухливості хімічні добавки такі як СДБ, ЛСТ, СНО, милонафт, асидол-милонафт, ГКЖ-94 [6] в бетонну суміш вводять для забезпечення необхідної міцності.

Морозостійкість бетону залежить від щільності цементного каменю, тобто від його диференціальної пористості і фазового складу. У розвитку технології бетону вирішальну роль зіграли сформовані в результаті численних досліджень і підтверджені практикою наукові основи модифікування бетонів добавками-модифікаторами цементних систем [7].

Для експериментальних досліджень бетону на щебені з відвального доменного шлаку була використана добавка «Релаксол». Добавка є комплексною, так як в її склад входять поверхнево-активні речовини і електроліт. Хімічна добавка в бетон «Релаксол» виробляється в місті Запоріжжя (ТОВ «Будіндустрія, ЛТД»).

Хімічні добавки для бетонів, що містять електроліт і ПАР, дозволяють забезпечити задані характеристики мікропорового простору цементного каменю, ущільнюють структуру бетону, сприяють зняттю внутрішніх напружень, внаслідок чого підвищуються міцнісні характеристики і довговічність бетону [8].

**Визначення мети.** Метою роботи є аналіз науково-технічної інформації та проведення експериментальних досліджень щодо перспектив та придатності застосування доменного відвального шлаку в якості крупного заповнювача для дорожніх цементобетонів.

**Завдання дослідження.** В ході експериментальних досліджень ставилися завдання:

– визначити характеристики міцності цементобетону на крупному заповнювачі з відвальних доменних шлаків з метою відповідності вимогам, що пред'являються до бетонів для доріг 1 та 2 категорій;

– провести випробування дорожнього бетону з різною кількістю цементу з метою визначення можливості отримання економічної ефективності від економії в'язучої речовини.

**Основна частина дослідження.** Шлаки в відвалах неоднорідні за складом і властивостями: в залежності від умов їх охолодження ступінь кристалізації різний, що впливає на підвищення градієнту пористості та міцності. Відсутність закономірності поведінки шлаків як сировини для виробництва будівельних матеріалів призводить до

необхідності дослідження кожного конкретного шлаку окремо. У роботі досліджено відвальні доменні шлаки ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф. Е. Дзержинського» (ДМК); ВАТ «Запоріжсталь»; ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» (ММК); ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» («АрселорМіттал»); ПАТ «АМК».

Хімічний склад доменних шлаків залежить від виду і властивостей залізних руд, якості коксу і виду виплавленого чавуну.

Попередня оцінка придатності доменного шлаку для виробництва щебеню проводиться за даними хімічного аналізу. Для повного вивчення властивостей шлаків проводять рентгенофазовий, електронно-мікроскопічний і гамма-спектрометричний аналіз, електронно-зондовий мікроаналіз і петрографічне дослідження.

Для визначення міцності дорожнього бетону на шлаковому щебені використовувався відвальний доменний шлак ПАТ «АМК». Усереднений хімічний склад доменного шлаку: Si – 0,71%; Mn – 0,16%; S<sub>зар</sub> – 1,51%; Ti – 0,97%; SiO<sub>2</sub> – 39,5%; CaO – 46,71%; MgO – 5,58%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 7,2%; MnO – 0,2%; FeO – 0,57%; TiO<sub>2</sub> – 0,97%. Модуль основності M<sub>о</sub>=1,08; коефіцієнт якості – 1,46; модуль активності M<sub>а</sub>=0,18.

Міцність шлакового щебеню фракції 10-20 мм визначали за методикою ДСТУ Б В.2.7-71-98 за втратою маси при роздавлюванні в циліндрі D75 мм. Втрата маси склала 11%, що відповідає марці за подрібнюваністю М800. Насипна щільність фракції 5-20 мм склала 1120 кг/м<sup>3</sup>. Втрата маси при визначенні стійкості проти силікатного розпаду за ДСТУ Б В.2.7-71-98 не перевищила 4%. Результати показали, що витриманий у відвалах доменний шлак ПАТ «АМК» має стабільну структуру і може використовуватися для виробництва важкого бетону.

Для вивчення властивостей бетону на шлаковому щебені в лабораторних умовах були виготовлені зразки кубічної форми з розміром ребра 10 і 15 см з різною кількістю цементу. Для приготування бетонної суміші використовували: цемент ПЦІ-500-Н ДСТУ Б В. 2.7-46:2010; пісок кварцовий фракціонований з M<sub>кр</sub> = 2,2. Хімічну добавку «Релаксол» вводили в бетонну суміш при її приготуванні з водою замішування в кількості 1,0-1,5% від маси цементу. Зразки №1, №2, №3 виготовили з бетону на гранітному щебені М 1000, зразки №4, №5, №6 на шлаковому щебені з відвалів ПАТ «АМК» фракції 5-20 мм.

Результати випробувань бетонних зразків в 28-добовому віці на осьовий стиск і розтяг при розколіванні представлені в табл.

Отримані результати експерименту показали, що бетон на шлаковому щебені за міцнісними характеристиками відповідає вимогам, що пред'являються до дорожнього бетону для доріг 1 і 2 категорій. Границя міцності на стиск бетону на

шлаковому щебені і гранітному істотно не відрізня-  
відрізнявся. Зразки бетону на шлаковому щебені,  
показали більш високу границю міцності при  
розтягу, що дає можливість скоротити витрату  
цементу для отримання додаткового економічного  
ефекту. Звичайно, щоб повною мірою вивчити і  
зрозуміти роботу бетону на шлаковому щебені,  
недостатньо отриманих даних. В даний час  
дослідження тривають. Розроблено програму з  
подальшого вивчення експлуатаційних  
характеристик дорожніх цементобетонів на  
шлаковому щебені.

Таблиця

**Результати випробувань бетонних зразків**

№ складу	Кількість цементу на 1м <sup>3</sup> , кг	ОК, см	Границя міцність в 28-добовому віці	
			Осьовий стиск, МПа	Розтяг при розколюванні, МПа
1	490	2-4	50.7	6,6
2	440	2-4	47.8	6,1
3	390	2-4	44.7	5,5
4	490	2-4	50.5	6,9
5	440	2-4	47.5	6,4
6	390	2-4	45.5	5,9

**Висновок.** Результати експериментальних досліджень показали, що бетон на шлаковому щебені за міцнісними характеристиками відповідає вимогам, що пред'являються до дорожнього бетону для доріг 1 і 2 категорій.

Експериментально показано, що при використанні відвальних доменних шлаків в якості крупного заповнювача для отримання економічного ефекту можливо скоротити витрату цементу завдяки підвищенню міцності при розтягу на 0,3 МПа.

Теоретично і експериментально обґрунтовано, що використання відвальних доменних шлаків, зокрема в дорожньому будівництві, дозволяє вирішити такі актуальні проблеми, як забезпечення економії природних сировинних ресурсів, поліпшення екологічного стану промислових регіонів, підвищення ефективності виробництва, скорочення земельних угідь, відведених під відвали.

Запропоновані бетони, в яких в якості крупного заповнювача використані доменні відвальні шлаки, що мають широку область застосування і відрізняються меншою витратою в'язучої речовини, в той же час володіють високими експлуатаційними характеристиками. Їх широке застосування сприяє масовому використанню в будівництві вторинних продуктів промисловості, що дає економічний і екологічний ефект.

**Література**

1. ДСТУ Б В.2.7-149:2008. Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови. [Чинний від

01.05.2009]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 16 с.  
2. Шлакопортландцемент: вяжущие на основе шлаков. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://znaytovar.ru/gost/2/SHlakoportlandcementvyazhushh.html/> (дата обращения: 05.11.2019).  
3. Рекус И.Г. Основы экологии и рационального природопользования/ И.Г. Рекус, О.С. Шорина. – М.: Изд-во МГУП, 2001. – 146 с.  
4. Перспективы развития цементобетона для дорожного строительства: Сб. науч. тр. – Москва: МАДИ, 2012.  
5. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. – 92 с.  
6. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008. Руководство по применению химических добавок в бетонах и строительных растворах [Чинний від 01.05.2010]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України 2008. – 31 с.  
7. Добавки в бетон: Справ. Пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др.; Под. ред. А.С. Рамачандран; Пер. с англ. Т.И. Розенберг, С.А. Болдырева; Под. ред. А. С. Болдырева и В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.: ил.  
8. Ратинов В. Б., Розенберг Т.И., Кучеряева Г.Д. Рациональные области применения в бетоне комплексных добавок, содержащих электролиты // Применение химических добавок в технологии бетона / МДНТП. – М., 1980. – С. 57-60.

**References**

1. DSTU B V.2.7-149:2008. Budivel'ni materialy. Shchebin' i shchebenevo-pishchani sumishi iz shlakiv metalurgiyних dlya dorozhnikh robіt. Tekhnichni umovi. [Chinniy vid 01.05.2009]. Vid. ofits. Kiiv: Minregionbud Ukraini, 2009. – 16 s.  
2. Shlakoportlandtsement: vyazhushchie na osnove shlakov. [Elektronnyy resurs] // Rezhim dostupa: <https://znaytovar.ru/gost/2/SHlakoportlandcementvyazhushh.html/> (data obrashcheniya: 05.11.2019).  
3. Rekus I.G. Osnovy ekologii i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya/ I.G. Rekus, O.S. Shorina. – M.: Izd-vo MGUP, 2001. – 146 s.  
4. Perspektivy razvitiya tsementobetona dlya dorozhnogo stroitel'stva: Sb. nauch. tr. – Moskva: MADI, 2012.  
5. DBN V.2.3-4:2015. Avtomobil'ni dorogi. Chastina I. Proektuvannya. Chastina II. Budivnitstvo. [Chinniy vid 2016-04-01]. Vid. ofits. Kiiv: Minregionbud Ukraini, 2007. – 92 s.  
6. DSTU-N B V.2.7-175:2008. Rukovodstvo po primeneniyu khimicheskikh dobavok v betonakh i stroitel'nykh rastvorakh [Chinniy vid 01.05.2010]. Vid. ofits. Kiiv: Minregionbud Ukraini 2008. – 31 s.  
7. Dobavki v beton: Sprav. Posobie / V.S. Ramachandran, R.F. Fel'dman, M. Kolleparди i dr.; Pod. red. A.S. Ramachandran; Per. s angl. T.I. Rozenberg, S.A. Boldyreva; Pod. red. A. S. Boldyreva i V.B. Ratіnova. – M.: Stroyizdat, 1988. – 575 s.: il.  
8. Ratіnov V. B., Rozenberg T.I., Kucheryaeva G.D. Ratsional'nye oblasti primeneniya v betone kompleksnykh dobavok, soderzhashchikh elektrolity // Prіmeneniye khimicheskikh dobavok v tekhnologii betona / MDNTP. – M., 1980. – S. 57-60.

**Поддубный С.В., Белошицкий Н.В. Применение отходов производства для изготовления дорожного цементобетона**

*Проанализирована научно-техническая информация о эффективности и перспективах применения цементобетона в дорожном строительстве. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие пригодность шлакового щебня из доменного отвального шлака для использования его в качестве заполнителя в дорожных бетонах.*

**Ключевые слова:** отвальный доменный шлак, цементобетон, дорожное строительство, отходы производства.

**Piddubnyi S., Biloshytskiy M. Application of production waste for the manufacture of road cement concrete**

*The scientific and technical information on prospects and efficiency of concrete application on broken natural stone from blast-furnace waste slag in the road construction is analyzed.*

*The aim of the work is to conduct experimental researches and analysis of scientific and technical information on the prospects and possibilities of using blast-furnace waste slag as an aggregate in road concretes. During the experimental studies to determine the strength characteristics of cement concrete on blast-furnace coarse aggregate in order to conformance to requirements for paving concrete for the roads of the 1st and 2nd categories. The researches of waste slug were carried out in areas where metallurgical plants are located in the central and eastern parts of Ukraine.*

*To study the properties of concrete on slag crushed stone in laboratory conditions, concrete samples with different amounts of cement were tested for axial compression and tension. The results of experimental researches have shown that the concrete on slag crushed stone from the blast-furnace*

*waste slag on strength characteristics conformances to requirements for paving concrete for the roads of the 1st and 2nd categories.*

*It has been experimentally shown that when using blast-furnace waste slag as a coarse aggregate to obtain economic effect, it is possible to reduce the cement consumption.*

*The use of the blast-furnace waste slag in particular in road construction allows to solve such urgent problems as ensuring the economy of natural raw materials, improving the ecology of industrial regions, increasing production efficiency, reducing land allocated for dumps.*

*The proposed concretes on a coarse aggregate of blast-furnace waste slag have a wide range of applications, are characterized by a lower consumption of bonding material, and at the same time have high performance characteristics. Their widespread use contributes to the mass use in the construction of secondary industrial products, gives an economic and environmental effect.*

**Keywords:** blast furnace slag, cement concrete, road construction, production waste.

**Піддубний С.В.** – ст. викладач кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, E-mail: [poddubniys25@gmail.com](mailto:poddubniys25@gmail.com)

**Білошицький М.В.** – к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, E-mail: [beloshitskiy@ukr.net](mailto:beloshitskiy@ukr.net)

Стаття подана 01.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-62-69>

UDC 661.7:66.097

## INFLUENCE OF CATALYTIC MASS CONTENT IN CATALYTIC COMBUSTION OF ISOPROPYL ALCOHOL USING AEROSOL NANOCATALYSIS TECHNOLOGY

Philips Tobenna C., Kudryavtsev S.A., Glikina I.M., Korol D.R.

## ВИВЧЕННЯ КАТАЛІТИЧНОГО ПРОЦЕСУ СПАЛЮВАННЯ ІЗОПРОПІЛОВОГО СПИРТУ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЇ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ

Philips Tobenna C., Кудрявцев С.О., Глікiна І.М., Король Д.Р.

*This paper studies the effect of catalytic combustion of isopropyl alcohol according to the principles of aerosol nanocatalysis technology on a vibrating fluidized bed reactor. using a metal oxide catalyst in the form of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> The prospects of using isopropyl alcohol as feedstock for catalytic heat generators were considered. The availability of isopropyl alcohol and possible methods for its production were also analyzed. A comparative analysis of the efficiency of aerosol nanocatalysis and heterogeneous catalysis in relation to the processes of deep oxidation of alcohols is carried out. The methodology of experimental studies of oxidation processes using isopropanol as feedstock and using an aerosol nanocatalysis reactor with a vibration layer of the catalytic system was worked out. Catalytic reactions under aerosol nanocatalysis technology eliminate the need for catalytic supports, while implementing in situ a continuous mechanical and chemical activation (MCA) of the catalyst surface by the mobile inert material. The effect of catalytic mass concentration in the reactor was analyzed to ascertain the best mass content of catalyst needed to achieve complete high % volume content of CO<sub>2</sub> in the combustion gases product. This study revealed that under this technology, complete combustion can be achieved at a catalytic mass content of 0.0002 grams and 0.0004 grams, as results of the experiment showed that there needs to be a full saturation of the inert material with the catalytic component, for the combustion reaction to be favorable towards CO<sub>2</sub> generation. This experiment was conducted by varying the amount of catalytic content being introduced into the reactor, by altering the mass of the catalyst from 0.0001 grams - 0.0005 grams, while using a temperature of 400°C and MCA frequency of 3Hz, the MCA frequency of 3Hz provides the reactant the opportunity to fully interact with the pores of the catalytic surface under mild reactor bed vibrations while under the impact of atmospheric pressure. Prospects for the development of industrial technology based on experimental studies were considered.*

**Key words:** mechanical and chemical activation, combustion, in-situ, vibrating fluidized bed reactor, inert material

**1. Introduction.** As a result for concerns that have risen due to toxic gas emissions into the environment, combustion engine technology have seen a surge in research, this is due to the pressure by environmental

agencies on researchers to find ways to combat the detrimental effects that appear when fuels are not combusted properly[1]. There has been an increase in the enactment of severe regulations that pertain to emissions from industries, countries situated in Europe and United States have been forerunners in this aspect. This has made research in this field imperative, as it is very important that fuel economy needs to be improved [2]. It is now very common to find out combustor engine research that is focused on eliminating or decreasing toxic and dangerous emissions have been on a steady incline as seen in the Institute of Combustion engines and Control engineering.

Alcohols in recent times have been used as fuels for combustion engines in place of fossil fuels and natural gas, because they are oxygenated compounds. Aliphatic alcohols in the form of methanol, ethanol, propanol and butanol have obtained a lot of attention as forms of fuel due to their ability to be synthesized chemically and biologically, and this gives them the advantage of being able to be used in internal combustion engines. Alcohols have a general chemical formula C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>OH. However most researches have focused on using ethanol as a result of its extremely high octane number, but it comes with its caveat which is low density, and other negative parameters, that have made it not to be an ideal replacement for diesel fuel in combustion engines. [3]

Methanol on the other hand has also been used as fuel, but it poses a serious challenge due to its tendency to have vapor locks in power supply systems at elevated temperatures; the need to develop a complex homogeneous mixing system in cylinders; its difficulty to readily ignite a cold engine and its high wear and tear which in turn reduces engine life [4]

Based on observed literature, there has been little to no research on the use of isopropyl alcohol as a fuel, therefore this paper is focused on understanding the feasibility on the usage of isopropyl alcohol as a fuel for

catalytic combustion that proceeds completely to produce CO<sub>2</sub> and water.

Catalytic combustion has been ushered as a viable option to mitigate and reduce not only NO<sub>x</sub> emissions that arise from high temperature but other VOC's (Volatile Organic Compounds) in the form of UHC (unburned hydrocarbons), CO<sub>2</sub>, CO, prompt NO<sub>x</sub>, and thermal NO<sub>x</sub>. These harmful emissions were synonymous with earlier combustion processes called "thermal or flame combustion" in which combustion processes were executed at high temperature [5]. Catalytic combustion involves using a catalyst to speed up the reaction process at a relatively low temperature, so as to obtain better by products and a more efficient economy.

It has been well noted that catalyst used in conventional combustion processes are usually in the form of noble metals: platinum (Pt), palladium (Pd), metal oxides or a mixture of both. The noble metal catalyst are very expensive, prone to sintering at elevated temperatures of 800°C or above, while also requiring catalytic supports in the form of silica gel, gamma alumina or alumina oxide. The role the support plays is to provide a platform for the catalyst to attach to, in order to provide porosity (micro) and sustainable structural characteristics. However these supports have a prominent drawback which is that they are highly hygroscopic [6]. In addition, most of the catalytic combustors used in the industry employ fluidized bed or adopt a water shirt that strongly cools the catalyst in the combustion zone, as a result there is a surge in emission of CO,NO<sub>x</sub>, when unlocking any of the sections of the shirt, as the temperature increases steeply[7].

The technology of aerosol nanocatalysis is based on a vibrating fluidized bed which is comprised of a reactor operating in a vibrating mode with its reactor bed pseudofluidized in nature. The catalytic component placed in the reactor experiences in situ by exerted mechanical chemical activation. This produces a constant pulverizing of the catalytic particles to nanoscale and this creates a sustained high activity over an indefinite duration of time. [8]. Due to the ability to control the reaction process, by altering the speed of the reaction, chemical transformations can be tailored for each reaction specification and this can be achieved by regulating the frequency Hz of the mechanical chemical activation, so as to attain the desired reaction. Technically this provides the opportunity to increase selectivity for target reactions by influencing the forced interactions at a nanoscale [9]. Researchers in the earlier years were able to study aerosol nanocatalysis and model the process mathematically, this enabled them to understand how to optimize the reaction processes, in order to create a control system that is operated automatically [10,11]. The quintessential nature of aerosol nanocatalysis is the absence of a support. The catalytic system comprises of glass beads which acts as a dispersing material, this initiates the mechanical chemical activation of the catalyst particle that is contained in the reactor. The catalyst particles are 200

microns initially in size, however under the influence of mechanical chemical activation, during reactions the size is 8-100 nm. The non existence of a catalytic support creates high activity on the surface of the catalyst that is 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> higher than in catalyst that require supports. Factors which make aerosol nanocatalysis technology advantageous and contribute to its high catalytic activity are [12]:

- Catalytic concentration applied is less than what is applied in the industries, as the concentration is 1g/m<sup>3</sup> of the reactor volume.
- The small amount of catalyst used; regeneration processes can be periodically excluded or avoided thereby reducing cost.
- There can be the avoidance of the use of steam, since the catalyst does not use supports, thereby reaction products will not clog on to the catalyst.
- In-situ mechanical chemical activation which generate high activity.
- The catalytic component can be applied for longer duration of time in comparison to the catalyst used in industries; i.e. high stability

For this reason the catalytic concentration commonly used in aerosol nanocatalysis technology is predominantly 0.0001gm, and this was applied in the combustion of isopropyl alcohol and results obtained were encouraging, however it was necessary to study the effect of increasing the catalytic content mass(grams) to ascertain if increasing the catalytic content leads to improved combustion processes (complete combustion). Therefore the catalytic concentration in this research was varied from 0.0001 gm to 0.0005 gm, and experiments were conducted at a constant mechanical chemical activation frequency and temperature to ascertain the best catalytic concentration to achieve complete combustion to CO<sub>2</sub>. Experiments were also conducted on the inert material (without catalyst concentration) which is the glass beads, this was done to create an understanding on how catalyst concentration on the glass beads (inert material) affects combustion processes, this was done on a definite mechanical chemical activation frequency, but also on various temperature ranges. This study will broaden the horizon on the role catalyst concentration plays.

**2. Objective.** To study the catalytic effect on the combustion of isopropyl alcohol under the conditions of aerosol nanocatalysis technology. This will allow you to determine the required concentration of catalyst aerosol for the process of burning alcohol in order to establish the optimal mode of the process industrial conditions.

**3. Materials and methods.** The experiment was necessary, as it enables the obtaining of data that indicates the degree of conversion of fuel, which was taken as isopropyl alcohol, as well as the presence of harmful substances in the composition of combustion gases.

The catalyst used in this research is Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, which is a metal oxide catalyst and this is a deviation from the norm that is commonly practiced in the industries, this catalyst was chosen, as it is cheaper and easily

attainable. Although the use of single metal oxides in catalytic combustion has been researched by [13]. Most metal oxides are prone to sintering at temperatures above 1000°C and need materials made of wash coat to support them in order to maintain good dispersion. Wash coat materials include silica, alumina, zirconia and all these wash coats are known to be ineffective at temperatures above 1000°C.

Common metal oxides are currently used as supports and these are iron oxide  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , silica oxide  $\text{SiO}_2$ , titania  $\text{TiO}_2$ , ceria  $\text{CeO}_2$  and alumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Although these oxide's pore surface area are known to vary depending on their method of preparation. For commercial benefits, it is essential that these metal oxides have a high surface area ( $>100\text{m}^2/\text{g}$ ) and are highly porous, so as to take advantage of the expensive active metals that will be dispersed on them [14].

The essence of these metal oxides is that they can act as Lewis acid sites, thereby affecting the conversion and selectivity process by accepting electrons in pairs. By accepting electron pairs they can invariably affect the conversion and selectivity, and this is how they act as Lewis acid.

Alumina and iron oxide are strong Lewis acids because they have  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions in their structure as a result reveal a strong affinity to oxidize substrates that have a preference for increased activity rather than selectivity.

Magnesium Oxide which is a member of alkaline earth metal can also be used as a support and this was shown to be compatible with platinum, as platinum had an inclination to form small metals [15]. These metal oxides apart from providing support for catalysts, also provide the lattice oxygen that enables combustion while gaseous oxygen from the air introduced via the combustor replenishes the vacancy created in the absence of basic conditions [14]. Lewis acid sites and lattice oxygen are the main components when it comes to combustion of alcohol and this elucidates the difference in activity among various metal oxides [16].

However since the technology of aerosol nanocatalysis offers the opportunity to carry out reactions without the presence of supports, metal oxide catalyst ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) was chosen.

The reactor is made of heat-resistant material, capable of withstanding vibrational oscillations, as well as temperature fluctuations of 400 °C or higher. Also, the reactor has a grid inside which does not allow the catalyst to fall out of the reaction zone; a metal pocket for thermocouple to control temperature fluctuation; the thermocouple is insulated. All tubes for supply of raw materials and combustion products are tight. Rotameter and dispenser are calibrated. The laboratory installation is designed to conduct combustion reactions. The experiment is conducted by introducing isopropyl alcohol via (7) to the reactor (1), while air is also introduced to (1) simultaneously via the aid of (5), the electric heater (2) provides the heat and high temperature for the reaction to take place, this high temperature is measured via the thermocouple(3) that is

attached to the reactor (1). The combustion gases are collected via (8) through the help of rubber pipes that are connected to plastic bottles that contain water which enables the trapping of the gases.

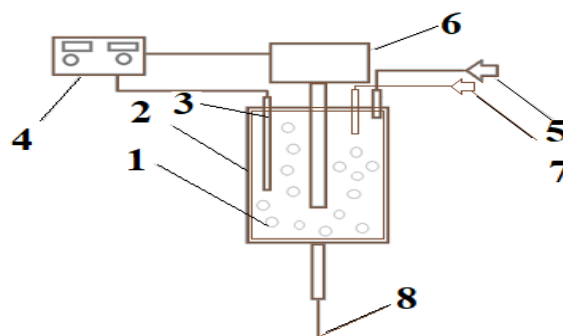


Fig. 1. Schematic representation of the laboratory setup:  
1 – reactor with inert material and catalyst inside,  
2 – electric heater, 3 – thermocouple pocket 4 – control unit,  
5 – line of air supply using a compressor, 6 – magnetic vibration device, 7 – line of supply of isopropyl alcohol using a dispenser, 8 – line for the removal of gases of oxidation

But before the procession of the above experiment, the catalytic component should be pre-adsorbed onto the surface of the dispersing material. The procedure is carried out as follows, for the experiment a certain amount of dispersing material (in laboratory experiments, a glass bead in the dimension range of diameter 1.0-1.2mm) which occupies 50% of the reactor volume. The dispersing material is loaded into a glass flask in an amount that is more than necessary. Catalyst powder was weighed on an analytical balance to the nearest 0.0001gm in an amount that was excess, and this exceeds the adsorption capacity of the dispersing material. This excess catalyst powder is introduced into the glass flask. The flask was covered and shook vigorously at room temperature for 10-15mins. The catalyst and the dispersing material are loaded into the vibrating reactor (1), after the shaking process, the reactor is operated at a vibration frequency using (6) to enable the total dispersion and heating of the catalyst on the dispersing material via the vibration of the reactor. Subsequently the catalytic system (catalyst + dispersing material) is unloaded into a flask and later into a sieve in order to separate the catalyst which was not adsorbed. The separated catalyst is weighed on an analytical balance. If there is a differentiation in mass between the initial amount of catalytic system before introduction into the reactor and after unloading from the reactor, a new measured catalyst is added to the catalytic system and then shook vigorously and later re-loaded into the reactor, which is allowed to vibrate on a non-definite MCA (mechanical chemical activation) frequency for 1 hour. This procedure is repeated until there is no change in mass from the unloaded catalytic component (dispersing material and catalyst) after heating in the reactor, in comparison with the previously weighed catalytic system (dispersing material and catalyst) after shaking in a flask.



Owing to the goal of this research, the catalytic mass content was varied in mass from 0.0001 gm, 0.0002gm, 0.0003gm, 0.0004gm and 0.0005gm. Each time the catalytic content was increased, the whole above procedure was repeated ; following that, is the introduction of the various masses of catalytic content in the form of 0.0002gm,0.0003gm,0.0004gm and 0.0005gm periodically (after satisfactorily conducting experiments on each individual catalytic mass content).

*Method of Determining Products*

Determination of products from combustion reactions

The determination of concentration of hydrogen, oxygen, CO, CO<sub>2</sub>, and methane in gas products from laboratory and pilot plants for the disposal of industrial waste, was done by LHM-8 (Laboratory Chromatography 8)

Measuring range of concentrations: 1) Hydrogen - 0.01-7 % Volume; 2) Oxygen - 0.05-20.95 % Volume; 3) CO - 0.02-25 % Volume; 4) CO<sub>2</sub> - 0.01-10 % Volume; Methane - 0.01-30 % Volume.

Relative total measurement error for each component does not exceed 15%.

Measuring component of H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> and methane in the gas products is founded on direct chromatography by the determination on a chromatograph with a thermal conductivity detector. Separation is conducted on a chemical modification of active coal (SKT fraction) 0.25-0.5 mm.

During the performance of measurement in laboratory there should be the observance of the following conditions: 1) Temperature of air 20±5°C; 2) Moisture of air Not more than 80% during temperature 25°C; 3) Line voltage 220±10V.

Chromatography parameters: Temperature of thermostat 130°C; Temperature of column 150°C; Bridge 100 current; Output of gas-in relation with N<sub>2</sub>, 30 cm<sup>3</sup>/min; Volume of sample 1-2 cm<sup>3</sup>; Speed of chart 600 mm/hr; Ratio of signal/noise, not less 10:1.

For calibration of device use standard artificial mixture, that is fed to the chromatograph with the aid of gas tap dispatcher.

Calibration coefficient for H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO is calculated by the formula

$$K_1 = \frac{C}{h \cdot m}$$

Calibration coefficient for methane and CO<sub>2</sub> K<sub>2</sub> is calculated by

$$K_2 = \frac{C}{h \cdot b \cdot m}$$

where C - concentration of substance in artificial mixture, mg/dm<sup>3</sup>

h - height of chromatograph peak, mm

b - width of chromatograph peak on medium height, mm

m - scale factor

Calibration coefficient is determined for each analyzed substance in redistribution required for significant concentration.

Calibration of device is conducted at least 1 time in 2 months, in redistribution required for significant concentration.

Processing of measurement results

Concentration of H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO is calculated by the formula

$$C_1 = h \cdot m \cdot K_1$$

Concentration of methane and CO<sub>2</sub> is calculated by the formula

$$C_2 = h \cdot b \cdot m \cdot K_2$$

where h - height of the peak, mm

b - width of the peak not medium height, mm

m - scale factor

K<sub>1, 2</sub> - coefficient of analyzed substance according to claim 9.4. [17, 18]

Control of accuracy of results of measurement.

Control of convergence of the output signals of the chromatograph, control of the parameters is always in relationship with the output signals of chromatograph during three input samples. Control is carried out during calibration; during periodic control calibration coefficient, and also during measurement

Result control recognized as positive when condition is met.

$$K_1 = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S} \cdot 100 \leq 12$$

where S<sub>max</sub> – maximum square chromatograph peak, mm<sup>2</sup>

S<sub>min</sub> – minimum square chromatograph peak, mm<sup>2</sup>

S – average arithmetic value square peak, mm<sup>2</sup>

If obtained value is > 12%, then it is necessary to check parameter analysis correctly, good condition of chromatograph.

$$K_1 = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H} \cdot 100 \leq 12$$

where H<sub>max</sub> – maximum height chromatography peak, mm

H<sub>min</sub> – minimum height chromatography peak, mm

H – average arithmetic value height peak, mm

If obtained value >12%, it is necessary to check good condition of analysis parameter.

**4. Results and discussion.** The table 1 reveals data as obtained from chromatography results, shows the % changes in the amount of gases obtained from combustion of isopropyl alcohol based on changes in

mass of catalyst used in the reaction process. The temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and frequency (Hz) were held constant, as this enables us to understand the importance of alterations in catalyst mass. Several experiments were carried out, and the average results were compiled in order to interpolate the data used in constructing the graph below in figure 2. It can be concluded that with a mass of free catalyst at 0.0002 gm and 0.0004 gm, the highest content of  $\text{CO}_2$  in the oxidation products is observed. This shows that although catalytic combustion reactions using technology of aerosol nanocatalysis is possible using a catalytic mass of 0.0001gm, better combustion reactions that lead to more production of  $\text{CO}_2$ , will require the catalytic component be increased, so as to maximize this reaction.

Table 1  
Data of studies with variation in volume of catalyst  
(frequency 3 Hz, temperature  $400^{\circ}\text{C}$ ,  
 $\text{CO}$  in the reaction products is absent)

Num.	Gm	Time of the experiment, sec.	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{O}_2$
1	0.0001	10	7.52	0.03	0.1	10.05
2	0.0001	20	6.99	0.03	0.12	11.84
3	0.0001	30	6.21	0.015	0.07	14.37
4	0.0001	40	5.68	0.015	0.09	15.37
5	0.0002	10	8.54	0.03	0.3	5.88
6	0.0002	20	9.32	0.06	0.41	5.46
7	0.0002	30	9.39	0.06	0.41	3.57
8	0.0002	40	9.1	0.045	0.38	5.3
9	0.0003	10	4.2	-	0.02	16.37
10	0.0003	20	3.18	-	-	18.69
11	0.0003	30	3.03	-	-	18.95
12	0.0003	40	2.96	-	-	19.27
13	0.0004	10	9.88	0.045	0.26	4.2
14	0.0004	20	9.39	0.06	0.37	5.88
15	0.0004	30	9.88	0.06	0.35	4.09
16	0.0004	40	9.95	0.06	0.31	3.52
17	0.0005	10	1.2	-	-	20.69
18	0.0005	20	1.27	-	-	20.49
19	0.0005	30	0.99	-	-	20.99
20	0.0005	40	1.02	-	-	20.79

The table 2 shows that although combustion reactions took place, the % volume of  $\text{CO}_2$  gas

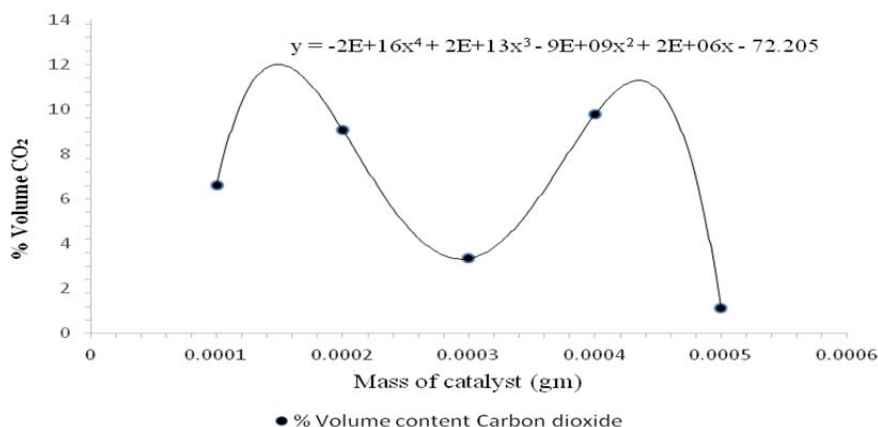


Fig. 2. Changes in the %composition of  $\text{CO}_2$  gas from changes in the amount of catalyst in the reaction zone

contained was relatively minute in comparison with the inert material combined with catalyst, the frequency of vibration was kept constant, while the temperature was varied.

Table 2

Data of combustion reactions in the presence  
of inert material (glass beads) in the reactor  
(frequency 3 Hz,  $\text{CO}$  in the reaction products is absent)

Num	Temperature, $^{\circ}\text{C}$	Time of the experiment, sec.	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{O}_2$
1	400	10	0.75	21.53	2.41
2	400	20	0.69	21.58	2.42
3	400	30	0.59	21.47	2.43
4	440	10	1.01	21.29	2.51
5	440	20	1.34	21.58	2.52
6	440	30	0.89	21.48	2.53
7	480	10	1.19	21.58	2.61
8	480	20	1.08	21.37	2.62
9	480	30	1.16	21.69	2.63
10	520	10	1.23	21.67	2.71
11	520	20	0.97	21.51	2.72

From the above results, it can be inferred that combustion reactions will always take place, when there is high temperature, and significant vibration of the vibrofluidized reactor bed containing the inert materials under the technology of aerosol of nanocatalysis, but the combustion reactions leads to infinitesimal % volume of  $\text{CO}_2$  produced, thus for combustion reactions to be maximized, it is imperative to add a catalytic content to the inert material, that way the efficiency of the reaction can be attained. However at a high temperature of  $520^{\circ}\text{C}$ , the highest % volume of  $\text{CO}_2$  was seen, while the lowest was observed at  $400^{\circ}\text{C}$ . This result substantiates the theory of combustion reactions under "flame technology" where combustion reactions were only possible at very high temperatures in the range of  $800^{\circ}\text{C}$ - $1000^{\circ}\text{C}$ , but with the technology of aerosol nanocatalysis, such temperature range is significantly reduced as seen in figure 3.

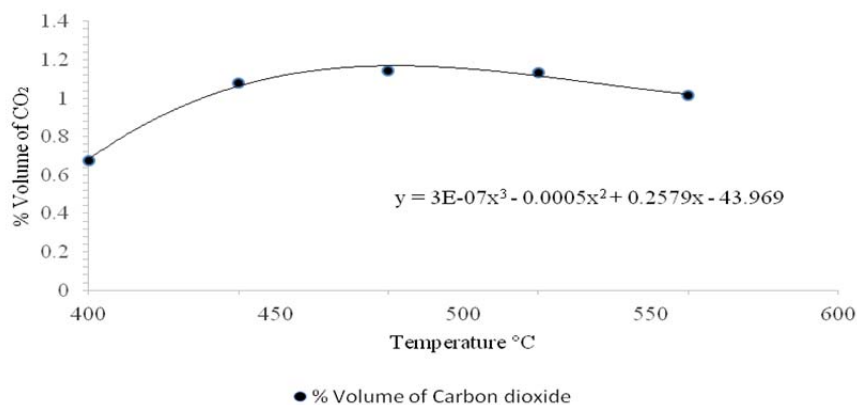


Fig. 3. Change in the % composition of CO<sub>2</sub> contained in the experiment in the presence of inert material in the reactor

## 5. Conclusions

1. Metal oxides in the form of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> can be used in catalytic combustion reactions under the technology of aerosol nanocatalysis, this is a deviation from the normal practices currently used in the industries, which apply noble metal catalyst in the form of platinum (Pt), palladium (Pd) and Rhodium (Rd), the use of metal oxide as catalyst helps save cost of reactions.

2. The volume of catalyst applied in combustion reactions under the technology of aerosol nanocatalysis, is relatively small in comparison with conventional catalytic combustion reactions, under this technology, catalytic combustion can take place at relatively small amounts in the range of 0.0001 gm – 0.0005 gm, this is possible due to the exclusion of catalytic supports, as a result the reactant and air have equal access to the surface of the catalyst, and thus reaction proceeds without any challenges.

3. In as much as, the volume of catalyst in the reaction zone does not need to be large, combustion under this technology, has shown that the amount of catalyst in the reaction zone has to be increased from the standard 0.0001 gram, that is usually applied in this technology, as shown in the results above in figure 2, whereby the best catalytic combustion reactions were achieved at a catalytic concentration of 0.0002 gram and 0.0004 gram. This further highlights the importance of catalytic saturation on the surface of the inert material, as when there is higher saturation of the catalyst, the % volume of CO<sub>2</sub> increases in the combustion gases product. This further backs the theory behind aerosol nanocatalysis; which is the presence of an exclusion of intra-diffusion stages of catalysis thereby an increase of activity of catalytic dust (when applied to the inert material).

4. Technology under AnC using a vibrating fluidized bed experiences continuous regeneration, as a result this leads to a high efficiency of processes which are guided according to the above principles and specific properties of nanoparticles.

5. Combustion under aerosol nanocatalysis technology targets combustion by lowering the oxygen requirements for the reactant to undergo a chemical transformation. Lower air demands, provides an

environment for complete combustion to occur and this produces more energy, by creating a domain for better burning of the alcohol or hydrocarbon.

## References

1. Mieczyslaw Dziubinski, Jacik Czarnigowski. 2011. Modeling and verification failures of a combustion engine injection system. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, OL PAN. 11 c:38-52.
2. Arkadiusz Kociszewski 2011. Modeling of the thermal cycle of SI- engine fueled by liquid and gaseous fuel fuelled by liquid and gaseous fuel. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, OL PAN 11c: 109-117.
3. Miloslaw Kozak 2011. An application of butanol as a diesel fuel component and its influence on exhaust emissions. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, OL PAN 11c:126-133.
4. Vitaly Baranov 2012. The methanol conversion automobile reactor laboratory test results. TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 3(12):03-07.
5. Eriksson S. (2006) Development of catalyst for natural gas fired gas turbine combustors: KTH Chemical Engineering and Technology, Thesis Dissertation for obtaining the sciences of degree candidate technological sciences: 1-44.
6. Vereschagin S.N, Solovov L.A, Rabchecski E.V, Dudnikov V.A, Ovchinnikov S.G, Anshits A.G, (2015). New method for regulating the activity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Perovskite catalysts. Kinetics and Catalysis, 56: 640-645.
7. Catalytic heat generator and method of controlling its power [Electronic resource]. – 2017. – Access to the resource mode: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5e/ea/63/c8ded378c28694/RU2626043C1.pdf> (in Russian).
8. K. Alahmad Almou 2016. Developing computer integrated control system for reactor of nanocatalytic petroleum products refining. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, 2(16):61-64.
9. Glikina I.M. Issledovanie aeroroznogo nanokataliza v vibroozhizhennom sloe / I.M. Glikina, V.S. Novitskiy, N.F. Tyupalo, M.A. Glikin // Khimichna promyslovist Ukrainy. – 2003. – №3. – S. 24-29
10. Porkuian O. Modelling of diffusion processes in cracking reactor with aerosol nanocatalysis. / O. Porkuian, O. Prokaza, Alahmad Almou K. // Scientific journal of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – 2014. – №9(216). – S. 132-136.

11. Alahmad Almou K. Modeling of catalytic cracking process with aerosol nanocatalysis. // Materials of XVIII International Scientific Conference "Technology 2015". Severodonetsk, 17-18 April 2015. Part II, S. 36-37.
12. Kudryavtsev S.A. Osnovy tekhnologii polucheniya benzinovoy fraktsii i etilena aerazolnym nanokatalizom / S.A. Kudryavtsev // Dissertatsiya na soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk, 2006. – Lvov. – 154 s.
13. McCarthy, J.G, Chang, Y.F, Wong V.L, Johansson E.M (1997). Kinetics of high temperature methane combustion by metal oxide catalysts, symposium catalytic combustion, San Francisco, Am.Chem Soc, Div Petrol Chem, 42:158-165.
14. Vayenas, C.G, S Bebelis et al (2001). Electrochemical Activation of Catalysis-promotion, Electrochemical promotion and metal-support interactions Springer-Verlag:1-25.
15. Jia, C.G, F-Y Jing et al (1994). Liquid-phase oxidation of alcohols by dioxygen using oxide-supported platinum catalysts. Journal of molecular catalysis 91(1):139-147.
16. Enache, D.I, J.K Edwards et al (2006). Solvent free oxidation of primary alcohols to aldehydes using Au-Pd/TiO<sub>2</sub> catalysts 10.1126/Sciences 1120560.Science 311(5759):362-365.
17. GOST 8.010 Metodiki vypolneniya izmereniy.
18. Kisilev A.V. Gazo-adsorbtsionnaya khromatografiya / A.V. Kisilev, Ya.I. Yashin. – M.: Nauka, 1967. — 256 s.

#### Література

1. Mieczyslaw Dziubinski, Jacik Czarnigowski. 2011. Modeling and verification failures of a combustion engine injection system. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, OL PAN. 11 c:38-52.
2. Arkadiusz Kociszewski 2011. Modeling of the thermal cycle of SI- engine fueled by liquid and gaseous fuel fuelled by liquid and gaseous fuel. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, OL PAN 11c: 109-117.
3. Miloslaw Kozak 2011. An application of butanol as a diesel fuel component and its influence on exhaust emissions. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, OL PAN 11c:126-133.
4. Vitaly Baranov 2012. The methanol conversion automobile reactor laboratory test results. TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 3(12):03-07.
5. Eriksson S. (2006) Development of catalyst for natural gas fired gas turbine combustors: KTH Chemical Engineering and Technology, Thesis Dissertation for obtaining the sciences of degree candidate technological sciences: 1-44.
6. Vereschagin S.N, Solovev L.A, Rabchetski E.V, Dudnikov V.A, Ovchinnikov S.G, Anshits A.G, (2015). New method for regulating the activity of AB<sub>3</sub> Perovskite catalysts. Kinetics and Catalysis, 56: 640-645.
7. Catalytic heat generator and method of controlling its power [Electronic resource]. – 2017. – Access to the resource mode: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5e/ea/63/c8ded378c28694/RU2626043C1.pdf> (in Russian).
8. K. Alahmad Almou 2016. Developing computer integrated control system for reactor of nanocatalytic petroleum products refining. TEKA. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, 2(16):61-64.
9. Гликіна І.М. Исследование аэрозольного нанокатализа в виброожигенном слое / И.М. Гликіна, В.С. Новицкий, Н.Ф. Тюпало, М.А. Гликин // Хімічна промисловість України. – 2003. – №3. – С. 24-29
10. Porkuian O., Prokaza O. and Alahmad Almou K. 2014. Modelling of diffusion processes in cracking reactor with aerosol nanocatalysis. Scientific journal of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. №9 (216), 132-136.
11. Alahmad Almou K. 2015. Modeling of catalytic cracking process with aerosol nanocatalysis. Materials of XVIII International Scientific Conference "Technology 2015". Severodonetsk, 17-18 April 2015. P. II, 36-37.
12. Кудрявцев С.А. Основы технологии получения бензиновой фракции и этилена аэрозольным нанокатализом / С.А. Кудрявцев // Дисс. на соиск. ст. канд. техн. наук, 2006. – Львов. – 154 с.
13. McCarthy, J.G, Chang, Y.F, Wong V.L, Johansson E.M (1997). Kinetics of high temperature methane combustion by metal oxide catalysts, symposium catalytic combustion, San Francisco, Am.Chem Soc, Div Petrol Chem, 42:158-165.
14. Vayenas, C.G, S Bebelis et al (2001). Electrochemical Activation of Catalysis-promotion, Electrochemical promotion and metal-support interactions Springer-Verlag:1-25.
15. Jia, C.G, F-Y Jing et al (1994). Liquid-phase oxidation of alcohols by dioxygen using oxide-supported platinum catalysts. Journal of molecular catalysis 91(1):139-147.
16. Enache, D.I, J.K Edwards et al (2006). Solvent free oxidation of primary alcohols to aldehydes using Au-Pd/TiO<sub>2</sub> catalysts 10.1126/Sciences 1120560.Science 311(5759):362-365.
17. ГОСТ 8.010 Методики выполнения измерений.
18. Киселев А.В. Газо-адсорбционная хроматография / А.В. Киселев, Я.И. Яшин. – М.: Наука, 1967. — 256 с.

#### **Tobenna C. Philips, Сергій О. Кудрявцев, Ірина М. Глікіна, Данііл Р. Король Вивчення каталітичного процесу спалювання ізопропілового спирту в умовах технології аерозольного нанокаталізу**

*У даній роботі вивчений процес каталітичного спалювання ізопропілового спирту відповідно до принципів технології аерозольного нанокаталізу в реакторі з виброожигенним шаром каталізатора. В якості каталізатора використовували Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – оксид заліза. Каталітичні реакції в умовах даної технології використовують каталізатор без носія, процес здійснюють при безперервній механохімактивації (МХА) поверхні каталізатора діючим інертним матеріалом. Було вивчено вплив каталізатора для визначення його оптимальної концентрації при глибокому окисленні спирту до CO<sub>2</sub> в продукті згорання. В результаті відзначено, що в умовах даної технології повне згорання може бути досягнуто при подачі каталізатора від 0,0002 до 0,0004 грама. Даної кількості достатньо для повного насичення інертного матеріалу каталітичним компонентом. Дослідження були проведені при варіюванні кількості каталізатора від 0,0001 до 0,0005 г, температури 400 °C і частоті МХА 3 Гц. В умовах технології аерозольного нанокаталізу реагент взаємодіє з каталітичною поверхнею в реакторі при атмосферному тиску.*

**Ключові слова:** механохімактивація, сжигание, in-situ, реактор с виброожигенним слоем, инертный материал.

**Tobenna C.Philips, Сергей А. Кудрявцев, Ирина М. Гликина, Даниил Р. Король** Изучение каталитического процесса сжигания изопропилового спирта в условиях технологии аэрозольного нанокатализа

*В данной работе изучен процесс каталитического сжигания изопропилового спирта в соответствии с принципами технологии аэрозольного нанокатализа в реакторе с виброожигенным слоем катализатора. В качестве катализатора использовали  $Fe_2O_3$  – оксид железа. Каталитические реакции в условиях данной технологии используют катализатор без носителя, процесс осуществляют при непрерывной механохимической активации (МХА) поверхности катализатора движущимся инертным материалом. Было изучено влияние катализатора для определения его оптимальной концентрации при глубоком окислении спирта до  $CO_2$  в продукте сгорания. В результате отмечено, что в условиях данной технологии полное сгорание может быть достигнуто при подаче катализатора от 0,0002 до 0,0004 грамма. Данного количества достаточно для полного насыщения инертного материала каталитическим компонентом. Исследования были проведены при варьировании количества катализатора от 0,0001 до 0,0005 г, температуре 400 °С и частоте МХА 3*

*Гц. В условиях технологии аэрозольного нанокатализа реагент взаимодействует с каталитической поверхностью в реакторе при атмосферном давлении.*

**Ключевые слова:** механохимическая активация, сжигание, *in-situ*, реактор с виброожигенным слоем, инертный материал.

**Філіпс Тобенна** – аспірант кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: tcphilips@yahoo.com

**Кудрявцев Сергій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету Інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: sergeykudryavtsevsnu@gmail.com

**Глікіна Ірина Маратівна.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: irene555@i.ua

m

Стаття подана 30.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-70-73>

УДК 666:67.02.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ ПЕНОСТАБИЛИЗАТОРОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЖИДКОСТЕКЛОНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ ХОЛОДНОЙ ПОРИЗАЦИИ

Рымар Т.Э.

## THE USE OF SURFACE-ACTIVE AGENTS AS FOAM STABILIZERS IN THE PREPARATION OF LIQUID-GLASS INORGANIC FOAM MATERIALS OF COLD POROSITY

Rymar T.E.

*В статье излагаются результаты исследований по созданию нового поколения жидкостеклоных неорганических пеноматериалов холодной поризации с использованием гранулированного наполнителя. Исследовано влияние поверхностно-активных веществ, как пеностабилизаторов, на свойства таких теплоизоляционных материалов. Был определен оптимальный пеностабилизатор и его количество для получения теплоизоляционных материалов с удовлетворительными физико-механическими показателями.*

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, жидкое стекло, поверхностно-активное вещество, вспенивание, плотность, прочность, водопоглощение, гигроскопичность.

**Введение.** Примерно половина всей потребляемой в мире энергии идет, как известно, на отопление зданий и сооружений. Вполне логично поэтому, что важной составной частью практически всех национальных программ перспективного развития, ориентированных на всемирную экономию топливно-энергетических ресурсов, является обеспечение максимально эффективной теплоизоляции систем обогрева и ограждающих конструкций возводимых зданий и сооружений.

**Постановка проблемы.** Проблема ограниченности энергетических ресурсов превращается в острый кризис в мире, вызывая много политических и экономических вопросов. Проблема ограничения ресурсов относится ко всем промышленно развитым и развивающимся странам. Этот важный вопрос касается защиты окружающей среды, уменьшения загрязнений города, энергетических ограничений, а также необходимости оптимизировано использовать ресурсы в наше время больше, чем когда - либо. Кроме того, необходимо попытаться предотвратить потери энергии [1]. Теплоизоляция строительных

конструкций пенопластами позволяет повысить комфортность проживания и значительно сократить расход энергии на обогрев помещений. [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В качестве утеплителей в промышленно развитых странах (ЕС, США, Канада и др. преимущественно применяются волокнистые утеплители и строительные пенопласты. Основным видом утеплителей являются изделия на основе стекловолокна, обладающие рядом преимуществ по сравнению с минераловатными изделиями. Основным видом строительного пенопласта, применяемого в промышленно развитых странах, является пенополистирол, причем мнение о нем как об экологически вредном и пожароопасном материале в разных странах неоднозначно. Легкие бетоны, то есть бетоны с использованием различных видов пористых заполнителей по объемам производства занимают за рубежом второе место после тяжелых. За рубежом основная доля легких бетонов расходуется на изготовление небольших стеновых блоков и сборных несущих конструкций. Ограждающие панели, являющиеся основным видом продукции из легких бетонов в отечественной практике, за рубежом производятся в очень небольших объемах [3].

В последнее время все большее распространение в мире получает тенденция замены органических строительных пенопластов неорганическими – на основе жидкого стекла (ЖС). Теплоизоляционные материалы на основе жидкого стекла имеют низкую плотность и теплопроводность, высокую пористость, эффективный диапазон температур их эксплуатации составляет от -20 °С до +600 °С, они негорючие, устойчивые к действию кислот и их паров, не выделяют токсичных веществ, не поражаются грибами и микроорганизмами, имеют неограни-

ченный срок службы, что дает преимущества этим материалам перед горючими и токсичными органическими пенопластами, которые, к тому же имеют весьма ограниченный срок эксплуатации.

В связи с этим *целью представленной работы* является получение жидкостеклоновых неорганических пеноматериалов холодной поризации. Отличительной особенностью изучаемых в данной работе материалов является то, что в их состав входит жидкостеклольный гранулированный наполнитель, который обеспечивает стабильность свойств теплоизоляции, придавая ей повышенную прочность и жесткость, уменьшенные усадочные деформации и склонность к растрескиванию. Такие материалы можно получать путем холодной поризации сырьевой смеси состоящей из неорганического полимерного связующего (жидкого стекла), газообразующего агента, поверхностно-активного вещества (ПАВ), наполнителя, отвердителя.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: изучение свойств неорганических пеноматериалов и подбор пеностабилизатора, обеспечивающего их удовлетворительные физико-механические показатели.

**Результаты исследований.** В качестве стабилизатора вспененной системы до момента ее отверждения в таких материалах используются ПАВ. Роль ПАВ при получении пенопластов достаточно сложна и многообразна. Они оказывают большое влияние на кажущуюся плотность и физико-механические свойства пенопластов. В одних случаях - это эмульгирование компонентов системы, в других - инициирование зародышей газовых пузырьков и стабилизация образующейся пены, в третьих - регулирование числа открытых ячеек и их размеров. ПАВ ускоряют процесс смешивания компонентов за счет снижения поверхностного натяжения на границе эмульгированных фаз и стабилизации образующихся эмульсий. При выборе эмульгаторов следует оценить их растворимость в каждом из компонентов, что позволяет подобрать ПАВ для получения определенного типа эмульсий. В кислых средах лучше использовать катионактивные ПАВ, в щелочных - анионактивные, при больших концентрациях солей - неионогенные. [4].

Очень важной характеристикой пенопласта является соотношение закрытых и открытых пор. Эффективные пеностабилизаторы, которые сильно повышают вязкость поверхностных слоев ячеек пены, препятствуют их раскрытию. Если раскрытие ячеек имеет место на ранней стадии вспенивания при недостаточной несущей способности каркаса пены, то происходит осаждение пены, повышение кажущейся плотности, появление трещин. Если открытие ячеек начинается слишком поздно, оно обычно проходит частично, и большое их количество остается закрытыми.

Теории подбора ПАВ для получения пенопластов нет, и на практике оно осуществляется эмпирически [5].

В данной работе в качестве ПАВ были выбраны неионогенное ПАВ ОП-10 и поливинилацетатная дисперсия (ПВАД), которые обладают хорошей совместимостью с ЖС, а также они экологичны и не токсичны.

Ниже приведены графики, которые позволяют исследовать влияние разного количества выбранных ПАВ на свойства данного теплоизоляционного материала.

Влияние ПАВ на кажущуюся и истинную плотность теплоизоляционного материала отражено на рис. 1.

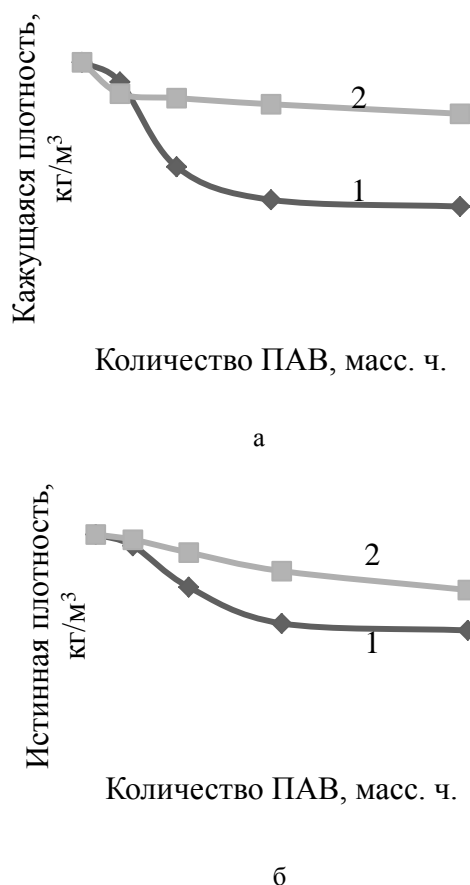
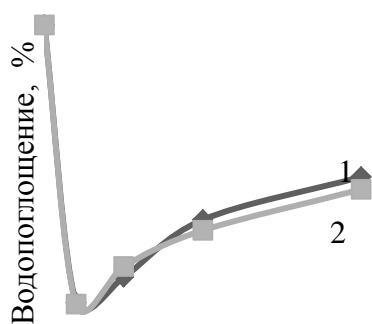


Рис. 1 Влияние ПАВ на плотность теплоизоляционного материала:  
а – кажущуюся, б – истинную (1 – ОП-10, 2 – ПВАД)

Согласно рис. 1 видно, что оптимальным количеством ОП-10 и ПВАД является количество 1 и 2 масс. ч. соответственно, в этом случае кажущаяся и истинная плотности составляют соответственно 244 кг/м<sup>3</sup> и 487 кг/м<sup>3</sup> с использованием ОП-10, а с ПВАД – 398 кг/м<sup>3</sup> и 602 кг/м<sup>3</sup>. Данное количество ПАВ оказывает наиболее эффективное стабилизирующее действие, образуя барьер между порами, что, в свою очередь, предотвращает их разрушение. Дальнейшее увеличение количества ПАВ приводит к пластификации композиции, вследствие чего ухудшаются прочностные показатели пеноматериала.

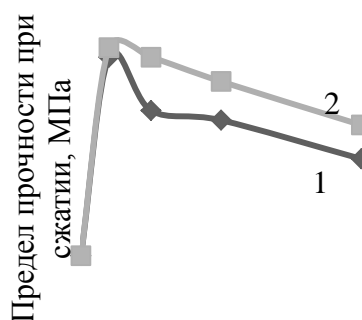
Влияние ПАВ на водопоглощение и гигроскопичность теплоизоляционного материала отражено на рис. 2.





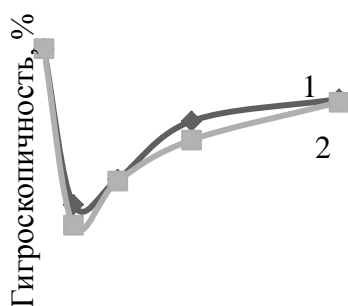
Колічество ПАВ, масс. ч.

а



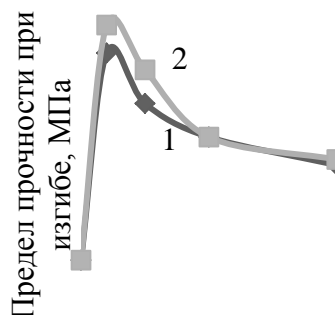
Колічество ПАВ, масс. ч.

а



Колічество ПАВ, масс. ч.

б



Колічество ПАВ, масс. ч.

б

Рис. 2 Влияние ПАВ на:  
а – водопоглощение, б – гигроскопичность  
теплоизоляционного материала (1 – ОП-10; 2 – ПВАД)

Как видно из рис. 2, введение ПАВ позволяет снизить показатели водопоглощения и сорбционной влажности, так как происходит образование механического барьера, который препятствует разрушению межпоровых стенок, вследствие чего образуется мелкопористая структура пеноматериала. Далее с увеличением количества ОП-10 и ПВАД до 2 масс. ч. так как увеличивается пористость (количество открытых и закрытых пор составляет соответственно: с применением ОП-10 - 19,1% и 30,9%, а с ПВАД – 23,3% и 10,6%) показатели водопоглощения и гигроскопичности также увеличиваются до 41,3 % и 38,7 % соответственно.

Влияние ПАВ на предел прочности при 10 % - ной деформации сжатия и при изгибе приведено на рис. 3.

Согласно рис. 3 видно, что при введении ПАВ в минимальном количестве (0,3 масс. ч.) прочность достаточно высокая и составляет: при сжатии и при изгибе с использованием ОП-10 – 0,63 МПа и 0,55 МПа соответственно, а с использованием ПВАД –

Рис. 3 Влияние ПАВ на предел прочности:  
а – при сжатии, б – при изгибе теплоизоляционного  
материала (1 – ОП-10; 2 – ПВАД)

соответственно 0,65 МПа и 0,6 МПа. Но такая высокая прочность достигается только лишь за счет высокой плотности (с использованием ОП-10 - 455 кг/м<sup>3</sup> и 775 кг/м<sup>3</sup> с ПВАД) и малой пористости. Увеличение ПАВ до 2 масс. ч. приводит к понижению прочности материала вследствие снижения плотности.

**Выводы.** Сравнивая оба типа ПАВ можно сделать вывод, что оптимальным для получения жидкостекольного пеноматериала является ПАВ ОП-10 в количестве 1 масс. ч. Такие образцы имеют низкую плотностью, которая составляет 244 кг/м<sup>3</sup> (по сравнению с ПВАД в количестве 1 масс. ч., образцы с которой имеют плотность 415 кг/м<sup>3</sup>), а пределы прочности при изгибе и при сжатии достаточно высоки и составляют соответственно 0,4 МПа и 0,5 МПа.

Данный тип ПАВ приводит к образованию устойчивой пены. Его введение существенно изменяет свойства газовых дисперсий и жидких пленок: снижается поверхностное натяжение на поверхно-

сти раздела жидкость – газ, облегчается диспергирование газа и уменьшается размер пузырьков, изменяется режим и скорость вспенивания, что и влечет за собой улучшение физико-механических показателей.

#### Л и т е р а т у р а

1. A. Evcil. An estimation of the residential space heating energy requirement in Cyprus using the regional average specific heat loss coefficient, *Journal of Energy and Buildings*, 2012, Vol. 55, 164-173.
2. Теплоизоляция на основе полистирола: тенденции развития рынка [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.krovfirussia.ru/rubriki/materialy-i-tekhnologii/teploizolyacionnye-materialy/teploizolyaciya-na-osnove-polistirola-tendencii-razvitiya-rynka>
3. Барина Л.С. Тенденции развития промышленности строительных материалов за рубежом / Л.С. Барина // *Строительные материалы*. – 2004. – № 11. – С. 2 - 6.
4. Производство пеноматериалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://econews.uz/index.php/proizvodstvo-penomaterialov.html>
5. Marc Hirsch, *Surface Active Agents (Surfactants)*. Prospect. 2015.

#### R e f e r e n c e s

1. Evcil. An estimation of the residential space heating energy requirement in Cyprus using the regional average specific heat loss coefficient, *Journal of Energy and Buildings*, 2012, Vol. 55, 164-173.
2. Teploizolyatsiya na osnove polistirola: tendentsii razvitiya rynka [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.krovfirussia.ru/rubriki/materialy-i-tekhnologii/teploizolyacionnye-materialy/teploizolyaciya-na-osnove-polistirola-tendencii-razvitiya-rynka>
3. Barinova L.S. Tendentsii razvitiya promyshlennosti stroitel'nykh materialov za rubezhom / L.S. Barinova // *Stroitel'nyye materialy*. – 2004. – № 11. – S. 2 - 6.
4. Proizvodstvo penomaterialov [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://econews.uz/index.php/proizvodstvo-penomaterialov.html>
5. Marc Hirsch, *Surface Active Agents (Surfactants)*. Prospect. 2015.

**Римар Т. Е. Використання поверхнево-активних речовин в якості піностабілізаторів при отриманні рідкоскляних неорганічних піноматеріалів холодної поризації.**

*У статті викладаються результати досліджень по створенню нового покоління рідкоскляних неорганічних піноматеріалів холодної поризації з використанням гранульованого наповнювача. Досліджено вплив поверхнево-активних речовин, як піностабілізаторів, на властивості таких теплоізоляційних матеріалів. Було визначено оп-*

*тимальний піностабілізатор і його кількість для отримання теплоізоляційних матеріалів з задовільними фізико-механічними показниками.*

**Ключові слова:** теплоізоляційні матеріали, рідке скло, поверхнево-активна речовина, спінування, щільність, міцність, водопоглинання, гігроскопічність.

**Rymar T. The use of surface-active agents as foam stabilizers in the preparation of liquid-glass inorganic foam materials of cold porosity.**

*The article presents the results of research to create a new generation of liquid glass foams of cold foaming using granulated filler. A distinctive feature of the materials under study is that they include liquid glass granular filler, which provides stability of the properties of thermal insulation, giving it increased strength and rigidity, reduced shrinkage deformations and a tendency to crack. Such materials can be produced by cold foaming of the raw mix consisting of inorganic polymeric binder (liquid glass), gaseous forming agent, surfactant, filler and hardener.*

*In this work the influence of surface-active substances, such as foam stabilizers, on the properties of such heat-insulating materials is investigated. Nonionic surfactant OP-10 and polyvinyl acetate dispersion (PVAD) were chosen as foam stabilizers, which have good compatibility with liquid glass, as well as they are environmentally friendly and non-toxic.*

*Comparing both types of foam stabilizers it can be concluded that the optimum for obtaining liquid glass foam is surfactant OP-10 in the amount of 1 mass h. Such samples have a low density, which is 244 kg/m<sup>3</sup> (compared to PVAD in the amount of 1 mass h., samples with which have a density of 415 kg/m<sup>3</sup>), and the limits of bending and compressive strength limits are high enough to be 0.4 MPa and 0.5 MPa, respectively.*

*The introduction of surfactants reduces water absorption and sorption humidity, as there is the formation of a mechanical barrier that prevents the destruction of interstitial walls, resulting in a finely porous structure of foam material and increases the proportion of closed pores. Thus, the indices of water absorption and sorption humidity decrease at introduction of 1 mass h of OP-10 to 34% and 15%, respectively, compared to samples without surfactants, where these figures are 73% and 20%.*

*This type of surfactant leads to the formation of stable foam. Its introduction significantly changes the properties of gas dispersions and liquid films: the surface tension on the liquid-gas interface is reduced, gas dispersion is facilitated and the size of bubbles is reduced, the mode and speed of foaming is changed, which leads to an improvement in physical and mechanical performance.*

**Keywords:** thermal insulation materials, liquid-glass, surface-active substances, foaming, density, strength, water absorption, hygrosopicity.

**Римар Тетяна Ернстівна** – канд. техн. наук, доцент, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, [gu-martatyana1975@gmail.com](mailto:gu-martatyana1975@gmail.com).

Статья подана 10.11.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-74-80>

УДК 711.5: 69.059

## ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕДУМОВИ ДОПОВНЕННЯ ФУНКЦІЙ РЕГІОНАЛЬНОЇ ТИПОЛОГІЇ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Соколенко В.М., Подлевський О.Е., Соколенко К.В.

### PROBLEMS AND PREREQUISITES OF THE ADDITION OF FUNCTIONS OF A REGIONAL TYPOLOGY IN MODERN CONDITIONS OF THE LUHANSK REGION

Sokolenko V.M., Podlevsky O.E., Sokolenko K.V.

*Визначено історичні аспекти формування агломерацій Донбасу та обставини їх деградації. Досліджено тенденції розвитку регіону, обставини та передумови формування міських промислових агломерацій Донбасу. Проаналізовано відповідність існуючих регіональних типологій за ознаками функцій території Луганської області в сучасних умовах. Для внутрішнього регіону, яким традиційно був Донбас, збройний конфлікт вносить лінію розмежування та кордон. Цей чинник функцію транскордонної співпраці змінює на прикордонний режим або контроль.*

**Ключові слова:** агломерація, населення, типологія регіонів, містобудівний розвиток.

**Вступ.** Регіон Донбасу протягом свого існування витримав низку метаморфоз. «Дике поле» яке виконувало функції порубіжжя за часів козаччини стало внутрішньою губернією (областю). Ресурсно бідний регіон, з відносно бідними землями, нестачею води, несприятливим посушливим кліматом достатньо довго полишався малозаселеним. Ситуація почала змінюватись з викриттям покладів корисних копалин – в першу чергу вугілля.

Бурхливий розвиток Донбасу починається з 70-80 рр. XIX ст., коли співпала дія кількох ключових факторів промислової революції:

еспансія Російської імперії у напрямку Балкан та Чорного моря, що потребувало великої кількості зброї а отже металу;

поява та розповсюдження парових машин та паротягів – споживачів вугілля;

українськи чорноземи стали безпечними сільсько господарськими територіями після серії Кримських та турецьких війн, розділу Польщі.

Вигідне розташування Донбасу сприяло його розвитку. У 1895-1900 рр. виробництво чавуну та сталі на Донбасі зрівнялось з обсягами виробництва на Уралі, тобто з цього періоду Донбас можна

вважати новим індустріальним центром Російської Імперії.[1] На етапі становлення потреба у робітниках задовольнялась за рахунок селян, яких приваблювала можливість отримувати підвищену, у порівнянні з селянською працею платню.

Унаслідок цілеспрямованої державної політики на сході і півдні України було закладено фундамент для формування поліетнічного промислового середовища. [2]

**Постановка проблеми.** Український Донбас, з урахуванням історичних реалій, можна віднести до старопромислового регіону, основу якого складає вугільно – металургійний комплекс. Фаза екстенсивного розвитку минула. На даний час фіксується згортання містобудівної бази. Ситуацію обтяжено збройним конфліктом з прихованим зовнішнім втручанням. Стратегічні напрямки та завдання територіального розвитку вимагають оновлення та коригування.

Території Луганської та Донецької областей є високо-урбанізованими. Станом на 2014 р. відсоток міського населення областей сягав 80-90%.

Кількість населення Донецької обл. становило 4,356 млн. чол., Луганської обл. 2,256 млн.чол., разом понад 6,6 млн. чол., що у сукупності більше ніж в окремих невеликих європейських країнах. З поміж 47 європейських держав 27 мають населення чисельністю менше 6 мл. осіб. [3]

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** На території областей сформувались 7 агломерацій. [3]

Луганська область розташована на сході України і в даний час охоплена ООС (АТО). Обласний центр – м. Луганськ своє основне адміністративне значення втратив. Адміністративні установи обласного рівня переведені в місто обласного підпорядкування Северодонецьк.

Область займає за кількістю міст друге місце в Україні. На території області можна виділити

умовно аграрну північ, вуглевидобувний південь. За типом розселення можливо виділити наступні агломерації Центрально – Луганська (Алчевськ - Кадіївка), Північно – Луганська (Луганськ), Південно – Луганська (Хрустальний), Северодонецько – Лисичанська агломерація. [3]

На рис. 1. наведено схему Луганської області з промисловими міськими агломераціями [4]



Рис. 1. Агломерації Луганської області Донбасу

Надмірна урбанізація перевантажує територію. Власних ресурсів не вистачає для утримання такої кількості населення. Власний експорт міста повинен переважати, тоді місто має можливість розвиватись. Це твердження справедливе і для агломерацій. [5]. Донбас відноситься до зони ризикованого сільсько-господарства, з 10 років лише 2 зазвичай врожайні. З 1799 по 1856рр. нараховано 28 неврожайних років. [1]

Кваліфікованих робітників сільськогосподарства на початку ХХ ст. у Донецькій області нараховувалось 1,1%, у Луганській обл. – 1,3% населення. Такі низькі показники свідчать по перше - про недостатній рівень забезпечення регіону власним продовольством, по друге – про майже вичерпаний ресурс подальшої урбанізації, по третє – про нестачу сільськогосподарських угідь, хоча можливості інтенсифікації с/г виробництва наочно демонструють такі держави як Нідерланди та Ізраїль.

Слід відзначити історичний факт – Донбас завжди був внутрішнім регіоном.

Донбас пережив занепад у 1918-1924 рр., який було викликано громадянською війною та відсутністю центрального уряду. Фактично, з поправкою на епоху проблеми мали/мають той же характер, а наслідки в цілому подібні – зменшення виробництва, міграція населення і робітників, широке розповсюдження городництва з метою уникнути голоду, пайкова система, голод, зuboжіння, натуральний обмін. [6]

Вдруге Донбас був зруйнований у роки німецької окупації за часів другої світової війни. Наслідки окупації були кратно підсилені тактикою «випаленої землі», що її застосовувала радянська влада.

Статус внутрішнього регіону дозволив швидко відновити промисловий потенціал.

Після другої світової війни СРСР реалізував масштабний план відродження Донбасу. Для відбудови держави був потрібен метал, енергія, паливо. Проте на той час було закладено перекося, пов'язані з домінуванням потреб оборонної галузі. Багато підприємств було зорієнтовано на випуск військової продукції.

На період 1950-1980 рр. було закладено та частково реалізовано стратегію розвитку Донбасу, яка передбачала прискорену урбанізацію регіону. Зрозуміло, що зростання чисельності населення відбувалось переважно за рахунок трудової міграції, в т.ч. з застосуванням жорстких адміністративних заходів.

За часів незалежної України вугільно-металургійна галузь стабілізувалась після створення вертикально-інтегрованих корпорацій, зосереджених в руках крупного олігархічного капіталу.

Російська частина Донбасу наразі виглядає непривабливо, з єдиною перспективою – прискорена деградація, соціальна та демографічна. Враховувати слід той факт, що в цьому напрямку розвиток ситуації на російській частині Донбасу випереджає на два десятки років, а отже вказує на ймовірні наслідки і в Україні, в частині вугледобувних міст.

Аналіз передумов формування феномену Донбасу, вивчення трендів, які закладено статистичними даними, дозволяє визначити важливі аспекти подальшого стану регіону, завдання раціональної трансформації території в сучасних умовах.

**Мета статті.** Визначити тенденції розвитку, обставини та передумови формування агломерацій Луганської області. Проаналізувати відповідність регіональних типологій за ознаками функції в сучасних умовах збройного конфлікту.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз передумов формування феномену Донбасу, вивчення трендів, які закладено статистичними даними, дозволяє визначити наступні важливі аспекти.

Розвиток регіону мав стрибкоподібний характер, що ґрунтується на ресурсній економіці. Коли природний ресурс вичерпано, починається поступовий, але незворотний процес деіндустріалізації.

Вкотре відзначимо – не закінчилось вугілля – скоротилась потреба у вугіллі. Рисунки 2 та 3 дають



уяву про швидкість змін та масштаб формування індустріального регіону. [7]



Рис. 2. Схема розміщення основних промислових регіонів Європи періоду індустріальної революції

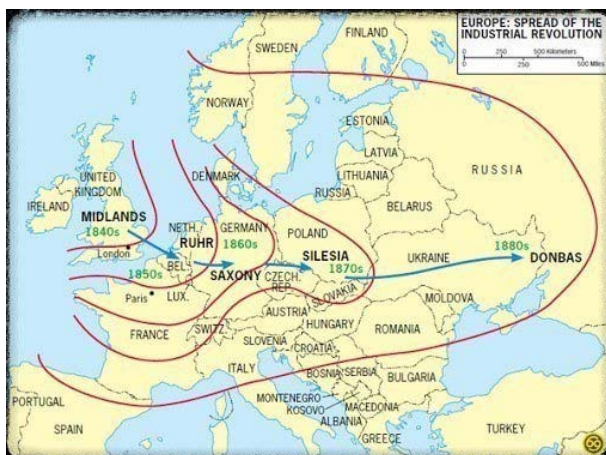


Рис. 3. Швидкість просування індустріальної революції в Європі

Великі багатопрофільні міста розвинулись у вигідному розташуванні, поступово зростаючи та втягуючи в свою орбіту прилегли (навколишні) території, населені пункти.

Агломерації Донбасу утворились з поселень при виробничих підприємствах. Підприємства групувались поблизу покладів корисних викопних. Соціалістичні міста мають свою історію, яка починається з робітничих бараків поруч з мануфактурами.

Можна обережно припустити, що експлуатація природних багатств Донбасу носила колоніальний характер. Радянська влада також більше переймалась тим, як узяти більше ресурсу з Донбасу. Серйозно стверджувати про пріоритетність розвитку міського середовища, якості життя не можна. Серед аргументації «за» опоненти наводять приклади регіональних програм розвитку Донбасу (Д.І.Богорад, А.Л. Ейнгорн) проте результати впровадження цих програм говорять самі за себе:

планування розвитку міст йшло від потреб промисловості у робочих кадрах. Первинний перекоп закладено вузькопрофільною орієнтацією важкої промисловості;

екологічне забруднення території, яке почасти має незворотній характер;

загрози техногенних катастроф;

катастрофічне забруднення водних ресурсів;

несприятлива демографічна ситуація і депопуляція, яка стає набутиим фактом;

деіндустріалізація – як можливий наслідок, деградація промислового потенціалу.

Цитата : «Ухудшение экологической ситуации, нестабильность хозяйственного комплекса, высокий удельный вес промышленных и коммунально-складских территорий в структуре города, привели к тому, что в настоящее время эти «усталые» города представляют собой большие промышленные районы, значительная доля населения которых живет в санитарно-защитных зонах». [8]

Наслідком всіх цих перекопів, помножених на політичну турбулентність пострадянського періоду, стало суттєве погіршення якості життя переважної кількості населення. Соціальна, політична, економічна, фінансова кризи позбавили ресурсу, необхідного для рішучих прогресивних змін. Склалась дещо деформована структура зайнятості населення.

Донбас уперше зіткнувся з ситуацією, коли замість реципієнта трудових ресурсів він перетворився на донора. Об'єктивно, це цілком природний процес. Деградація промисловості викликає скорочення робочих місць. Криза заборгованості по заробітній платні робить непривабливою працю на місцевих підприємствах. В першу чергу виїжджає молодь та висококваліфіковані кадри. Погіршення ситуації заходить на нове коло. Ті, хто полишився, реалізують стратегію 3Д – доїдаємо, доношуємо, доживаємо.

У суспільстві широко розповсюдились патерналістські сподівання (очікування), сутність котрих коротко описується тезою «Донбас всех кормит», «центр нас обкрадає». Донецька та Луганська область займали останнє та передостаннє місця за сукупним рівнем людського розвитку регіону. Чинники, що зумовили низький рейтинг зумовлено незадовільними показниками демографічного стану, умови проживання населення, рівень освіти, дуже складна екологічна ситуація, невідповідний рівень розвитку соціального середовища. Одночасно Донецька область займала 3 місце по рівню матеріально-го добробуту з 27 регіонів України. [9]

Але це суспільне переконання протирічить статистиці. Частка ВВП Донецької області у 2010 р. становила 12%, а загальна частка субсидій та трансфертів сягала 20,9%, та 27 % у 2011р. Луганська область давала 4% ВВП, а субсидії та трансферти у 2010 та 2011 рр. становили 7,8% та 11% відповідно. Тобто Донбас отримував у 2 – 2,5 рази більше ніж віддавав. При цьому в областях фіксувався найбільший обсяг заборгованостей з виплати заробітної платні. [9]

Додамо ще один аспект – криза спричинила гуманітарні ускладнення. Скоротилась чисельність науковців – абсолютна та питома. Але оскільки наукові кадри мали (мають) вузьку галузеву спрямованість, то це унеможливило їх використання на інших напрямках. Деіндустріалізація, соціальна та гуманітарна криза призводить до відтворення архаїчного типу виживання – відразливими проявами чого є т.з. «копанки» та збирання металобрухту. Стає нормою, яка нікого не дивує крадіжки тролейного проводу або кабелів під напругою.

Але криза може перетворитись на катастрофу.

Донбас виник та розвився миттєво, за історичними мірками. Подібних випадків історія не знала. [1]

**Виклад основного матеріалу** Все вищенаведене становить передумову ситуації, що склалася у теперішній час. Збройний конфлікт інспірований в т.ч. внаслідок деформованої соціальної та національної структури регіону, регіональної близькості до кордону, люмпенізації населення.

На початку XXI ст. промислові міста Луганської обл. та агломерації зіткнулися з рядом проблем, що були викликані згоранням промислової бази. Можна відзначити:

- екологічне перенавантаження територій;
- застарілі технології індустріальної епохи;
- згорання містобудівної бази;
- зменшення чисельності працездатного населення.

У 2014 р. ця ситуація була ще більше ускладнена збройним конфліктом. Ситуація штучного розподілу територіального та економічного комплексу триває вже 5 років - термін часу співставний з етапом реалізації та планування рішень генплану. [10]

Лінія розмежування ООС розчленовує дві області Донбасу, блокує ряд автомобільних шляхів та залізницю державного значення. (Рис. 4.). Умовна північ та більша частина с/г земель Луганської області знаходяться під контролем України. Умовний південь та центр не контролюються державою. Лінія зіткнення проходить по межах основних агломераційних утворень та по природних бар'єрах. [11]

Ситуація має безумовно негативні наслідки, питання розвитку території, удосконалення містобудівної територіально-планувальної організації взагалі видалено з порядку денного.

Додаткова складність ситуації полягає в тому, що місцем конфлікту є урбанізована територія. [12]. В умовах поєднання адміністративних меж населе-

них пунктів, лінія розмежування розтинає міжселенні зв'язки. (Рис. 5.)

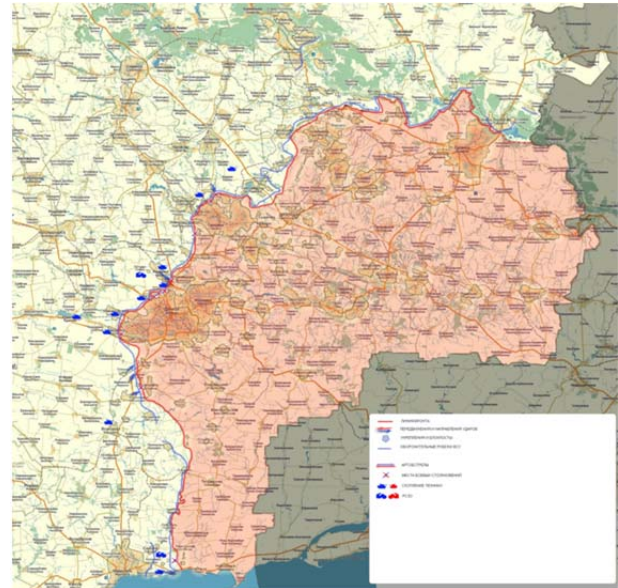


Рис. 4. Лінія розмежування ООС



Рис. 5. Схема Центрально – Луганської агломерації. Адміністративні межі населених пунктів

Попри локалізацію лінії зіткнення масштаб конфлікту можна порівняти з невеликою європейською державою. Україна не контролює 407 км. державного кордону, 47 тис. кв. км або 12% своєї території (рахуючи Крим), лінія розмежування сягає 427 км. (Рис.6) [13]. Тимчасово переміщеними особами зареєстровано 1,4 млн. чол., майже 4 млн. чоловік залишаються на невідконтрольній території. Зовні-



шне військове втручання носить прихований гібридний характер. У вирішенні збройного конфлікту домінують зовнішньополітичні чинники.

На жаль, наразі не існує підстав стверджувати, що існує пророблений, дієвий, ефективний та ресурсно забезпечений сценарій виходу з кризи.

Політична складова домінує та робить нікчемними економічні прогнози.

Можна розглядати декілька базових сценаріїв:

Повернення контролю над тимчасово окупованими територіями у близькій перспективі;

Повернення тимчасово підконтрольних територій у віддаленій перспективі.

Перший сценарій у рамках нашої статті розглядати не будемо, оскільки він, певно, буде передбачати низку політичних угод, які формують обтяження.

Другий сценарій об'єктом досліджень робить територію Луганської області, що контролюється Україною, з єдиною значною агломерацією – Северодонецьк-Рубіжне-Кремінна.



Рис. 6. Тимчасово невідконтрольні території України

Ю.М. Білоконь приводить класифікацію регіонів за ознаками функції та форми. Регіони першої групи поділяються за функціональним призначенням:

Столичні;  
Транспортні;  
Транскордонні.

Регіони другої групи по особливих природних умовах поділяються на приморські, прирічкові та регіони з корисними вкопними. [14]

**Висновки:** на основі проведеного аналізу встановлено передумови розвитку вугільно – металургійного промислового комплексу агломерацій Донбасу. Дослідження сучасного та ретроспективного стану демографічного, територіального, містобудівного комплексу дозволили визначити обставини формування регіону, тенденції його подальшого функціонування. Визначено невідповідність типологічних ознак прикордонного регіону у сучасних умовах, яким наразі є Луганська та донецька області.

Вживана класифікація регіонів передбачає дві групи – за типологічними ознаками функції та форми.

У 21 ст. з формуванням постіндустріальної епохи промислові регіони з корисними копалинами мають однакові задачі модернізації вугільної промисловості, забезпечення зайнятості населення, оздоровлення навколишнього середовища, пошуку нових стимулів розвитку. Особливо наголошено, що транскордонні регіони мають стати актуальним об'єктом містобудівного проектування. Можна вважати, що на рівні наукової дискусії виникла потреба розширити перелік окремих особливих функцій регіональної типології. В сучасних умовах в Луганській та Донецькій областях формується прикордонний регіон, який складається з ділянок державного кордону та лінії розмежування ООС. По цій лінії функція трансграничної співпраці, де домінуючим є обмін товарів, послуг, культурними контактами, доповнена функцією прикордонного контролю. Дана функція ставить на меті обмеження певного типу – фіксація кордону, режиму його перетинання, суворе дотримання законодавчо установлених процедур. Доповнення функцій регіональної типології доцільно (слід) враховувати у завданнях удосконалення територіально – планувальної організації Луганської області.

#### Література

1. Молчанов В. Б. Український Донбас – економічне диво другої половини XIX – початку XX ст. : Грані історії : зб. наук. праць. Спеціальний випуск – матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Бахмутська старовина: краєзнавчі дослідження – 2018». – Слов'янськ, 2018. – Вип. 1(9). – С. 103-113.
2. Донбас в етнополітичному вимірі. - К.: ІПіЕНД імені І.Ф. Кураса НАН України, 2014. – 584 с.
3. Вікіпедія. Міські агломерації України. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Міські\\_агломерації\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Міські_агломерації_України)
4. Карта Луганської області [Електронний ресурс]. - Режим доступу : [http://www.gps-info.com.ua/images/maps/rastr/ukraine/atlas/luganskaya\\_oblast\\_karta.jpg](http://www.gps-info.com.ua/images/maps/rastr/ukraine/atlas/luganskaya_oblast_karta.jpg)
5. Осітнянко А.П. Планування розвитку міста: монографія. К., КНУБА, 2001. - 458 с.
6. Попов В. Ж. Пасинки пролетарської революції: робочі міста України в умовах гуманітарної катастрофи 1917–1920 рр. : Грані історії : зб. наук. праць. Спеціальний випуск – матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Бахмутська старовина: краєзнавчі дослідження – 2018». – Слов'янськ, 2018. – Вип. 1(9). – С. 121-126.
7. Схема розповсюдження індустріальної революції [Електронний ресурс]. - Режим доступу : [https://liberapedia.wikia.org/wiki/Industrial\\_Revolution?file=F1\\_07\\_pg51.jpg](https://liberapedia.wikia.org/wiki/Industrial_Revolution?file=F1_07_pg51.jpg)
8. Яценко В. А. Теоретические и практические идеи нового градостроительства Донбасса: их прошлое, настоящее и будущее // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. – Вип. 21. – К. : КНУБА, 2005. – С. 359 – 366.
9. Кульчицький С., Якубова Л. Донеччина і Луганщина у XVII–XXI ст.ст.: історичні фактори й політичні технології формування особливого та загального у регіональному просторі. — К.: Інститут історії України НАН України, 2015. — 813 с

10. Планування і забудова територій - К. : Мінрегіонбуд України. - (Державні будівельні норми України). : ДБН Б.2.2-12:2018. - Чинний від 2018-09-01. - К., 2018-179с.
11. Карта лінії розмежування ООС [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <https://www.imbf.org/karty/images/karta-linii-razgranicheniya-fronta-donbasse-hq.jpg>
12. Демин Н.М. Городские агломерации в контексте исследования феномена форм и систем расселения : Мистобудування та територіальне планування: Наук. - техн. збірник - К., КНУБА, 2012. – Вип. 45 ч.1.
13. Карта окупованих територій України [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://bintel.com.ua/uk/article/09-18-De-Occupation/>
14. Белоконь Ю.Н. Региональное планирование (теория и практика)/Под ред. И.А. Фомина. – К.: Логос, 2003.- С.259.

### References

1. Molchanov V. B. Ukrayins'kyu Donbas – ekonomichne dyvo druhoi polovyny XIX – pochatku XX st. : Hrani istoriyi : zb. nauk. prats'. Spetsial'nyy vypusk – materialy II Vseukrayins'koyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi «Bakhmuts'ka starovyna: krayeznavchi doslidzhennya – 2018». – Slov'yans'k, 2018. – Vyp. 1(9). – S. 103-113.
2. Donbas v etnopolitychnomu vymiri. - K.: IPIEND imeni I.F. Kurasa NAN Ukrainy, 2014. – 584 s.
3. Vikipediya. Mis'ki ahlomeratsiyi Ukrainy. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Міські\\_агломерації\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Міські_агломерації_України)
4. Karta Luhanskoyi oblasti [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu : [http://www.gps-info.com.ua/images/maps/rastr/ukraine/atlas/luganskaya\\_oblast\\_karta.jpg](http://www.gps-info.com.ua/images/maps/rastr/ukraine/atlas/luganskaya_oblast_karta.jpg)
5. Ositnyanko A.P. Planuvannya rozvytku mista: monohrafiya. K., KNUBA, 2001. - 458 s.
6. Popov V. ZH. Pasyanky proletars'koyi revolyutsiyi: robochi mista Ukrainy v umovakh humanitarnoyi katastrofy 1917–1920 rr. : Hrani istoriyi : zb. nauk. prats'. Spetsial'nyy vypusk – materialy II Vseukrayins'koyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi «Bakhmuts'ka starovyna: krayeznavchi doslidzhennya – 2018». – Slov'yans'k, 2018. – Vyp. 1(9). – S. 121-126
7. Skhema rozpozvydzhennya industrial'noyi revolyutsiyi [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu : [https://liberapedia.wikia.org/wiki/Industrial\\_Revolution?file=F1\\_07\\_pg51.jpg](https://liberapedia.wikia.org/wiki/Industrial_Revolution?file=F1_07_pg51.jpg)
8. Yatsenko V. A. Teoreticheskiye i prakticheskiye idei novogo gradostroitel'stva Donbassa: ikh proshloye, nastoyashcheye i budushcheye // Místobuduvannya ta teritorial'ne planuvannya : nauk.-tekh. zb. – Vip. 21. – K. : KNUBA, 2005. – S. 359 – 366.
9. Kul'chyt's'kyu S., Yakubova L. Donechchyna i Luhanshchyna u XVII–XXI st.st.: istorychni faktory y politychni tekhnolohiyi formuvannya osoblyvoho ta zahal'noho u rehional'nomu prostori. — K.: Instytut istoriyi Ukrainy NAN Ukrainy, 2015. — 813 s
10. Planuvannya i zabudova terytoriy - K.: Minrehionbud Ukrainy. - (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy): DBN B.2.2-12:2018. - Chynnyy vid 2018-09-01. - K., 2018- 179s.
11. Karta liniyi rozmezhuвання OOS [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu : <https://www.imbf.org/karty/images/karta-linii-razgranicheniya-fronta-donbasse-hq.jpg>
12. Demyn N.M. Gorodskiy aglomeratsii v kontekste issledovaniya fenomena form i sistem rasseleniya: Místobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk. - tekhn. zbirnyk - K., KNUBA, 2012. – Vyp. 45 ch.1.

13. Karta okupovanykh terytoriy Ukrainy [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu : <http://bintel.com.ua/uk/article/09-18-De-Occupation/>
14. Belokon' YU.N. Regional'noye planirovaniye (teoriya i praktika)/Pod red. I.A. Fomina. – K.: Logos, 2003.-S.259.

### Соколенко В.М., Подлевский О.Э., Соколенко К.В. Проблемы и предпосылки дополнения функций региональной типологии в современных условиях Луганской области

*Определены исторические аспекты формирования агломераций Донбасса и обстоятельства их деградации. Проведено исследование тенденций развития региона, обстоятельства и предпосылки формирования городских промышленных агломераций. Проанализировано соответствие принятых региональных типологий по признаку функции территории Луганской области в современных условиях. Для внутреннего региона, которым традиционно был Донбасс, вооруженный конфликт привносит линию разграничения и границу. Этот фактор меняет функцию трансграничного сотрудничества на пограничный режим.*

**Ключевые слова:** агломерация, население, типология регионов, градостроительное развитие.

### Sokolenko V. M., Podlevsky O.E., Sokolenko K.V. Problems and prerequisites of the addition of functions of a regional typology in modern conditions of the Luhansk region

*The Donbass region throughout its existence has gone through a number of transformations. During the industrial revolution, the region became an internal region. The territory was not used for a long time and was sparsely populated. The situation began to change with the discovery of coal deposits.*

*The rapid development of Donbass begins in the 70-80s of the XIX century, when the action of several key factors of the industrial revolution coincided. In 1895-1900, the production of cast iron and steel in the Donbass was equal to the volume of production in the Urals, from this period, Donbass can be considered the new industrial center of the Russian Empire.*

*Ukrainian Donbass can be attributed to the industrial region, the basis of which is the coal metallurgical complex. The development phase has passed. As of 2014, the percentage of the urban population of the region reached 80-90%. The population of the region is more than some small European countries. In the region formed 7 agglomerations.*

*The study aims to determine development trends, circumstances and prerequisites of the formation of the agglomerations of the Luhansk region. To analyze the correspondence of regional typologies according to the signs of a function in modern conditions of armed conflict.*

*The development of the region was uneven, based on a resource economy. When natural resources is exhausted, a gradual but irreversible process of the deindustrialization begins.*

*The agglomerations of Donbass were formed from settlements at industrial enterprises. Enterprises were grouped near mineral deposits. The exploitation of the natural wealth of Donbass had a colonial nature.*

*At the beginning of the XXI century, the industrial cities of the Luhansk region and agglomeration faced a number of problems caused by the collapse of the industrial base. It may be noted:*

*environmental pollution of territories;  
outdated technology;  
reduction of the urban development base;  
population decline.*



*In 2014, this situation was moreover complicated by armed conflict. The situation of the artificial separation of the territorial and economic complex has been going on for 5 years.*

*The classification of regions provides two groups - according to typological characteristics of a function and form.*

*At the level of scientific discussion, it became necessary to expand the list of individual special functions of the regional typology. In modern conditions, in the Lugansk and Donetsk regions, a border region is being formed, which has areas of the state border and an JFO demarcation line. On this line, the function of cross-border cooperation, where the exchange of goods and services is dominant, should be supplemented by the function of border control. This function aims at restrictions of a certain type, such as fixing the border, the mode of its crossing, strict adherence to legally established procedures.. It is advisable to consider the addition of the functions of the regional typology in the tasks of improving the territorial planning organization of the Luhansk region.*

**Keywords:** *agglomeration, population, typology of regions, urban development.*

**Соколенко В.М.** – к.т.н., доцент кафедри «Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, E-mail: [13wms13@ukr.net](mailto:13wms13@ukr.net)

**Подлєвський О.Е.** – старший викладач кафедри «Архітектури та містобудування» Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, E-mail: [podlevskii@icloud.com](mailto:podlevskii@icloud.com)

**Соколенко К.В.** – аспірант кафедри «Будівництва, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, E-mail: [k96s@ukr.net](mailto:k96s@ukr.net)

Стаття подана 29.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-81-85>

УДК 66.094.524.55

## ВИВЧЕННЯ УМОВ ПРОЦЕСУ КОНДЕНСАЦІЇ ФЕНОЛУ, ФОРМАЛЬДЕГІДУ ТА СУЛЬФІТУ НАТРІЮ В ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОРозчинних ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Соколенко Н.М., Попов Є.В.

## STUDYING THE CONDITIONS OF THE PROCESS OF PHENOL, FORMALDEHYDE AND SODIUM SULFITE CONDENSATION IN THE TECHNOLOGY OF WATER-SOLUBLE SURFACTANTS

Sokolenko N.M., Popov E.V.

Об'єктом дослідження є реакція, яка полягає в конденсації фенолу з формальдегідом та одночасним сульфуванням сульфітом натрію. За рахунок лугу, а саме NaOH, що утворюється в ході реакції, процес конденсації фенолу з формальдегідом проходить у водному середовищі при  $pH=9-9,5$ . Метою дослідження запропонованої технології є отримання водорозчинних нетоксичних продуктів на основі фенолу, формальдегіду та сульфіту натрію, що можна запропонувати для використання в якості аніоноактивних поверхнево-активних речовин (АПАР). В ході дослідження технології вивчали вплив умов проведення реакції на швидкість реакції, властивості та якість отриманих продуктів. А саме було підібрано оптимальне співвідношення вихідних компонентів, температури та часу процесу. Встановлено, що надлишок формальдегіду або сульфіту натрію призводить до полімеризації реакційної маси з утворенням твердої смоли. Підібрано оптимальне співвідношення вихідних реагентів фенол : формальдегід : сульфит натрію : вода, яке становить 1: (1,25-1,47); 0,4 : (16-20). Час процесу не робить істотного впливу. Було запропоновано час процесу конденсації від 0,6 до 1 години. Встановлено, що при вибраному співвідношенні компонентів і часу проведення конденсації оптимальна температура реакції становить 130 °С. З підвищенням температури збільшується стабілізуюча здатність отриманих зразків ПАР. Якісні характеристики отриманого продукту (стабілізуюча та диспергуюча здатність) дозволяють рекомендувати застосування його в якості аніоноактивної поверхнево-активної речовини. Отримана по запропонованій технології поверхнево-активна речовина на основі фенолу, за властивостями подібна відомому диспергатору НФ (продукт поліконденсації нафталінсульфокислоти і формальдегіду) і може бути рекомендована як заміна вже існуючим диспергаторам на основі нафталіну. Ці продукти знайшли використання як диспергатори органічних барвників та пігментів, як розширювач для свинцевих акумуляторів, як допоміжна речовина в гумовій, шкрянової, анілінофарбній, текстильній, хіміко-фотографічній промисловості, у виробництві синтетичного каучуку, хімічних волокон, оптичних відбілювачів, а також широко застосовується у виробництві мінеральних добрив в якості

речовини, що перешкоджає злежуванню при транспортуванні і зберіганні добрив та інших.

**Ключеві слова** сульфометилування фенолу, формальдегід, бісульфіт натрію, поверхнево-активні речовини, диспергатор, поліконденсація, стабілізатор

**Вступ.** В даний час у виробництві багатьох випускних форм барвників, розширювачів для свинцевих акумуляторів в якості основної поверхнево-активної речовини використовують в основному речовини на основі нафталіну: Диспергатор НФ (продукт, отриманий сульфуванням нафталіну сірчаною кислотою з подальшою конденсацією з формальдегідом), розширювач БНФ (продукт конденсації 2-нафтолсульфокислоти з формальдегідом, виробництво Україна), ВАНІСПЕРСЕ А (лігносульфонат натрію, виробництво Норвегія). У зв'язку з дефіцитом сировини - нафталіну і його похідних та лігніну, в Україні виробництво цих продуктів значно скоротилося. Виникла необхідність в розробці технології диспергатора, що за властивостями не поступається Диспергатору НФ, основу якого становила б доступна сировина. фенолу в якості вихідної сировини.

**Мета статті.** вивчити можливість отримання поверхнево-активної речовини з використанням в якості вихідної сировини фенолу. Підібрати оптимальні умови проведення процесу отримання ПАР.

### Загальна частина.

В продовження роботи [1] нами вивчалась можливість отримання ПАР з використанням в якості вихідної сировини фенолу. З літературних даних, відомі способи отримання диспергуючих агентів на основі фенолу і його похідних. В роботі [2] описаний спосіб отримання диспергатора конденсацією фенолу з формальдегідом та сульфітом натрію при температурі 125-200 °С під тиском протягом шести

годин в присутності лужних агентів, зокрема їдкого натру. Диспергуючий агент можна отримати конденсацією метакрезолу або технічної суміші крезолів з формальдегідом при температурі 90-95 °С протягом шести годин і при температурі 115-123 °С протягом двох годин з подальшою взаємодією отриманого продукту з 2-нафтол-6-сульфокислотою у присутності гідроксиду натрію під тиском при температурі 112-115 °С протягом п'яти годин [3].

Відомий метод синтезу такого роду сполук є конденсація фенолів з формальдегідом та подальше сульфонування отриманої фенолальдегідної смоли (новолаку) сірчаною кислотою, взятої в невеликій кількості. Сульфонування смоли новолачного типу проводять при температурі 110-120°C концентрованою сірчаною кислотою протягом 4-8 годин [4]. Недоліком цього методу є те, що продукт реакції являє собою досить складну суміш мономерів, димарів, тримерів і вільного фенолу.

Описано спосіб [5], що полягає в конденсації фенолу і його похідних з формальдегідом та сульфідом натрію при співвідношенні компонентів 1: (1,1-1,4): (0,3-1,6) і часу конденсації 2-15 годин в інтервалі температур 90-120 °С.

#### Результати досліджень.

Нами проведено ряд досліджень, з метою отримання поверхнево-активної речовини на основі фенолу, з властивостями, аналогічними диспергатору НФ. В ході розробки вивчали вплив умов прове-

дення реакції (співвідношення компонентів, температури і часу процесу) на якість отриманих продуктів, перевіряли їх стабілізуючу та диспергуючу здатність, а також поведінку продуктів в процесі сушіння.

Конденсацію фенолу, формальдегіду і сульфідату натрію проводили в водному середовищі. В якості сульфуючого агента брали сульфід натрію безводний і сульфід натрію кристалічний.

В апарат місткістю 2,5 дм<sup>3</sup>, завантажували компоненти в кількості, зазначеній в таблиці 1: воду, сульфід натрію в перерахунку на безводний, формальдегід (у вигляді 37%-го розчину), розплавлений фенол. Суміш нагрівали до необхідної температури і витримували при цій температурі від 0,5 до 1 години. Отриманий продукт охолоджували до температури 40 °С

Як видно з таблиці 1 на якість кінцевого продукту впливає співвідношення компонентів. Недолік формальдегіду або сульфідату натрію призводить до полімеризації реакційної маси (дослід 2, 12, 16). З підвищенням температури поліпшується стабілізуюча здатність. Час процесу не робить істотного впливу. Кращі результати отримані в умовах досліду № 10. Але для проведення реакції при температурі 150 °С під тиском необхідне спеціальне обладнання - автоклав. Це ускладнює процес апаратного оформлення.

Таблиця 1

Умови конденсації фенолу, формальдегіду, сульфідату натрію

№ досліду	Фенол	Формалін	Сульфід натрію	Вода	Температура, °С	Час, год	Масова частка сухої речовини, %	Стабілізуюча здатність	Зовнішній вигляд
1	1	1,25	0,4	19	150	1	32,0	1,6	Рідина
2	1	1,47	0,3	18	150	0,5	-	-	Тверда смола
3	1	1,4	0,5	17	150	0,5	37,0	2,0	Рідина
4	1	1,4	0,5	17	150	0,75	31,0	1,6	Рідина
5	1	1,4	0,7	19	150	1	39,0	1,2	Рідина
6	1	1,3	0,6	19	150	1	36,0	1,6	Рідина
7	1	1,4	0,4	19	150	1	30,0	2,0	Рідина
8	1	1,25	0,4	19	150	1	33	1,6	Рідина
9	1	1,28	0,5	19	150	1	37	2,0	Рідина
10	1	1,25	0,4	19	150	0,5	35	2,0	Рідина
11	1	1,25	0,4	19	140	1,0	30	1,6	Рідина
12	1	1,3	0,1	18	140	1	-	-	Тверда смола
13	1	1,25	0,4	19	130	1	32,0	2,0	Рідина
14	1	1,47	0,45	17	130	0,6	29,5	1,8	Рідина
15	1	1,3	0,4	19	130	0,75	30,0	1,6	Рідина
16	1	1,2	0,4	19	120	1	-	-	Тверда смола
17	1	1,4	1,0	19	120	1	30,5	1,4	Рідина

Таблиця 2

## Завантажувальна таблиця на дослід № 13 з використанням сульфїту натрію кристалічного

№ п/п	Найменування компонентів	Молекулярна маса, г/моль	Масова частка, %	Маса, г		Кількість речовини, моль	Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	Об'єм, л	На 1 моль фенолу
				Техн.	100%				
1	Водний розчин сульфїту натрію		13	753,5					
1.1	Сульфїт натрію	252	52,0	189,7	98,62	0,783			0,41
1.2	Вода	18	100	563,8		31,3	1,0	563,8	16,4
2	Фенол	94	99	181,2	179,4	1,909	1,047	173,1	1,0
3	Формалін	30	37,0	202,8	75,04	2,386	1,09	186,1	1,25
	Всього:			1137,5					

Таблиця 3

## Завантажувальна таблиця на дослід № 13 з використанням сульфїту натрію безводного

№ п/п	Найменування компонентів	Молекулярна маса, г/моль	Масова частка, %	Маса, г		Кількість речовини, моль	Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	Об'єм, л	На 1 моль фенолу
				Техн.	100%				
1	Водний розчин сульфїту натрію		13	753,5					
1.1	Сульфїт натрію	126	97,5	100,6	98,62	0,783			0,41
1.2	Вода	18	100	652,9	652,9	36,27	1,0	652,9	19
2	Фенол	94	99	181,2	179,4	1,909	1,047	173,1	1,0
3	Формалін	30	37,0	202,8	75,04	2,386	1,09	186,1	1,25
	Всього:			1137,5					

Таблиця 4

## Завантажувальна таблиця на дослід № 14 з використанням сульфїту натрію кристалічного

№ п/п	Найменування компонентів	Молекулярна маса, г/моль	Масова частка, %	Маса, г		Кількість речовини, моль	Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	Об'єм, л	На 1 моль фенолу
				Техн.	100%				
1	Сульфїт натрію	252	52,0	351,1	182,55	1,4	-	-	0,45
2	Вода	18	100	1000	-	55,5	1,0	1000	17,3
3	Фенол	94	99	302,5	299,5	3,2	1,047	288,9	1,0
4	Формалін	30	37,0	383,8	142	4,73	1,1	348,9	1,47
	Всього:			2037,4					

Таблиця 5

## Завантажувальна таблиця на дослід № 14 з використанням сульфїту натрію безводного

№ п/п	Найменування компонентів	Молекулярна маса, г/моль	Масова частка, %	Маса, г		Кількість речовини, моль	Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	Об'єм, л	На 1 моль фенолу
				Техн.	100%				
1	Сульфїт натрію	126	97,5	185,35	180,72	1,45			0,45
2	Вода	18	100	1165,75	1165,75	64,8	1,0	1195,75	20,2
3	Фенол	94	99	302,5	299,5	3,2	1,047	288,9	1,0
4	Формалін	30	37,0	383,8	142,0	4,7	1,09	348,9	1,47
	Всього:			2037,4					

В основу подальших досліджень були покладені умови досліду 13 та 14. Процес конденсації вели при температурі 130 °С протягом від 0,6 до 1 години. Були використані два зразка сульфїту натрію. У першому випадку використовували сульфїт натрію кристалічний ( $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (таблиця 2,4), у другому випадку - сульфїт натрію безводний (таблиця 3,5).

В процесі конденсації були отримані рідкі, текучі зразки продукту з масовою часткою основної речовини 32,0% (в умовах досліду 13 таблиці 2,3) і 29,5% (в умовах досліду 14 таблиці 4,5). Отримані зразки сушили в сушарці при  $160 \pm 20$  °С. Отримано однорідний порошок рожевого кольору, який аналізували на стабілізуючу та диспергуючу здатність [6]. Вихід, вважаючи на завантажені компоненти, склав 99,3% (347,1 г) і 98% (614,5 г) відповідно.

### Висновки

1. В лабораторних умовах отримана поверхнево-активна речовина на основі фенолу, з властивостями, аналогічними диспергатору НФ по технології, яка полягає в конденсації фенолу, формальдегіду і сульфїту натрію у водному середовищі при температурі 130 °С протягом 0,6-1,0 години.

2. Встановлено, що на якість кінцевого продукту впливає співвідношення реагентів. Недолік формальдегіду або сульфїту натрію призводить до полімеризації реакційної маси та отримання твердої смоли. Вибрано оптимальне співвідношення фенол : формальдегід : сульфїт натрію : вода, яке становить 1 : (1,25-1,47) : 0,4 : (16-20).

3. Час процесу конденсації від 0,6 до 1 години не робить істотного впливу.

4. Встановлено, що при вибраному співвідношенні компонентів і часу проведення конденсації оптимальна температура реакції становить 130 °С.

5. Якісні характеристики отриманого продукту (стабілізуюча та диспергуюча здатність) дозволяють рекомендувати застосування його в якості диспергатора органічних барвників та пігментів та в якості розширювача для свинцевих акумуляторів аналогічно Диспергатору НФ.

### Література

1. Использование фенольных сточных вод коксохимических производств в технологии пластифицирующих добавок для бетона. Соколенко Н.М., Попов Е.В., Рубан Э.В., Фастовецкая Е.В. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 5 (229) – м. Северодонецьк, 2016 – С. 14-18
2. Патент ФРГ № 2032926, С.А. Vol. 76, 128687 г, 1970
3. Патент ПНР № 66780, РЖХим., 7Н218П, 1974
4. В.А. Журавлев, Т.В. Мурашкина. Исследование процесса и состава продуктов сульфометилирования фенола / Вестник Кузбасского государственного технического университета. Химическая технология. 2005. Номер 6. С. 85-87
5. Патент США № 3872056, С.А. Vol. 83, 444159.6, 1975
6. Поверхностно-активные вещества: Справочник / Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. и др.; Под ред.

А. А. Абрамзон и Г. М. Гаевой. - Л.: Химия, 1979. - 376 с.

### References

1. The use of phenolic wastewater coke-chemical industries in the technology of plasticizing additives for concrete. Sokolenko N.M., Popov E.V., Ruban E.V., Fastovetskaya E.V. Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University № 5 (229) - Severodonetsk, 2016 - P. 14-18
2. Patent of Germany No. 2032926, С.А. Vol. 76, 128687, 1970
3. The NDP patent number 66780, РЖХим., 7Н218П, 1974
4. V.A. Zhuravlev, T.V. Murashkina. Study of the process and composition of phenol sulfomethylation products / Bulletin of Kuzbass State Technical University. Chemical Technology. 2005. Number 6. P. 85-87
5. USA patent No. 3872056, С.А. Vol. 83, 444159.6, 1975
6. Surface-active substances: a Handbook / Abramzon, A.A., Bocharov, V.V., Gaevoy, G.M. and etc.; Ed. A. A. Abramzon and G. M. Gaevoy. - L.: Chemistry, 1979. - 376 p.

### Соколенко Н.М., Попов Е.В. Изучения условий процесса конденсации фенола, формальдегида и сульфита натрия в технологии водорастворимых поверхностно-активных веществ.

Объектом исследования является реакция, которая заключается в конденсации фенола с формальдегидом и одновременным сульфированием сульфитом натрия. За счет щелочи, а именно NaOH, образующейся в ходе реакции, процесс конденсации фенола с формальдегидом происходит в водной среде при  $\text{pH}=9-9,5$ . Целью исследования предложенной технологии является получение водорастворимых нетоксичных продуктов на основе фенола, формальдегида и сульфита натрия, которые можно предложить для использования в качестве анионоактивных поверхностно-активных веществ (АПАВ). В ходе исследования технологии изучали влияние условий проведения реакции на скорость реакции, свойства и качество полученных продуктов. А именно было подобрано оптимальное соотношение исходных компонентов, температуры и времени процесса. Установлено, что недостаток формальдегида или сульфита натрия приводит к полимеризации реакционной массы с образованием твердой смолы. Подобрано оптимальное соотношение исходных реагентов фенол: формальдегид: сульфит натрия: вода, которое составляет 1: (1,25-1,47): 0,4: (16-20). Время процесса не оказывает существенного влияния. Была предложена продолжительность проведения процесса конденсации от 0,6 до 1,0 часа. Установлено, что при выбранном соотношении компонентов и времени проведения конденсации оптимальная температура реакции составляет 130 °С. С повышением температуры увеличивается стабилизирующая способность полученных образцов ПАВ. Качественные характеристики полученного продукта (стабилизирующая и диспергирующая способность) позволяют рекомендовать применение его в качестве анионоактивного поверхностно-активного вещества. Полученное по предложенной технологии поверхностно-активное вещество на основе фенола, по свойствам подобно известному диспергатору НФ (продукт поликонденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида) и может быть рекомендовано в качестве замены уже существующим диспергаторам на основе нафталина. Также эти продукты нашли применение как диспергаторы органических красителей и пигментов, как расширитель для свинцовых аккумуляторов, как вспомогательное вещество в резиновой, кожевенной, анилинокрасочной, текстильной, химико-фотографической промышленности, в производ-

стве синтетического каучука, химических волокон, оптических отбеливателей, а также широко применяется в производстве минеральных удобрений в качестве вещества, препятствующего слеживанию при транспортировке и хранении удобрений и прочее.

**Ключевые слова:** сульфо-метилирование фенола, формальдегид, бисульфит натрия, поверхностно-активные вещества, диспергатор, поликонденсация, стабилизатор.

**Sokolenko N.M., Popov E.V. Studying the conditions of the process of phenol, formaldehyde and sodium sulfite condensation in the technology of water-soluble surfactants**

*The object of the study is a reaction consisting of the condensation of phenol with formaldehyde and the simultaneous sulfation of sodium sulfite. Due to the alkali, namely NaOH formed during the reaction, the process of condensation of phenol with formaldehyde takes place in an aqueous medium at pH=9-9,5. The purpose of the study of the proposed technology is to obtain water-soluble non-toxic products based on phenol, formaldehyde and sodium sulfite, which can be proposed for use as anionic surfactants. In the course of the technology study, the effect of the reaction conditions on the reaction rate, properties and quality of the products obtained was studied. Namely, the optimal ratio of the original components, temperature and process time was selected. It was found that the lack of formaldehyde or sodium sulfite leads to the polymerization of the reaction mass with the formation of a solid resin. Selected the optimum ratio of starting reagents phenol: formaldehyde: sodium sulfite: water, which is 1: (1,25-1,47): 0,4: (16-20). The process time does not have a significant impact. The time of the*

*condensation process was suggested to be 0.6 to 1 hour. It is established that the optimum reaction temperature is 130 oC at the selected ratio of the components and the condensation time. With increasing temperature, the stabilizing ability of the obtained surfactant samples increases. The qualitative characteristics of the product obtained (stabilizing and dispersing ability) make it possible to recommend its use as an anionic surfactant. Obtained by the proposed technology, a surfactant based on phenol, in properties similar to the known dispersant of NF (product of polycondensation of naphthalenesulfonic acid and formaldehyde) and can be recommended as a replacement for existing dispersants based on naphthalene. These products have been used as dispersants of organic dyes and pigments, as an expander for lead-acid batteries, as an adjuvant in the rubber, leather, aniline, textile, chemical and photographic industries, in the production of synthetic rubber, chemical fibers, optical brighteners, and optical brighteners. production of mineral fertilizers as a substance that prevents caking during transportation and storage of fertilizers and more.*

**Key words:** sulfo-methylation of phenol, formaldehyde, sodium bisulfite, surfactants, dispersant, polycondensation, stabilizer.

**Соколенко Н.М.** – аспірант кафедри екології та технології полімерів ІХТ СХУ ім. В. Даля (м. Рубіжне).  
e-mail: [sokolenkonadiya@gmail.com](mailto:sokolenkonadiya@gmail.com)

**Попов Е.В.** – д.т.н., проф., зав. кафедри екології та технології полімерів ІХТ СХУ ім. В. Даля (м. Рубіжне)

Стаття подана 24.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-86-93>

УДК 004.942 ; 519.85

## МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ ІТ КОМПАНІЙ

Татарченко Є. С., Лифар В. О.

## MODELS AND METHODS OF ASSESSING THE STATE OF IT COMPANIES

Tatarchenko Y.S., Lyfar V.O.

*В статті описані різні підходи до моделей та методів, що забезпечують інформаційну підтримку обробки потоків даних та процеси порівняльного аналізу для імітаційно-постадійної моделі. Описані та аналізовані структурні та математичні моделі, що лежать в основі обробки інформаційних потоків при оцінці ймовірності розвитку сценаріїв життєвих циклів ІТ розробок, а також структурно-логічні моделі визначення наслідків розвитку цих процесів. Формалізовані та структуровані процеси виробітки та аналізу процесів підтримки прийняття рішень задля досягнення найбільш раціональних наслідків процесів злиття та поглинання.*

**Ключові слова:** ІТ проекти, управління проектами, моделі, прийняття рішень, mergers and acquisitions, ризик, фінансовий звіт.

**1. Вступ.** Для розв'язання описаних науково-технічних задач по управлінню станом ІТ компаній при злиттях та поглинаннях запропоновано **метод імітаційно-стадійного моделювання**, що заснований на послідовній формалізації логічних причинно-наслідкові зв'язки подій, що можуть бути представлені в структурній моделі пов'язаних процесів розвитку сценаріїв при використанні організаційних, економічних, технічних та інших рішень при реалізації М&А.

Процеси злиття та поглинання, що аналізуються, породжують множини подій технологічного, організаційного, економічного, психологічного, інформаційного та багатьох інших характерів, що можуть призвести як до позитивних, так і до негативних наслідків. Основна задача моделювання полягає в відборі таких рішень, що призводять к інтегрованому позитивному ефекту. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки моделей та методів підтримки прийняття рішень при управлінні ІТ компаніями.

Для ефективного моделювання пропонується створення комплексу моделей, що відповідають наступним вимогам:

- нормативність – від референтної (описання класу об'єктів) до конкретного об'єкту;
- динамічна (імітаційна);
- матеріальна та процедурна;
- стохастична та змістовна.

Моделі бізнеса, до яких відносяться моделі процесів злиття та поглинання, повинні відображати [1-4]:

- функції, які бізнес-структура повинна виконувати (що вона виробляє, для якого сегменту ринку, з якою ціллю та інше);
- процеси та їх послідовність (дискретно, операційно);
- організаційну структуру, що забезпечує послідовність операцій;
- матеріальні, фінансові, інформаційні потоки, що виникають при виконанні процесів;
- дані, що необхідні при виконанні процесів та їх взаємний вплив (логіко-структурний аналіз).

Для розв'язання задач імітаційно-постадійного моделювання процесів М&А поєднано з методами раціоналізації ресурсів компанії за ступенем їх важливості (економічного ефекту) автори пропонують впровадити гібридизацію ARIS (Architecture of Integrated Information System) [5] та методів структурного моделювання класу IDEF [11-15] та принципами ABC-аналізу [33-36].

Структурні методології представлені наступними моделями:

– Function Modeling — функціональне моделювання з використанням графічних лексем IDEF0 що поєднують набір пов'язаних між собою функцій (блоків). Зазвичай, IDEF0 використовується на першому етапі аналізу будь якої структурованої системи. Ця метода є наступним етапом розвитку відомого мови опису функціональних систем SADT (Structured Analysis and Design Technique) [28];

– Information Modeling — IDEF1 моделювання інформаційних потоків всередині систем, що дозволяють відображати та аналізувати їх структуру та взаємні зв'язки. IDEF1 Extended — Data Modeling

— методи моделювання баз даних на основі моделі «сутність-зв'язок». Необхідно для побудови інформаційної моделі, що відображує та імітує структуру потоків інформації, що зумовлює підтримку функціоналу виробничої системи або середовища. Метод IDEF1 дозволяє будувати структурну модель даних, що еквівалентна реляційній моделі в 3-й нормальній формі. IDEF1X-діаграми використовуються множиною CASE-засобів (зокрема, ERwin, Design/IDEF) [29].

– Process Description Capture (документування технологічних процесів) — методи документування процесів, що виникають в системі, або проектах, описують сценарії та логічну послідовність операцій для кожного важливого процесу або події. IDEF3 має пряму наслідкову послідовність, пов'язану з IDEF0 так, що кожна функція може бути розшифрована в формі (протоколі) окремого процесу IDEF3;

– Object-Oriented Design — методологія побудови об'єктно-орієнтованих систем (IDEF4) [30] пропонується замінити методами «дерев відмов» (FTA) [37];

– Ontology Description Capture — Стандарт онтологічного дослідження складних систем (методологія IDEF5) пропонується замінити методами «дерев подій» (ETA).

Паралельно зі структурними методами моделювання можна використовувати **АВС-аналіз** [33-36]. Це метод, що дозволяє класифікувати ресурси компанії на основі принципу переваг за показниками їх важливості. Цей аналіз є важливою частиною розробки оптимальних рішень.

**2. Мета досліджень** – підвищення конкурентоздатності ІТ компаній за рахунок пошуку найбільш раціональних рішень завдяки використанню інформаційної технології, моделей та методів оцінки ризику поточного стану компаній.

**3. Задача дослідження** – розробка імітаційно-стадієвої моделі, що дозволяє аналізувати ймовірність реалізації подій і процесів, а також, завдяки поетапному розгляду цих процесів, врахувати динамічні характеристики.

**Аналіз літературних даних.** Для кожної стадії життєвого циклу компаній проводиться розробка та поєднання структурних моделей різного рівня та призначення. Їх поєднання в одну логічну форму дає можливість створення оргграфа станів компаній на згортку/розгортку ланцюгів графу до рівня гілок дерев. Надалі детермінованими методами та моделями можливий кількісний аналіз показників стану розвитку компаній та досягнення бажаної цілі – пошук найбільш раціональних рішень що є результатом підтримки рішень шляхом використання інформаційної технології, моделей та методів оцінки ризику поточного стану компаній. Загальний підхід до імітаційно-стадієвого моделювання демонстрований на рис. 1.

В загальну об'єднану інтегральну модель формується наступна послідовність: Організаційна схема (Organizational chart) || → Дерево функцій (Function Tree) || → моделі процесів/управління (діаграма eEPC (extended Event driven Process Chain) → IDEF0 → IDEF1X → IDEF3 → FTA → ETA. Паралельно реалізуються методи АВС-аналізу для визначення фінансових наслідків структурних подій.

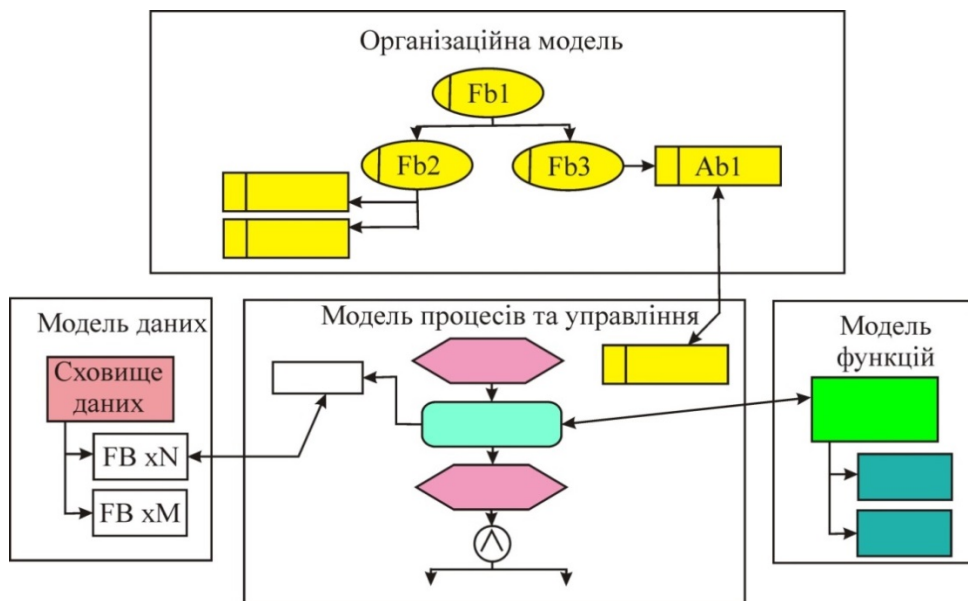
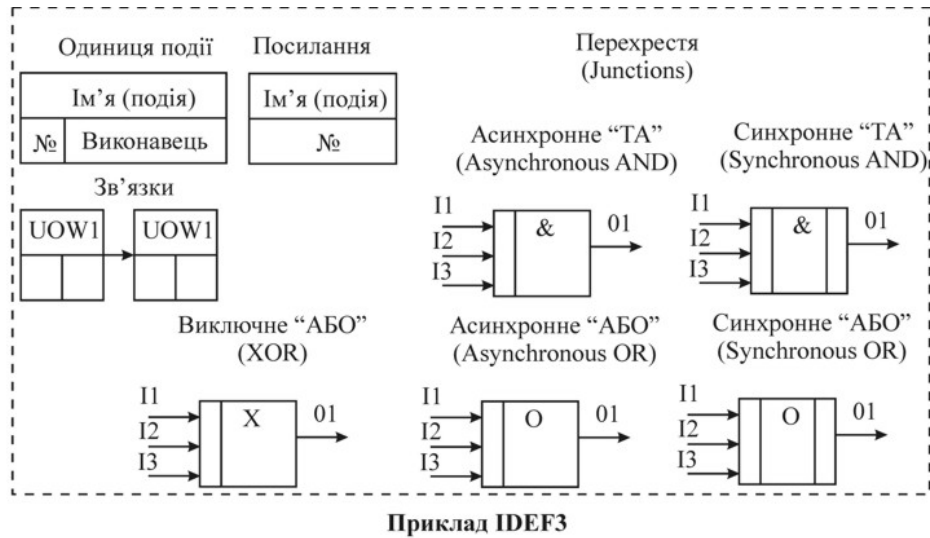


Рис. 1. Схема формування імітаційно-стадієвої моделі





Приклад IDEF3

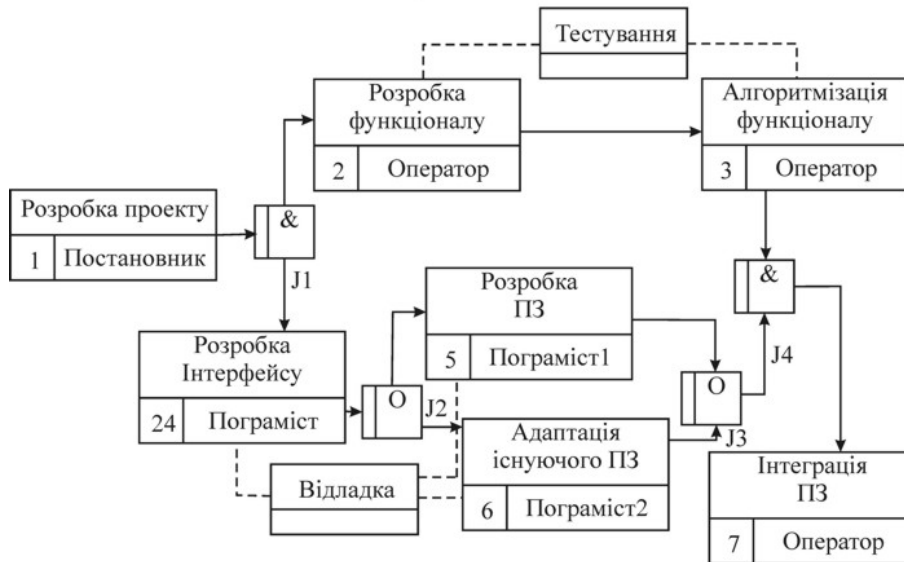


Рис. 2. Опис застосування IDEF3-моделі

В описаних структурах:

- IDEF0-модель складається з наборів ієрархічних зв'язаних діаграм. На діаграмі блоки поєднуються дугами (підграф функціональної моделі) та вихідні дуги одних блоків можуть бути входами інших. Дуги з одним вільним кінцем мають виток або отримувач поза діаграмою. Для визначення зовнішніх дуг використовують позначки: I (Input), C (Control), O (Output) M (Mechanism);

- дані представлені моделлю класу IDEF1 Extended таким чином, що всі вхідні дані та вихідні змінні повинні бути нормалізовані та визначені в повній мірі в інших моделях;

- IDEF3-моделі використовуються для документування технологічних (інформаційних) процесів, де важливо враховувати послідовність та логічну спрямованість виконання процесу. Приклад застосування цієї моделі представлений на рис. 2;

- послідовне поєднання FTA та ETA демонструється в наступних підрозділах.

Процеси в компаніях, що аналізуються складаються з множин процесів, що можуть бути отри-

мані за рахунок більш ретельної декомпозиції складних процесів, розподілених в логічній послідовності. В результаті аналізу потоків подій, що представлені як послідовність кроків «прецедентів», виділяється множина  $i$ -х окремих подій, що можуть мати вагомі наслідки ( $i=1..J$ ), з'ясується їх послідовність і властивості, необхідні визначення стану показників розвитку компаній. Досліджувані процеси в компаніях розбиваються на функціональні блоки, до складу яких входять прецеденти.

Для кожної  $i$ -ї події виділяється множина  $k$  станів, обумовлених сполученнями комбінацій відхилень, зовнішніх впливів, змінних режимів роботи та інше, що призводять до негативних, або позитивних наслідків.

Об'єкт досліджень – процеси прийняття рішень при управлінні роботою ІТ компаній.

Предмет досліджень – моделі, методи та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в галузі управління станом ІТ компаній та створення конкурентоспроможного середовища їх існування.

**4. Результати впроваджень та їх обговорення.** Розробка імітаційно-стадієвої моделі (ICM) компаній, що досліджуються, на відміну від існуючих методів дискретно-подієвого моделювання, дозволяє врахувати причинно-наслідкові зв'язки між подіями та процесами, що носять стохастичний характер. Спочатку на підставі даних аналізу структур подій та процесів експерти формалізують і пов'язують причинно-наслідкові ланцюги подій ICM моделі в форматі FTA, використовуючи при цьому низхідний метод аналізу. Кількість «дерев відмов» відображає повну множину подій, що мають наслідки («верхні події», наприклад: впровадження розробки в заданий термін). Верхньою подією може бути як певне досягнення з позитивним ефектом, так і провал цього досягнення. Відмінність в такому випадку полягає в ймовірності відмови  $P_f$ , або ймовірності успіху  $P_s = 1 - P_f$ .

Для кожного «дерева відмов», що досягає «верхньої події» можна провести конкатенацію цієї події як початкову умову «дерева подій», або бути початковою для подій впливу. Починаючи з ініціюючої події розбудується бінарне розгалуження «дерева подій», що відображає логіку розвитку різних сценаріїв з урахуванням стохастичних показників і ефективність засобів впливу (рішень). При цьому висхідним аналізом формуються гілки сценаріїв, що завершуються позитивними, або негативними наслідками.

До інтегральних показників ризику, що створюється за різноманітними сценаріями, можна віднести:

1. Ймовірність негативного розвитку сценаріїв (всього  $n$ ), що обумовлений  $j$ -ми процесами  $i$ -х рішень:

$$P_t^n = \sum_i \sum_j P_{ij}^n \quad (1)$$

2. Ймовірність позитивного розвитку сценаріїв (всього  $p$ ), що обумовлений  $j$ -ми процесами  $i$ -х рішень:

$$P_t^p = 1 - P_t^n \quad (2)$$

3. Очікуваний загальний збиток:

$$ED = \sum_i \sum_j P_{ij}^n \cdot US_{ij} \quad (3)$$

де  $P_{ij}^n$  - ймовірність реалізації  $j$ -го негативного сценарію, що виникає при прийнятті  $i$ -го рішення;  $US_{ij}$  - збиток від  $j$ -го процесу  $i$ -го рішення.

4. Очікуваний загальний прибуток:

$$EP = \sum_i \sum_j P_{ij}^p \cdot In_{ij} \quad (4)$$

де  $P_{ij}^p$  - ймовірність реалізації  $j$ -го позитивного сценарію, що виникає при прийнятті  $i$ -го рішення;  $In_{ij}$  - прибуток від  $j$ -го процесу  $i$ -го рішення.

Для визначення прийнятного рівня ризику пропонується загальний очікуваний ефект. Тобто якщо сума очікуваного збитку та очікуваного прибутку є позитивною, то вважати загальний ризик як такий, що не несе загроз. Однак, якщо очікуваний загальний прибуток менш, ніж отримуваний до процедур злиття та поглинань, то це підтверджує припущення, що такі процедури не мають сенсу (більш шкідливі).

Оцінка ризику фінансових наслідків визначається на основі аналізу їх ймовірності, а також упереджених дій в компанії та відновлення позитивних процесів. В значній мірі можливо впливати на процеси діями по страхуванню і акумуляції коштів задля нівеляції можливих відхилень від мети реформ в компаніях. Однак, очікувані витрати на запобіжні міри не мають перевищувати очікуваний збиток, бо в такому випадку ці заходи не мають сенсу.

**4. Результати впроваджень та їх обговорення.** Для проведення описаних вище оцінок та отримання вагових показників, необхідно виконати декілька стадій моделювання та інформаційної обробки даних. На рис. 3 представлена схема стадій моделювання, та процесів, що призводять до пошуку найбільш раціональних рішень по M&A.

Інформаційний обмін, розрахунки та процеси виробітки рішень поділені на такі стадії:

- стадія збору та обробки даних призначена для первинної формалізації завдання досліджень, а також забезпечення процесів формування знань про ІТ компанії, що підлягають злиттям, що дозволяють застосувати моделі по визначенню можливих наслідків. На цій стадії реалізуються методи декомпозиції процесів в компаніях, аналіз та розробка множин FTA та ETA і наповнюється база знань подій. Визначаються первинні кількісні показники ризику, формується база моделювання оцінки поточних показників ризику;

- стадія структурного моделювання процесів, в якій реалізується повна модель класу ARIS та гібридної постадійної моделі класу IDEF. На цій стадії визначаються ваги орграфу станів компаній та показники поточного ризику, що дає можливість створити не тільки послідовності причинно-наслідкових зв'язків подій в компаніях, а й кількісні показники надійності;

- стадія експертних оцінок втрат та прибутків забезпечує моделювання та ABC-аналіз, що дозволяють визначити основні економічні показники подій та станів, що виникають в компаніях при злиттях та поглинаннях та при реалізації сценаріїв, що є наслідками приймаємих рішень;

- стадія моделювання процесів підтримки включає в себе розробку пропозицій, їх порівняльний аналіз з урахуванням показників ризику та процес пошуку найбільш раціональних оптимальних в сенсі Парето рішень, що призводять до максимального

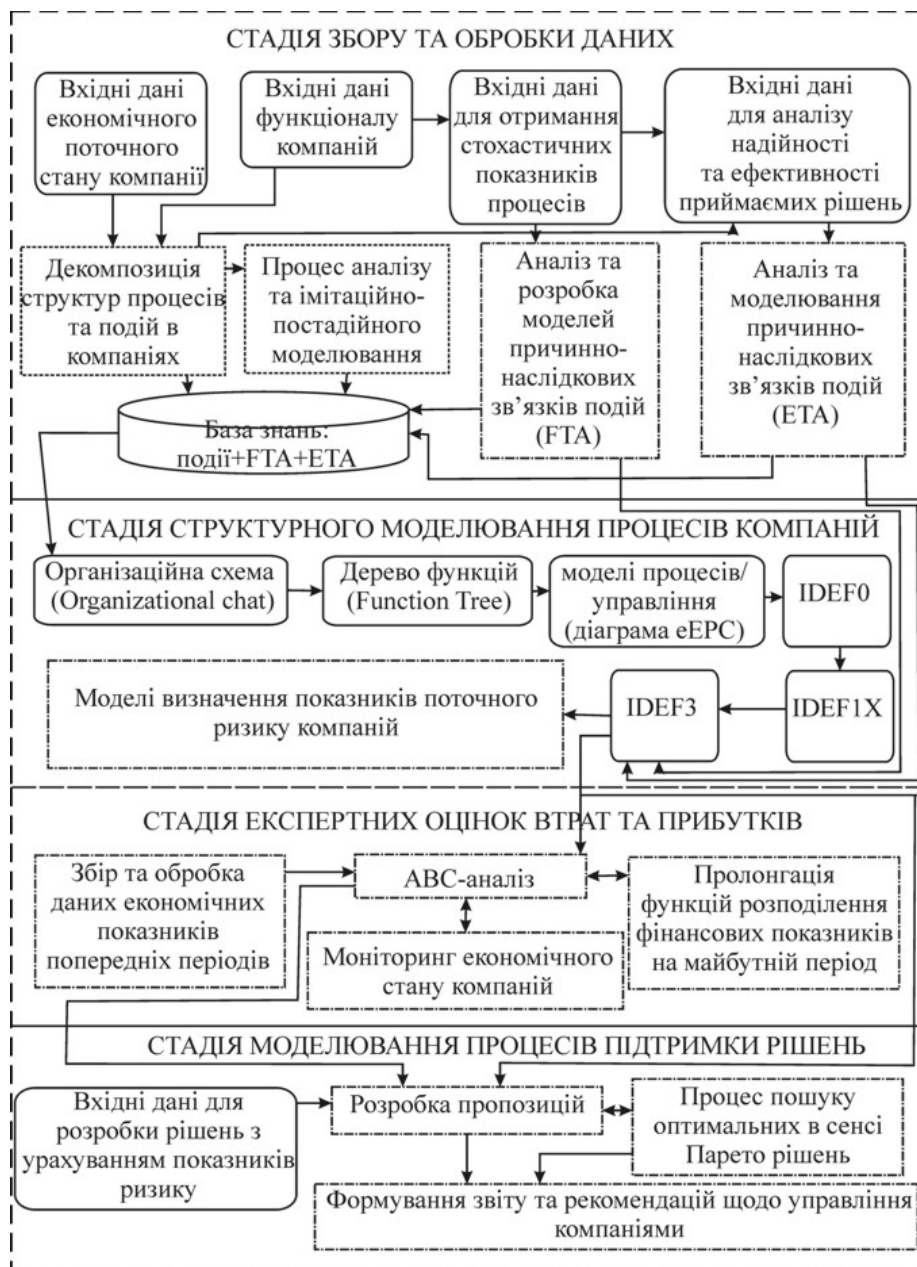


Рис. 3. Структурна інформаційна модель стадій аналізу та виробітки рішень

позитивного ефекту процесів M&A. А якщо такі рішення не призводять до наміченого очікуваного прибутку, то робиться висновок в недоцільності таких перетворень.

Все вказане вище інтегрується в інформаційну технологію, яка на відміну від існуючих передбачає комплексний підхід до моделювання процесів оцінки ризику з використанням спрямованого розвитку сценаріїв та впливів окремих подій на процеси, що змінюють стани компанії. Синтез методів та моделей реалізується завдяки поєднанню методів математичної логіки і аналітичних моделей структурованого опису процесів, що відбуваються в часі та послідовності, яка задається експертами.

На відміну від існуючих методів дискретно-подієвого моделювання (DES - Discrete Event Simulation) [38] автором пропонується врахувати як

ймовірнісні характеристики подій, що складають вершини в графі, так і послідовність та динамічні характеристики поєднань, що впливають на стан компанії та одне на одного. Формалізація таких процесів базується на наступному математичному апараті.

Надалі стає можливим представлення алгебраїчної форми інформаційної та математичних моделей оцінки стану ІТ компанії з урахуванням показників ризику.

**5. Висновки.** В результаті проведених досліджень були розроблені структурні моделі та методи аналізу стохастичних і детермінованих складових ризику наслідків які впливають на розвиток життєвого циклу розробок ІТ компанії.

Запропоновано концептуальний підхід та методи для вирішення завдань обробки інформації про

стан ІТ компаній, який на відміну від існуючих методів аналізу фінансового стану дозволяють враховувати ймовірність реалізації сценаріїв розвитку процесів, що мають істотний вплив на наслідки злиття і поглинання.

Запропоновано методи постадійного моделювання процесів в ІТ компаніях, що можуть бути основою для впровадження інформаційної технології підтримки рішень щодо процесів злиття та поглинання.

### Л і т е р а т у р а

- Бобрышев, А.Д. Бизнес-модели в управлении устойчивым развитием предприятий: Учебник / А.Д. Бобрышев, В.М. Тумин, К.М. Тарабрин. - М.: Инфра-М, 2013. - 31 с.
- Ватутин, С. Клонирование бизнеса. Франчайзинг и другие модели быстрого роста / С. Ватутин, М.Е. Тришин. - СПб.: Питер, 2013. - 192 с.
- Винстон, У. Бизнес-моделирование и анализ данных. Решение актуальных задач с помощью Microsoft Excel / У. Винстон. - СПб.: Питер, 2006. - 320 с.
- Долганова, О.И. Моделирование бизнес-процессов: Учебник и практикум для академического бакалавриата / О.И. Долганова, Е.В. Виноградова, А.М. Лобанова. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 289 с.
- Шеер А. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. — Весть-МетаТехнология, 1999. — 182 с. — ISBN 5-88-661-022-7.
- Калашян, А.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / А.Н. Калашян, Г.Н. Калянов. - М.: Финансы и статистика, 2009. - 256 с.
- Калянов, Г.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / Г.Н. Калянов. - М.: Финансы и статистика, 2009. - 256 с.
- Ковалев, В.В. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / В.В. Ковалев. - М.: Финансы и статистика, 2009. - 256 с.
- Кохно, П.А. Модели управления бизнесом корпораций / П.А. Кохно, А.П. Кохно, Н.В. Лясников. - М.: Русайнс, 2016. - 64 с.
- Мадера, А.Г. Бизнес-процессы и процессное управление в условиях неопределенности: Количественное моделирование и оптимизация / А.Г. Мадера. - М.: Ленанд, 2019. - 160 с.
- Маклаков, А.Г. Моделирование бизнес-процессов с ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1). / А.Г. Маклаков. - М.: Диалог-МИФИ, 2008. - 240 с.
- Маклаков, С.В. Моделирование бизнес-процессов с ALLFusion PM. / С.В. Маклаков. - М.: Диалог-МИФИ, 2008. - 224 с.
- Моазед, А. Платформа. Практическое применение революционной бизнес-модели / А. Моазед. - М.: Альпина Паблишер, 2019. - 288 с.
- Репин, В.В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В.В. Репин. - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. - 512 с.
- Репин, В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В.В. Репин. - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. - 544 с.
- Рис, Э. Бизнес с нуля: Метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели / Э. Рис. - М.: Альпина Паблишер, 2013. - 249 с.
- Рис, Э. Бизнес с нуля: метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели / Э. Рис. - М.: Альпина Паблишер, 2016. - 255 с.
- Теличенко, В.И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве / В.И. Теличенко. - М.: АСВ, 2008. - 144 с.
- Хотинская, Г.И. Деловая активность бизнеса как фактор экономического роста (оценочные модели и финансовые инструменты) / Г.И. Хотинская. - М.: Русайнс, 2018. - 480 с.
- Черкай, А.Д. Бухгалтерский и финансовый учет - язык бизнеса для руководителей. МСФО, US GAAP, РСБУ: Теория двух рядов 4-х счетов автора, новые балансовые уравнения и лингвистические модели учета / А.Д. Черкай. - М.: Черкай, 2013. - 120 с.
- Шёнталер, Ф. Бизнес-процессы. Языки моделирования, методы, инструменты / Ф. Шёнталер. - М.: Альпина Паблишер, 2019. - 264 с.
- INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0) Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993 December 21
- INTEGRATION DEFINITION FOR INFORMATION MODELING (IDEF1X), Draft Federal Information Processing Standards Publication 184 1993 December 21.
- Давид Марка, Клемент МакГоуэн, Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. М.:1993, 240 с., ISBN 5-7395-0007-9
- Черемных, С.В. IDEF0, IDEF3 и DFD / С.В. Черемных, И.О. Семенов, С.В. Ручкин. — М.: Финансы и статистика, 2001.
- INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0) // Draft Federal Information Processing Standards Publication 183. — 1993. — December.
- Ultsch, Alfred, Jörn Löttsch. «Computed ABC analysis for rational selection of most informative variables in multivariate data» PLOS One 10.6 (2015): e0129767.
- Kringel, D., Ultsch, A., Zimmermann, M., Jansen, J. P., Ilias, W., Freynhagen, R., & Resch, E. (2016). Emergent biomarker derived from next-generation sequencing to identify pain patients requiring uncommonly high opioid doses. The pharmacogenomics journal.
- Iovanella, A.: Vital few e trivial many, Il Punto, pp 10-13, July, 2017.
- Barbara Pawelek, Jozef Pocięcha, Mateusz Baryła, ABC Analysis in Corporate Bankruptcy Prediction, Abstracts of the IFCS Conference, p 17, Tokyo, Japan, 2017
- ГОСТ Р 51901-2002 (МЭК 60300-3-9:1995). Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002, 22 с.
- Кельтон В. Имитационное моделирование. — СПб.; Питер: Киев: Издательская группа BHV, 2004, — 847 с.

### References

- Bobryshev, A.D. Biznes-modeli v upravlenii ustoychivym razvitiyem predpriyatij: Uchebnik / A.D. Bobryshev, V.M. Tumin, K.M. Tarabrin. - M.: Infra-M, 2013. - 31 s.
- Vatutin, S. Klonirovaniye biznesa. Franchayzing i drugiye modeli bystrogo rosta / S. Vatutin, M.Ye. Trishin. - SPb.: Piter, 2013. - 192 c.
- Vinston, U. Biznes-modelirovaniye i analiz dannykh. Resheniye aktual'nykh zadach s pomoshch'yu Microsoft Excel / U. Vinston. - SPb.: Piter, 2006. - 320 c.
- Dolganova, O.I. Modelirovaniye biznes-protsessov: Uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata

- / O.I. Dolganova, Ye.V. Vinogradova, A.M. Lobanova. - Lyubertsy: Yurayt, 2016. - 289 c.
5. Sheyer A. Biznes-protssessy. Osnovnyye ponyatiya. Teoriya. Metody. — Vest'-MetaTekhnologiya, 1999. — 182 s. — ISBN 5-88-661-022-7.
  6. Kalashyan, A.N. Strukturnyye modeli biznesa: DFD-tekhnologii / A.N. Kalashyan, G.N. Kalyanov. - M.: Finansy i statistika, 2009. - 256 c.
  7. Kalyanov, G.N. Strukturnyye modeli biznesa: DFD-tekhnologii / G.N. Kalyanov. - M.: Finansy i statistika, 2009. - 256 c.
  8. Kovalev, V.V. Strukturnyye modeli biznesa: DFD-tekhnologii / V.V. Kovalev. - M.: Finansy i statistika, 2009. - 256 c.
  9. Kokhno, P.A. Modeli upravleniya biznesom korporatsiy / P.A. Kokhno, A.P. Kokhno, N.V. Lysnikov. - M.: Rusayns, 2016. - 64 c.
  10. Madera, A.G. Biznes-protssessy i protsessnoye upravleniye v usloviyakh neopredelennosti: Kolichestvennoye modelirovaniye i optimizatsiya / A.G. Madera. - M.: Lenand, 2019. - 160 c.
  11. Maklakov, A.G. Modelirovaniye biznes-protssessov s ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1). / A.G. Maklakov. - M.: Dialog-MIFI, 2008. - 240 c.
  12. Maklakov, S.V. Modelirovaniye biznes-protssessov s ALL-Fusion PM. / S.V. Maklakov. - M.: Dialog-MIFI, 2008. - 224 c.
  13. Moazed, A. Platforma. Prakticheskoye primeneniye revolyutsionnoy biznes-modeli / A. Moazed. - M.: Al'pina Publisher, 2019. - 288 c.
  14. Repin, V.V. Biznes-protssessy. Modelirovaniye, vnedreniye, upravleniye / V.V. Repin. - M.: Mann, Ivanov i Ferber, 2013. - 512 c.
  15. Repin, V.V. Protssessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovaniye biznes-protssessov / V.V. Repin. - M.: Mann, Ivanov i Ferber, 2013. - 544 c.
  16. Ris, E. Biznes s nulya: Metod Lean Startup dlya bystrogo testirovaniya idey i vybora biznes-modeli / E. Ris. - M.: Al'pina Publisher, 2013. - 249 c.
  17. Ris, E. Biznes s nulya: metod Lean Startup dlya bystrogo testirovaniya idey i vybora biznes-modeli / E. Ris. - M.: Al'pina Publisher, 2016. - 255 c.
  18. Telichenko, V.I. Informatsionnoye modelirovaniye tekhnologiy i biznes -protssessov v stroitel'stve / V.I. Telichenko. - M.: ASV, 2008. - 144 c.
  19. Khotinskaya, G.I. Delovaya aktivnost' biznesa kak faktor ekonomicheskogo rosta (otsenochnyye modeli i finansovyye instrumenty) / G.I. Khotinskaya. - M.: Rusayns, 2018. - 480 c.
  20. Cherkay, A.D. Bukhgalterskiy i finansovyy uchët - yazyk biznesa dlya rukovoditeley. MSFO, US GAAP, RSBU: Teoriya dvukh ryadov 4-kh schetov avtora, novyye balansovyye uravneniya i lingvisticheskiye modeli ucheta / A.D. Cherkay. - M.: Cherkay, 2013. - 120 c.
  21. Shontaler, F. Biznes-protssessy. YAzyki modelirovaniya, metody, instrumenty / F. Shontaler. - M.: Al'pina Publisher, 2019. - 264 c.
  22. INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0) Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993 December 21
  23. INTEGRATION DEFINITION FOR INFORMATION MODELING (IDEF1X), Draft Federal Information Processing Standards Publication 184 1993 December 21.
  24. David Marka, Klement MakGouen, Metodologiya strukturnogo analiza i proyektirovaniya. Per. s angl. M.:1993, 240 s., ISBN 5-7395-0007-9
  25. Cheremnykh, S.V. IDEF0, IDEF3 i DFD / S.V. Cheremnykh, I.O. Semenov, S.V. Ruchkin. — M. Finansy i statistika, 2001.
  26. INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0) // Draft Federal Information Processing Standards Publication 183. — 1993. — December.
  27. Ultsch, Alfred, Jörn Lötsch. «Computed ABC analysis for rational selection of most informative variables in multivariate data» PLOS One 10.6 (2015): e0129767.
  28. Kringel, D., Ultsch, A., Zimmermann, M., Jansen, J. P., Ilias, W., Freynhagen, R., & Resch, E. (2016). Emergent biomarker derived from next-generation sequencing to identify pain patients requiring uncommonly high opioid doses. The pharmacogenomics journal.
  29. Iovabella, A.: Vital few e trivial many, Il Punto, pp 10-13, July, 2017.
  30. Barbara Pawelek, Jozef Pocięcha, Mateusz Baryla, ABC Analysis in Corporate Bankruptcy Prediction, Abstracts of the IFCS Conference, p 17, Tokyo, Japan, 2017
  31. GOST R 51901-2002 (MEK 60300-3-9:1995). Upravleniye nadezhnost'yu. Analiz riska tekhnologicheskikh sistem. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002, 22 s.
  32. Kel'ton V. Imitatsionnoye modelirovaniye. — SPb.; Piter: Kiyev: Izdatel'skaya gruppa BHV, 2004, — 847 s.

**Татарченко Е. С., Лыфарь В. А. Модели и методы оценки состояния ИТ компаний**

*В статье описаны различные подходы к моделям и методам, обеспечивающих информационную поддержку обработки потоков данных и процессы сравнительного анализа для имитационно-постадийной модели. Описанные и рассматриваемые структурные и математические модели, лежат в основе обработки информационных потоков при оценке вероятности развития сценариев жизненных циклов ИТ разработок, а также структурно-логических моделях определения последствий развития этих процессов. Формализованы и структурированы процессы выработки и анализа процессов поддержки принятия решений для достижения наиболее рациональных последствий процессов слияний и поглощений.*

**Ключевые слова:** ИТ проект, управление проектами, модели, принятия решений, слияния и поглощения, риск, финансовый отчет

**Tatarchenko Y., Lyfar V., Models and methods of assessing the state of it companies**

*The article deals with the problem of developing models, methods and information technology to support decision-making in analyzing the current state of IT companies in order to achieve the most favorable operating conditions. Today's business climate is characterized by continuous growth in competition, shifting profits and rapidly changing technologies. Conditions for the growth of financial earnings can be provided by M&A. One important element of a merger and acquisition is a qualitative assessment of the value and status of the IT company. Information technology project development requires a specific project-driven approach to all stages of the project life cycle. At the same time, such projects are among the most risky investments. Conditions for increasing competitiveness can be provided by means of analyzing the current state of companies and a system for supporting decision-making regarding the state and management of IT projects. Such technology may be a priority based on development risk assessment methods and models. The authors pro-*

pose an approach to making decisions about the work of IT companies that are optimal in the Pareto sense, based on consideration of the results of simulation-event models, reflecting the state of companies in conflict and uncertainty. At the same time, a risk-oriented approach is at the heart of simulation modeling. Through methods that combine models based on "failure trees" and "event trees" and evaluate the possible consequences of financial development over time, the method of quantifying the expected loss risk and the expected profit for each branch of the combined trees is implemented.

For each "failure tree" that reaches the "top event", it is possible to concatenate this event as the initial condition of the "event tree", or be the initial one for the impact events. Starting from the initiating event, a binary branching of the "event tree" is built up, which reflects the logic of development of different scenarios taking into account stochastic indicators and the effectiveness of the means of influence (decisions). In this upward analysis, branches of scenarios are formed, which result in positive or negative consequences. Methods of step-by-step process modeling in IT companies are proposed, which can be the basis for implementing infor-

mation technology to support merger and acquisition decisions.

**Keywords:** IT project, project management, models, decision making, mergers and acquisitions, risk, financial report

**Татарченко Єгор Сергійович** – аспірант Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Україна, м. Северодонецьк) пр. Центральний - 59А, м.  
e-mail: [gosahi@gmail.com](mailto:gosahi@gmail.com)

**Лифар Володимир Олексійович** – доктор технічних наук, завідувач кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Україна, м. Северодонецьк) пр. Центральний - 59А, e-mail: [lyfar-va61@ukr.net](mailto:lyfar-va61@ukr.net)

Стаття подана 30.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-94-98>

УДК 624.023/.023.943

## АНАЛІЗ СКЛО- АЛЮМІНІЄВИХ ФАСАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА СИСТЕМ КРІПЛЕННЯ

Татарченко Г.О., Калачов Ю.О., Медвідь І.І., Поркуян С.Л.

## ANALYSIS OF GLASS-ALUMINUM FACADES MOUNTING SYSTEMS

Tatarchenko G.O., Kalachov Y.O., Medved I.I., Porkuyan S.L.

*У статті розглянуто питання щодо проектування конструкцій фасадного скління та вимог не тільки вирішення питань, пов'язаних з природним освітленням приміщень та створенням виразних фасадів, але і ряду технічних завдань. У нас час дуже швидко все змінюється, а саме: конструкції, матеріали, конструктивні рішення, системи кріплення для скло – алюмінієвих фасадів. Виходячи з цього, необхідно виявити найраціональніші рішення для використання цих систем разом з сучасними матеріалами та конструкціями.*

**Ключові слова:** системи кріплення, скло-алюмінієві конструкції, фасади, напруження

**Вступ.** Фасадні системи кріплення для скло алюмінієвих конструкцій – є одним з найпоширеніших та в одно час складних питань при проектуванні та конструюванні фасадних систем особливо у висотному будівництві тому, що саме системи кріплення дають змогу застосовувати конструктивні та техніко-економічні рішення для забезпечення якісного захисту усього приміщення, а саме:

- Тепловтрат;
- не якісної вентиляції приміщень;
- вибір скла і самої конструкції склопакетів;
- забезпечення компенсації температурних деформацій конструкцій тощо.

Головними функціональними призначеннями систем кріплення для скло-алюмінієвих фасадів – це забезпечення надійності несучих елементів конструкції, можливість застосовувати допоміжні елементи для задоволення естетико-психологічних факторів тощо.

**Мета роботи.** Провести аналіз скло-алюмінієвих фасадних систем та їх кріплення, виявити основні недоліки та переваги.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У даний час для фасадного скління найбільш часто використовують конструкції та системи до них, а саме:

- стійко-ригельна система скління фасадів (рис.1) свою назву отримали завдяки тому,

що основними конструктивними елементами в цій системі є вертикальні несучі стійки, до яких кріпляться горизонтальні ригелі. Несуча частина такої конструкції розташовується з внутрішнього боку навісної стіни-вітража;

- модульно-структурна система скління фасадів (рис.2);
- спайдерна система скління фасадів;
- з жорстким закріпленням кута (рис.3);
- з шарнірним закріпленням кута (рис.4);
- напівструктурна система скління фасадів (рис.5).

**Результати досліджень.** У системах з алюмінієвих профілів повинна бути вирішена проблема компенсації теплового розширення конструкцій (особливо при значних розмірах). Горизонтальне розширення елементів навісної стіни може компенсуватися шляхом кріплення ригеля до вертикального профілю через довгасті горизонтальні отвори і застосуванням в стиках гумових прокладок. Вертикальне розширення в місцях з'єднання вертикальних профілів може компенсуватися за допомогою розширювального профілю (виконує і функцію посилення конструкції). Такий профіль поміщається у внутрішні порожнини двох вертикально з'єднаних стійок [1,2].

Існують кілька принципів кріплення конструкцій скління будівель. Один з най поширеніших - навісна система, коли вся фасадна конструкція навішується зовні і кріпиться за допомогою кронштейнів тільки до плит перекрытия (рис. 6). Горизонтальні ригелі є елементами, які тільки передають вагу склопакетів на стійки. Ця система досить проста в пристрої, але вимагає зовнішнього монтажу, а значить, наявності лісів або навісних монтажних пристосувань [6].





Рис. 1. Будівля з вітражем-стіною стійко-ригельної конструкції



Рис. 2. Будівля із модульно-структурним склінням

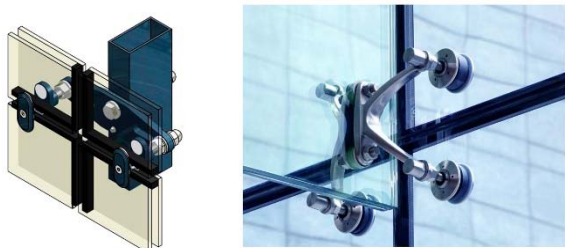


Рис. 3. Жорстке закріплення кута



Рис. 4. Шарнірне закріплення кута



Рис. 5. Напівструктурне скління конструкції

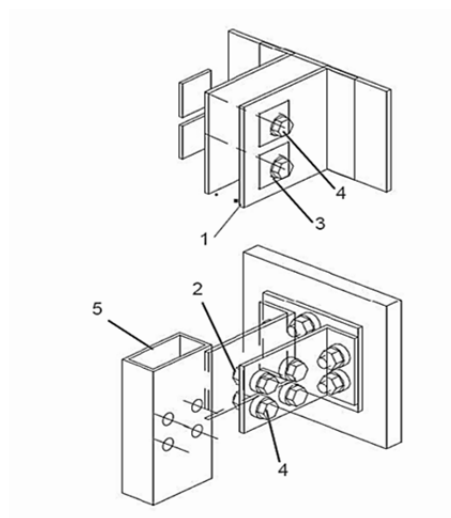


Рис. 6. Вузли кріплення стійок навісних вітражів:  
 а – за допомогою кронштейна-деталі;  
 б – зі збірним кронштейном;  
 1 – кронштейн; 2 – втулка; 3 – накладка;  
 4 – болт з гайкою і шайбою; 5 – стійка

Проте чим більше перетин ригелів, тим менше буде огляд. Осередок не може бути більше  $1\text{ м}^2$ , та конструкція погано пристосована до сильного вітру, не може йому гідно протистояти.

Основні конструкційні характеристики стійко-ригельної системи скління фасадів: товщина стійок, ригелів, декоративних кришок 50 мм; товщина заповнених від 4 до 46 мм. Терморозриви виконані в двох варіантах: спінений ЕРЕ і ПВХ. Доступна ширина терморозрива 11, 16, 22 мм. Колір терморозрива кавовий. Ущільнювачі виробляються з EPDM згідно DIN 7715, DIN 7863, ГОСТ 25621-83.

Кронштейни для фасадного скління. Усього зроблено і проводиться 6 видів кронштейнів. Кронштейни навісні виробляються з алюмінієвого профілю. Мають винос 80 і 140 мм. Кронштейн кожного виносу має одне і двох болтових модифікацію. Всі навісні кронштейни поставляються в комплекті з нержавіючим болтом, шайбою, гайкою та двома алюмінієвими шайбами.

Модульно - структурна система скління фасадів (рис. 2) являє собою єдину поверхню скла без видимих зовнішніх накладних планок з мінімальними зазорами між склом. Зазори необхідні для того, щоб компенсувати температурні коливання розмірів сусідніх склопакетів. Несучий кістяк самої будівлі повинен бути абсолютно жорстким, а плити перекритій мати мінімальний прогин, практично рівний нулю [1].

У ряді технічних рішень передбачається приклеювання склопакета до алюмінієвої опорної рамці, яка потім закріплюється на вертикальні стійки і горизонтальні ригелі. Для структурного скління часто застосовують особливий склопакет, в якому зовнішнє скло робиться довшим, ніж внутрішнє. Це дозволяє приклеювати до опорної рамці одночасно два скла - зовнішнє і внутрішнє, що забезпечує всієї конструкції більшу надійність.

В умовах України використовується технологія кріплення склопакетів на механічних фіксаторах, при якій спирання і фіксація відбуваються за рахунок поворотних скоб - «пропелерів», мають по два притискних вуса. Використовуються спеціальні склопакети, в яких рамка з абсорбентом розташована не на краю, а заглиблена приблизно на 50 мм. Таким чином по всьому периметру склопакета формується паз. При монтажі «вуса» орієнтовані паралельно швам, вільно заглиблюються в них на половину товщини склопакета і притягуються саморізами [7]. Шви по всьому периметру заповнюються силіконовими ущільнювачами, які забезпечують герметичність, компенсують деформації внаслідок термічного розширення скла щодо несучої структури і можливі неточності монтажу.

Технічні характеристики:

- допустима вітрова навантаження (кПа) мінімум 125 на  $L / 400$  при максимальній розмірі елемента;
- товщина блоку 117 - 149 (мм);
- ширина модуля 850 - 1250 (мм);

- модульна висота 850 - 4000 (мм);
- вага 55 - 125 (кг /  $\text{м}^2$ ).

Проте маємо також і негативні властивості даної конструкції, а саме: акустичний ефект, який часто не дозволяє використовувати вентилязовані фасадні системи, ригелі легко проводять тепло, тому не можуть забезпечити достатню теплоізоляцію і конструкція швидко вистигає.

Спайдерна система скління фасадів залежно від виду кріпильних елементів розрізняється системами планарного скління. Для зведення конструкції за цим способом необхідно вибрати герметик, яким будуть заповнені стики між склом, що підвищує надійність вітра непроникність і гідроізоляції. Слід вибирати герметик з урахуванням середньорічної температур місцевості, де зводиться будинок, а також навантаження на конструкцію.

Важливо також вибрати шарніри (ратули) для планованого скління, які забезпечують закріплення до променевого кронштейну скляній панелі, що дає можливість зберегти рухливість скла щодо шарніра. Це дозволяє забезпечити прогин скла в разі підвищеного навантаження і його захист від розколювання. Виходячи з розмірів конструкції, попередньо розраховується величина прогину і вибираються відповідні шарніри, які встановлюються під кутом [3,4].

Більшість вироблених моделей кронштейнів розраховані на радіальні навантаження в діапазоні 1000-2500 Н для сил, що діють паралельно до площини скла, що викликаються його вагою, і 2000-6500 Н для осьових навантажень перпендикулярних до площини скла (пряма і зворотна вітрові навантаження). Слід мати на увазі, що виникають складність в розрахунках при визначенні найбільш ослаблених ділянок та можуть бути прогини скла. Така деформація безпечна для самих високоміцних панелей, проте її тривалий вплив на кріплення може спричинити руйнівні процеси.

Напівструктурна система скління фасадів - це комбінація традиційної стійко-ригельної і структурної систем скління. Напівструктурне фасадне скління являє собою модифіковану конструкцію, де в якості несучих елементів використовується стандартний набір вертикальних і горизонтальних профілів, але замість притискних планок і кришок з лицьового боку використовуються штапики, які утримують світлопрозорі елементи скління [5].

Алюмінієві профілі напівструктурного скління зазвичай використовуються в якості несучих елементів для великих огорожувальних конструкцій при наявності сталевих опорного каркаса (рис.7). Склопакет оточений рамою, практично непомітною зовні, що дає ефект візуальної цілісності конструкції. У системах такого виду скління передбачена можливість інтеграції віконних стулок. За своїми технічними характеристиками напівструктурне фасадне скління відповідає рівню і стійко-ригельної, і структурної системам. Перевагою ж цієї технології є можливість монтажу скління зсередини - це розширює

спектр застосування напівструктурного фасадного скління в висотних будівлях [6].

Технічні характеристики напівструктурного скління:

- внутрішній видима ширина 50 мм;
- ширина зовнішнього силіконового шва 20 мм;
- кріплення склопакетів: за допомогою прихованого кріплення на дистанційну рамку або за допомогою вузьких притискних планок;
- заповнення - від 6 мм до 50 мм;
- стулки з відкриванням назовні і всередину;
- товщина стінок алюмінієвого профілю - 1,4-2 мм.
- максимальний момент інерції (без використання металоконструкцій) до  $493,37 \text{ см}^4$ .

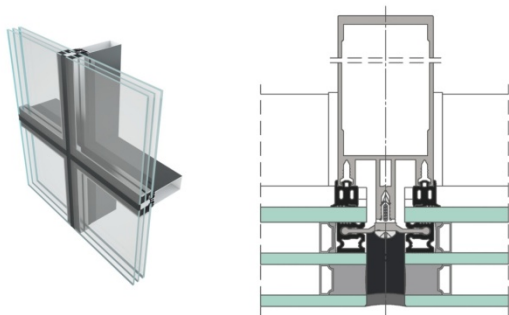


Рис. 7. Вузол напівструктурної системи скління фасадів

Недоліки даної системи пов'язані з герметичність систем з'єднань та відсутністю повітрообігу; конденсат на внутрішній поверхні скла. Для створення комфортних умов всередині будівлі необхідний монтаж штучної примусової вентиляції або установка опорних стулок.

**Висновки.** На основі аналізу для скло-алюмінієвих фасадних систем кріплення виявлено, що застосування необхідних несучих та елементів які забезпечують необхідну герметичність, теплостійкість, примусову вентиляцію тощо, необхідно розробити або вдосконалити системи кріплення та їхні несучі, експлуатаційні, техніко-економічні показники.

Особливу увагу треба приділити при склінні висотних будівель, тому що при такому варіанті скління необхідно використовувати особливі системи кріплення, несучі елементи (каркас) та скло через те, що потрібно рівномірно розподіляти навантаження на усіх поверхнях будівлі без потовщення несучих елементів знизу. Виходячи з вище сказаного треба розуміти, що системи кріплення для різних фасадних несучих конструкцій потребують більш детального дослідження та обговорень їх результатів.

## Література

1. Технический каталог фасадной системы KRAUS \ серии KRF-50 78 с. Джерело інформації: <http://astek-mt.ru/>.
2. Facade Construction Manual Thomas Herzog, Roland Krippner, Werner Lang Birkhäuser, Basel, Published on 09.12.2017. 37 с.
3. Fassaden Atlas detail 21079 Hamburg Erstellungsdatum. Published on 10.10.2016. 41с.
4. Steel construction Manual Relié – T. Bart Quimby, P.E., Ph.D. August 2008. 42 с.
5. Glass Construction Manual. Authors: Christian Schittich, Gerald Staib, Dieter Balkow, Matthias Schuler, Werner Sobek. 1999г. 326 с.
6. Каталог ПВХ профілів ЭКСПРОФ Джерело інформації: <https://www.oknatrade.ru/help/profil-exprof-eksprof-kharakteristiki-i-svoystva/>
7. Wurm J. Glass Structures. Design and Construction of Self-supporting Skins. 2007. 242с.
8. ДСТУ Б В.2.6-79 2009 Шви монтажі.
9. ДБН В 2.6-31-2006 теплоізоляція.
10. Фасадні конструкції скління Джерело інформації: <https://studfile.net/preview/5434903/page:2/>.

## References

1. Technical catalog of the KRAUS facade system of the KRF-50 78 series. Source of information: <http://astek-mt.ru/>.
2. Facade Construction Manual Thomas Herzog, Roland Krippner, Werner Lang Birkhäuser, Basel, Published on 09.12.2017. 37 p.
3. Fassaden Atlas detail 21079 Hamburg Erstellungsdatum. Published on 10.10.2016. 41с.
4. Steel construction Manual Relié - T. Bart Quimby, P.E., Ph.D. August 2008. 42 с.
5. Glass Construction Manual. Authors: Christian Schittich, Gerald Staib, Dieter Balkow, Matthias Schuler, Werner Sobek. 1999 326 p.
6. PVC catalog of EXPROF profiles Source of information: <https://www.oknatrade.com/help/profil-exprof-eksprof-kharakteristiki-i-svoystva/>
7. Wurm J. Glass Structures. Design and Construction of Self-Supporting Skins. 2007. 242s.
8. DSTU B В.2.6-79 2009 Seams installation.
9. DBN In 2.6-31-2006 thermal insulation.
10. Glazed facade structures. Source of information: <https://studfile.net/preview/5434903/page:2/>.

**Татарченко Г.О., Калачев Ю.А., Медведь И.И., Поркуян С.Л. Анализ стекло-алюминиевых фасадных конструкций и систем крепления.**

*В статье приведен анализ для стекло-алюминиевых фасадных конструкций и систем крепления: стоечно-ригельная, модульно - структурная система, спайдерная система и полуструктурная система остекления фасадов. Для анализа конструкций и систем было проведено теоретические методы уравнивания и выявления достоинства и недостатки. Главными функциональными назначениями систем крепления для стекло-алюминиевых фасадов - это обеспечение надежности несущих элементов конструкции и возможность применять вспомогательные элементы для удовлетворения эстетико-психологических факторов. Также выявлены основные преимущества конструкций - отличные эксплуатационные характеристики, высокий уровень теплоизоляции, простота монтажа и возможность использовать их при*

любых формах фасада от круглого до прямоугольного. Одной из наиболее интересной и в одно время сложной преимущественно для остекления административных и жилых зданий считается - спайдерная система.

Для улучшения эксплуатационных характеристик, уровня теплоизоляции и вентиляции, монтаж и устранение их недостатков, был выполнен анализ стекло-алюминиевых фасадных конструкций и систем. Но это не заключительный этап исследования, поскольку конструкции и системы крепления к ним очень сложные как в эксплуатационном смысле, так и в расчетном, появилась необходимость в дополнительных исследованиях и анализах.

**Ключевые слова:** системы крепления, стекло-алюминиевые конструкции, фасады, напряжение.

**Tatarchenko G., Kalachov Y., Medved I., Porkuyan S. Analysis of glass-aluminum facade structures and fastening systems.**

The article presents the analysis for glass - aluminum facade structures and fastening systems: stable crossbar, modular structural system, spider system and semi - structural glazing system of facades. For the analysis of structures and systems, theoretical methods of equalization and identification of pros and cons were conducted.

The following main disadvantages of the systems were identified: heat losses, non-quality ventilation of the premises, choice of glasses and the design of the double-glazed windows, ensuring compensation of temperature deformations of structures, etc. The main functional purpose of fastening systems for glass-aluminum facades is to ensure the reliability of load-bearing structural elements and the ability to use auxiliary elements to meet the aesthetic and psychological factors and the like. Also revealed the main advantages of structures - excellent performance, high level of thermal insulation, ease of installation and the ability to use them in any form of facade: from round to rectangular. One of the most interesting and, at the same time, difficult for the glazing of administrative and residential buildings is the spider system.

Advantages of the fastening system: wide design possibilities for installation of different facades, possibility carrying out repair on separate sites without dismantling of adjacent serviceable elements of the facade, the structure is not

prone to corrosion, rusting, formation of fungus and mold. There are also disadvantages: in terms of installation technology, the design can be called unpredictable, and the inability to accurately determine the installation scheme with concrete values sometimes reduce the quality of the finished facade, the complexity of calculations in determining most weakened areas.

To improve the performance, the level of thermal insulation and ventilation, installation, and eliminate their shortcomings, an analysis of the glass of aluminum facade structures and systems was performed. However, this is not the final stage of the study, since the structures and mounting systems are very complex, both in operational and design terms, and there is a need for additional research and analysis.

**Keywords:** fastening systems, glass aluminum structures, facades, stress.

**Татарченко Галина Олегівна** – доктор технічних наук, професор кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [tatarchenkogalina@gmail.com](mailto:tatarchenkogalina@gmail.com)

**Калачов Юрій Олександрович** – аспірант кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [Kalachovua@gmail.com](mailto:Kalachovua@gmail.com)

**Медвідь І.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри «будівництво, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [iw.medwed@yandex.ua](mailto:iw.medwed@yandex.ua)

**Поркуян Сергій Леонідович** – старший викладач кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [s.porkuian@gmail.com](mailto:s.porkuian@gmail.com)

Стаття подана 30.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-99-104>

УДК 504.75.06

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ АВТОТРАНСПОРТУ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Татарченко Г.О., Кравченко І.В., Писаренко М.В., Поркуян С.Л.

### STUDY OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION BY EXHAUST GASES IN AN URBAN ENVIRONMENT

Tatarchenko G.O., Kravchenko I.V., Pisarenko N.V., Porkuyan S.L.

*В роботі на прикладі магістральної дороги біля парку проведено аналіз фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту і розраховані потужності емісії і концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі відпрацьованих автомобільних газів. Виявлено, що найбільш небезпечними для житлової забудови є оксиди азоту, особливо в несонячну погоду, коли їх фактичний вміст перевищує граничнодопустиму концентрацію в багато разів. Наведені дані про кількість та якість викидів на магістральних мережах доріг свідчать про значну шкоду здоров'ю людини.*

*Виконані розрахунки є актуальними для вирішення завдань, пов'язаних з моделюванням і прогнозуванням забруднення атмосфери транспортними потоками і, відповідно, пошуку рішень щодо зниження вмісту шкідливих газів в атмосферному повітрі.*

**Ключові слова:** забруднення повітря, викиди від автотранспорту, міське середовище

**1. Вступ.** Всесвітня організація охорони здоров'я визнає, що забруднення повітря є однією з найважливіших проблем в світі, яка впливає не тільки на якість життя населення, але і на очікувану тривалість життя, стан здоров'я і поширення легеневих хвороб зокрема. У великих містах головним джерелом забруднення повітря є автотранспорт, зараз на Землі постійно експлуатується близько мільярда різноманітних автомобілів. Відпрацьовані автомобільні викиди містять сполуки свинцю, оксиди азоту та сірки, моно- та діоксид вуглецю, вуглеводні, сажу тощо. Навіть у абсолютно здорових людей забруднене повітря викликає втому, поганий сон, кашель, головний біль.

За індексом забруднення атмосфери (ІЗА), який враховує ступінь забруднення атмосферного повітря по п'яти пріоритетних забруднювальних домішках, дуже високий рівень забруднення, як і у попередньому році, спостерігався у Маріуполі та Дніпрі, високий – у Одесі, Кам'янському, Києві, Кривому Розі, Луцьку, Миколаєві, Слов'янську, Краматорську, Ру-

біжному, Львові, Запоріжжі, Лисичанську, Херсоні, Кременчуці [1]. Високий рівень забруднення атмосферного повітря зазначених міст обумовлений здебільшого підвищеним вмістом специфічних шкідливих речовин – формальдегіду, фенолу, фтористого водню, аміаку, з основних домішок – завислих речовин, діоксиду азоту, оксиду вуглецю.

В окремі періоди, коли метеорологічні умови сприяють накопиченню шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери, концентрації домішок в повітрі можуть різко зростати – виникає смог. У нормальному стані за добу легені людини пропускають через себе в середньому двадцять кубометрів повітря. [2]. За спостереженнями медиків мешканці будинків, розташованих поруч з автомагістралями (до 10 м) з інтенсивним рухом, хворіють на рак в 3-4 рази частіше, ніж жителі будинків, розташованих на відстані хоча б 50 м від дороги [3].

**2. Мета роботи.** провести аналіз забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами від міського автотранспорту на ділянках магістральних доріг біля парку ім. Т.Г. Шевченка, м. Київ.

**3. Методи дослідження.** Для вирішення задач, пов'язаних з моделюванням і прогнозуванням забруднення атмосфери транспортними потоками, найбільш перспективним є використання розрахункових методів. У європейських країнах для розрахунку концентрацій шкідливих речовин використовуються методики, рекомендовані МАГАТЕ, в яких за основу взято емпіричну модель Пасквілла-Гіффорда [4], що використовується для відстаней до 10 км. Модель дозволяє визначити концентрації домішок, що викидаються постійним джерелом в атмосферу з Гаусовим розподілом по вертикалі та в поперечному в напрямку вітру. Можливі атмосферні метеорологічні умови діляться на 6 класів стійкості, розподіл швидкості вітру вважається функцією від висоти. Основним базисом моделі є узагальнені багаточисельні експериментальні дані. В нашій країні пошире-



ні моделі на основі теорії турбулентної дифузії домішок в атмосферному повітрі [5, 6], які покладені в основу галузевого стандарту, що є чинним і використовується для розрахунків.

При визначенні рівня забруднення придорожного середовища транспортним потоком необхідно враховувати ряд особливостей:

- вузьку лінійну локалізацію викидів вздовж доріг;
- неоднорідність щільності і складу транспортного потоку в часі, що залежить від пори року, дня тижня, часу доби;
- значну просторову мінливість характеристик потоку, що визначається ступенем віддаленості від великих населених пунктів, характером покриття доріг;
- приземне розташування джерел, що сповільнює розсіювання викидів.



Рис. 1. Ділянки доріг, що проходять біля парку ім. Т. Г. Шевченка

Місцем досліджень було обрано ділянку магістральної дороги біля парку ім. Т. Г. Шевченка, м. Київ (№1 на рис.1), що є магістральною вулицею загальноміського значення. До неї примикають - вулиця Володимирська (магістральна районного значення) та вулиця Терещенківська (місцевого значення (житлова)); з іншого боку парк обмежує вулиця Льва Толстого (магістральна районного значення). Основні потоки руху транспорту позначені червоним кольором.

Вихідні дані для моделювання розповсюдження шкідливих (токсичних) речовин з відпрацьованих газів отримали прямим підрахунком кількості пересувного автомобільного транспорту на ділянці в районі площі Перемоги з камери відеоспостереження (рис. 2). Підрахунки проводили в різний час доби - ранковий, обідній, вечірній та нічний з усередненням впродовж десятихвилинного інтервалу та подальшим масштабуванням кількості автотранспорту за годину та добу (табл.1). На ділянці 1 враховувався

рух транспорту в обох напрямках автошляху. Загальна середньодобова кількість автотранспортних засобів, що пересувалися на вказаній ділянці, склала сорок тисяч одиниць.

Оцінку забруднення повітряного середовища відпрацьованими газами на основі розрахунку емісії відпрацьованих газів і концентрацій забруднюючих речовин на різному віддаленні від дороги проводили за методикою [7]. Потужність емісії  $q_j$ , мг/(м·с), забруднюючої речовини на конкретній ділянці дороги визначали за формулою:

$$q_i = 0,206 \cdot m \cdot \left[ \left( \sum G_i^k \cdot N_i^k \cdot K_k \right) + \left( \sum G_i^d \cdot N_i^d \cdot K_d \right) \right], \quad (1)$$

де  $m$  – коефіцієнт, що враховує дорожні й транспортні умови в залежності від середньої швидкості транспортного потоку  $V$  (до 50 км/год), визначається за графіком [7];

$G_i^k$  – середні експлуатаційні витрати палива для даного типу карбюраторних автомобілів, л/км;

$G_i^d$  – те ж для дизельних автомобілів, л/км;

$N_i^k$  – інтенсивність руху кожного виділеного типу карбюраторних автомобілів, авт./год;

$N_i^d$  – те ж дизельних автомобілів, авт./год;

$K_k$  й  $K_d$  – коефіцієнти, прийняті для даного компонента забруднення з карбюраторними і дизельними типами двигунів.

Для визначення концентрацій токсичних компонентів відпрацьованих газів  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>, на різному віддаленні від дороги, використовували модель Гаусового розподілу домішок в атмосфері на невеликих висотах за формулою:

$$C_i = \frac{2q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V_B \cdot \sin \varphi} + F_i, \quad (2)$$

де  $\sigma$  – стандартне відхилення Гаусового розсіювання у вертикальному напрямку, м;

$V_B$  – швидкість вітру, що переважає в розрахунковий період, м/с;

$\varphi$  – кут, що утворюється напрямком вітру відносно траси дороги (при куті менше 30°  $\sin \varphi$  прийняли 0,5);

$F_i$  – фонові концентрації  $i$ -ої забруднюючої речовини (для спрощення прирівняли нулю), мг/м<sup>3</sup>.

Величину перевищення нормативу  $ГДК$   $i$ -ої забруднюючої речовини в повітрі населеного пункту на відстанях  $l$  від дороги визначали за формулою:

$$\Delta_i^l = \frac{C_i^l - ГДК_i}{ГДК_i} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $ГДК_i$  – граничнодопустима концентрація речовини в атмосферному повітрі населених пунктів.



Рис. 2. Фотофіксація руху автотранспорту досліджуваної ділянки

**4. Результати досліджень та їх обговорення.**

Основними токсичними компонентами відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння автотранспорту є оксиди вуглецю, оксиди азоту та вуглеводні. Розрахунки проводили для ділянки №1 - бульвар Т.Г. Шевченко, магістральна вулиця загальноміського значення. Загальний потік автотранспорту, що рухався по магістралі, розділили за типами (табл. 1).

Таблиця 1  
**Середньодобова інтенсивність руху та середні експлуатаційні норми витрати палива автотранспорту  $G_i$**

№	Тип автомобіля	Середньодобова інтенсивність руху, авт./добу	Середні експлуатаційні норми витрати палива $G_p$ , л/км
$N_1$	Легкові автомобілі	25000	0,11
$N_2$	Малі вантажні автомобілі карбюраторні (до 5 тон)	6250	0,16
$N_3$	Вантажні автомобілі карбюраторні (5 тон й більше)	4000	0,33
$N_4$	Вантажні автомобілі дизельні	4050	0,34
$N_5$	Автобуси карбюраторні	300	0,37
$N_6$	Автобуси дизельні	400	0,28

Значення коефіцієнтів  $K_k$  та  $K_d$  для даної забруднюючої речовини з карбюраторними і дизельними типами двигунів внутрішнього згоряння обирали з таблиці 2.

Таблиця 2

**Значення коефіцієнтів  $K_k$  та  $K_d$**

Найменування забруднюючої речовини	Тип ДВЗ	
	карбюраторний	дизельний
Оксид вуглецю	0,6	0,14
Вуглеводні	0,12	0,037
Оксид азоту	0,06	0,015

Потужність емісії оксиду вуглецю:

$$q_{CO} = 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 25000 \cdot 0,6) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,6) + (0,33 \cdot 4000 \cdot 0,6) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,6) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,14) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,14)] = 150,33 \text{ мг / (м} \cdot \text{с)}$$

Потужність емісії вуглеводнів:

$$q_{C_nH_m} = 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 25000 \cdot 0,12) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,12) + (0,33 \cdot 4000 \cdot 0,12) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,12) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,037) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,037)] = 30,67 \text{ мг / (м} \cdot \text{с)}$$

Потужність емісії оксидів азоту:

$$q_{NO_x} = 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 25000 \cdot 0,06) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,06) + (0,33 \cdot 4000 \cdot 0,06) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,06) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,015) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,015)] = 15,1 \text{ мг / (м} \cdot \text{с)}$$

Для побудови полів розповсюдження домішок  $CO$ ,  $C_nH_m$  та  $NO_x$  на придорожній смузі визначали концентрації цих речовин на різних відстанях від краю дороги  $l$  у сонячну та хмарну погоду за формулою (2), результати представлені в табл.3.

Значення середньодобових ГДК у повітрі населених міст [8] складають: для оксиду вуглецю - 3  $мг/м^3$ , для вуглеводнів - 1,5  $мг/м^3$ , оксидів азоту - 0,04  $мг/м^3$ .



Таблиця 3

**Значення концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі у сонячну (с.п.) і хмарну (д.п.) погоду в поперечному напрямку на відстанях від краю автомобільної дороги**

$l, \text{ м}$	10	20	40	60	80	100	150	200	250
$C_{CO}, \text{ мг/м}^3$ (с.п.)	29,99	15,00	10,00	7,50	6,00	4,61	3,35	2,65	2,12
$C_{CO}, \text{ мг/м}^3$ (х.п.)	59,99	29,99	15,00	10,00	7,50	6,00	4,28	3,33	2,73
$C_{C_nH_m}, \text{ мг/м}^3$ (с.п.)	6,12	3,06	2,04	1,53	1,22	0,94	0,64	0,51	0,41
$C_{C_nH_m}, \text{ мг/м}^3$ (х.п.)	12,24	6,12	3,06	2,04	1,53	1,22	0,87	0,68	0,56
$C_{NO_x}, \text{ мг/м}^3$ (с.п.)	3,01	1,51	1,00	0,75	0,60	0,46	0,32	0,25	0,20
$C_{NO_x}, \text{ мг/м}^3$ (х.п.)	6,03	3,01	1,51	1,00	0,75	0,60	0,43	0,33	0,27

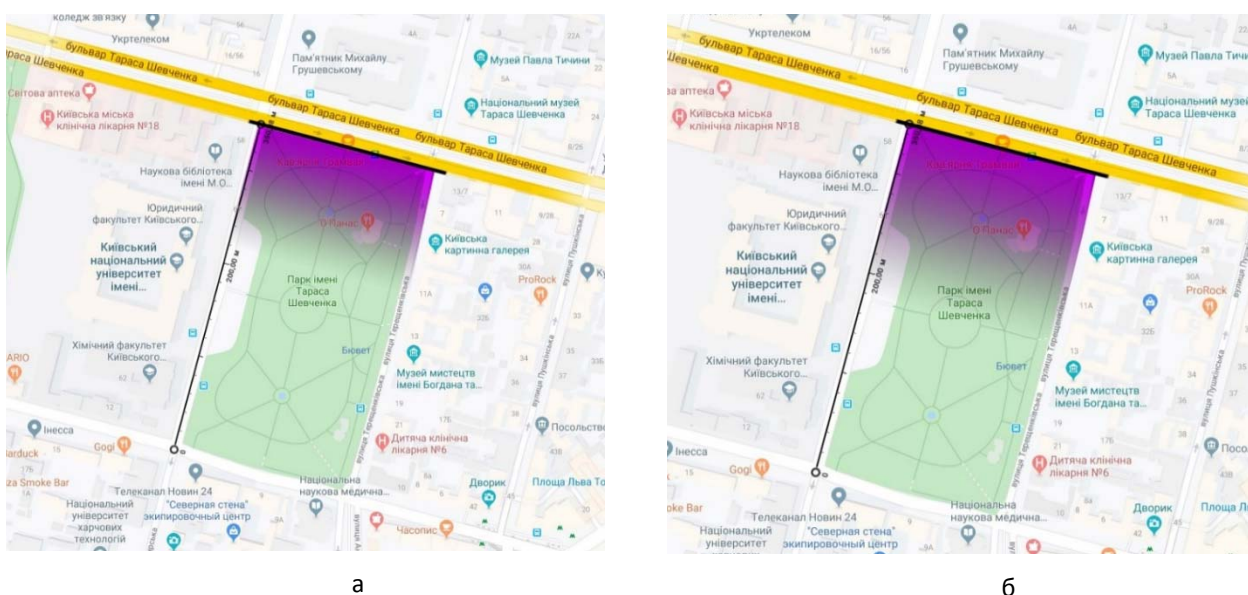


Рис. 3. Градієнтний розподіл оксиду вуглецю на території парку:  
а – сонячна погода; б – хмарна погода

Забруднення придорожньої смуги оксидом вуглецю від краю проїзної частини досягає  $ГДК_{CO}$  на відстані 175 м в сонячну погоду, а в хмарну збільшується до 228 м. Залежність зниження концентрації речовини від відстані хоча й має складний характер, але дозволяє в наближенні розглядати її як лінійну, що в цілому полегшує розрахунок. Розповсюдження домішок вуглеводнів досягає  $ГДК_{CO}$  на відстанях близько 60 і 80 м відповідно. Особливу увагу необхідно звернути на забруднення оксидами азоту, оскільки відстань, на якій концентрація  $NO_x$  (визначена інтерполяцією) досягає нормативного значення, становить 410 м.

Згідно [9] відстань від магістралі зовнішнього краю проїзної частини автодороги до житлових будівель має бути  $l=50\div 80$  м, тобто ширина забруднення придорожньої смуги забруднюючими речовинами перетинає межі житлової забудови, тому визначили величину перевищення нормативу  $ГДК$  цими речовинами у розрахунковій точці на межі житлової забудови.

Фактична концентрація оксиду вуглецю у сонячну погоду ( $C_{CO}=8,75 \text{ мг/м}^3$ ) на відстані  $l=50$  м від краю проїзної частини автодороги до житлової забудови перевищує  $ГДК_{CO}$ . Перевищення вмісту оксиду вуглецю у сонячну та хмарну погоду на відстані 50 м від краю дороги становить відповідно 192 та 317%, вуглеводнів – на 19 та 70%, оксидів азоту – на 2088 та 3038% відповідно.

Аналогічними підрахунками перевищення концентрацій зазначених речовин на відстані 80 м від краю автодороги у сонячну та хмарну погоду відповідно встановлено: для  $CO$  – на 100 та 233%, для  $C_nH_m$  – майже не перевищує, для  $NO_x$  – 1400 та 1775%.

Розподіл оксидів вуглецю в напрямку від магістралі (рис.3) демонструє територію, де присутність людини тривалий час стає небезпечною загрозою для здоров'я.

В той же час парк Т. Шевченка – справжній оазис у центральній частині Києва серед асфальту та бетону, це столичний парк з благоустроєм і стату-

сом історико-культурної пам'ятки місцевого значення. Щодня парком прогулюються діти, студенти, випадкові перехожі та гості столиці. На території столичного скверу часто проводять різні виставки, влаштовують культурні заходи. Тому вкрай необхідно проводити заходи по зниженню забруднення повітря на цій території. Безумовно, виконані розрахунки є орієнтовними (оскільки не враховують багатьох факторів), і справжній розподіл концентрацій відпрацьованих газів у парку відпочинку буде дещо іншим з огляду існуючих зелених насаджень, мінливості напрямку вітру, фонових концентрацій токсикантів, близькості інших автошляхів та ін., але таке моделювання ілюструє якісну ситуацію забруднення досліджуваної ділянки токсичними газами, тому може лягти в основу вирішення завдань, пов'язаних з покращенням стану атмосферного повітря в зоні відпочинку або скупчення міського населення шляхом перерозподілу транспортних потоків та впровадження сучасних засобів благоустрою територій і, особливо, очищення повітря.

**5. Висновки.** На основі аналізу фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту на магістральній мережі і розрахунків потужності емісії та концентрацій токсичних компонентів відпрацьованих газів автотранспорту виявлено, що найбільш небезпечними для житлової забудови та довготривалого місцезнаходження людини є оксиди азоту, особливо у хмарну погоду, коли їх фактичний вміст багаторазово перевищує гранично допустиму концентрацію.

Наведені дані про кількість та якість викидів на магістральних мережах доріг як практично постійного джерела забруднення повітря свідчать про значну шкоду здоров'ю людини, отже необхідні додаткові захисні заходи щодо очищення повітря та зниження концентрації забруднюючих речовин, наприклад, спеціальним обладнанням.

#### Л і т е р а т у р а

- Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2018 році. – Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. – Київ, 2019. – 50 с.
- Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря : [метод. рекомендації] // МОЗ України. – Офіційне видання, 2007. – 28 с.
- Урбоекологія / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, І.М. Трус, А.В. Іванченко – Дніпро:Акцент ПП, 2017.– 309 с.
- Turner D. Bruce. Atmospheric dispersion estimates / Turner D. Bruce. –Lewis Publishers, 1994. –90 p.
- КД 52.9.4.01-09 Охорона природи. Атмосфера. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. – Видання офіційне; Державна гідрометеорологічна служба. – К., 2010. – 78 с.
- ОНД-86 Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 93 с.
- Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. - М., 1995. – 127с.
- Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) ( ДСП-201-97 ) – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>
- ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 185 с.

#### References

- Inspection will become difficult for a natural remedy in the territory of Ukraine for the next notice of hydrometeorological organizations in 2018. - Boris Sreznevsky Central geophysical observatory. - Kyiv, 2019. – 50 с.
- Risk assessment for public health from atmospheric pollution: [method. recommendations] // Ministry of Health of Ukraine. - Official edition, 2007. - 28 p.
- Urboecology / I.A. Vasilenko, O.A. Pivovarov, I.M. Rabbit, A.V. Ivanchenko - Dnipro: Accent of PE, 2017. – 309 p.
- Turner D. Bruce. Atmospheric dispersion estimates / Turner D. Bruce. –Lewis Publishers, 1994. –90 p.
- CD 52.9.4.01-09 Conservation of nature. Atmosphere. Methodical instructions for forecasting of meteorological conditions of formation of air pollution levels in cities of Ukraine. - Official edition; State Hydrometeorological Service. - K., 2010. - 78 p.
- UND-86 Methods of calculation of concentrations in the air of harmful substances contained in the emissions of enterprises. - L.: Gidrometeoizdat, 1987. - 93 p.
- Recommendations for the consideration of environmental protection requirements for the design of roads and bridges. - M., 1995. – 127 p.
- State Sanitary Rules for the Protection of the Atmospheric Air of Settlements (from Chemical and Biological Contamination) (SSP-201-97) - Access Mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/>
- SBC B.2.2-12: 2019 Planning and development of territories. - K. : Minregionbud of Ukraine, 2019. - 185 p.

**Татарченко Г.О., Кравченко И.В., Писаренко Н.В., Поркуян С.Л. Исследование загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта в городской среде**

*В работе на примере магистральной дороги возле парка проведен анализ фактической среднесуточной интенсивности движения автотранспорта и рассчитаны мощности эмиссии и концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе отработанных автомобильных газов. Выявлено, что наиболее опасными для жилой застройки являются оксиды азота, особенно в несолнечную погоду, когда их фактическое содержание превышает предельно допустимую концентрацию во много раз. Приведенные данные о количестве и качестве выбросов на магистральных сетях дорог свидетельствуют о значительном вреде здоровью человека.*

*Выполненные расчеты являются актуальными для решения задач, связанных с моделированием и прогнозированием загрязнения атмосферы транспортными потоками и, соответственно, поиска решений по снижению содержания вредных газов в атмосферном воздухе.*

**Ключевые слова:** air pollution, emissions from vehicles, urban environment

**Tatarchenko G.O., Kravchenko I.V., Pisarenko N.V., Porkuyan S.L. Study of atmospheric air pollution by exhaust gases in an urban environment.**

Currently, in large Ukrainian cities, mobile sources produce more pollutants to the air than stationary industrial sources. This is due to a significant increase in the number of vehicles, insufficient bandwidth of highway system, incorrect architectural and planning decisions, and also due to the exploitation of numerous obsolete cars whose state does not comply with state environmental standards. The gas contamination of the near-surface atmospheric layer of cities becomes the cause of various diseases.

We studied a section of a transport highway in the center of Kiev, in the near vicinity of residential buildings and recreation park, to determine the emission power of toxic components (carbon monoxide, hydrocarbons and nitrogen oxides) of exhaust gases from internal combustion engines and dispersion of contaminants in the surrounding areas. The traffic intensity in this section of the road was determined by direct calculation using video observation at different times of the day. The results were averaged over a ten-minute interval, and then the daily number of vehicles of different types was calculated.

To construct the concentration fields of pollutants, a Gaussian model of the distribution of impurities in the atmosphere at low altitudes was applied. It was found that the width of the roadside contamination covers the boundaries of residential development, and the actual concentrations of CO and NO<sub>x</sub> in the air are many times higher than the maximum allowable daily average. This indicates an unfavorable environmental situation, which negatively affects health status of population. This necessitates the adoption of appropriate measures for the rational improvement of the territory and the purification of atmospheric air using modern methods and special equipment.

*To improve the environmental situation, it is necessary to optimize the planning structure of the city, organize traffic flows through the construction of duplicate motorways, bypass roads and transport interchanges (including tunnels and bridges). This will significantly reduce the number of gas-brake cycles, and avoid traffic jams and pulls, during which exhaust emissions increase in many times.*

**Keywords:** pollution, air, car emissions, urban environment

**Татарченко Галина Олегівна** – доктор технічних наук, професор кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: tatarchenkogalina@gmail.com

**Кравченко Інна Василівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: nitrousoxide@ukr.net

**Писаренко Микола Володимирович** – магістр кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: nik.pisarenko.93@ukr.net

**Поркуян Сергій Леонідович** – старший викладач кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: s.porkuian@gmail.com

Стаття подана 28.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-105-110>

УДК 62.529: 69003

## КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ЛОГІКО-СМИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ПЕРЕДПРОЕКТНО-ПРОЕКТНИХ ЦИКЛАХ «ПРОЕКТУВАННЯ - БУДІВНИЦТВО - РЕКОНСТРУКЦІЯ»

Уваров П.Є., Татарченко Г.О., Білошицька Н.І., Шпарбер М.Є.

## CLASSIFICATION AND LOGICAL-SEMANTIC MODELING IN PRE-DESIGN-DESIGN CYCLES «PLANNING - CONSTRUCTION – RECONSTRUCTION»

Uvarov P.E., Tatarchenko G.O., Biloshytska N.I., Shparber M.E.

*В роботі розроблено схеми класифікації та методу логіко-сміслового моделювання в передпроектно-проектних циклах підтримки життєвого циклу П-ОБ і принципів застосування концептуальних положень інтеграції можливих способів інженерних і аналітичних розрахункових завдань для інфографічних моделей*

**Ключові слова:** *проект-об'єкт будівництва, інфографічні моделі, передпроектно-проектні цикли, підтримка життєвого циклу П-ОБ.*

**Вступ.** У зв'язку з введенням в Україні в дію державних норм науково-технічного супроводу інвестиційно-будівельних проєктів-об'єктів будівництва (П-ОБ) на різних стадіях і етапах їх життєвого циклу, головним завданням останніх стає вивчення проблемних ситуацій, які обумовлені нормативно-законодавчими документами і спрямовані на обґрунтування інвестиційних цілей та їх ефективності в ході проєктування (створення) і реалізації П-ОБ на стадії передінвестиційної та інвестиційної (предстроїтельної стадії) фази інвестиційно-будівельної діяльності (ІБД)

**Актуальність.** Створення і застосування семантичних моделей - це перспективний напрям впровадження в практику інноваційно-будівельного проєктування (проектних процесів) інформаційної технології, строгих логіко-математичних методів та інформаційно-комп'ютерної техніки.

**Метою роботи** є дослідження класифікацій та логіко-сміслового моделювання в передпроектно-проектних циклах підтримки життєвого циклу проєктів-об'єктів будівництва (П-ОБ) і принципів застосування концептуальних положень інтеграції можливих способів інженерних і аналітичних розрахункових завдань для інфографічних моделей різного призначення і форми планування, органі-

зації, управління і обліку (моніторингу) ресурсів та термінів інвестиційно-будівельного виробництва.

**Постановка проблеми.** Реалізація поставленої мети вимагала вирішення наступних основних задач:

- Сформулювати класифікаційні схеми етапів логіко-сміслового моделювання ;
- Розробити базові принципи застосування концептуальних положень інтеграції способів інженерних і аналітичних розрахункових завдань
- Провести аналіз і структурування інформаційного простору стадій концептуального інвестиційно-інноваційного проєктування інформаційного середовища

**Результати дослідження.** Базовий науковий апарат, загальний для різних семантичних методів, розроблявся в рамках досліджень по штучному інтелекту, точніше, однієї з гілок цих вишукувань, яку називають логіко-лінгвістичні моделі в системах проєктування та управління, тобто «уявлення знань в ЕОМ» [4,7].

Цей апарат включає способи представлення знань про деякої предметної області, проблеми, ситуації та способи аналізу цього знання, висновки з нього, зіставлення з ним іншого знання. Знання представляють у формі системи інформаційно-логічних відносин між поняттями, що відображають певну предметну область, проблему тощо наукових парадигм (рис. 1-3) та вираженими природною мовою (словами та сполученнями). При дослідженні цієї системи її зазвичай розглядають як граф того чи іншого виду.

Метод логіко-сміслового моделювання не ставить задалегідь будь-якої ієрархічної структури, а передбачає поступове, неієрархізоване накопичення в наукових парадигмах інформаційних понять і

зв'язків, що відносяться до досліджуваної проблеми або області знань [2].

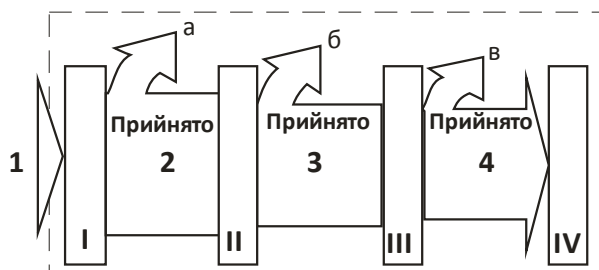


Рис. 1. Принципова схема передачі та сприйняття інформації: 1 – постановочні дані; I – фізичний фільтр (канал зв'язку); 2 – статистична інформація, а – статистичний шум; II – семантичний фільтр (тезаурус); 3 – семантична інформація, б – семантичний шум; III – прагматичний фільтр; 4 – прагматична інформація; в – прагматичний шум; IV – використання інформації (канонів системних властивостей) для формування наукових парадигм

Утворений при цьому граф понятійних зв'язків досліджується з точки зору його структури і функцій. У ньому виявляються зони щодо більш високої щільності зв'язків (ядра) і порожнечі, центральні і периферичні поняття тощо. За результатами аналізу проводиться спрямоване доповнення моделі новою інформацією (поняттями і зв'язками), і доповнена інформаційна модель знову аналізується. Таким чином, модель відображає проблему, будується не апіорно, а у ході послідовного проектно орієнтованого та контрольованого процесу, при якому поступово приходять до більш повного і точного опису і структурування проблемної області – системно-комплексного проектування та управління проектами інвестиційно-будівельної діяльності (ІБД).

Завдяки цьому методи логіко-сміслового моделювання можуть бути використані в проектній системології для формування складних систем понять і висловлювань, що описують комплексну проблему і в кругообігу повного життєвого циклу «проекування – будівництво – реконструкція – ліквідація» проекту – об'єкта будівництва, умови та шляхи її вирішення, сукупність змістовних відомостей, які обґрунтовують прийняття цього рішення (рис.3).

Автоматизована інтегральна підготовка комплексних рішень по складним, що не формалізованим проблемам проектної системології вимагає явного врахування великої кількості інформаційно-змістовних міркувань, – основний напрямок практичного використання логіко-сміслового моделювання [1, 3, 6]. Поряд з цим воно може використовуватися для більш спеціальних завдань, які можуть розглядатися як етапи або частини процесу прийняття складних проектних рішень [5]. Сюди відносяться, зокрема: структурування і аналіз сукупності проблем і пропозицій, отриманої з наукових і прикладних знань і шляхом опитування експертів; оцінка

знову підготовлених документів на відповідність раніше прийнятим документам і основним директивним вимогам; аналіз причин невиконання рішень і планів; обґрунтування методів прийняття рішень при проектуванні циклів «будівництво-реконструкція», автоматична підготовка аналітичних оглядів тощо.

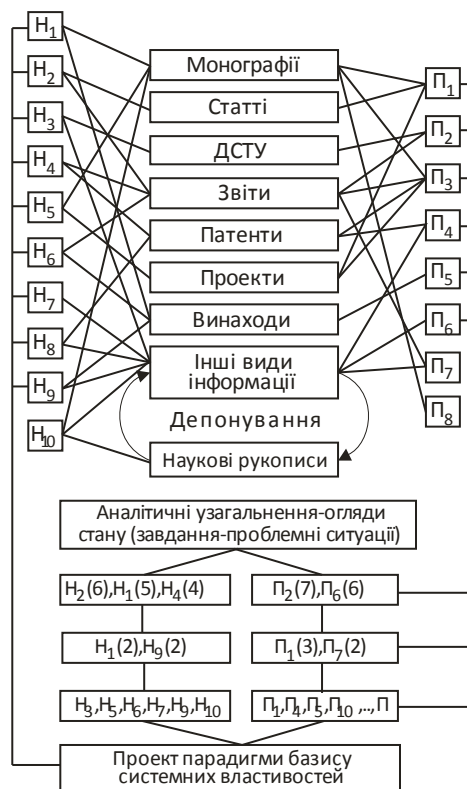


Рис. 2. Схема формування і вибору базису системних властивостей наукових і прикладних знань (аналіз-синтез-оцінка-адаптація): Н – недоліки; П – переваги дисциплінарних та методичних матриць інформаційного забезпечення

Апарат логіко-сміслового моделювання включає особливий критерій встановлення відносини між елементами інформації – їх смислової близькості понять і термінів і способи внесення в модель інформаційної технології інноваційно-будівельного проектування якісної інформації на семантичному рівні, а також алгоритми і програми аналізу утворюється семантичного графа [3, 7, 8].

Математичне забезпечення логіко-сміслового моделювання включає системи програм:

- дослідження семантичного графа;
- створення, ведення та експлуатації інформаційної бази даних для логіко-сміслової моделі;
- візуального відображення результатів обробки для полегшення дослідження та наочного уявлення моделі розв'язуваної проблеми;
- побудови зв'язкових текстів, послідовно описують проблему або вироблене рішення в системі класифікації (типології) інвестиційно-будівельного проектування та управління змінами рішень (проекту) [3, 6].

Особливість вищого рівня інформаційних технологій полягає в тому, що вони переробляють і використовують семантичну (змістовну) інформацію, тобто для них має значення не просто кількість повідомлень (нових посилки) та їх релевантність, а й значення що містяться в їх відомостях. Другою особливістю таких технологій є те, що вони охоплюють весь інформаційний цикл, включаючи супровід перебудови проекту-об'єкта будівництва, виходу його на новий цільовий рівень функціонування. Ці технології можна назвати інформдинамічними [3] оскільки вони забезпечують фазовий перехід інформації (знань в силу), тобто «Розв'язують» додаткову енергію об'єкта, обумовлюють його розвиток (див. рис. 4) в науково-інженерній області.

Системи класифікації (типології) являє собою один з методів вивчення природи (типології, топології й методичних матриць наукових парадигм) досліджуваних об'єктів інноваційно-будівельного проектування та будівництва, реконструкції шляхом їх упорядкування та систематизації. Система правил, відповідно, з якою здійснюється розбиття множини досліджуваних об'єктів на підмножини за значеннями тих чи інших інформаційних характеристик, ознак і одержувані при їх використанні результати

називаються системою класифікації, а процес ранжування об'єктів (ознак, чинників) за цією системою - класифікуванням. Класифікування в логіко-смысловому моделюванні є одним з найважливіших етапів проектування, інформаційного забезпечення та супроводу систем виробництва, проектування управління інформаційних систем; вона також забезпечує основу аналізу, синтезу, адаптації та моделювання інформаційних потоків і повідомлень.

Для класифікування об'єктів необхідно сформувати набір класифікаційних об'єктів на проектні рішення і проектні процеси, правила прийняття рішень тощо. На практиці в якості підстави поділу можуть використовуватися як природні дескриптивні класифікаційні ознаки так і нормативні - формальні (прескриптивні), які накладають певні обмеження на класифікацію. При будь-якій класифікації інформації в проектуванні, управлінні повинні виконуватися наступні основні вимоги: забезпечення повноти охоплення об'єктів досліджуваної множини; неперетинання груп об'єктів, що виділяються; можливість включення нових груп об'єктів; лаконічність, чіткість і ясність класифікаційних ознак; незмінність прийнятої класифікаційної ознаки на всіх рівнях класифікації.

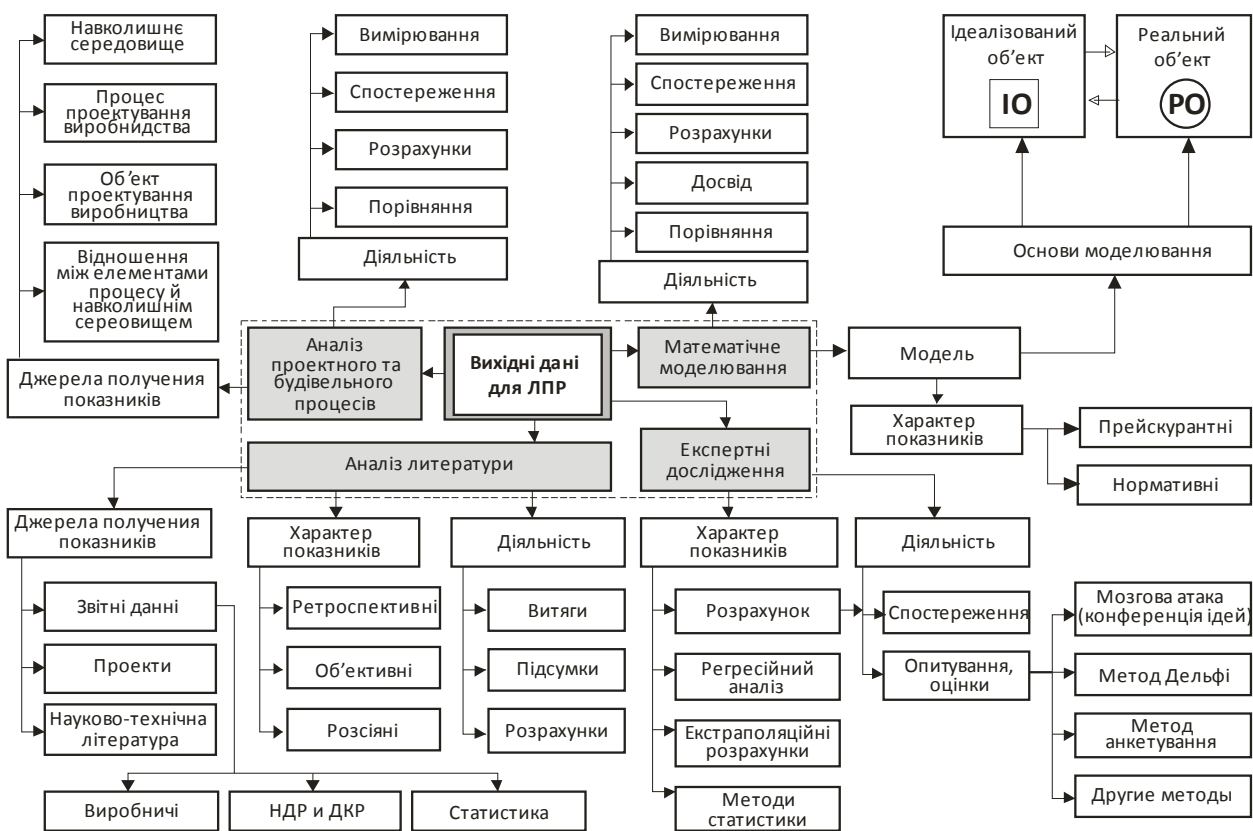


Рис. 3. Класифікаційна схема методів отримання вихідної інформації для дослідження морфізму генезису наукових парадигм



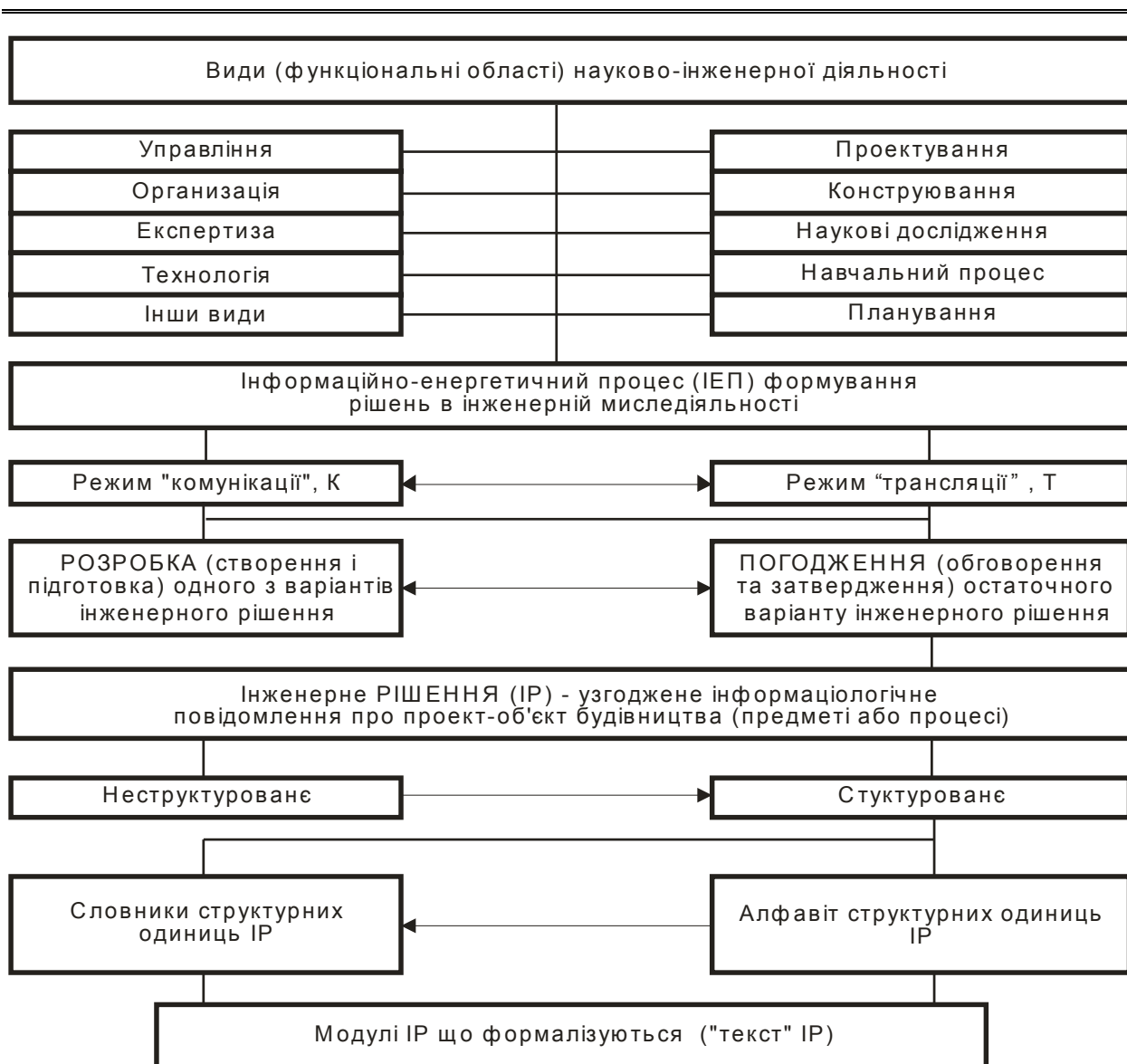


Рис. 4. Структура формування інженерних рішень в системі організаційно-технологічного проектування ІБД

Відзначимо ряд наступних основних понять процесу класифікування: класифікаційне угруповання, тобто частина проектів-об'єктів будівництва, об'єднаних за одним або кількома класифікаційними ознаками, складова, клас, підклас, групу, підгрупу, вид, підвид, рід, сімейство; ступінь класифікації, тобто етап процесу класифікування, результатом виконання якого є виділення чергової класифікаційного угруповання; глибина класифікації, тобто число ступенів, передбачених застосовуваною системою класифікації.

Залежно від об'єднання обраних базових схем класифікації та організації класифікаційних угруповань розрізняємо ієрархічну і багатоаспектну системи класифікації. Ієрархічна система будується на основі багаторівневих відносин між класифікаційними угрупованнями. Кожен проект-об'єкт будівництва або елемент на кожному ступені класифікації може потрапити тільки в одно класифікаційне угруповання. Результати ієрархічної класифікації мо-

жуть бути наочно відображені деревовидною структурою.

Аналіз інформаційних потоків дозволяє вирішити завдання аналізу і структурування інформаційного простору стадій концептуального інвестиційно-інноваційного проектування інформаційного середовища. Для моделювання інформаційних потоків було запропоновано значну кількість підходів. Це методи функціонально-операційного аналізу, модуль-мери, симетричний аналіз, побудова «схем інформаційних зв'язків», логіко-смісловне моделювання і метод формального опису інформаційних потоків. Останні запропоновані в роботі [3,7] і набули широкого поширення при розробці класифікацій проектних рішень і процесів проектування.

Суть методу формального опису зводиться до наступного. Для побудови інформаційної структури системи типологій проектних рішень й процесів проектування на основі аналізу інформаційних потоків, що забезпечують їх інформаційну взаємодію

та їх комплексування, будується інформаційний графік, вершини якого відповідають джерела інформації та її споживачі, а дугам - інформаційні потоки. На основі інформаційного графа будується таблиця «елемент графа - характеристика елемента, тобто, проектне рішення - елемент процесу проектування», в якій кожному вузлу графа ставиться у відповідність набір характеристик кожного інформаційного зв'язку.

Рішення задач аналізу інформаційних потоків при цьому практично зводиться до аналізу інтенсивності взаємодії модельованих рішень і процесів проектування, сегментів інформації (груп інформаційних повідомлень) для відображення отриманих результатів доцільно використовувати спеціальні аналітичні таблиці, заповнення яких здійснюється за значеннями характеристики використання

$$Q_{jk}^{is} = \begin{cases} 1, & \text{при виконенні умови } \beta, \\ 0, & \text{в противному випадку} \end{cases}$$

де  $\beta$  - умова використання  $k$ -го сегменту інформації  $j$ -го інформаційного потоку для реалізації  $s$ -ої складової  $i$ -го процесу проектування, що виконується моделюємою системою.

Тому що стадії концептуального (інвестиційно-організаційного) проектування інформаційної системи ІБД, як сегмента інформації можуть виступати: документ, показник або його елемент (ознака), то аналітичні таблиці складаються для таких послідовних рівнів: рівня інформаційної ситуації (ІС) в цілому; рівня «документ - документ»; рівня «показник - показник»; рівня «елемент - елемент».

**Висновки:** 1. Незважаючи на різноманітність розроблених методів моделювання інформаційних потоків, найбільш ефективні і найбільш наочні способи моделювання дає теорія графів. Так, для реалізації описаного вище методу інформаційного моделювання повинні бути вирішені два основні завдання: сегментування інформації; обчислення значень характеристик  $Q_{jk}^{is}$ .

2. Завдання сегментування інформації може бути зведена до рішення задачі розбиття пов'язаної інформаційної структури на сегменти, мінімально пов'язані між собою, фізично реалізовані що дозволить охарактеризувати будь-який з модельованих процесів або їх складових.

3. Сегментуєма інформаційна структура формалізується неорієнтованим графом, в якому поєднані всі відносини, властиві вихідної інформаційній структурі (відносини зв'язку між елементами інформації типу «рід - вид», «ціле - частина», «причина - наслідок» тощо), а вага дуги відповідає сумарній інтенсивності її використання для реалізації всіх можливих інформаційних запитів користувачів, що моделюється. При такому підході завдання сегментування зводиться до визначення такого ізоморфу - безлічі інформаційних сегментів, при яких забезпечується максимум сумарної пов'язаності вершин, що характеризують елементи інформації.

4. Для обчислення значень  $Q_{jk}^{is}$  можуть бути використані методи: побудови групових рішень в просторах парних і непарних бінарних відносин; причинно-наслідкового аналізу при використанні могографов (модельних графів); віртуальних маршрутів. Відзначимо, що для вирішення даного завдання найбільш, було б поєднання ідей, покладених в основу цих трьох методів, що дозволило б побудувати досить ефективні процедури інформаціологічного моделювання проектних рішень і проектних процесів.

5. В результаті побудови інформаційних графів і аналітичних таблиць типу «процес - дані» може бути визначено необхідний склад і орієнтовний обсяг інформаційної бази ІС або системи автоматизації виробництва, вимоги до методів доступу до нормативно-довідкової інформації тощо.

6. На цьому ж етапі проектування інфосистеми технології інноваційно-будівельного проектування можуть бути сформульовані на концептуальному рівні вимоги до її апаратного, програмного та інформаційного забезпечення.

#### Література

1. Гусаков А.А., Михеев Ю.А., Субботин М.М., Фролов А.С. Выработка комплексных решений по совершенствованию управления с использованием логико-смыслового метода (на примере капитального строительства). - М.: ВНИИПОУ, 1980.
2. Гусакова Е.А. Генезис жизненного цикла производственных зданий. Промышленное и гражданское строительство № 12, 2002.
3. Кобылин Ю.М., Туваева В.Д., Сычев В.П. и др. Новая информационная технология и ее влияние на совершенствование управления хозяйством. - К.: УкрНИИ-ИНТИ, 1989.
4. Иванов В.Г., Субботин М.М. Анализ совершенствования комплексных решений с использованием метода логико-смыслового моделирования. - М.: Академия народного хозяйства, 1978.
5. Кузин Л.Т. Основы кибернетики т. 2. - М.: 1979.
6. Методические рекомендации по применению логико-смыслового метода в организации совершенствования управления. - М.: ГКНТ, 1980.
7. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. - М.: Энергоиздат, 1981.
8. Уваров П.С. Принципы интегрированного организационно-технологического проектирования инвестиционно-будівельної діяльності. Автореферат дисертації кандидата технічних наук. - Дніпропетровськ, ПДАБА, 2008. -20 с.
9. Уваров П.Е. Анализ и синтез системных структур информационных моделей инвестиционно-строительных проектов / Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. "Системний аналіз та інформаційні технології". Київський політехнічний інститут. - К.: НТУУ "КПІ", 2004. с. 30-32.

#### References

1. Gusakov A.A., Miheev Yu.A., Subbotin M.M., Frolov A.S. Vyirabotka kompleksnyih resheniy po sovershenstvovaniyu upravleniya s ispolzovaniem logiko-



- smyslovogo metoda (na primere kapitalnogo stroitelstva). - M.: VNIPOU, 1980.
- Gusakova E.A. Genezis zhiznennogo tsikla proizvodstvennykh zdaniy. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo # 12, 2002.
  - Konyigin Yu.M., Tuvaeva V.D., Syichev V.P. i dr. Novaya informatsionnaya tehnologiya i ee vliyanie na sovershenstvovanie upravleniya hozyaystvom. - K.: UkrNIINTI, 1989.
  - Ivanov V.G., Subbotin M.M. Analiz sovershenstvovaniya kompleksnykh resheniy s ispolzovaniem metoda logiko-smyslovogo modelirovaniya. M.: Akademiya narodnogo hozyaystva, 1978.
  - Kuzin L.T. Osnovy kibernetiki t. 2. - M.: 1979.
  - Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu logiko-smyslovogo metoda v organizatsii sovershenstvovaniya upravleniya. - M.: GKNT, 1980.
  - Pospelov D.A. Logiko-lingvisticheskie modeli v sistemakh upravleniya. - M.: Eneroizdat, 1981.
  - Uvarov P.E. Printsipi Integrovannogo organizatsionno-tehnologichnogo proektuvannya Investitsionno-budivelnogo dlyalnost. Avtoreferat disertatsiyi kandidata tehnikh nauk. - Dnipro, PDABA, 2008. -20 s.
  - Uvarov P.E. Analiz i sintez sistemnykh struktur informatsionnykh modeley investitsionno-stroitelnykh proektov / Tezi dopovidey IV Mizhnarodnoyi naukovopraktichnoyi konferentsiyi. "Sistemnyi analiz ta informatsionni tehnologiyi". Kiyivskiy politehnikhnyi Institut. - K.: NTUU "KPI", 2004. s. 30-32.

**Уваров П.Е., Татарченко Г.О., Белошицкая Н.И., Шпарбер М.Е. Классификация и логико-смысловое моделирование в передпроектно-проектных циклах «проектирование - строительство - реконструкция»**

*В статье разработаны схемы классификации и методика логико-смыслового моделирования в передпроектной проектных циклах поддержки жизненного цикла П-ОС и принципов применения концептуальных положений интеграции возможных способов инженерных и аналитических расчетных задач для инфографических моделей*

**Ключевые слова:** проект-объект строительства, инфографические модели, передпроектной-проектные циклы, поддержка жизненного цикла П-ОС.

**Uvarov P., Tatarchenko G., Biloshytska N., Shparber M. Classification and logical-semantic modeling in pre-design-design cycles "planning - construction - reconstruction"**

*The work investigates the problem situations, which are caused by normative-legislative documents and aimed at substantiation of investment goals and their effectiveness during the design (creation) and implementation of construction projects at the pre-investment and investment (pre-construction stage) phase of the investment-construction activity.*

*Proved perspective for the directions of implementation of innovative construction projects (design processes): information technologies, logic and mathematical methods and computer information technologies.*

*Investigated the classification structure of logical and semantic modeling in pre-project cycles of supporting the life cycle of construction projects and objects.*

*Developed the system of adapted principles of application of conceptual provisions of integration of possible ways of engineering and analytical calculation tasks for infographic models of different purpose and form of planning, organization, management, accounting (monitoring) of resources and terms of investment and construction production.*

*The analysis and structuring of the information space of the stages of conceptual investment-innovative design of the information environment is carried out.*

*It is proved that the segmented information structure is formalized by an undirected graph, which combines all the relations inherent in the original information structure, and the weight of the arc corresponds to the total intensity of its use to realize all possible information requests of the simulated users.*

*It is proposed to solve the tasks of analysis of information flows by analyzing the intensity of interaction of simulated decisions and design processes, segments of information (groups of information messages).*

*The classification schemes of the stages of logical and semantic modeling have been formed. Basic principles of application of conceptual provisions of integration of methods of engineering and analytical calculation tasks are developed. The analysis and structuring of the information space of the stages of conceptual investment-innovative design of the information environment is conducted.*

**Key words:** project-construction project, infographic models, pre-design-design cycles, support for the P-OB life cycle.

**Уваров П.Е.** – к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
**Татарченко Г.О.** – д.т.н., проф., завідувач кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**Білошицька Н.І.** – к.т.н., доц., доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
**Шпарбер М.Е.** – старший викладач кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-111-117>

УДК 17620 178.620.181

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОПОРУ ГРУНТУ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЕНЬ ПІД ЧАС ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Усов Д.І., Архипов О.Г., ЛЮБИМОВА-Зінченко О.В.

### RESEARCH OF ELECTROCHEMICAL DESCRIPTIONS AND RESISTANCE OF SOIL OF ANODIC GROUNDING AT AN HOUR JF TRIAL OPERTION

Usov D.I., Arkhyrov O.G., Liubymova-Zinchenko O.V.

*Одним з найголовніших питань, при спорудженні установок катодного захисту є правильність вибору анодного заземлення.*

*В роботі розглянуті дослідження зміни структури металу і обумовлених цим змін електрохімічних характеристик сталевих анодів станції катодного захисту, проведений порівняльний аналіз опору ґрунту та анодних заземлень до та після закладання хімічно активних речовин.*

*В результаті проведених досліджень анодних заземлювачів, які були в експлуатації від 1 до 20 років було встановлено, що їх експлуатація потребувала значних витрат електрики. Що і обумовило потребу використання активаторів.*

*Дослідження електричного опору ґрунту і системи анод-ґрунт показали ефективність використання хімічно активних речовин для зменшення опору в системі анод-ґрунт, що дозволить подовжити ресурс експлуатації анодних систем, бо існуючі системи вимагають систематичного ремонту або заміни великогабаритних анодів. Активізація розчинення анодів, навпаки, полегшує навантаження на катодні станції та покращує економічні показники.*

*Отримані результати важливі для розуміння процесів розкладання анодних заземлень та збільшення терміну їх експлуатації протягом тривалого часу.*

**Ключові слова:** катодний захист, електрохімічні характеристики, анодне заземлення, електричний опір ґрунту.

**Вступ.** В Україні проблема захисту підземного металофону від корозії постає найбільш гостро на фоні потреб інноваційного розвитку економіки країни з урахуванням значного здороження енергетичних ресурсів. Приборне забезпечення технологічних процесів визначення найбільш раціонального місця розташування анодного пристрою, глибини його розташування, що дозволяє підвищити ефективність витрачених коштів при одночасному зменшенні капітальних витрат. Невдалий вибір зони розташування анодного електроду зменшує зону, що захищається станцією катодного захисту, що в свою чергу викликає необхідність збільшення їх кількості для за-

хисту ділянки підземного трубопроводу. Ефективність застосування катодного захисту металів полягає в принципі його дії: так, зменшуючи потенціал металу, наближаємося до нульового значення струму анода.

Застосовуючи цей вид електрохімічного захисту, «мінусовий» полюс зовнішнього джерела струму під'єднують до металовиробу, який виступає в ролі катода.

Для того, щоб замкнути ланцюг струму, «плюсовий» полюс джерела з'єднують з анодом, який у цій схемі є електродом. Важливо знати: для того, щоб схема працювала, анод повинен знаходитися у схожому середовищі (земля, вода), так само як і об'єкт, який потребує катодного захисту від корозії.

Катодну поляризацію підземних металокопункцій здійснюють завдяки дренажному, катодному та протекторному захисту. Застосовують цей вид захисту металів зазвичай для підземних трубопроводів, захищаючи їх від ґрунтової корозії.

Одним з найголовніших питань, при спорудженні установок катодного захисту є правильність вибору анодного заземлення.

Анодні заземлювачі, які використовуються для роботи установок катодного захисту мають різні технологічні властивості, режими роботи та строки експлуатації. Різняться також і способи закладання анодних заземлень: вертикальне закладання та горизонтальне закладання.

Витрати на їхнє закладання й наступну експлуатацію так само відрізняються.

Анодні заземлювачі, використовувани для монтажу й роботи катодного захисту виконуються з різного матеріалу: металеві (титано-марганцеві, феросилідні, чавунні, сталеві) і анодні заземлювачі без вмісту металу (електропровідна гума, графітові й графітопластові) та інші [1].

Під час експлуатації анодного заземлення кількість споживаної електроенергії для різних типів анодних заземлювачів буде різнитись, що поясню-

ється різним опором матеріалу і ґрунту де, експлуатується анодне заземлення.

Різними є і киснева перенапруга, графітові анодні заземлення мають більш високий потенціал і більш високу кисневу перенапругу в порівнянні з потенціалом кремнію або сталі, тому на розкладання графіту потрібно більше електроенергії ніж на феросилід та сталь [2]. Для роботи феросилідних та сталевих анодних заземлювачів витрати електроенергії значно нижчі за рахунок меншого опору до розчинення і більш низької кисневої перенапруги.

Важливим фактором при виборі типу анодного заземлення є густина струму. Для якісного захисту від корозії сталевих трубопроводів густина струму анодного заземлення відіграє значну роль внаслідок неоднорідності ґрунту та різної якості ізоляційного покриття на сталевому трубопроводі. Густина струму в графітових електродах може сягати 8 – 30 А/м<sup>2</sup>, в сталевих та феросилідних 10 – 50 А/м<sup>2</sup>. Вартість різних типів анодних заземлень теж дуже різниться.

**Методика дослідження.** Метою роботи було дослідження структурних змін металу сталевих анодних заземлень і обумовлених цим змін електрохімічних характеристик протягом певного періоду, а також дослідження зміни опору ґрунту та анодного заземлення протягом тривалого терміну експлуатації.

Як матеріал для дослідження було вибрано аноди станції катодного захисту з матеріалу Сталь 20, поряд з якими для зменшення опору ґрунту та подолання електрохімічних бар'єрів було закладено активні речовини з різним хімічним складом [3-5]. Температура експлуатації анодних заземлень від +45 до -40°C. За час експлуатації на аноди подавали електричну напругу в діапазоні 5-100 В, струм анодних заземлень складав від 5-50 А.

Територія району де експлуатуються анодні заземлення відноситься до схило – височенної місцевості. У рельєфі головну роль відіграють розчленовані, хвилясті лісові рівнини.

Ґрунт, де закладені анодні заземлення, представляє собою мало гумусний склад з великою кількістю крейди та сипіску, середній опір ґрунту складає 30-70 Ом залежно від пори року.

Довжина анодів складала 20 метрів, діаметр 159 мм, спосіб закладання вертикальний, глибина свердловин під анод дорівнює 22 метра. При укладанні анодів в свердловини використовувалась коксова засипка як всередині, так і зовні. Анодні заземлення працюють декількома групами заземлень зі сталі Сталь 20. Термін експлуатації досліджених анодів 2 роки після закладання в них хімічно активних речовин - «активаторів».

Навколо анодних заземлень на глибину 2,5 метра в кількості 80 кг та 300 мм в діаметрі на кожний анодний заземлювач були закладені різні сипучі хімічно активні матеріали. Поряд з першим зразком розташована аміачна селітра NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, поряд з другим (мас.%) Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> – 32,4, Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> – 19,2, амо-

ній – 8,4, хлориди – 17,8, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, поряд з третім зразком розташована технічна кухонна сіль NaCl, біля четвертого зразка активні речовини не закладались.

Хімічний склад металу та домішок визначався приладом SPECTROPORT [6]. Кожен результат відповідав середньому значенню п'яти замірів.

Поляризаційні криві знімали за допомогою потенціостата ПИ-2МК-10А у водному розчині 3%-го NaCl, швидкість розгортки складала 1 мВ/с.

Швидкість корозії (масовий показник корозії, г/(см<sup>2</sup>\*год)) розраховували гравіметричним методом, визначали за формулою:

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S * \tau}, \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса зразка на початку експерименту, г;  
 $m_2$  – маса зразка після експерименту, г;  
 $S$  – площа зразку металу, см<sup>2</sup>;  
 $\tau$  – час корозії, год.

Вимір опору ґрунту та анодних заземлень проводився за допомогою вимірювача опору заземлення Ф4103-М1, де в основі принципу роботи вимірювача лежав компенсаційний метод вимірювання з використанням допоміжного заземлення і потенційного електрода [7]. Для роботи з пристроєм використовувалися допоміжні штирі заземлення діаметром не менш 5 мм, які встановлювались в ґрунт на глибину не менш 500 мм.

Вимір питомого опору ґрунту проводився за допомогою чотирьох стрижнів, які встановлюються на визначеній ділянці ґрунту по прямій лінії, на відстані «а» один від одного, на глибину не більше 1/20 відстані «а». При цьому способом вимірюється середній питомий опір ґрунту на глибині, яка дорівнює відстані між забитими стрижнями.

Питомий опір ґрунту  $p$ , Ом\*м, визначався за формулою:

$$p = R2\pi a, \quad (2)$$

де  $R$  – опір Ом\*м;  $a$  – відстань між стрижнями, м.

**Результати досліджень.** Хімічний склад металу анодних заземлень після експлуатації з хімічно активними речовинами відповідає діючим вимогам до трубних сталей марки Сталь 20 (табл.1).

Електрохімічні дослідження показали, що потенціали всіх чотирьох зразків (рис. 1) після витримки у робочому середовищі протягом 1 год. відрізняються незначно і знаходяться в межах -0,522...-0,530 В, хоча на початку експозиції розбігаються приблизно на 90 мВ. За струмами корозії зразки №2, №3, №4 відрізняються незначно. Швидкість корозії зразка №1 більша на 23...30%, що пов'язано із більшими струмами катодної реакції кисневої деполяризації. Загалом корозія протікає за катодно-анодного контролю (рис. 2, табл. 2).

Таблиця 1

**Хімічний склад металу зразків анодного заземлення**

№ п/п	Найменування	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %
1	Зразок №1	0,19	0,30	0,46	0,15	0,16
2	Зразок №2	0,22	0,36	0,51	0,01	0,01
3	Зразок №3	0,21	0,36	0,45	0,01	0,04
4	Зразок №4	0,17	0,30	0,57	0,01	0,03
5	Сталь 20 згідно з ГОС1050-88	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	≤0,3	≤0,25

Таблиця 2

**Потенціали та струми корозії зразків Сталі 20 в розчині 3%-му NaCl**

№ зразка	$E_k$ , В	$I_{кор}$ , МА/CM <sup>2</sup>
1	-0,522	0,0086
2	-0,527	0,0061
3	-0,530	0,0066
4	-0,525	0,0066

Визначенні показники швидкості корозії надані в таблиці 3.

Таблиця 3

**Показники швидкості корозії зразків Сталі 20 в розчині 3%-му NaCl протягом 228 год**

№ зразка	$m_{поч}$ , Г	$m_k$ , Г	$\Delta m$ , Г	$S$ , CM <sup>2</sup>	$K_m$ , Г/М <sup>2</sup> *ГОД	$K_b$ , ММ/РІК	$I$ , МА/CM <sup>2</sup>
1	3,0594	3,0510	0,0084	3,96	0,0930	0,10	0,0089
2	2,8691	2,8606	0,0085	3,72	0,1002	0,11	0,0096
3	2,9515	2,9419	0,0096	3,72	0,1132	0,13	0,0108
4	3,0427	3,0335	0,0092	3,96	0,1019	0,11	0,0098

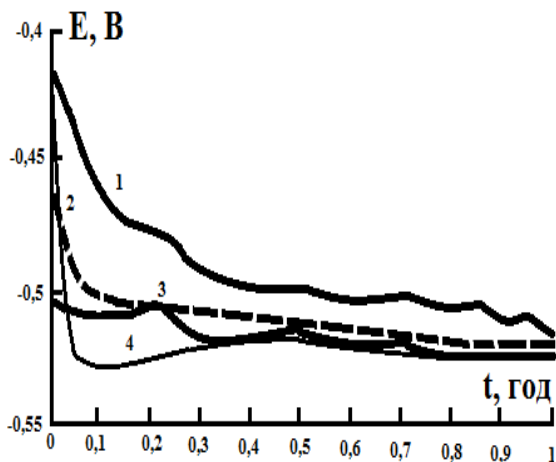


Рис. 1. Зміна з часом потенціалу корозії зразків №1, №2, №3, №4 у 3%-му NaCl

При проведенні дослідів по визначенню струму поляризаційних кривих, виділявся зразок №1 (рис. 2), значення №2, №3, №4 зразків були практично однакові.

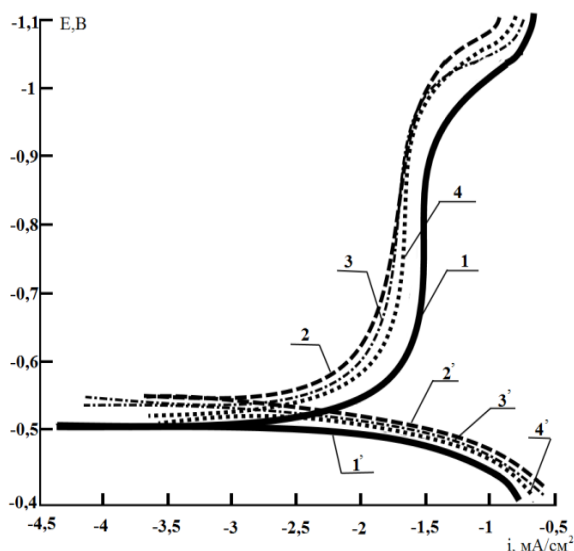


Рис. 2. Поляризаційні криві зразків (1, 2, 3, 4) у 3%-му NaCl, швидкість розгортки 1МВ/с

Згідно поляризаційних кривих визначені потенціали та струми корозії всіх зразків (табл. 2).

Швидкість корозії зразків Сталі 20 після витримки 228 год. у розчині 3%-му NaCl за масовим показником відрізняється незначно (~17%). При переведенні цих значень у розмірність густини струму корозії видно, що вона є дещо більша, ніж за електрохімічних досліджень (табл. 2). Отже з часом при утворенні шару продуктів корозії розчинення сталі дещо зростає і має нерівномірний характер.

Струм корозії зразка №1 визначений за масовим показником корозії (табл. 3). в 1,1...1,2 рази менший, ніж для інших зразків. Струм корозії зразка №1 визначений за масовим показником корозії (табл. 3), в 1,4 рази більший, ніж для інших зразків. Струм корозії зразка №1 визначений за масовим показником корозії (табл. 3) в 1,1...1,2 рази менший, ніж для інших зразків.

Струми корозії зразків №2, №3, та №4, визначені за поляризаційними кривими, в 1,5...1,6 разів менші ніж визначених за втратою маси зразка, масова корозія. Це закономірно, оскільки швидкість ко-

розії сталей зростає з часом витримки їх у робочому середовищі. Швидкість корозії зразка №1 визначена обома вищенаведеними методами однакова, тобто з часом вона практично не змінюється, що ймовірно може бути зумовлено відмінністю структури зразка №1 порівняно з іншими зразками.

Практична експлуатація підтвердила, що однією з проблем, при експлуатації анодних заземлень є поступове збільшення електричного опору між анодним заземлювачем і ґрунтом.

В результаті проведених досліджень анодних заземлювачів, які були в експлуатації від 1 до 20 років було встановлено, що їх експлуатація потребувала значних витрат електрики. Що і обумовило потребу використання активаторів.

Дослідження електричного опору ґрунту і системи анод-ґрунт показали ефективність використання хімічно активних речовин для зменшення опору в системі анод-ґрунт (табл. 4).

Таблиця 4

**Показники опору ґрунту та опору анодних заземлень**

№ п/п	На момент закладки		Через 7 місяців		Через 9 місяців	
	Rгр, Ом	Ra.з., Ом	Rгр, Ом	Ra.з., Ом	Rгр, Ом	Ra.з., Ом
1	40	9	48	12	43	11
1'	28	22	31,5	14	35	13
2	41	40	50	22,5	48	21
2'	32	20	42,2	11,8	35	12
3	30	8,8	30	4,5	36	16
3'	28	7	40	7	51	6
№ п/п	Через 10 місяців *		Через 10 місяців після заливки водою **		Через 23 місяці до та після заливки водою ***	
	Rгр, Ом	Ra.з., Ом	Rгр, Ом	Ra.з., Ом	Rгр, Ом	Ra.з., Ом
1	48/38	11/4,5	23	4	49/20	7/3
1'	31,5/22	13/6,4	24	8	40/19	5/4
2	50/42	20/2,5	23	5	52/16	9/5
2'	42,2/29	12/6	22	2	42/17	10/7
3	30/20	16/6	24	2	47/22	6/4
3'	40/25	8/5	22	12	45/19	11/9

1, 1' – NaCl; 2, 2' – аміачна селітра; 3, 3' – Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>;

\* – в чисельнику - дані до заливки водою, в знаменнику – по заливанню водою в той же день;

\*\* – через 10 місяців і 2 тижні після заливання водою;

\*\*\* – через 23 місяці в чисельнику - дані до заливки водою, в знаменнику – по заливанню водою в той же день;

Rгр – електричний опір ґрунту;

Ra.з. – електричний опір системи анод-ґрунт.

Перед закладанням в ґрунт біля анодних заземлень хімічно активних речовин, опір ґрунту та опір анодних заземлень був достатньо високим, а в зразках №1', №2, та №2' опір анодних заземлень не набагато менший ніж опір ґрунту, що не дає змоги в повному обсязі експлуатувати анодні заземлення (табл. 4).

Через 7 місяців після закладання біля анодних заземлень хімічно активних речовин були проведені виміри електричного опору ґрунту та опору анодних заземлень, які показали що опір ґрунту біля всіх анодних заземлень збільшився або залишився на тому ж рівні, що і сім місяців назад, але це викликано сезонними явищами, такими як літня засуха та відсутність опадів. Опір анодних заземлень змінювався в різних напрямленостях, а саме, в зразках де закладався NaCl, електричний опір анодного заземлення №1 збільшився, але опір ґрунту біля анодного заземлення №1' суттєво знизився, при цьому опір ґрунту біля даного зразка теж виріс, але не суттєво.

Електричний опір анодних заземлень №2 та №2', де закладена аміачна селітра суттєво знизився, при цьому опір ґрунту біля анодних заземлень, де закладена аміачна селітра не суттєво виріс на 10-11 Ом.

Електричний опір зразків №3 та №3', біля яких розташували хімічно активні речовини з хімічним складом Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; по анодному заземленню №3 знизився в 2 рази, а по анодному заземленню №3' залишився на тому ж рівні, що і до закладання хімічних сумішей, але це можна пояснити значним збільшенням опору ґрунту біля анодного заземлення №3'.

Через 9 місяців експлуатації електричний опір анодних заземлень, біля яких розташували хімічно активні речовини, знизився ще на 1-2 Ом порівняно з значеннями 7 місяців експлуатації, а опір анодного заземлення №3 виріс, це може бути обумовлено збільшенням опору ґрунту біля цього анодного заземлення.

Через 10 місяців виконали ще по два виміри опору ґрунту та анодних заземлень, до заливки їх водою та після. Для проливання водою одного анодного заземлення, уходило близько 1м<sup>3</sup> технічної води. Порівняно з 9 місяцями експлуатації встановлено, що до заливки ґрунту водою опір ґрунту збільшився біля всіх зразків окрім місця закладання речовини з хімічним складом Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; там опір ґрунту зменшився на 20%, після проливання ґрунту водою його опір зменшився біля всіх анодних заземлень на 12 - 30%. Опір анодних заземлень до заливки їх водою порівняно з 9 місяцями експлуатації залишився практично незмінний на всіх зразках. Після проливання анодних заземлень водою їх опір суттєво знизився навіть порівняно з 9 місяцями експлуатації, що може бути визвано декількома факторами: періодичним проливом анодних заземлень водою та збільшенням концентрації хімічних речовин на поверхні кожного анодного заземлення, відшаруванням продуктів корозії від тіла анодного заземлення та сезонним фактором.

Через 10 місяців і 2 тижня після заливання водою анодних заземлень та проливання ґрунту водою навколо анодних заземлень, опір ґрунту порівняно з опором двома тижнями раніше, зменшився або за-

лишився на тому ж рівні, винятком є ґрунт біля зразка №3 та №1', там опір ґрунту збільшився на 10%, це може свідчити про ймовірність похибки за рахунок різного складу ґрунту на різній глибині. Опір анодних заземлень після заливання водою через 10 місяців і 2 тижні показав різноспрямовані тенденції на різних зразках, що може свідчити про різну щільність ґрунту і як наслідок різну кількість пропущеної в ґрунт води.

Через 23 місяці повторно провели виміри опору ґрунту та опору анодних заземлень, до проливання їх водою та після. На кожний анодний заземлювач проливалось близько  $1\text{ м}^3$  технічної води. Порівняно з 10 місяцями експлуатації ми побачили, що до заливки ґрунту водою опір ґрунту збільшився біля всіх зразків, найменше біля зразків де закладалась аміачна селітра та NaCl, найбільше де закладалась речовина з хімічним складом  $\text{Na} + \text{K} - 32,4\%$ ,  $\text{Ca} + \text{Mg} - 19,2\%$ , амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$ , а після проливання ґрунту водою його опір зменшився на всіх зразках на 10-20% порівняно з 10 місяцями експлуатації.

Провівши виміри на анодних заземленнях через 23 місяці після закладання хімічно активних речовин бачимо, що опір анодних заземлень порівняно з 10 місяцями експлуатації до проливання їх водою зменшився на всіх зразках на 10-60%, винятком є зразок №3' - біля нього закладена речовина  $\text{Na} + \text{K} - 32,4\%$ ,  $\text{Ca} + \text{Mg} - 19,2\%$ , амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$  і опір зразка збільшився на 35% порівняно з аналогічним виміром на 10 місяці експлуатації. Опір анодних заземлень через 23 місяці експлуатації, після проливання їх водою порівняно з аналогічними вимірами на 10 місяці експлуатації показав наступні результати:

- зразки, біля яких закладався NaCl, показали зниження опору на 25 та 50%;
- зразки, біля яких закладалась аміачна селітра показали збільшення опору анодних заземлень на 10 та 50%.
- зразки, біля яких закладались речовини з хімічним складом  $\text{Na} + \text{K} - 32,4\%$ ,  $\text{Ca} + \text{Mg} - 19,2\%$ , амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$ , показали різно направлені результати, опір одного зразку зменшився на 25%, а опір другого зразку збільшився на 100% порівняно з 10 місяцем експлуатації.

Провівши ряд вимірів на анодних заземленнях протягом двадцяти трьох місяців можемо зробити висновок, що закладені біля анодних заземлень хімічні речовини на 10 місяці експлуатації призвели до зменшення опору ґрунту навколо анодних заземлень та самого анодного заземлення в цілому, на 23 місяці експлуатації бачимо, що опір ґрунту та самих анодних заземлень теж різко зменшується після проливання їх водою, але не так інтенсивне порівняно з вимірами на 10 місяці експлуатації, а в зразках де закладалась речовина з хімічним складом  $\text{Na} + \text{K} - 32,4\%$ ,  $\text{Ca} + \text{Mg} - 19,2\%$ , амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$ , опір по одному зразку

залишився на тому ж рівні, що і на 10 місяці експлуатації, а на другому зразку взагалі виріс. Найбільше зниження опору на 25-50 % показують анодні заземлення біля яких закладався NaCl.

Найефективніше хімічні речовини вели себе при проливанні їх технічною водою. Можна припустити, що проливання анодних заземлень та контейнерів з хімічними речовинами обумовило те, що потік води вимивав частинки хімічних речовин з поліпропіленових контейнерів та наносив їх на поверхню анодних заземлень. В свою чергу нанесені на анодні заземлення частинки хімічних речовин зменшували їх опір до мінімального.

Залежно від пори року опір ґрунту та опір анодних заземлень змінюється. Отримані дані дозволяють зробити висновок, що незважаючи на сезонне збільшення опору ґрунту, опір анодних заземлень зменшився або залишився такий же. Без застосування активаторів відбулось би зростання опору анодних заземлень.

**Висновки.** За час експлуатації досліджені анодні заземлення піддалися дії різних активних речовин, що дало змогу зменшити струмове навантаження за рахунок зменшення опору анодних заземлень. Було виявлено, що найбільш ефективно на анодні заземлення вплинула кухонна сіль NaCl, зразок поряд з яким вона була закладена має значне стоншення стінки металу та наскрізні пошкодження, а ефективність таких анодів виявилась найбільшою і опір найменший. Навіть при зростанні електричного опору ґрунту, в системі анод-ґрунт, опір анодного заземлення біля якого закладений NaCl збільшувався не суттєво або залишався приблизно на тому ж рівні. Використання суміші  $\text{Na} + \text{K} - 32,4\%$ ,  $\text{Ca} + \text{Mg} - 19,2\%$ , амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$  та аміачної селітри показали ефективність їх застосування, але результати не такі очевидні. Слід зауважити, що опір ґрунту в системі анод-ґрунт залежить від пори року, кількості опадів та рівня ґрунтових вод. Тому важливо оцінювати величину опору системи анод-ґрунт з урахуванням величини опору ґрунту на момент проведення відповідного виміру.

Хімічний склад сталевих анодних заземлень після закладання хімічно активних речовин не змінився.

Підсумовуючи проведення електрохімічних досліджень можна зробити висновок, що потенціал та струм корозії на всіх чотирьох анодних заземлювачів практично однаково незалежно від типу закладених біля них речовин.

В цілому, проведені дослідження показали високу ефективність запропонованих засобів. В майбутньому це дозволить подовжити ресурс експлуатації анодних систем, бо існуючі системи вимагають систематичного ремонту або заміни великогабаритних анодів. Активізація розчинення анодів, навпаки, полегшує навантаження на катодні станції та покращує економічні показники.

Подальша робота має бути спрямована на оптимізацію кількості активних сполук, технологію їх закладання і грамотну експлуатацію.

### Література

1. Деградація анодних заземлень під час тривалої експлуатації / Архипов О. Г., Любимова-Зінченко О. В., Усов Д. І. // *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2019, №2(85). – с. 19-24.
2. Nykyforchyn H.M., Kurzydowski K.-J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions // *Environment-induced cracking of materials. Vol. 2: Prediction, industrial developments and evaluations* / ed. by S. Shipilov – Elsevier, 2008. – P. 349–361.
3. Експлуатаційна деградація трубної сталі анодів заземлення / О. Г. Архипов, Д. О. Ковальов, Д. І. Усов, О. В. Любимова-Зінченко, Т. П. Венгранюк // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2016, №2. – с. 87 - 91.
4. Патент Україна №129932. Анодний вузол станції катодного захисту від корозії підземних металевих споруд / О. Г. Архипов, Д. О. В.М. Москалик, Д. І. Усов. – Опубл.26.11.2018; Бюл. №22.
5. Патент Україна №125746. Анодний вузол станції катодного захисту / О. Г. Архипов, Д. О. В.М. Москалик, Д. І. Усов. – Опубл.25.05.2018; Бюл. №10.
6. Архипов О.Г. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг / О.Г. Архипов, В.А. Борисенко, М.С. Хома, О.В. Любимова-Зінченко – Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. - 203 с.
7. Окрихнення сталі магістрального нафтопроводу / О.Т. Цирюльник, Г.М. Никифорчин, О.І. Звірко, Д.Ю.Петрина // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2004. – № 2. – С.126–126. (Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipeline / О. Т. Tsyru'nyk, Н. М. Nykyforchyn, О. І. Zvirko, D. Yu. Petryna // *Materials Science*. – 2004 – 40, №4. – P. 302–304).

### References

1. Dehradatsiia anodnykh zazemlen pid chas tryvaloi ekspluatatsii / Arkhypov O. H., Liubymova-Zinchenko O. V., Usov D. I. // *Metaloznnavstvo ta termichna obrobka metaliv*. – 2019, №2(85). – s. 19-24.
2. Nykyforchyn H.M., Kurzydowski K.-J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions // *Environment-induced cracking of materials. Vol. 2: Prediction, industrial developments and evaluations* / ed. by S. Shipilov – Elsevier, 2008. – P. 349–361.
3. Ekspluatatsiina dehradatsiia trubnoi stali anodiv zazemlennia / O. H. Arkhypov, D. O. Kovalov, D. I. Usov, O. V. Liubymova-Zinchenko, T. P. Venhraniuk // *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*. – 2016, №2. – s. 87 - 91.
4. Patent Ukraina №129932. Anodnyi vuzol stantsii katodnoho zakhystu vid korozii pidzemnykh metalevykh sporud / O. H. Arkhypov, D. O. V.M. Moskalyk, D. I. Usov. – Opubl.26.11.2018; Biul. №22.
5. Patent Ukraina №125746. Anodnyi vuzol stantsii katodnoho zakhystu / O. H. Arkhypov, D. O. V.M. Moskalyk, D. I. Usov. – Opubl.25.05.2018; Biul. №10.
6. Arkhypov O.H. Dehradatsiia stalei v ahresyvykh seredovyshchakh, zalyshkovyi resurs obladnannia i koroziiyni monitorynh / O.H. Arkhypov, V.A. Borysenko, M.S. Khoma, O.V. Liubymova-Zinchenko – Sieverodonetsk: Vyd-vo SNU im. V. Dalia, 2016. - 203 s.

7. Okrykhchennia stali mahistralnoho naftoprovodu / O.T. Tsyriulnyk, H.M. Nykyforchyn, O.I. Zvirko, D.Iu.Petryna // *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*. – 2004. – № 2. – S.126–126. (Embrittlement of the steel of an oil-trunk pipeline / O. T. Tsyru'nyk, H. M. Nykyforchyn, O. I. Zvirko, D. Yu. Petryna // *Materials Science*. – 2004 – 40, №4. – R. 302–304).

### Усов Д.И., Архипов А.Г., Любимова-Зінченко О.В. Исследование электрохимических характеристик и сопротивления почвы анодных заземлений во время длительной эксплуатации

*Одним из главных вопросов, при сооружении установок катодной защиты является правильность выбора анодного заземления.*

*В работе рассмотрены исследования изменения структуры металла и обусловленных этим изменений электрохимических характеристик стальных анодов станции катодной защиты, проведен сравнительный анализ изменения сопротивления почвы и анодных заземлений до и после закладки химически активных веществ.*

*В результате проведенных исследований анодных заземлений, которые были в эксплуатации от 1 до 20 лет было установлено, что их эксплуатация требовала значительных затрат электричества. Что и обусловило необходимость использования активаторов.*

*Исследование электрического сопротивления почвы и системы анод-грунт показали эффективность использования химически активных веществ для уменьшения сопротивления в системе анод-грунт, что позволит продлить ресурс эксплуатации анодных систем, так как существующие системы требуют систематического ремонта или замены крупногабаритных анодов.*

*Активизация растворения анодов, наоборот, облегчает нагрузку на катодные станции и улучшает экономические показатели.*

*Полученные результаты важны и необходимы для понимания процессов разложения анодных заземлений и увеличение срока их эксплуатации в течении длительного времени.*

**Ключевые слова:** катодную защиту, электрохимические характеристики, анодное заземление, электрическое сопротивление грунта.

### Usov D.I., Arkhypov O.G., Liubymova-Zinchenko O.V. Research of electrochemical descriptions and resistance of soil of anodic grounding at an hour jf trial exploitation

*One of the most important questions, there is a rightness of choice of the anodic grounding at building of settings of cathode defence.*

*In-process the considered researches of change of structure of metal and conditioned by this the changes of electrochemical descriptions of steel anodes of the station of cathode defence, the comparative analysis of change of resistance of soil and anodic grounding is conducted to and after gobbing chemically of active matters.*

*Practical operation has confirmed that one of the problems with the anode grounding operation is the gradual increase in electrical resistance between the anode grounder and the ground.*

*As a result of the conducted researches of the anodic grounding, which were it was from 1 to 20 years set in exploitation, that their exploitation needed considerable charges of*

electricity. That stipulated the necessity of the use of activators.

During operation, the investigated anode grounding was exposed to various active activators, which made it possible to reduce the current load by reducing the resistance of the anode grounding. It was found that the most effective anode grounding was influenced by NaCl salt, the sample along which it was laid has a significant thinning of the metal wall and end-to-end damage, and the efficiency of such anodes proved to be the greatest and the least resistive. Even as the electrical resistance of the soil increases, in the anode-ground system, the resistance of the anode grounding at which the NaCl embedded does not increase significantly or remain approximately at the same level.

Research of electric resistance of soil and system anode-soil rotined efficiency of the use chemically of active matters for diminishing of resistance in the system anode-soil which will allow to prolong the resource of exploitation of the anodic systems, because existing the systems require systematic repair or replacement of oversized anodes. Activation of dissolution of anodes, opposite, facilitates loading on the cathode stations and improves economic indicators.

Got results of important for understanding of processes of decomposition of the anodic grounding and increase of term them exploitation during great while.

**Keywords:** corrosion, cathodic protection, electrochemical characteristics, insulating coatings, anode grounding

**Усов Дмитро Ігорович** – здобувач кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [DiUsov1983@i.ua](mailto:DiUsov1983@i.ua)

**Архипов Олександр Геннадійович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

**Любимова-Зінченко Ольга Валентинівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та охорони праці, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна; e-mail: [aspirant-snu@i.ua](mailto:aspirant-snu@i.ua)

Стаття подана 20.10.2019.



DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-118-122>

УДК 004.6

## МОДЕЛЬ НАДАННЯ ПОСЛУГИ З ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ В УМОВАХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ПОТРЕБ ЗАМОВНИКА

Хорошун Г.М.

## MODEL OF SERVICE PROVIDING ON THE USE OF OPTICAL LABORATORY IN CONDITIONS OF INDIVIDUAL CUSTOMER NEEDS

Khoroshun G.M.

*Створено три інформаційних моделі, одна з яких описує процес реєстрації оптичного випромінювання в задачах дифракції в реальних умовах. На ній вказані основні вузли схеми та флуктуації параметрів, а також похибки та помилки, що існують в системі. Друга та третя інформаційні моделі забезпечують розуміння процесу отримання теоретичного та експериментального зображень дифрагованого світла та перелік його атрибутів. Також розроблена модель надання послуги з використання оптичної лабораторії в умовах індивідуальних потреб замовника.*

**Ключові слова:** інформаційна модель, оптична лабораторія, дифракція, модель надання послуги

**Вступ.** У сучасному суспільстві існує потреба розвитку інформаційних технологій, що дозволяють забезпечити швидкість та надійність збирання, опрацювання, зберігання, розповсюдження, показу і використання інформації в рамках поставленого завдання. Першим кроком до створення лазерної інформаційної технології є розвиток відповідних інформаційних моделей лазерної системи. Класифікація звичайних та нейромережових інформаційних моделей наведено в книгах [1,2]. Лазерні системи, що обговорюються в даній роботі, містять такі топологічні об'єкти, як максимуми і мінімуми інтенсивності та сингулярності фази (СФ) або нулі інтенсивності світлового поля [3], завдяки чому можуть застосовуватися [4-6] в різних напрямках науки, техніки та медицини: прецензійні метрологічні вимірювання, квантові комп'ютери, а також оптичні пінцети та багатоканальні маніпулятори мікрочастинками та нанокластерами.

Побудова будь-якої інформаційної лазерної системи визначається змістом і умовами задачі, що необхідно розв'язати. Важливим чинником є опис наявних інформаційних процесів, необхідних алгоритмів обробки та аналізу оптичного зображення. В роботі [7] наведена узагальнена модель радіооптичної системи отримання, перетворення і обробки інфор-

мації, щодо вивчення властивостей об'єкту в середовищі та дозволяє отримати якісне розуміння процесу в цілому.

Підкреслимо, що для успішного управління лазерною системою необхідно розробити інформаційні моделі, що забезпечують презентацію розв'язку певного завдання дифракції з урахуванням процесів, цілей та явищ, які в ньому відбуваються. Розглядається теоретичне та експериментальне дослідження з наявністю шумів та похибок в системі.

Метою даної роботи є

- розробка загальної інформаційної моделі лазерної системи по вивченню дифракційних явищ,
- створення інформаційної моделі опису теоретичного дослідження дифракції,
- визначення планових дій для подальшого розвитку лазерної інформаційної технології.

### **Моделі лазерної оптичної системи.**

Почнемо побудову нашої моделі з розподілу інформаційних процесів в лазерній системі, що використовується для дослідження дифракції та визначенні фізичних явищ, що спричиняють виникнення похибок в системі. Її вигляд для певного класу задач, що пов'язані з вивченням властивостей дифрагованих полів наведений на рис.1. Загальні, типові вузли для нашої моделі це лазер, що найчастіше використовується при дослідженні дифракції завдяки когерентності та монохроматичності сигналу; оптичні елементи та пристрої, наприклад просторовий модулятор світла, які формують задану просторову структуру випромінювання; камера з постійним зарядовим зв'язком для реєстрації оптичного зображення та комп'ютер з ПЗ завдяки якому обробляються та аналізуються дані.

Наведена інформаційна модель лазерної системи описує такі інформаційні процеси, як формування, прийом, переробку, обробку та аналіз оптичного зображення. Також вона містить інформацію про

флуктуації, шуми, похибки та нестабільності притаманні реальній лабораторній установці.

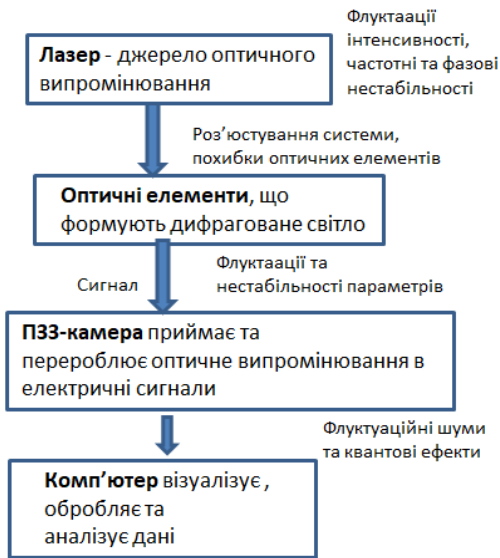


Рис. 1. Загальна інформаційна модель лазерної системи по вивченню дифракційних явищ

Наступна інформаційна модель (рис. 2) дозволяє отримати цілісне уявлення про проведення теоретичного дослідження явища дифракції. У якості сутності виступає дифраговане поле, атрибутами якого є інтенсивність та фаза, а топологічними об'єктами – максимум, мінімум та нуль амплітуди, що забезпечує виникнення сингулярності фази. Для мінімумів та максимумів інтенсивності основні характеристики це відносна величина, просторові координати, ступінь симетрії розподілу, для СФ – підтвердження наявності об'єкта, його координати та заряд.



Рис. 2. Інформаційна модель опису теоретичного дослідження дифракції

Інформаційна модель опису експериментального дослідження дифракції (рис. 3.) на відміну від теоретичного містить інтерференційну картину, яка не відтворює фазу хвилі, але дозволяє зареєструвати координати сингулярностей по розгалуженню інтерференційних смуг та впевнено визначити наявність мінімуму або нуля інтенсивності в полі дифракції. Характеристики топологічних об'єктів, наведені на рис. 3, можуть стати основними для побудови бази даних дифракційних зображень лазерного поля.

Створенню бази даних є ключовим моментом для підвищення швидкості та якості прийняття рішення в лазерних лабораторіях. Одне з початкових рішень, що необхідно прийняти, це достатня якість експериментального зображення за такими величинами, як відношення сигнал/шум, контраст та індекс структурної схожості з теоретичним зображенням. Надалі проводиться необхідна фільтрація зображення з метою визначення основних характеристик оптичного поля.



Рис. 3. Інформаційна модель опису експериментального дослідження дифракції

### Модель надання послуги з використання оптичної лабораторії в умовах індивідуальних потреб замовника.

Розглянемо можливу модель надання замовлення для проведення експерименту в оптичній лабораторії за таким сценарієм: замовлення → теоретичний розрахунок → експеримент → порівняльний аналіз отриманих теоретичних та експериментальних даних → прийняття рішення щодо подальших дій з урахуванням побажань замовника. Формалізуємо ознаки послуги на основі лінгвістичних змінних, аналогічно до робіт [8,9]. Розглянемо у якості конкретної задачі замовлення на пересування нейтральних частинок за допомогою лазерного випромінювання та підрахунок їх кількості за певний інтервал часу.

Формально замовлення можна представити кортежем:

$$Z = \langle \{K\}, \{p_l^K\}_{l=1}^4, \{A\}, \{p_b^A\}_{b=1}^6, \{C\}, \{p_d^C\}_{d=1}^6, \{O\}, \{p_f^O\}_{f=1}^3, \{S\}, \{p_g^S\}_{g=1}^3 \rangle, \quad (1)$$

де  $\{K\}$  – множина «замовники»,  $\{p_l^K\}_{l=1}^4$  – множина параметрів, що є ознаками замовника;

$\{A\}$  – множина «виконавці теоретичного розрахунку»,  $\{p_b^A\}_{b=1}^6$  – множина параметрів, що є ознаками виконавця теоретичного розрахунку;

$\{C\}$  – множина «виконавці експеримента»,  $\{p_d^C\}_{d=1}^6$  – множина параметрів, що є ознаками виконавця експеримента;

$\{O\}$  – множина «виконавці обробки даних»,  $\{p_f^O\}_{f=1}^3$  – множина параметрів, що є ознаками виконавця обробки даних;

$\{S\}$  – множина «послуги»,  $\{p_g^S\}_{g=1}^3$  – множина параметрів, що є ознаками послуг.

Множина «замовники»  $\{K\}$  має наступна множини параметрів  $\{p_l^K\}_{l=1}^4$ :

$p_1^K$  – діапазон розміру частинок,  
 $p_2^K$  – показник заломлення частинки,  
 $p_3^K$  – відстань на яку необхідно пересунути частинку,  
 $p_4^K$  – діапазон вартості замовлення.

Множина виконавців складається з трьох типів виконавців, які проводять теоретичні дослідження, експериментальні вимірювання та порівняльний аналіз оброблених даних.

$\{A\}$  – множина «виконавці теоретичного розрахунку», яка містить параметри  $\{p_b^A\}_{b=1}^6$ :

$p_1^A$  – назва методу розрахунку,  
 $p_2^A$  – похибка, що викликана наближеннями,  
 $p_3^A$  – оцінка достатньої величини потужності лазера,  
 $p_4^A$  – діапазон довжин хвиль,  
 $p_5^A$  – вид амплітудно-фазового елемента,  
 $p_6^A$  – вид дифракційного зображення.

Ознаки  $\{p_d^C\}_{d=1}^6$  множини «виконавців експеримента»  $\{C\}$  виглядають наступним чином:  $p_1^C$  – назви елементів,

$p_2^C$  – вартість елементів,

$p_3^C$  – назви кріплень,

$p_4^C$  – вартість кріплень,

$p_5^C$  – загальна похибка експеримента,

$p_6^C$  – експериментальне зображення,

$p_7^C$  – якість зображення.

Множина  $\{O\}$  «виконавці обробки даних», містить наступні ознаки  $\{p_f^O\}_{f=1}^3$ :

$p_1^O$  – обробка (фільтрація) експериментальних даних,

$p_2^O$  – статистичний аналіз експериментальних зображень,

$p_3^O$  – порівняльний аналіз теоретичного та експериментального зображень

Завершує кортеж множина «послуги»  $\{S\}$  з множиною ознак послуг  $\{p_g^S\}_{g=1}^3$ , а саме:

$p_1^S$  – ціна послуги,

$p_2^S$  – якість процесу візуалізації отриманих даних,

$p_3^S$  – коефіцієнт корисної дії процесу захоплення частинок.

Формалізуємо основні ознаки послуг  $p_1^S$  та  $p_2^S$ , використовуючи лінгвістичні змінні  $\beta_1$  та  $\beta_2$  які визначаються кортежами  $\langle \beta_1, T(\beta_1), X \rangle$  та  $\langle \beta_2, T(\beta_2), X \rangle$  відповідно. Для  $\beta_1 =$  «ціна послуги»,  $T(\beta_1) = \{\text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«висока»}\}$ ,  $X = [X_{\min}, X_{\max}]$ , де значення  $X_{\min}$  та  $X_{\max}$  визначаються клієнтом. Інша змінна  $\beta_2 =$  «якість візуалізації»,  $T(\beta_2) = \{\text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«добра»}, \text{«відмінна»}\}$ ,  $X = [X_{\min}, X_{\max}]$ , де значення  $X_{\min}$  та  $X_{\max}$  також визначаються клієнтом.

**Висновки.** В роботі розроблено три інформаційні моделі, одна з яких описує процес реєстрації оптичного випромінювання в задачах дифракції в реальних умовах. На ній вказані основні вузли схеми та флуктуації параметрів, а також похибки та помилки, що існують в системі. Друга інформаційна модель забезпечує розуміння процесу отримання теоретичного зображення дифрагованого світла та перелік його атрибутів, третя відмінність експериментальної реалізації від теоретичної. Визначено характеристики наявних топологічних об'єктів за якими планується побудувати базу даних. Розглянуто можливу модель надання замовлення для проведення ек-

сперименту в оптичній лабораторії за такими кроками: теоретичний розрахунок, експеримент, порівняльний аналіз отриманих теоретичних та експериментальних даних, прийняття рішення щодо подальших дій з урахуванням побажань замовника. Формалізовано ознаки послуги на основі лінгвістичних змінних. Проведено дослідження є важливим кроком для подальшого розвитку інформаційної технології ідентифікації топологічних об'єктів в світловому полі та підтримки прийняття рішень в зворотних задачах дифракції.

### Література

1. Моделювання та оптимізація систем : підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В.] – Вінниця : ПП «ТД«Едельвейс», 2017 – 804 с
2. Нейроінформатика / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский, А. Н. Кирдин і др. — Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. — 296 с.
3. M. S. Soskin and M.V. Vasnetsov, “Singular optics,” Prog. Opt. 42, 2001б 219–276 с.
4. P. Senthilkumaran, Sh. Sato, J. Masajada, “Singular Optics,” International Journal of Optics, 2012, 1-106 с.
5. Хорошун Г.М., Рязанцев А.О., Топологія дифракційного поля для керування траєкторіями руху мікро- і наночастинок, В і с н і к СНУ ім. В.Даля, №9 ( 239 ) 2017 , 72-76 с.
6. Riazantsev A.O., Khoroshun G.M., Ryazantsev O.I., Statistical image analysis for information system, в друці, В і с н і к СНУ ім. В.Даля, 2019, 84-86 с.
7. Хименко В.И. Лазерные информационные системы: принципы построения статистической теории // Информационно-управляющие системы. 2015. №5 (78)
8. Проніна О. І. Модель представлення послуги в умовах індивідуальних потреб клієнта // Вісник Луцького національного технічного університету «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». 2018. № 33. С. 128 – 133.
9. Проніна О. І. Формалізація організації заказу в умовах індивідуальних потреб клієнта. «Комп'ютерна інженерія і кібербезпека: досягнення та інновації»: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти й молодих учених, 27 – 29 листопада 2018 р. Кропивницький: Центрально-український національний технічний університет, 2018. С. 93 – 95.

### References

1. Modelyuvannya ta optimizaciya sistem : pidruchnik / Dubovoj V. M., Kvyetnij R. N., Mihalov O. I., Usov A. V. – Vinnitsya : PP «TD«Edelwejs», 2017 – 804 s
2. Neiroinformatika / A. N. Gorban, V. L. Dunin-Barkovskij, A. N. Kirdin i dr.. — Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe predpriyatye RAN, 1998. — 296 s.
3. M. S. Soskin and M.V. Vasnetsov, “Singular optics,” Prog. Opt. 42, 2001, S. 219–276.
4. P. Senthilkumaran, Sh. Sato, J. Masajada, “Singular Optics,” International Journal of Optics, 2012, S. 1-106.
5. Khoroshun G.M., Ryazancev A.O., Topologiya difrakciynogo polya dlya keruvannya trayektoriyami ruhu mikro- i nanochastinok, V i s n i k SNU im. V.Dalya, №9 ( 239 ) 2017 , S. 72-76.
6. Riazantsev A.O., Khoroshun G.M., Ryazantsev O.I., Statistical image analysis for information system, V i s n i k SNU im. V.Dalya, 2019, S. 84-86.

7. Himenko V.I. Lazernye informacionnye sistemy: principy postroeniya statisticheskoy teorii // Informacionno-upravlyayushie sistemy. 2015. №5 (78), S. 43-54.
8. Pronina O. I. Model predstavleniya poslugi v umovah individualnih potreb kliyenta // Visnik Luckogo nacionalnogo tehchnogo universitetu «Komp'yuterno-integrovani tehnologiyi: osvita, nauka, virobnictvo». 2018. № 33. S. 128 – 133.
9. Pronina O. I. Formalizaciya organizaciyi zakazu v umovah individualnih potreb kliyenta. «Komp'yuterna inzheneriya i kiberbezpeka: dosyagnennya ta innovaciyi»: Materiali Vseukrayinskoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi zdobuvachiv vishoyi osviti j molodih uchenih, 27 – 29 listopada , Kropivnickij: Centralno-ukrayinskij nacionalnij tehchnij universitet, 2018. S. 93 – 95.

### Хорошун А.Н., Информационные модели лазерной системы по изучению дифракционных явлений.

*Созданы три информационных модели, одна из которых описывает процесс регистрации оптического излучения в задачах дифракции в реальных условиях. На ней указаны основные узлы схемы и флуктуации параметров, а также погрешности и ошибки, существующие в системе. Вторая и третья информационные модели обеспечивают понимание процесса получения теоретического и экспериментального изображений дифрагированного света и перечень его атрибутов. Также разработана модель представления услуги по использованию оптической лаборатории в условиях индивидуальных потребностей заказчика.*

**Ключевые слова:** информационная модель, оптическое изображение, дифракция

### Khoroshun G.M. Model of service providing on the use of optical laboratory in conditions of individual customer needs.

*In today's society, there is a need to develop information technologies that allow for the speed and reliability of the collection, processing, storage, dissemination, display and use of information within the stated task. The first step to the creation of laser information technology is the development of appropriate information models of the laser system. The model with distribution of information processes in the laser system is used, which is used for the study of diffraction and determination of physical phenomena that cause errors in the system. Common, typical nodes for our model are the laser most commonly used in diffraction studies due to the coherence and monochromaticity of the signal; optical elements and devices, such as a spatial light modulator, that form a predetermined spatial radiation pattern; CCD camera for optical image recording and computer software to process and analyze data. The first information model of a laser system describes such information processes as the formation, reception, processing, processing and analysis of optical images. It also contains information on fluctuations, noises, errors, and instabilities inherent in a real laboratory facility. The second information model provides a holistic view of the theoretical study of the phenomenon of diffraction. The third information model shows the difference in the way of obtaining the same parameters. The characteristics of the existing topological objects for which the database is planned are determined. The attributes of the database depend on the problem representation and requirement. Three information models are developed in the work let us to create the model of service providing on the use of optical laboratory in conditions of individual customer needs. It contains from five sets: customers, performers of the*

*oretical calculation, performers of experimental job, performers of data processing and service. The features of the service on the basis of linguistic variables are formalized. The conducted research is an important step for the further development of information technology for identification of topological objects in the light field and support decision.*

**Keywords:** *information model, optical laboratory, diffraction, model of service presentation*

**Хорошун Ганна Миколаївна** – к.ф.-м. н., доцент кафедри «Міське будівництво та господарство» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. an\_khor@i.ua

Стаття подана 03.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-123-128>

УДК 544.772:551.510.43

## ОБГРУНТУВАННЯ ФОТОХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ХЛОРВМІСТНОГО ПЕСТИЦИДНОГО ПРЕПАРАТУ СІМАЗИН

Целіщева М.О., Целіщев О.Б., Лорія М.Г.

### RATIONALE OF PHOTOCHEMICAL TECHNOLOGY FOR THE DISORDER

Tselishcheva M.O., Tselishchev O.B., Loria M.G.

*В роботі обгрунтовано, що фотохімічна технологія знешкодження хлорвмістного пестицидного препарату сімазин є енергозаощадливою, дозволяє значно скоротити енерговитрати на переробку одиниці препарату, виключає утворення діоксинів, що має місце при термічному методі знешкодження. Для здійснення керування процесом фотохімічного знешкодження непридатних хлорвмістних пестицидних препаратів було проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту керування. З аналізу визначено параметри процесу, що підлягають регулюванню (стабілізації) – вихідні координати процесу, параметрів, за рахунок яких можна здійснювати процес керування – вхідні регулюючі координати процесу, та параметрів, які впливають на процес, але не можуть бути навмисно змінені  $u$ ) – вхідні збурюючі координати процесу. На підставі експериментальних даних переробки пестицидного препарату сімазин при різних температурах у реакторі безперервної дії впливає, що час обробки залежить від температури. З експериментальних даних був зроблений висновок, що при температурі  $T_3 = 300^\circ\text{C}$  час обробки мінімальний і становить приблизно 40 хвилин. Ця температура є оптимальною, тому що подальше підвищення температури може привести до утворення діоксинів. В роботі обгрунтовано, що газоподібні продукти розкладання не містять хлору і хлорвмістних продуктів, тобто не потрібно додаткове обладнання для їх утилізації. Можливість протікання описаних реакцій дозволяє виключити утворення хлороводню в газоподібних продуктах реакції, що повністю підтверджується аналізом газоподібних продуктів розкладання і наявністю іону  $\text{Cl}^-$  в твердому залишку. Таким чином, можна говорити про те, що дане технологічне рішення поєднує в собі термічний і фотохімічні методи розкладання пестицидів, та віднести його до будь-якого одного способу досить важко. Але так як в процесі реалізується термодинамічно заборонене розкладання води за рахунок енергії опромінення, цей процес можна класифікувати як фотохімічний.*

**Ключові слова:** фотохімічна технологія, сімазин, пестицидний препарат, енергія опромінення, об'єкт керування, діоксин.

Кількість пестицидних препаратів, які використовуються в світовому господарстві, оцінюється в 3 млн. тонн на рік. Пестициди застосовуються головним чином в сільському господарстві, хоча їх використовують також для захисту запасів продовольства, деревини та інших природних продуктів. У багатьох країнах за допомогою пестицидів ведеться хімічна боротьба зі шкідниками лісів, а також переносниками захворювань людини і домашніх тварин (наприклад, з малярійними комарами). Пестициди становлять підвищену екологічну небезпеку забруднювачами атмосфери, рослинності, ґрунту і води. Негативні наслідки від застосування пестицидів часто пов'язані з їх персистентністю, тобто стійкістю в природних умовах.

В основу нового технологічного рішення покладено ряд фізико-хімічних перетворень, які ініціюються дією ультрафіолетового випромінювання в присутності металів змінної валентності.

Дане технологічне рішення поєднує в собі термічний і фотохімічні методи розкладання пестицидів, та віднести його до будь-якого одного способу досить важко. Але так як в процесі реалізується термодинамічно заборонене розкладання води за рахунок енергії опромінення, цей процес можна класифікувати як фотохімічний.

Швидка детоксикація навколишнього середовища – фотохімічна деструкція пестицидів сонячним світлом могла б приводити до детоксикації від пестицидних забруднень. Однак більшість пестицидів поглинають активний УФ- світло з довжинами хвиль коротше 300 нм, в той час як весь такий сонячне світло поглинається стратосферним озоновим шаром і не доходить до землі. Тому більшість пестицидів є досить стійкими у навколишньому середовищі. Можливим способом прискорення деструкції могло бути додавання в пестицидну препарат спеціальної хімічної речовини (т.зв. фотосенсибілізатора), який поглинав би сонячне світло з довжинами



хвиль більше 300 нм і потім передавав би енергію збудження на пестицидні молекули (тобто сенсibilізованими б розкладання самого пестициду).

Хоча ця ідея висловлювалася в літературі неодноразово, але, незважаючи на ряд цікавих результатів, немає відомостей про практичне використання сенсibilізаторів при проведенні пестицидних обробок в сільському господарстві. Цілком зайнятий аерозольної часткою або тонкою плівкою світло ініціює хімічні реакції безпосередньо в тілі об'єкта. Про дослідженнях, пов'язаних з внутрішньо-аерозольним поглинанням світла і з попереднім чи старшому протіканням всередині частинки фізико-хімічних конверсій і хімічних реакцій, в літературі відомо мало. В якійсь мірі до цього примикають роботи по фотодеструкції полімерних плівок. Тут також протікають реакції в обсязі плівки, важливу роль відіграють хімічні домішки (наприклад, фото-сенсibilізатори) і дифундує по матеріалу плівки кисень.

Деяка ступінь спонтанності і невоспроизводимости хімічних і структурних станів є відмінною характеристикою високодисперсного речовини, тим більше стосовно натурних умов. Було досліджено в лабораторних умовах фотохімічні взаємодії декількох пестицидних препаратів сімазин в формі тонкодисперсних аерозольних часток і плівок [1-3]. Підбираючи довжину хвилі УФ - випромінювання в цих об'єктах, ми могли регулювати «часи життя» пестицидних речовин під дією УФ-випромінювання.

Для здійснення керування процесом фотохімічного знешкодження непридатних хлорвмістних пестицидних препаратів слід провести аналіз технологічного процесу як об'єкту керування. Метою цього аналізу є визначення параметрів процесу, що підлягають регулюванню (стабілізації) – вихідні координати процесу, параметрів, за рахунок яких можна здійснювати процес керування – вхідні регулюючі координати процесу, та параметрів, які впливають на процес, але не можуть бути навмисно змінені (змінюються за випадковими законами) – вхідні збуджуючі координати процесу, та складання інформаційно-логічної схеми процесу.

Інформаційно-логічна схема процесу фотохімічного знешкодження непридатних хлорвмістних пестицидів наведена на рис. 1.

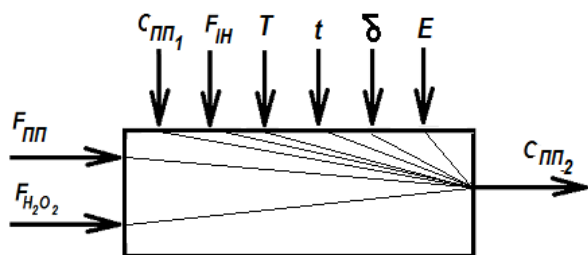


Рис. 1. Інформаційно-логічна схема фотохімічного знешкодження пестицидних хлорвмістних препаратів

Вихідна координата процесу одна. Це концентрація персидних хлорвмістних препаратів після фотохімічного процесу знешкодження –  $C_{III2}$ . До вхідних регулюючих координат слід віднести витрату пестицидного препарату в реактор  $F_{III}$  та витрату води, що подається в реактор.

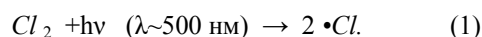
Збуджуючими координатами процесу є концентрація пестицидного препарату у вихідному матеріалі  $C_{III1}$ , витрата газу – інертну, що подається в реактор  $F_{III}$ , температура процесу в реакторі  $T$ , час перебування матеріалу в реакторі  $t$ , товщина шару, в який розкладається матеріал, що перероблюється, по поверхні розплаву  $\delta$ , інтенсивність УФ- випромінювання, яким опромінюється поверхня матеріалу, що перероблюється. Таким чином, виходячи з аналізу технологічного процесу як об'єкту керування, можна сформулювати план експериментальних досліджень процесу, що запропоновано.

Одним з найбільш широко розповсюджених пестицидних препаратів є СІМАЗИН. Як і ДДТ та ГХЦГ, він є забороненим до використання майже у всіх країнах світу. Ті залишки, що зберігаються на сховищах підлягають знищенню або утилізації. [1-3]

Сімазин був розроблений компанією Geigy AG в 1950-х роках і в 1957 році вперше надійшов у вільний продаж. Новий гербіцид мав великий успіх. Аграрний підрозділ компанії Geigy після серії злиттів стало частиною компанії Syngenta. Так як залишки сімазину в питній воді все частіше стають проблемою, в Європі в 2003 році було прийнято рішення про виключення його зі списку дозволених пестицидів<sup>[2]</sup>. В даний час на території України знаходиться більше 5000 складів і сховищ, де зберігається близько 21 тис. тон непридатних або заборонених для використання пестицидів та отрутохімікатів, зокрема сімазин.

Процес протікає таким чином. Зволожений пестицидний препарат розміщують тонким шаром на поверхні розплаву Вуду. Цей розплав володіє високими властивостями теплопередачі. На поверхні розплаву ДДТ піддається термічному розкладанню. Перший етап процесу протікає з утворенням молекулярного хлору.

На другому і третьому етапах процесу молекулярний хлор під дією видимого випромінювання з довжиною хвилі  $\sim 500$  нм дисоціює на атоми (реакція 1).



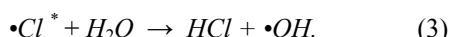
Під дією більш жорсткого ультрафіолетового випромінювання на резонансній лінії атома хлору ( $\sim 330$  нм), він переходить у збуджений стан (реакція 2) [5].



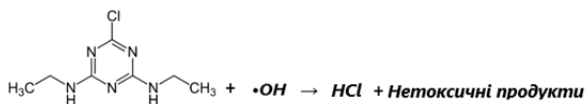
На четвертому етапі процесу атом хлору у збудженому стані вступає у взаємодію з водяною парою, що утворюється при нагріванні (реакція (3)). В



наслідок цього утворюється соляна кислота і гідроксильний радикал.



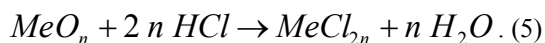
Подальше розкладання пестицидного препарату до нетоксичних продуктів відбувається при взаємодії його з гідроксильним радикалом (реакція (4)).



(4)

Слід зазначити, що реакція (3.4) є термодинамічно забороненою для основних станів реагентів. Саме використання енергії опромінення дозволяє подолати термодинамічну заборону при розкладанні води з отриманням гідроксильного радикала. Гідроксильний радикал є ключовим реагентом у процесі знешкодження пестицидних препаратів. Все сказане дозволяє охарактеризувати даний процес як фотохімічний, що є новим напрямком у переробці хлорвмісних органічних речовин.

Присутність в реакторі води сприяє утворенню соляної кислоти, яка взаємодіє з оксидами металів (наповнювачем дусту або ж оксидами, утвореними з металів теплоносія) по наступній реакції:



В основу нового технологічного рішення покладено ряд фізико-хімічних перетворень, які ініціюються дією ультрафіолетового випромінювання в присутності металів змінної валентності. Найбільш імовірний хід протікання процесу такий. Вихідний порошок у зволоженому стані поміщається в реактор з нержавіючої сталі на поверхню інтерметалічного з'єднання (теплоносія). [5] Цей теплоносій, крім каталітичного дії, характеризується унікальними теплопровідними властивостями: максимальний коефіцієнт температуропровідності при мінімальній температурі. Введення в апарат додаткової маси теплоносія дозволяє створити всередині апарату теплоакмулюючий шар, ефективність тепловіддачі з поверхні якого значно вище, ніж у конструкційного матеріалу апарату реактора. Це значно підвищує ККД підведення тепла від джерела тепла до мас, що реагують та дозволяє знизити температурний поріг процесу розкладання пестицидних препаратів з 600 °С до 200-300 °С. Наявність конвективних течій в теплоносії викликає переміщення шарів оброблюваного продукту до поверхні теплоносія, тобто до поверхні ефективного теплообміну. [6, 7]

Переваги запропонованої технології полягають у наступному:

1. Технологія є енергозощадливою (порівняно з термічними методами зниження температури до

250 °С дозволяє значно скоротити енерговитрати на переробку одиниці препарату);

2. Виключає утворення доксинів, що має місце при термічному методі знешкодження;

3. Газоподібні продукти розкладання не містять хлору і хлорвмісних продуктів, тобто не потрібно додаткове обладнання для їх утилізації.

4. Має просте апаратне оформлення. Технологічна схема може бути змонтована на автомобільній платформі, тобто дана технологія дозволить створювати високоефективні мобільні установки з переробки ДДТ.

Можливість протікання такого описаних реакцій дозволяє виключити появу хлороводню в газоподібних продуктах реакції, що повністю підтверджується аналізом газоподібних продуктів розкладання і наявністю іону  $Cl^-$  в твердому залишку. Хлориди металів, що утворилися при цьому в наповнювачі, (наприклад,  $FeCl_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $AlCl_3$ ) можуть бути каталізаторами подальшого процесу розкладання хлорвмісних органічних речовин. [8-9]

Таким чином, можна говорити про те, що дане технологічне рішення поєднує в собі термічний і фотохімічні методи розкладання пестицидів, та віднести його до якого-небудь одного способу досить важко. Але так як в процесі реалізується термодинамічно заборонене розкладання води за рахунок енергії опромінення, цей процес можна класифікувати як фотохімічний.

Метою досліджень було визначення ефективності фотохімічного методу знешкодження технічного пестициду 2-хлор-4,6-біс(етіламіно)-1,3,5-триазин (сімазин) та визначення оптимальних параметрів процесу.

Газоподібні продукти розкладу СІМАЗИН проходять крізь конденсатор для виділення конденсату та утворених в наслідок розкладу органічної сполуки речовин, а галогенвмісний газ (наприклад, хлористий водень) послідовно проходить два абсорбера, де поглинається спочатку водою, з утворенням соляної кислоти, а потім розчином луку. Всі інші газоподібні продукти розкладу пестициду викидаються в атмосферу.

Аналіз зразків твердих залишків і конденсату на вміст діючої речовини отрутохімікату проводили хроматографічним методом.

Результати досліджень зведено в таблицю 1.

Залежність концентрації СІМАЗИН від часу переробки для різних температур наведена на рис. 2.

На підставі експериментальних даних переробки пестицидного препарату СІМАЗИН при різних температурах ( $T_1 = 200$  °С,  $T_2 = 250$  °С и  $T_3 = 300$  °С.) у реакторі безперервної дії впливає, що час обробки залежить від температури. З експериментальних даних був зроблений висновок, що при температурі  $T_3 = 300$  °С час обробки мінімальний і становить приблизно 40 хвилин. Ця температура є оптимальною, тому що подальше підвищення температури може привести до утворення діоксинів.

Таблиця  
Вплив температури на залишкову концентрацію  
сімазин в продуктах переробки

Температура, °С	Час, хв	Концентрація СІМАЗИН в пламі, %	Концентрація токсичних продуктів в конденсаті, %	Наявність діоксину
200	20	2,8	-	-
	40	0,9	-	-
	60	0,4	-	-
	80	0,1	-	-
	100	0,05	-	-
	120	0,02	-	-
	140	0,01	-	-
250	20	1,5	0,01	-
	40	0,3	0,01	-
	60	0,01	0,02	-
	80	0,005	0,02	-
	100	Н	-	-
	120	Н	-	-
	140	Н	-	-
300	20	0,4	0,01	-
	40	0,01	0,02	-
	60	Н	0,06	-
	80	Н	-	-
	100	Н	-	-
	120	Н	-	-
	140	Н	-	-

Примітка: Н- не визначено при чутності методу 0.0001%;  
“-” – відсутні; “+” – присутні.

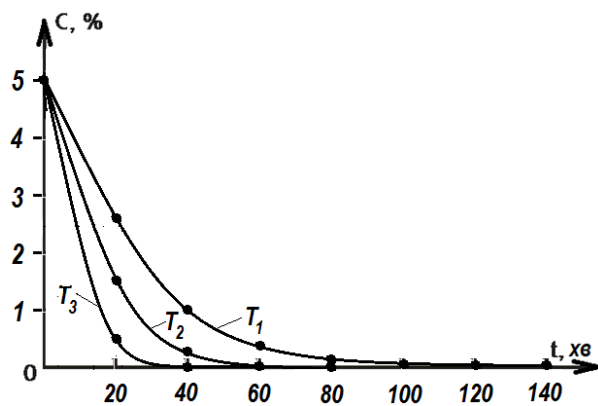


Рис. 2. Залежність концентрації СІМАЗИН від часу переробки:  
1 – температура 200 °С; 2 – температуру 250 °С;  
3 – температура 300 °С

Аналогічно з попереднім дослідженням, було визначено основні параметри процесу.

За графіком рис. 2. визначимо період напіврозпаду:

- для процесу при температурі  $T_1=200$  °С він склав  $\tau = 1320$  с;

- для процесу при температурі  $T_2=250$  °С він склав  $\tau = 900$  с;

- для процесу при температурі  $T_3=300$  °С він склав  $\tau = 600$  с.

Визначимо константу швидкості реакції при різних температурах.

$$k^{200\text{ }^\circ\text{C}} = -\frac{1}{0,05 * 1320} = -0,0152 \frac{1}{\text{с}}$$

$$k^{250\text{ }^\circ\text{C}} = -\frac{1}{0,05 * 900} = -0,0222 \frac{1}{\text{с}}$$

$$k^{300\text{ }^\circ\text{C}} = -\frac{1}{0,05 * 600} = -0,0333 \frac{1}{\text{с}}$$

Значення енергії активації  $E_a$ , знайдене по кривих при  $T_1$  і  $T_2$ , становить  $E_{a1}=17,594$  кДж/моль. По кривих при  $T_2$  і  $T_3$  – значення  $E_{a2}=20,182$  кДж/моль. По кривим  $T_1$  і  $T_3$  - значення  $E_{a3}=17,652$  кДж/моль. Середнє значення енергії активації процесу розкладання ГХЦГ склало  $E_a \text{ порієн} = 18,476$  кДж/моль. Розкид значень енергії активації не перевищує 15%, що відповідає похибці визначення СІМАЗИНУ хроматографічним методом.

Як і в попередньому випадку, можна зробити висновок про те, що реакції розкладання СІМАЗИНУ протікають дуже швидко. З врахуванням непрозорості препарату, що переробляється, даний процес протікає тільки на поверхні, що опромінюється, і фактором, що лімітує, є процес дифузії препарату сімазин до поверхні, що опромінюється.

Досліди, що були проведені при температурах 150 та 100 °С за час обробки навидь 3 години не дали повного перетворення сімазин на нетоксичні продукти. При температурах вищих за 300 °С з'являється вірогідність утворення діоксинів. Так при температурі 350 °С в продуктах переробки виявлено діоксини. Досліди, що було проведено без УФ- опромінення або без додавання води також не дали повного знешкодження пестицидного препарату в продуктах переробки.

Таким чином, для пестицидного препарату сімазин фотохімічний метод знешкодження є достатньо ефективним. Оптимальною температурою процесу є температура в 300 °С. За час обробки в 40 хвилин пестицидний препарат СІМАЗИН повністю знешкоджується. При цьому продукти переробки є нетоксичними, а завдяки умовно невисокої температурі процесу діоксини не утворюються.

## Література

1. Сучасні екологічно чисті технології знезараження непридатних пестицидів. Монографія / Під ред. д.т.н., проф., Петрука В.Г. – Вінниця: „УНІВЕРСУМ - Вінниця”, 2003. – 254 с.
2. Милоцький В.В. Технологія фотокаталітичного обезвреживання пестицидів / В.В.Милоцький, М.Г.Лорія, А.Б.Целищев // Перший Всеукраїнський з'їзд екологів. (ECOLOGY-2006). Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. - Україна, Вінниця. - 4-7 жовтня 2006, - С. 56.
3. Милоцький В.В. Термофотокаталітичний спосіб обезвреживання хлорсодержащих органічних соединений / В.В.Милоцький, А.Б.Целищев, М.Г.Лорія // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Одеса: ОДАСА. - № 29 частина 1 С 181 – 186.
4. Целищев О.Б. Технологія фотокаталітичного обезвреживання пестицидів / Целищев О.Б., Лорія М.Г., Милоцький В.В. // Вопросы химии и химической технологии. - М.Днепропетровск: УГХТУ №2. – 2008. с.211-213.
5. Целищев О.Б. Термофотокаталітичний спосіб обезвреживання хлорсодержащих органических соединений // О.Б.Целищев, М.Г. Лорія // Интегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал. - Харків: НТУ «ХП». – 2008., №3, с. 109 – 114.
6. Милоцький В.В. Термофотокаталітичний спосіб обезвреживання хлорсодержащих органических соединений // Милоцький В.В., Лорія М.Г., Целищев А.Б. // Одеса Симпозіум екологів. Сборник трудов. – 2007. – 81-86
7. Целищев А.Б. Технологические основы фотохимического способа обезвреживания пестицидных препаратов / А.Б.Целищев, М.Г.Лорія, Т.П.Лишишина, И.И.Захаров // Химическая промышленность Украины/ - №1(120) – 2014. – с. 72-76.
8. Милоцький В.В. / Спосіб знешкодження високотоксичних речовин / Милоцький В.В., Целищев О.Б., Лорія М.Г. - Патент України на корисну модель 74760 МКВ В09В 3/00, А62D3/00. Заявл. 19. 09. 05; Опубл. 16.01.2006. Бюл. 1.
9. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б.Айзенберг. – М.: Энергоатомиздат, 1983, — 471 с.
10. Calvert J.G. Chemical actinometers for determination of ultraviolet light intensities in photochemistry. Photochemistry. // J.G. Calvert, J.N.Pitts - New York: Wiley, 1966. –780 p.

## Reference

1. Suchasni ekologichno chisti tehnologiyi znezarazhennya nepridatnih pesticidiv. Monografiya / Pid red. d.t.n., prof., Petruka V.G. – Vinnicya: „UNIVERSUM - Vinnicya”, 2003. – 254 s.
2. Milockij V.V. Tehnologiya fotokataliticheskogo obezvrezhivaniya pesticidov / V.V.Milockij, M.G.Loriya, A.B.Celishev // Pershij Vseukrayinskij z'yizd ekologiv. (ECOLOGY-2006). Zbirnik tez dopovidej Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi. - Ukrainya, Vinnicya. - 4-7 zhovtnya 2006, - S. 56.
3. Milockij V.V. Termofotokataliticheskij spodob obezvrezhivaniya hlorsoderzhashih organicheskikh soedinenij / V.V.Milockij, A.B.Celishev, M.G.Loriya // Visnik Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnictva ta arhitekturi. - Odesa: ODASA. - № 29 chastina 1 S 181 – 186.

4. Tselishev O.B. Tehnologiya fotokataliticheskogo obezvrezhivaniya pesticidov / Tselishev O.B., Loriya M.G., Milockij V.V. // Voprosy himii i himicheskoy tehnologi. - M.Dnepropetrovsk: UGHTU №2. – 2008. s.211-213.
5. Tselishev O.B. Termofotokataliticheskij spodob obezvrezhivaniya hlorsoderzhashih organicheskikh soedinenij. // O.B.Tselishev, M.G. Loriya // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. Shokvartalni naukovo-praktichnij zhurnal. - Harkiv: NTU «HPI». – 2008., №3, s. 109 – 114.
6. Milockij V.V. Termofotokataliticheskij spodob obezvrezhivaniya hlorsoderzhashih organicheskikh soedinenij // Milockij V.V., Loriya M.G., Tselishev A.B. // Odesa Simpozium ekologiv. Sbornik trudov. – 2007. – 81-86
7. Tselishev A.B. Tehnologicheskie osnovy fotohimicheskogo sposoba obezvrezhivaniya pesticidnyh preparatov / A.B.Tselishev, M.G.Loriya, T.P.Lishishina, I.I.Zaharov // Himicheskaya promyshlennost Ukrainy/ - №1(120) – 2014. – s. 72-76.
8. Milockij V.V. / Sposib zneshkodzhennya visokotoksichnih rechovin / Milockij V.V., Tselishev O.B., Loriya M.G. - Patent Ukrayini na korisnu model 74760 MKV V09V 3/00, A62D3/00. Zayavl. 19. 09. 05; Opubl. 16.01.2006. Byul. 1.
9. Aizenberg Yu.B. Spravochnaya kniga po svetotekhnike / Yu.B.Aizenberg. – М.: Energoatomizdat, 1983, — 471 s.
10. Calvert J.G. Chemical actinometers for determination of ultraviolet light intensities in photochemistry. Photochemistry. // J.G. Calvert, J.N.Pitts - New York: Wiley, 1966. –780 p.

**Целищева М. А., Целищев А.Б., Лорія М.Г. Обоснование фотохимической технологии обезвреживания хлорсодержащих пестицидных препаратов симазин**

*В работе обосновано, что фотохимическая технология обезвреживания хлорсодержащих пестицидных препаратов симазин является энергосберегающей, позволяет значительно сократить энергозатраты на переработку единицы препарата, исключает образование диоксинов, при термическом методе обезвреживания. Для осуществления управления процессом фотохимического обезвреживания непригодных хлорсодержащих пестицидных препаратов был проведен анализ технологического процесса как объекта управления. Из анализа определены параметры процесса, подлежащие регулированию (стабилизации) - выходные координаты процесса, параметров, за счет которых можно осуществлять процесс управления - входные регулируемые параметры процесса, и параметров, влияющие на процесс, но не могут быть преднамеренно изменены входные возмущающие параметры процесса. На основании экспериментальных данных переработки пестицидных препаратов симазин при различных температурах в реакторе непрерывного действия следует, что время обработки зависит от температуры. Из экспериментальных данных был сделан вывод, что при температуре  $T_3 = 300^{\circ}\text{C}$  время обработки минимальный и составляет примерно 40 минут. Эта температура является оптимальной, так как дальнейшее повышение температуры может привести к образованию диоксинов. В работе обосновано, что газообразные продукты разложения не содержат хлора и хлорсодержащих продуктов, то есть не требуется дополнительное оборудование для*

их утилизации. Возможность протекания описанных реакций позволяет исключить образование хлороводорода в газообразных продуктах реакции, подтверждается анализом газообразных продуктов разложения и наличием иона  $Cl_1$  - в твердом остатке. Таким образом, можно говорить о том, что данное технологическое решение сочетает в себе тепловой и фотохимические методы разложения пестицидов, и отнести его к какому-либо одному способу довольно трудно. Но так как в процессе реализуется термодинамически запрещенное разложение воды за счет энергии облучения, этот процесс можно классифицировать как фотохимический.

**Ключевые слова:** фотохимическая технология, симазин, пестицидные препараты, энергия облучения, объект управления, диоксин.

**Tselishcheva M.O., Tselishchev O.B., Loria M. G. Rationale of photochemical technology for the disorder**

*In the work it is substantiated that photo-chemical technology of disposal of chlorine-containing pesticide preparation simazine is energy-saving, allows to significantly reduce energy consumption for processing unit of the preparation, eliminates the formation of dioxins, which occurs in the thermal method of disposal. To control the process of photochemical disposal of unsuitable chlorine-containing pesticide preparations, an analysis of the process as an object of control was performed. The analysis determines the parameters of the process to be regulated (stabilization) - the output coordinates of the process, the parameters by which the process of control can be performed - the inputs adjusting the coordinates of the process, and parameters that affect the process, but can not be intentionally changed and) - input disturbing the coordinates of the process. Based on the experimental data for the processing of the pesticide preparation simazine at different temperatures in a continuous reactor, it follows that the pro-*

*cessing time depends on the temperature. From the experimental data it was concluded that at a temperature of  $T_3 = 300$  0C the processing time is minimal and is approximately 40 minutes. This temperature is optimal because further temperature rise can lead to the formation of dioxins. In the work it is substantiated that the gaseous decomposition products do not contain chlorine and chlorine-containing products, ie no additional equipment is required for their disposal. The possibility of the reactions described above eliminates the occurrence of hydrogen chloride in the gaseous reaction products, which is fully confirmed by the analysis of gaseous decomposition products and the presence of  $Cl$  - in the solid residue. Thus, we can say that this technological solution combines thermal and photochemical methods of pesticide decomposition, and to attribute it to any one method is quite difficult. But since thermodynamically forbidden decomposition of water due to irradiation energy is realized in the process, this process can be classified as photochemical.*

**Keywords:** photochemical technology, simazine, pesticide preparation, irradiation energy, control object, dioxin.

**Целіщева М.О.** – студент Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

**Целіщев О.Б.** – д.т.н., доцент, професор кафедри хімічної технології та екології Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: atp00@ukr.net

**Лорія М.Г.** – д.т.н., доцент, доцент кафедри електронних апаратів Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: atp01@ukr.net

Стаття подана 19.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-129-136>

\УДК 629.423.3, 621.8.038

## ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Чигирик Н.Д., Сумцов А.Л., Вихопень І.Р., Силенко А.В.

## REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF TRACTION ROLLING STOCK IN OPERATION

Chygyryk N.D., Sumtsov A.L., Vykhopen I.R., Silenko A.V.

*Економічна доступність нових сучасних матеріалів з високими рівнем споживчих характеристик, дає змогу розглядати варіанти застосування нових способів зі зменшення енергоспоживання тяговим електрорухомим складом. У статті пропонується використання електромагнітного розвантаження для зниження механічних втрат в підшипникових щитах асинхронних електродвигунів приводу вентиляторів охолодження та компресорів. Джерелом саможивлення пристрою являється аксіальний трифазний генератор на неодимових постійних магнітах. Приведені результати попереднього проектування електромагнітної системи пристрою і опрацювання способу його інтегрування у вже існуючу конструкцію устаткування охолодження і нагнітання тягового електрорухомого складу.*

**Ключові слова:** тяговий електрорухомий склад, електромагніт, пристрої розвантаження, енергоспоживання.

**Вступ.** Не зважаючи на всю привабливість експлуатації електрорухомого тягового складу, витрати потужності на допоміжні потреби залишаються значними. Для охолодження тягових двигунів, випрямних і перетворюючих пристроїв, роботу компресорів і кліматичних установок використовується 7-15 % [1] витрати на тягу, а в окремих випадках ця величина досягає 25-30% [2]. Тоді як, мінімально необхідна витрата енергії для цих цілей оцінюється у розмірі 0,5-3,0 %. Впровадженням низки заходів, таких як заміна вентиляторів на відцентрово-гвинтові, поліпшення аеродинамічних характеристик повітропроводів, застосування алюмінієвих охолоджувачів з оребренням, систем автоматичного регулювання продуктивності мотор-вентиляторів відносно температури тягових двигунів прагнуть до досягнення цих показників. У [3] результаті застосування перетворювачів ПСВ 50/16 для регулювання частоти оборотів двигунів мотор-вентиляторів в залежності від навантаження тягових двигунів — зниження

витрат енергії на допоміжні потреби склало 3-4 %.

Приведені вище заходи все ж охоплюють незначну частину експлуатованого парку локомотивів, їх можна розцінювати як поступове вдосконалення нових конструкцій, нових способів і технологій, які будуть корисними для проектування і створення нових зразків тягового рухомого складу, в тому числі і високошвидкісного рухомого складу.

**Постановка проблеми.** Для охолодження тягових двигунів, електроапаратів, елементів електричних схем і забезпечення відповідних кліматичних умов в конструкції вагонів високошвидкісних потягів встановлюється ряд вентиляторів з приводом від електродвигунів. До того ж для потягів, призначених для роботи в зимових умовах в конструкції системи вентиляції, кондиціонування повітря у вагонах, охолодження електроустаткування локомотивів, у каналах забору повітря із зовні, розміщують сепаратори, що відділяють сніг від повітря і перешкоджають його проникненню в салони вагонів, облаштування кондиціонування і охолодження [4].

Усі ці конструктивні рішення підвищують затрати енергії на живлення допоміжних потреб.

Ще більшими витратним супроводжується процес забезпечення охолодження тягових двигунів і електроустаткування на тяговому електрорухомому складі, що експлуатується на магістралях України. Основним робочим компонентом систем охолодження є вал, що обертається, з різними навісними елементами (в нашому випадку вентиляторні колеса, елементи ротора електродвигунів), що називається ротором, який застосовується практично в усіх областях техніки, тому наукові дослідження, присвячені створенню нових або удосконаленню існуючих роторних машин, є актуальними як з початку їх створення, так і на

сучасному етапі їх розвитку так і у перспективі.[5] Багатий історичний досвід в конструюванні і розрахунку роторів [6] загострює увагу на шляхах зниження механічних втрат, наприклад, за рахунок оптимізації конструкції їх опор, на базі сучасних матеріалів і технологій. Найраціональнішим рішенням при конструюванні роторних машин є створення машин з жорстким ротором, що обертається в пружних опорах [7,8]. Такими сучасними опорами, позбавленими багатьох недоліків, властивих традиційним підшипникам, є новий тип опор валів і роторів — магнітні підшипники (МП) [9-11].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Особливість даного типу підшипників ґрунтується на використанні принципу магнітної левітації феро-магнітних тіл (зокрема, роторів) в магнітному або електромагнітному полях, що створюються зовнішніми джерелами [5]. Магнітні підшипники є варіантом пружно-демпферних опор, а їх особливістю є використання магнітного поля для реалізації стійкої левітації роторів.

Сьогодні на підставі аналізу наукових монографій, статей в журналах і збірках, а також доповідей міжнародних конференцій і симпозіумів можна виділити декілька актуальних тем дослідження в області магнітних підшипників [5]:

- активні магнітні підшипники;
- пасивні магнітні підшипники (чи МППМ);
- надпровідникові магнітні підшипники;
- мікропідшипники;
- магнітопроводи з обмотками (виконуючі елементи СУ);

— нові технології управління і моніторингу систем з МП;

— питання промислового впровадження МП, безпеки і надійності;

— моделювання і ідентифікація математичних моделей, що описують процеси в МП; накопичення інформації про особливості експлуатації систем МП і їх статистичний аналіз;

— впровадження в конструкцію МП різних елементів і матеріалів;

— самонесучі безвальні електродвигуни;

— розвиток технологій самозондування із застосуванням МП для контролю вібрацій і діагностики несправностей в режимі реального часу.

**Мета статті.** Метою проведених попередніх розрахунків і конструкторських розробок є обґрунтування можливості зниження механічних втрат у підшипникових опорах охолоджувального, кліматичного і компресорного устаткування тягового електрорухомого складу, що понизить його сумарну витрату на живлення допоміжних потреб.

**Результати досліджень.** Для досягнення поставленої мети розраховані параметри магнітопроводів електромагнітного підшипника і генератора на постійних магнітах пропонованого пристрою електромагнітного розвантаження (ПЕМР), вибра-

ні матеріали і пропрацьоване вписування ПЕМР в існуючі конструкції рухомого складу електро-тяги.

В якості об'єкту для проведення дослідження і конструкторських опрацювань взято устаткування електровозу ВЛ80С. На кожній секції електровоза встановлені чотири мотор-вентилятори, що приводяться в обертання трифазними асинхронними електродвигунами АЭ- 92-4 (потужність 40кВт, частота обертання ротора 1405 об/хв., фазний струм 90А, маса 390 кг). Компресори КТ-6ЭЛ (по одному на секцію) приводяться в роботу такими ж електродвигунами.

Особливістю відцентрових вентиляторів ЦВ-19 № 6,5 є використання обох кінців валу електродвигуна для приводу двох протилежних по напрямку обертання вентиляторів (рис.1).

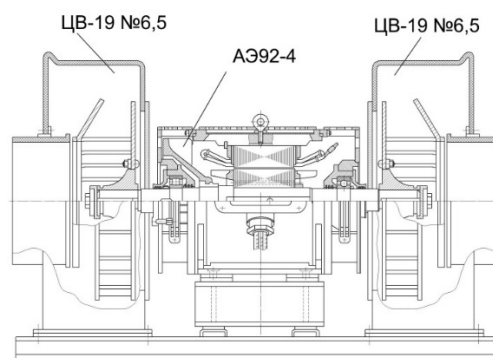


Рис. 1. Блок вентиляторів ЦВ-19 №6,5

Чотири вентилятори ЦВ- 19 №6,5 охолоджують випрямляючі установки ВУК-4000Т, блоки гальмівних резисторів, згладжувачів реакторів і теплообмінники тягових трансформаторів.

Два вентилятори ЦВ- 19 №7,6, кожен з яких приводиться в рух асинхронним двигуном АЭ- 92-4, охолоджують тягові електродвигуни у візках.

Режим роботи електродвигунів хоч і регулюється у залежності від рівню навантаження тягових двигунів, проте витрати на забезпечення повітрям залишаються значними.

Потужність витрачається на подолання опору повітряним потокам, обертання конструкційних елементів вентиляторів і подолання тертя в підшипникових опорах.

Для скорочення витрат потужності в підшипникових опорах розглянемо можливість застосування в системах вентиляторів пристроїв електромагнітного розвантаження (ПЕМР).

ПЕМР є електромагнітом, що забезпечує розвантаження підшипника кочення, обмотка якого отримує електроживлення від вбудованого електрогенератора. Електромагніт і електрогенератор об'єднані електрично і конструктивно в один функціональний пристрій.[12]

При обертанні ротора відбувається самозбудження електрогенератора, і електромагніт ство-

рює в певному напрямі силу, прикладену до ротора, тим самим, розвантажуючи підшипник кочення. При необхідності частина статора ПЕМР заливається компаундом і стає суцільним диском, що не має електричних виводів.

Зазвичай для центрування роторів машин застосовують електромагнітні підшипники (ЕМП) двох видів :

— радіальні електромагнітні підшипники (РМП), кожен з яких забезпечує центрування по двох взаємно перпендикулярних поперечних осях;

— осьовий електромагнітний підшипник (ОМП), який обмежує переміщення ротора в осьовому напрямку.

У зв'язку з тим, що в нашому випадку розвантажувальний пристрій доповнює штатні підшипники асинхронного двигуна, проведемо розрахунок тільки радіального електромагнітного підшипника.

Конструктивно магнітна система РМП складається з нерухомого пакету статора з котушками збудження і ротора, що обертається, та який притягує статор. Котушки збудження розташовані на зубцях статорів, повернутих до ротора [13].

Найбільш поширеним по розподілу навантаження між зонами в РМП (у машинах з горизонтальним розташуванням валу) є випадок, коли зусилля, що вздовж вертикальної осі, наприклад, сила ваги ротора, що діє на опору, розподілена між двома верхніми зонами РМП, осі яких спрямовані під кутом 45° до вертикальної осі. В цьому випадку кожна з двох верхніх навантажених зон РМП сприймає частину навантаження. Для режиму максимального навантаження це співвідношення має наступний вигляд

$$F_{3M} = 0,707F_M, \tag{1}$$

де  $F_{3M}$  — навантаження, що сприймається робочою зоною РМП, Н;

$F_M$  — вантажопідйомність опори — навантаження, яке повинне компенсувати ЕМП (для випадку з блоком вентиляторів (рис.1), — це маса ротора асинхронного двигуна і двох коліс вентилятора насаджених на нього, приймаємо 2000 Н. Кожну пару зубців робочої зони РМП, по яких протікає однаковий робочий магнітний потік, можна розглядати як автономну двополосну магнітну систему, в якій кожен зубець створює тягове зусилля  $F_Z$ . Максимальне значення цього зусилля  $F_{3M}$  пов'язане з вантажопідйомністю опори  $F_M$  співвідношенням наступного виду

$$F_{3M} = 0,707F_M / Z_3k_p, \tag{2}$$

де  $Z_3$  — кількість зубців у робочій зоні (для 8-миполосного ЕМП  $Z_3=2$ );

$k_p$  — коефіцієнт, що враховує розподіл зубців в зоні. Для  $Z=8$   $k_p = 0,924$  [2].

З урахуванням співвідношення (2) вираз (1) для необхідної площі зубця РМП матиме такий вигляд

$$S_Z = 0,707F_M / F_{1P}Z_3k_p, \tag{3}$$

де  $F_{1P}$  — розрахункова величина питомої тягової зусилля

$$F_{1P} = F_{1M} / k_B^2, \tag{4}$$

де  $F_{1M}$  — питомий тягове зусилля. При використанні в якості матеріалу магнітопроводу РМП тонколистової електротехнічної сталі з індукцією насичення  $B_M = 1,6$  Тл і з урахуванням ефекту «розпушення» магнітного потоку в зазорі між

статором і ротором  $F_{1M} = 80$  Н/см<sup>2</sup>;

$k_B^2$  — коефіцієнт індукції. Для магнітопроводів з паралельними стінками, через насичення в основанні зубця, слід приймати  $k_B = 1,1$ . Визначимо основні розміри елементів магнітопроводу РМП, які відповідають необхідній площі зубця.

Діаметр розточування РМП, см

$$D_{S1} = \sqrt{0,9 \frac{F_M}{F_{1P}k_Sk_Pk_L}}, \tag{5}$$

де  $k_S$  — співвідношення між площею, зайнятою зубцями, і загальною площею магнітопроводу. Для невеликих машин у яких зазвичай використовують жорсткі котушки збудження, намотані на шаблон і потім встановлені на зубці,  $k_S = 0,6$ ;

$k_L$  — коефіцієнт довжини. Ставлення внутрішнього діаметру пакету статора  $D_{S1}$  (діаметр розточування) до довжини пакету  $L_{S1}$ . Ці розміри, головним чином, визначають всі інші розміри магнітопроводу РМП: розміри зубців, пазів, зовнішній діаметр і ін.

$$k_L = L_{S1} / D_{S1} \tag{6}$$



З практики застосування РМП для не великих машин приймемо  $k_L = 0,4$ , тоді внутрішній діаметр розточення магнітопроводу складе 110 мм.

Для вибору величини проміжку  $\delta_0$  скористаємося даними, що характеризують існуючу на практиці зміну проміжку  $\delta_0$  від діаметру розточування  $D_{S1}$  для найбільш поширених типів машин з ЕМП [2]. Методом інтерполяції вибираємо  $\delta = 0,54$  мм.

Визначимо розміри котушок збудження, які потрібні для створення робочого магнітного потоку. Початковим параметром для цього є допустима щільність струму  $i_C$  в проводах котушок, яка зазвичай обмежена граничними робочими температурами і інтенсивністю охолодження РМП. У першому наближенні для котушок з класом ізоляції Н і при охолодженні ЕМП повітряним потоком зі швидкістю близько 0,2 м/с можна прийняти для номінального режиму розрахункову величину  $i_{CP} = 3$  А/мм<sup>2</sup>.

Намагнічуюча сила котушки АW при вибраному проміжку  $\delta_0$  у першому наближенні можна визначити із співвідношення, ампер-витків

$$AW = 8 \cdot 10^2 B_{OH} \delta_0 k_H, \quad (7)$$

де  $B_{OH}$  — індукція у проміжку при номінальному навантаженні, Тл. Приймаємо 1,1Тл;

$k_H = 1,25$  — коефіцієнт магнітопроводу.

Площа поперечного перерізу котушки збудження, мм<sup>2</sup>

$$S_C = AW / i_{CP} k_C, \quad (8)$$

де  $k_C$  — коефіцієнт заповнення котушки міддю, який залежить від типу проводу і ізоляції котушки і, в першому наближенні, може бути прийнятий 0,6.

Кількість витків в котушці W, витків

$$W = AW / I_H, \quad (9)$$

де  $I_H$  — заданий номінальний струм у котушці,  $I_H = 3A$

Площа перерізу провідника котушки, мм<sup>2</sup>

$$q_P = S_C \frac{k_C}{W}, \quad (10)$$

По отриманому значенню  $q_P$  і з урахуванням умов роботи вибираємо тип обмотувального проводу (ПЭТ- 155 зовніш. діаметр 1,2 мм) і стандартні значення обмотувального проводу котушки, а також визначений мінімально допустимий радіус його вигину  $R_C$ .

Ширина зубця у розточці по дузі

$$b_{Z0} = \pi D_{S1} \frac{k_S}{Z} \quad (11)$$

Для забезпечення вільного встановлення котушок на зубці поміж котушками сусідніх зубців передбачений проміжок  $b_{KL}$ .

Ширина зубця з урахуванням проміжку складе 24 мм.

Довжина зубця вздовж повздовжньої осі статора з (6) — 44 мм.

Висоту котушки  $h_C$ , виходячи з отриманої площі поперечного перерізу  $S_C$ , визначено у 22 мм з співвідношення  $h_C = S_C / b_C$ , при ширині котушки (173 витки проводу ПЭТ-155, зовніш.  $\varnothing 1,2$  мм<sup>2</sup>)  $b_C = 15$  мм.

Для встановлення котушки на зубець так, щоб вона не торкалася ротора і була надійно закріплена на зубці за допомогою клину, висота зубця  $h_Z$  повинна бути обрана більше, ніж висота котушки  $h_C$ , на величину виступу  $h_B$

$$h_Z = h_C + h_B, \quad (12)$$

$$h_B = h_K + h_P, \quad (13)$$

де  $h_K$  — висота клину з урахуванням ізоляційних прокладок;

$h_P$  — висота буртика, на який опирається клин.

Приймаємо  $h_B = 3$  мм, тоді висота зубця  $h_Z = 29$  мм

Висоту спинки  $h_S$  у магнітопроводі РМП приймаємо рівну ширині зубця в основі, тбто  $h_S = b_{Z1} = 24$  мм.

Тоді зовнішній діаметр статора складе

$$D_{S2} = D_{S1} + 2(h_C + h_S), \quad (14)$$

де  $h_Z$  — висота зубця;

$h_S$  — висота спинки.

$D_{S2} = 216$  мм. Повздовжній розмір статора  $L_S = 66$  мм

Граничне значення внутрішнього діаметра пакета ротора  $D_{R2}$  визначається з умови рівності

площ зубця і поперечного перерізу спинки пакета ротора

$$D_{R2} \leq D_{S1} - 2(\delta_0 + b_{z1}) \quad (15)$$

Довжину пакету ротора  $L_{R2}$  вибираємо більше довжини пакета статора, щоб перекрити можливі неточності і температурні деформації валу ротора по довжині

$$L_{R2} \geq L_{S1} + 4\delta_0 \quad (16)$$

У [14] при розгляді восьми-полюсного ЕМП формують завдання оптимізації його геометрії таким чином. Задається об'єм, займаний пакетом стали, тобто задається зовнішній діаметр  $D$  і довжина пакету  $l$ . Також задається проміжок  $\delta$  і допустима щільність струму  $j_{max}$ . Вимагається знайти діаметр цапфи  $d$  і ширину полюса  $t$ , при яких тягове зусилля було б максимальним, а індукція у проміжку при цьому була б рівна  $B_{max}$ .

Індукцію в проміжку знаходять із закону Ампера для магнітного ланцюга, по якому МДС, що створювана котушками обох полюсів, дорівнює сумі падінь магнітної напруги в двох повітряних проміжках і в сталі. Магнітний ланцюг не насичений, тому для простоти магнітним опором сталі нехтують.

Завдання оптимізації геометрії підшипника математично зводиться тепер до завдання на умовний екстремум: вимагається знайти максимум функції  $F(d, t)$  за додаткової умови  $B(d, t) = B_{max}$ , яку можна записати у вигляді рівняння

$$F(d, t) = \left[ \frac{D}{2} - \frac{d}{2} - t \right] \left[ \frac{\pi d}{2} - t \right] - \frac{B_{max}}{C_B} = 0 \quad (17)$$

де  $C_B$  — константа, що визначається відношенням

$$C_B = \frac{\mu_0 k_{Cu} j_{max}}{2\delta}$$

В зазначеному виразі  $\mu_0$  — магнітна постійна,  $k_{Cu}$  — коефіцієнт заповнення площі пазу міддю, орієнтовно  $k_{Cu} = 0,3 - 0,5$ .

Метод рішення такої задачі добре відомий. Формують функцію  $\Phi(d, t) = F(d, t) + \lambda \phi(d, t)$ , де  $\lambda$  — множник Лагранжа. Три невідомих величини  $d$ ,  $t$  і  $\lambda$  знаходять з сумісного рішення рівняння (15) з двох рівнянь

$$\frac{\partial \Phi(d, t)}{\partial d} = 0; \frac{\partial \Phi(d, t)}{\partial t} = 0 \quad (18)$$

Рішення задачі дається співвідношенням

$$t = 0,2D - 0,993 \sqrt{\frac{B_{max}}{C_B}} \quad (19)$$

$$d = 0,5D + 0,273t \quad (20)$$

$$C_B \geq \frac{B_{max}}{D^2 / 64} \quad (21)$$

Видно, що в оптимальному підшипнику внутрішній діаметр  $d$  має бути трохи більше половини зовнішнього діаметру  $D$ . Ширина полюса  $t$  залежно від співвідношення між вибраними значеннями параметрів  $B_{max}$ ,  $j_{max}$  і  $\delta$  може мінятися в певних межах. Зазвичай ці параметри вибирають так, щоб полюс займав приблизно половину полюсного ділення, рівного  $\pi d / 8$ .

Необхідне значення здатності  $F_{max}$ , що несе, може бути досягнуте відповідним вибором довжини пакету сталі  $l$ .

Подовжній розмір статора  $l_C = l + 2t_0$ , где  $t_0 = (\pi d / 8 - t) / 2$  - довжина лобової частини обмотки.

За результатами розрахунку і оптимізації магнітна система восьмиполюсного радіального підшипника вантажопідйомністю 200 кг приведена на рис.2.

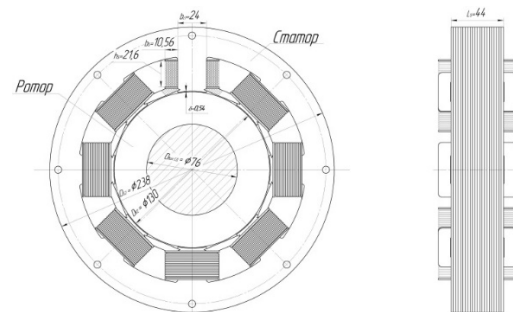


Рис. 2. Розрахункова магнітна система РМП для блоку вентиляторів ЦВ-19 №6,5

Вище розрахована і спроектована перша частина пристрою електромагнітного розвантажувача (ПЕМР) — радіального електромагнітного підшипника (РЕМП). При нормальному режимі роботи РЕМП струм споживання складає 12А, опір обмотки котушки — 0,73 Ом, сумарний опір системи — 0,365 Ом, відповідно напруга — 4,38 В.

Необхідно розрахувати другу частину ПЕМР — генератор, конструкція якого складається з нерухомого статора і ротора, фіксованого на осі кріплення колеса вентилятора.

Критеріями вибору генератора є мінімальні габаритні розміри, максимальна простота його конструкції.

Таким вимогам відповідає трифазний генератор, статор якого є набором котушок збудження,

розташованих на діелектричній основі, нерухомо закріпленим в корпусі ПЕМР. В якості ротора — плоский металевий диск з вмонтованими постійними магнітами.

Основний показник генератора — це напруга, знаючи яку можна розрахувати усі інші параметри, такі як струм і потужність генератора в цілому.

Напруга котушок генератора залежить від кількості витків в котушках, від магнітної індукції магнітів, і від швидкості, з якою міняється магнітне поле.

Для розрахунку напруги генератора скористаємося формулою

$$E = B \cdot V \cdot L, \quad (22)$$

де  $E$  — напруга генератора, В;

$B$  — магнітна індукція магнітів, Тл;

$V$  — швидкість руху магнітів, м/с;

$L$  — активна довжина провідника, м.

Значення величини магнітної індукції неодимових магнітів  $B$  складає в середньому біля 1,25Тл, з урахуванням розсіювання в проміжку, приймаємо найгірший варіант  $B = 0,8$ Тл. Для ротора прийняті неодимові магніти прямокутної форми 50x6x5. Ротор і статор генератора відповідає габаритам розрахованого РЕМП, приведений на рис.3.

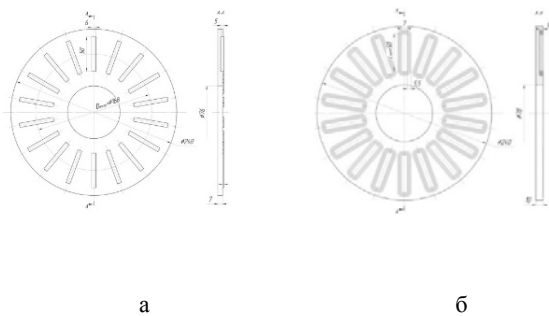


Рис. 3. Ротор і статор генератора ПЕМР:  
а – ротор; б – статор

Швидкість руху магнітів  $V$  розрахуємо згідно діаметру середини довжини магнітів — 0,168 м при мінімальній частоті обертання валу електродвигуна 500 об/хв. За формулою

$$v = \omega R, \quad (23)$$

де  $v$  — лінійна швидкість магнітів, м/с;

$\omega$  — кутова швидкість, рад/с;

$R$  — радіус кола.

Активна довжина провідника  $L$  — це та довжина мідного проводу, яка потрапляє під дію магніту, оскільки саме тільки та ділянка проводу виробляє електричний струм, який потрапляє під магнітне поле магнітів. Для дискових аксіальних генераторів довжина активного провідника дорівнює довжині магнітів, тобто 50мм (0,050 м). Для фази генератора (6 котушок по 75 витків в кожній) загальна довжина активного провідника складе 22,5 м.

Таким чином, напруга фази генератора при 500 об/хв складе 79В.

Напруга генератора росте лінійно залежно від обертів, означає що при 1000 об/хв буде 158В, а при 1500 об/хв — 237В.

Якщо з'єднати фази зіркою, то можна напругу підвищити в 1,7 разу.

Фактично за рахунок не повного перекриття магнітами котушок, біля 30% активної зони не бере участь у виробленні напруги, отже, розрахункову напругу слід зменшити на 30% що складе  $E = 55,3$ В при 500 об/хв.

У генераторі що складається з 18 котушок всього  $18 \cdot 75 = 1350$  витків, це по 450 витків у фази. Довжина одного витка в середньому приблизно 0,135 м, це означає що сумарна довжина проводу фази  $0,135 \cdot 450 = 60,75$ м. Опір одного метра мідного проводу перерізом  $0,7 \text{ мм}^2$  дорівнює 0,0469 Ом. Опір фази  $60,75 \cdot 0,0469 = 2,85$ Ом. При з'єднанні фаз трикутником струм генератора складе 27,72А.

Необхідно врахувати опір проводу, що йде від генератора до ЕМП, опір діодного мосту, на якому падає до 1В напруги, опір самого ЕМП, зміна опору генератора під час роботи, що може скласти до 50% втрат від потужності, і у результаті струм може виявитися менше за розрахунковий. І оскільки важко врахувати усі втрати доцільно зменшити розрахункове значення на 30%, що складе струм 19,4 А. При необхідності можна з'єднати фази зіркою, збільшивши струм в 1,7, до 32,98 А.

Розрахунковий струм споживання ЕМП складає 15А в нормальному режимі роботи, отже, спроектований аксіальний трифазний генератор на постійних магнітах забезпечить роботу проєктованого пристрою електромагнітного розвантаження для блоку вентиляторів ЦВ-19 №6,5.

Для регулювання струму споживання на корпусі ПЕМР передбачений блок управління. Конструктивне ПЕМР опрацьовано на рівні ескізного проєкту і представлено на рис.4.

Збільшення габаритних розмірів у порівнянні з існуючою конструкцією блоку вентиляторів склало 72 мм по посадочних місцях з кожного боку асинхронного електродвигуна.

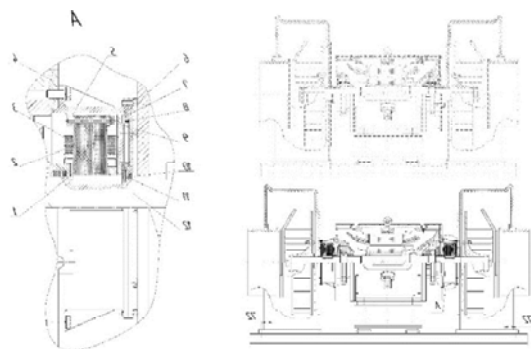


Рис. 4. Розміщення ПЕМР в блоці вентиляторів ЦВ-19 №6,5:

- 1 – залізо магнітопроводу ротора ЕМП;
- 2 – залізо магнітопроводу статора ЕМП;
- 3 – котушки збудження статора ЕМП;
- 4 – корпус асинхронного ЕД; 5 – корпус ПЕМР;
- 6 – диск ротора аксиального генератора ПЕМР;
- 7 – диск статора генератора ПЕМР;
- 8 – котушки збудження статора генератора;
- 9 – неодимові магніти ротора; 10 – ущільнення;
- 11 – втулка; 12 – вал електродвигуна

**Висновок.** Таким чином модернізація енергоємного устаткування тягового електрорухомого складу шляхом вбудовування пристроїв електромагнітного розвантаження дозволить:

— зменшити величину динамічних і статичних навантажень на механічні опори, що відповідно зменшить знос і збільшить довговічність підшипників;

— понизить механічні втрати в підшипникових вузлах, тим самим значно скоротить втрати потужності на допоміжні потреби;

— за рахунок зниження навантажень в підшипниках скоротиться витрата дорогого мастила, а також технологічних операцій з її контролю і зміни.

В подальшому для перевірки вантажопідйомності і впливу роботи пристрою розвантаження на підшипники кочення потрібно провести випробування в лабораторних умовах шляхом порівняння їх шумо-вібраційних параметрів в різних умовах роботи, що моделюють роботу блоків вентиляторів локомотиву.

#### Література

1. Сибикин Ю. Д., Чулков Л. З., Кухаренко И. Г. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. Москва - Берлин: Директ-Медиа, 2018. 74 с.
2. Расход электроэнергии на собственные нужды. URL: <http://www.poezdvl.com/ekonomia-elektroenergii-na-podvizhnom-sostave/raskhod-elektroenergii-na-sobstvennyye-nuzhdy.html> (дата обращения: 04.10.2019).
3. Варченко Е. В., Чумак В. В., Оливсон В. М. Модернизация системы вентиляции электровозов переменного тока ВЛ80. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Наука и прогресс транспорта.* Днепр, 2008. №22. С. 10-12.

4. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб. пособие / И.П. Киселев и др.; под ред И.П. Киселева, Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. Т.2. 372 с.
5. Мартыненко Г.Ю. История, актуальные проблемы, методы и средства анализа явлений роторной динамики с учетом традиционных и магнитных подшипников. *Вісник НТУ «ХП».* Харьков, 2014. № 58 (1100). С. 77-131.
6. Мартыненко Г.Ю. Магнитные подшипники как упруго-демпферные опоры роторов с управлением жесткости. *Вісник НТУ «ХП»* : зб. наук. праць. Харків, НТУ «ХП», 2008. № 47. С. 111-124.
7. Кельзон А.С., Журавлев Ю.Н., Январев Н.В. Расчет и конструирование роторных машин. Ленинград: Машиностроение, 1977. 288 с.
8. Кельзон А.С., Циманский Ю.П., Яковлев В.И. Динамика роторов в упругих опорах. Москва: Наука, 1982. 280 с.
9. Schweitzer G., Bleuler H., Traxler A. Active magnetic bearings. Zurich: ETH, 1994. 244 p.
10. Maslen E.H. Magnetic Bearings. Virginia: University of Virginia Department of Mechanical, Aerospace, and Nuclear Engineering Charlottesville, 2000. 231 p.
11. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. Санкт Петербург : Политехника, 2003. 206 с.
12. Конструкторская проработка ряда радиальных и радиально-осевых комбинированных подшипников с электромагнитной разгрузкой / Я. З. Гузельбаев и др. *Вестник Казанского технологического университета.* Казань, 2013. №6. С. 151-153.
13. Верещагин В.П., Рогоза А.В., Савинова Т.Н. Методика проектирования электромагнитных подшипников. *Вопросы электромеханики.* 2009. Т.113. С. 3-12.
14. Щеклеина И.Л., Угольников А.Е., Горелова А.В. Расчет радиального активного магнитного подшипника. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2017. № 5. С. 220-229.

#### References

1. Sibikin YU. D., Chulkov L. Z., Kухarenko I. G. Rational'noe ispol'zovanie toplivno-energeticheskikh resursov. Moskva - Berlin : Direkt-Media , 2018. 74 p.
2. Raskhod elektroenergii na sobstvennyye nuzhdy. URL: <http://www.poezdvl.com/ekonomia-elektroenergii-na-podvizhnom-sostave/raskhod-elektroenergii-na-sobstvennyye-nuzhdy.html> (date of the application: 04.10.2019).
3. Varchenko E. V., Chumak V. V., Olivson V. M. Modernizatsiya sistemy ventilatsii elektrovozov perezmen'nogo toka VL80. Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta. Dnepr, 2008. №22. P. 10-12.
4. Vysokoskorostnoj zheleznodorozhnyj transport. Obshchij kurs : ucheb. posobie / I.P. Kiselev i dr. ; pod red I.P. Kiseleva, Moskva: FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2014. T.2. 372 p.
5. Martynenko G.YU. Istoriya, aktual'nye problemy, metody i sredstva analiza yavlenij rotornoj dinamiki s uchetom tradicionnyh i magnitnyh podshp-nikov.

- Visnik NTU «HPI». Har'kov, 2014. № 58 (1100). P. 77-131.
6. Martynenko G.Yu. Magnitnye podshipniki kak uprugodempfernye opory rotorov s upravlyae moy zhestkost'yu. *Visnyk NTU «KhPI» : zb. nauk. prac'*. Kharkiv, NTU «KhPI», 2008. № 47. P.111–124.
  7. Kel'zon A.S., Zhuravlev Yu.N., Yanvarev N.V. Raschet i konstruirovaniye rotornykh mashin. Leningrad: Mashinostroeniye, 1977. 288 p.
  8. Kel'zon A.S., Cimanskij Yu.P., Yakovlev V.I. Dinamika rotorov v uprugih oporah. Moscow: Nauka, 1982. 280 p.
  9. Schweitzer G., Bleuler H., Traxler A. Active magnetic bearings. Zurich: ETH, 1994. 244 p.
  10. Maslen E.H. Magnetic Bearings. Virginia: University of Virginia Department of Mechanical, Aerospace, and Nuclear Engineering Charlottesville, 2000. 231 p.
  11. Zhuravlev, Yu.N. Aktivnye magnitnye podshipniki: Teoriya, raschet, primeneniye. St. Petersburg : Politehnika, 2003. 206 p.
  12. Konstruktorskaya prarabotka ryada radial'nyh i radial'no-osevyh kombinirovannykh podshipnikov s elektromagnitnoy razgruzkoj / YA. Z. Guzel'baev i dr. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universi-teta. Kazan', 2013. №6. P. 151-153.
  13. Vereshchagin V.P., Rogoza A.V., Savinova T.N. Metodi-ka proektirovaniya elektromagnitnykh podshipnikov. Voprosy elektromekhaniki. 2009. T.113. P. 3-12.
  14. Shchekleina I.L., Ugol'nikov A.E., Gorelova A.V. Raschet radial'nogo aktivnogo magnitnogo pod-shipnika. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2017. № 5. S. 220–229.

**Чигирик Н.Д., Сумцов А.Л., Вихопень І.Р., Силенко А.В. Снижение энергозатрат тягового подвижного состава в эксплуатации.**

*Экономическая доступность новых современных материалов с высокими уровнем потребительских характеристик, позволяет рассматривать варианты применения новых способов по уменьшению энергопотребления тяговым электроподвижным составом. В статье предлагается использование электромагнитной разгрузки для снижения механических потерь в подшипниковых щитах асинхронных электродвигателей привода вентиляторов охлаждения и компрессоров. Источником самопитания устройства является осевой трехфазный генератор на никодимовых постоянных магнитах. Приведены результаты предварительного проектирования электромагнитной системы устройства и обработки способа его интеграции в уже существующую конструкцию оборудования охлаждения и нагнетания тягового ого состава.*

**Ключевые слова:** тяговый электроподвижной состав, электромагнит, устройства разгрузки, энергопотребление.

**Chygyryk N.D., Sumtsov A.L., Vykhopen I.R., Silenko A.V. Reduction the energy consumption of traction rolling stock in operation.**

*The cooling of traction electric motors, rectifiers and converters, the operation of compressors and air conditioning systems uses 7-15% of the total cost of traction, and in some cases this value reaches 25-30%. Whereas, the estimated minimum required energy consumption for these purposes is estimated at 0.5-3.0%.*

*In order to achieve a calculated level of 0.5-3.0% of electric power to meet own needs, the article presents the calculated parameters of the magnetic circuits of an electromagnetic bearing and a permanent magnet generator that are components of the proposed electromagnetic discharge device. The materials were selected and the incorporation of the electromagnetic unloading device into the existing structures of the traction electric rolling stock was worked out.*

*As an object for the study, the equipment of the VL80S electric locomotive was taken. Four fans cool the rectifier units, brake resistor blocks, smoothing reactors, and traction transformer heat exchangers. Two fans each of which is driven by an induction motor - cool the traction motors in the carts.*

*The mode of operation the electric motors, although regulated depending on the load level of the traction motors, however, the costs of providing air remain significant. Power is spent on overcoming resistance to air currents, rotating the structural elements of fans and overcoming friction in bearing bearings. To reduce them, is proposed to use the electromagnetic discharge devices in fan systems.*

*The device of electromagnetic unloading is an electromagnet, provides unloading of the rolling bearing, the winding of which receives power from the built-in generator. An electromagnet and an electric generator are combined electrically and structurally into one functional device.*

*When the rotor rotates, the self-excitation of the generator occurs, and the electromagnet creates a force in a certain direction applied to the rotor, thereby unloading the rolling bearing.*

*Thus, the modernization of energy-intensive equipment of traction electric rolling stock by embedding electromagnetic discharge devices will allow:*

*- reduce the magnitude of dynamic and static loads on mechanical bearings, respectively, reduce wear and increase the durability of bearings;*

*- reduce mechanical losses in bearing assemblies, thereby significantly reducing power losses for auxiliary needs;*

*- due to lower loads in the bearings, the consumption of expensive oil will be reduced, as well as the technological operations for its control.*

**Key words:** electric traction rolling stock, electromagnet, unloading devices, energy consumption.

**Чигирик Н.Д.** — к.т.н., доцент кафедры Эксплуатация та ремонт рухомого складу, Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: natalia65@ukr.net

**Сумцов А.Л.** — к.т.н., старший викладач кафедри Експлуатация та ремонт рухомого складу, Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: sal-hiit@i.ua.

**Вихопень І.Р.** — аспірант кафедри Експлуатация та ремонт рухомого складу, Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: crownwick@bigmir.net.

**Силенко А.В.** — студент магістрант кафедри Експлуатация та ремонт рухомого складу, Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail:

Стаття подана 11.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-137-140>

УДК 547.269.352.1+547.854.4

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СИНЕЗУ 6-МЕТИЛУРАЦИЛ-5-СУЛЬФОХЛОРИДУ ТА ОДЕРЖАННЯ СУЛЬФОНАМІДІВ І СУЛЬФОЕФІРІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

Масуд Абдо-Аллах, Шипідченко М.В., Мороз О.В., Попов Є.В., Ісак О.Д.

### PERFECTION OF TECHNOLOGY OF THE SYNTHESIS 6-METHYLURACYL-5-SULFOCHLORIDE AND PREPARATIONS OF SULFONAMIDES AND SULFONATES ON HIS BASIS

Abdo-Allah M., Shypidchenko M.V., Moroz A.V., Popov Ye.V., Isak A.D.

*Запропоновано шляхи підвищення виходу 6-метилурацил-5-сульфохлориду (МУСХ) з використанням розчинників. В якості таких розчинників використовували аліфатичні полігалогенопохідні як дихлоретан, хлороформ, тетра-лорметан. На основі МУСХ одержані сульфонаміди та сульфоєфіри 6-метилурацила. Наведена та описана принципова технологічна схема синтезу похідних 6-метилурацилу.*

**Ключеві слова:** 6-Метилурацил, 6-метилурацил-5-сульфохлорид, аліфатичні полігалогенопохідні розчинники, підвищення виходу, алкілсульфонати (сульфоєфіри), алко-голіз, сульфонаміди, принципова технологічна схема.

**Вступ.** Реакції сульфохлорування знаходять широке застосування в органічній хімії. Сульфоніл-хлориди використовуються при одержанні складних ефірів і амідів, гідразидів та інших похідних сульфонових кислот, оскільки зазначені сполуки не можуть бути синтезовані заміщенням гідроксилу у самих кислотах.

**Постановка проблеми.** Технологічний процес прямого введення сульфохлоридної групи шляхом електрофільного заміщення атомів водню в ароматичному або гетероциклічному кільці є малостадійним і економічним, але обмеженим через малу кількість речовин, вступаючих у таку реакцію.

У випадку неможливості безпосереднього введення сульфохлоридної групи в бажане положення ароматичного або гетероциклічного кільця використовують сполуки з іншими функціональними групами, частіше за все сульфокислоти та їх солі. Сульфохлориди в цьому випадку отримують за допомогою хлоруючих реагентів - хлористого тіонілу, хлоридів фосфору, хлорсульфонової кислоти та інших. Отримані таким чином сульфохлориди вимагають

ретельного очищення від надлишку реагентів та побічних продуктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі сульфохлоридів синтезують активні і дисперсні барвники, гербіциди, оптичні підбілювачі та медичні препарати.

Великої уваги через свою доступність, низьку токсичність та різноманіття біологічних активностей заслуговує 6-метилурацил.

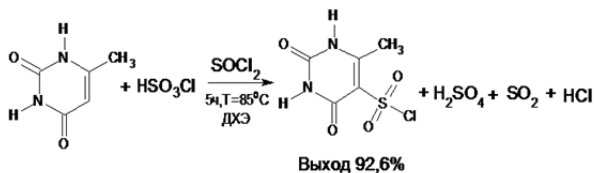
Вперше 6-метилурацил-5-сульфохлорид отримали Хромов-Борисов і Карлінська, взаємодією 6-метилурацилу з 10-кратним надлишком хлорсульфонової кислоти, однак вихід його не перевищував 25-28%. [1,2]. Такий низький вихід довгий час обмежував широке використання сульфохлоридів подальшому синтезі. Як показали Макаров та його співробітники [3,4], якщо процес сульфохлорування 6-метилурацилу проводити в присутності хлористого тіонілу або РСІ<sub>3</sub> при температурі 80-90°C вихід МУСХ збільшується до 80-82%. Такий же вихід був отриманий в роботах Погорелової І.П. [5]

**Мета статті.** Для збільшення виходу і поліпшення якості МУСХ нами запропоновано проводити реакцію сульфохлорування 6-метилурацилу в середовищі інертних органічних розчинників. В якості таких розчинників використовували аліфатичні полігалогенопохідні як дихлоретан, хлороформ, тетра-лорметан [6].

**Результати досліджень.** Проведення реакції сульфохлорування в середовищі інертних розчинників дало можливість скоротити час проведення реакції (з 6-7 год. до 5 год.), підвищити вихід (з 80-82% до 92%), а також зменшити утворення побічних продуктів (сульфонів, сульфокислот, продуктів окиснення і хлорування) При цьому вдалося отримати

більш якісний продукт  $T_{пл} = 246-247^\circ\text{C}$  [6] замість отриманого раніше продукту з  $T_{пл} = 235^\circ\text{C}$  [3].

Сульфохлорування 6-метилурацилу протікає за схемою:



Отриманий за описаною технологією 6-метилурацил-5-сульфохлорид подальше використовували для одержання сульфонамідів та сульфоефірів.

При взаємодії МУСХ з алкоголятами лужних металів в середовищі відповідного спирту з хорошим виходом отримані алкілсульфонати [7], а з первинними і вторинними амінами аліфатичного і ароматичного ряду отримані нові сульфонаміди [8,9].

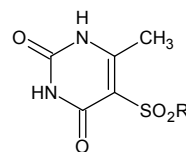
Основні технологічні параметри отримання похідних 6-метилурацил-5-сульфохлориду приведені в таблиці.

На рисунку наведена принципова технологічна схема отримання похідних 6-метилурацилу.

Опис технологічного процесу:

В апарат 1 із пароводяною сорочкою, механічною мішалкою, датчиком температури, збірником конденсату 7 теплообмінником 6, закачують дихлоретан. Далі при розмішуванні із бункера 3 порційно, за допомогою вагового дозатора, шнеком завантажують попередньо зневоднений при  $110^\circ\text{C}$  6-метилурацил (6-МУ), сюди ж з ємності 2 при розмішуванні завантажують хлорсульфонову кислоту. Після завантаження всієї хлорсульфонової кислоти, пуском у сорочку апарату гострого пару низького тиску, температуру в апараті 1 підвищують до  $60-65^\circ\text{C}$  і при постійному перемішуванні витримують при цій температурі протягом 2-2,5 годин. Далі із мірника 4 завантажують хлористий тіоніл. Потім температуру реакційної маси підвищують таким чином, щоб в сорочці апарату була температура біля  $100^\circ\text{C}$ , і продовжують витримку протягом 3-3,5 годин. При перемішуванні до закінчення реакції (закінчення сульфохлорування визначається відсутністю вихідного 6-метилурацилу в реакційній масі, методом тонкошарової хроматографії). При позитивному результаті аналізу зворотний теплообмінник 6 перемикають на прямий і відгоняють дихлоретан з подальшим використанням його у інших операціях. У апараті 8, вода охолоджується до  $0-5^\circ\text{C}$  та через мірник-дозатор подається в апарат 9. Після задовільного аналізу на відсутність вихідного 6-метилурацилу вміст апарату 1 перекачують, в апарат 9. Новоутворену при розведенні холодною водою суспензію кристалів 6-метилурацил-5-сульфохлориду фільтрують на центрифугі 10. Водна паста промивається охолодженою водою до нейтральної реакції (фільтрат з промивною водою надходить в ємність 11 і далі - на утилізацію).

Таблиця 1  
Технологічні параметри отримання похідних 6-метилурацил-5-сульфохлориду



№ сполуки	R	T, °C	Розчинник	τ, год	Вихід, %
1	2	3	4	5	6
1	-O-CH <sub>3</sub>	85-90	Діоксан, диметилформамід (ДМФА)	2-3	95,4
2	-O-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	92,8
3	-O-C <sub>3</sub> H <sub>7-n</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	89,8
4	-O-C <sub>3</sub> H <sub>7-i</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	74,5
5	-O-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	86,1
6	-O-C <sub>4</sub> H <sub>9-n</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	88,7
7	-O-C <sub>4</sub> H <sub>9-s</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	72,1
8	-O-C <sub>4</sub> H <sub>9-i</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	78,2
9	-O-C <sub>4</sub> H <sub>9-t</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	88,5
10	-O-C <sub>5</sub> H <sub>11-n</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	86,9
11	-O-C <sub>5</sub> H <sub>11-i</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	93,7
12	-O-C <sub>6</sub> H <sub>11-цикло</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	88,0
13	-O-C <sub>6</sub> H <sub>13-n</sub>	85-90	Діоксан, ДМФА	2-3	92,3
14	-O-C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	65-70	Діоксан	2-3	94,8
15	-O-C <sub>6</sub> H <sub>4-2</sub> -CH <sub>3</sub>	65-70	Діоксан	2-3	79,7
16	-O-C <sub>6</sub> H <sub>4-4</sub> -CH <sub>3</sub>	65-70	Діоксан	2-3	89,6
17	-NH <sub>2</sub>	60	Вода	3,5	91,4
18	-NHCH <sub>3</sub>	60	Вода	3,5	93,4
19	-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	60	Вода	3,5	91,7
20	-N(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Br) <sub>2</sub>	85-90	Діоксан	5	91,0
21	-NH(CO <sub>2</sub> H) CHCH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	85-90	ДМФА	4-5	76,8
22	-NH(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> N(Et) <sub>2</sub>	65-70	Оцтова кислота	1,5-2	88,6
23	-N(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>	85-90	Вода	2,5	94,5
24	-NH-циклогексил	65-70	Піридин	3-4	90,8
25		85-90	Анілін	5-6	88,5
26		65-70	Оцтова кислота	3-4	86,8
27		85-90	Піридин	2-3	91,3
28		85-90	Диметилсульфоксид (ДМСО)	4-5	79,8



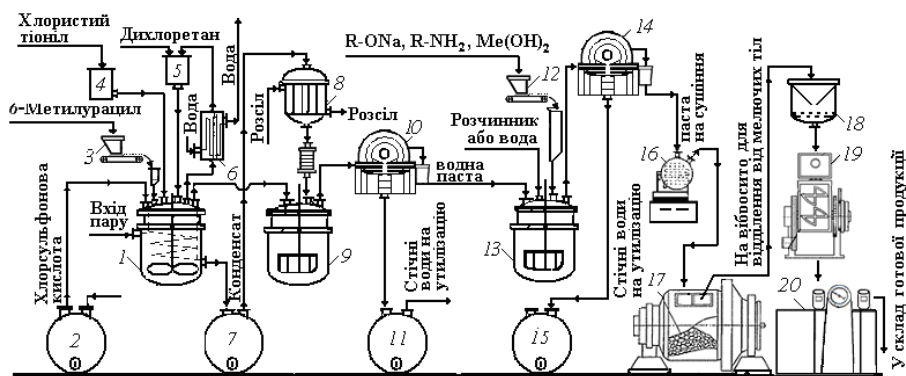


Рис. Принципова технологічна схема синтезу похідних 6-метилурацилу:

- 1 - апарат із сорочкою для обігрівання гострою паром; 2 - ємність хлорсульфонової кислоти; 3 - бункер для метилурацилу; 4 - ємність хлористого тіонілу; 5 - ємність для зневодненого дихлоретану або відігнутого дихлоретану; 6-теплообмінник; 7 - збірник парового конденсату; 8 - апарат, заповнений охолодженим розсолем (або льодом з водою) з мірником-дозатором; 9 - апарат для виділення 6-метилурацил-5-сульфохлориду; 10, 14 центрифуги; 11 - ємність для фільтрату і збору стічних вод на утилізацію; 12 - бункер для R-ONa, R-NH<sub>2</sub>, Me(OH)<sub>2</sub>; 13 - апарат для одержання похідних 6-метилурацилу; 15 - ємність для збору фільтрату на утилізацію; 16 - вакуум-сушильний апарат типу «Венулет»; 17 - ша-ровий млин; 18 - вібросито; 19 - шнековий змішувач; 20 - вузол фасування з вагами

Паста 6-метилурацил-5-сульфохлориду завантажується в апарат 13. Сюди ж подається, в залежності від одержуваного продукту розчинник або вода. У цей же апарат при перемішуванні, шнеком з бункера 12 завантажують (R-ONa, R-NH<sub>2</sub>, Me(OH)<sub>2</sub>). Потім, при необхідності, температуру реакційної маси піднімають до потрібного значення і при безперервному перемішуванні витримують протягом 2,5-3 годин до відсутності вихідного 6-метилурацил-5-сульфохлориду. Виділяють отримані похідні 6-метилурацилу фільтруванням кристалів на центрифугі 14. Фільтрат збирається в ємність 15 і направляється на утилізацію. Вивантажена паста похідних 6-метилурацилу висушується при температурі 75-85°C в вакуум-сушильній установці типу «Венулет» 16 і далі подрібнюється в шаровому млині з керамічними кульками 17. Після відділення продукту від куль на віброситі 18 проводять усереднення у шнековому змішувачі 19 з подальшою передачею на фасувальний вузол 20, де готовий продукт розфасовують в герметичні пакети, упаковують в транспортну тару і передають на склад готової продукції.

На наведеній технологічній схемі, з деякими змінами і доповненнями, може здійснюватися синтез ряду інших синтезованих в лабораторних умовах, сполук - похідних 6-метилурацилу.

**Висновок.** Після вдосконалення технології сульфохлорування 6-метилурацилу було підвищено вихід МУСХ та його якість. Застосування інертного розчинника

дозволило підтримувати потрібний температурний режим, а також скоротити час реакції. Таким чином зменшується вміст домішок, які можуть бути присутніми за рахунок більш глибокого сульфохлорування, окислювання та хлорування. Після закінчення сульфохлорування розчинник відгоняють та використовують його у наступних операціях.

Впровадження такого технологічного прийому дозволяє отримати МУСХ з виходом 92%, замість

82% та з меншим вмістом домішок. Тпл = 246-247°C замість отриманого раніше продукту з Тпл = 235°C.

#### Література

- Хромов-Борисов М.В. Синтезы и превращения производных пириимидина. Сульфопроизводные цитозина, 4-метилцитозина и урацила. / М.В. Хромов-Борисов., Р.О. Карлинская // ЖОХ. 1957. Том 27, Вып. 9, С. 2518-2521.
- Хромов-Борисов М.В., Карлинская Р.О. Синтезы и превращения производных пириимидина. V. Сульфирование производных пириимидина / М.В. Хромов-Борисов., Р.О. Карлинская // ЖОХ. 1954. Том 24. Вып.12. С. 2212-2219.
- Способ получения 6-метилурацил-5-сульфохлорида. Пат.России №2087471. МПКС07D239/54, заявл.17.03.1993, опубл. 20.08.1997.
- Способ получения 6-метилурацил-5-сульфохлорида. Пат.России №2204555. С07D239/54, С07D239/57, заявл. 18.06.2001, опубл. 20.05.2003.
- Погорелова И.П. Орлов В.Д., Исак А.Д. Синтез 6-метилурацил-5-сульфохлорида./ И.П.Погорелова, В.Д., Орлов, А.Д.Исак // ЖИХ. 2006. Том 79 (4).С. 631-633.
- Способ отримання 6-метилурацилсульфохлориду. Пат.Украини на корисну модель. №106558. МПК С07С307/00, А01N25/00, А01К31/08. заявл.23.11.2015, публ. 25.04.2016. Бюл.№8.
- Масуд Абдо-Аллах. Исследование реакции алкоголиза на основе 6-метилурацил-5-сульфохлорида и спиртов./ . Масуд Абдо-Аллах, М.В.Шипидченко, Е. В.Попов, З.П. Кулыгина, А. Д. Исак // Вісник СНУ ім.В.Даля. 2018. №3(244). С. 68-73.
- Abdo-Allah M. Synthesis of new biologically active compounds based on 6-methyluracil-5-sulfochloride and alkylamines/ Abdo-Allah M., Shypidchenko M., Kulyhina Z., Isak A., Popov Ye //Thechnology audit audit and production reserves. Kharkiv.2018. №1/3(39) P. 4-8.
- Масуд Абдо-Аллах Синтез N-арил-6-метилурацил-5-сульфонамидов и их биологическая активность / Абдо-Аллах М., М.В.Шипидченко, А.Д. Исак, Е.В. Попов //

*East European Scientific Journal*. 2018. Vol. 1, No. 8(36), p.57–60.

### References

1. Xromov-Borisov M.V. Sintezy i prevrashheniya proizvodnyx pirimidina. sulfoproizvodnye citozina, 4-metilcitozina i uracila. / M.V. Xromov-Borisov., R.O. Karlinskaya // Zhox. 1957. tom 27, vyp. 9, s. 2518-2521.
2. Xromov-Borisov M.V. Sintezy i prevrashheniya proizvodnyx pirimidina. V. Sulfirovanie proizvodnyx pirimidina / M.V. Xromov-Borisov., R.O. Karlinskaya // Zhox. 1954. tom 24, vyp.12. s. 2212-2219.
3. Sposob polucheniya 6-metiluracil-5-sulfoxlorida. pat.Rossii №2087471. MPK S07D239/54, zayavl.17.03.1993, opubl. 20.08.1997.
4. Sposob polucheniya 6-metiluracil-5-sulfoxlorida. pat.Rossii №2204555. MPK S07D239/54, S07D239/57, zayavl. 18.06.2001, opubl. 20.05.2003.
5. Pogorelova I.P. Orlov V.D., Isak A.D. Sintez 6-metiluracil-5-sulfoxlorida. Zhpx,2006, tom 79 (4).s. 631–633.
6. Sposob otrimannya 6-metiluracilsulfoxloridu. pat.Ukraini na korisnu model. №106558. MPK s07s307/00, a01n25/00, a01k31/08. zayavl.23.11.2015, publ. 25.04.2016. byul.№8.
7. Masud Abdo-Allax. Issledovanie reakcii alkogoliza na osnove 6-metiluracil-5-sulfoxlorida i spirtov. / Masud Abdo-Allax, M.V. Shipidchenko, E. V. Popov, Z.P. kulygina, a. d. isak. // visnik snu im.v.dalya. 2018. №3(244). s. 68-73.
8. Abdo-Allah . Synthesis of new biologically active compounds based on 6-methyluracil-5-sulfochloride and alkylamines/ Abdo-Allah M., Shypidchenko M., Kulyhina Z., Isak A., Popov Ye // Thechnology audit audit and production reserves. Kharkiv.2018. №1/3(39) p. 4-8.
9. Masud Abdo-Allax Sintez N-aril-6-metiluracil-5-sulfonamidov i ix biologicheskaya aktivnost / Abdo-Allax M., M.V.Shipidchenko, A.D. Isak, E.V. Popov // East european scientific journal. 2018. vol. 1, no. 8(36), p.57–60.

**Масуд Абдо-Аллах, Шипидченко М.В., Мороз А. В., Попов Е.В., Исак А.Д. Усовершенствование технологии синтеза 6-метилурацил-5-сульфохлаорида и получение сульфонамидов и сульфозэфиров на его основе.**

*В статье рассмотрено усовершенствование технологии синтеза 6-метилурацил-5-сульфохлаорида (МУСХ) в результате чего повышается его выход и качество. Предложена и описана принципиальная технологическая схема получения МУСХ, а также сульфонамидов и сульфозэфиров на его основе. Приведены основные технологические параметры получения продуктов на основе МУСХ.*

**Ключевые слова:** 6-метилурацил-5-сульфохлаорид, повышение выхода и качества, принципиальная технологическая схема, сульфозэфиров и сульфонамиды на основе МУСХ.

**Abdo-allah M., Shypidchenko M., Moroz A., Popov Ye., Isak A.**

*The article discusses the improvement of the technology synthesis of 6-methyluracil-5-sulfochloride (MUSCh) due to the reaction in an inert solvent. As such solvents, aliphatic derivatives of the polyhalogens such as methylene chloride,*

*dichloroethane, chloroform and carbon tetrachloride can be used.*

*Since the sulfochlorination reaction is exothermic, the introduction of such a technological technique avoids the strong temperature jumps that occur during its implementation. Thus, maintaining the desired temperature regime, the product reduces the content of impurities that may be present due to deeper sulfochlorination, oxidation and chlorination. The reaction time is also reduced by 1-1.5 hours. The maximum yield of MUSCh is achieved when carrying out the reaction in dichloroethane (boiling temperature - 83-84 °C) and is - 92%. Without the use of a solvent, the MUSCh yield was 82%. After the end of sulfochlorination, the solvent is distilled off and used in subsequent operations. The resulting product melts at 246-247 °C (previously products with Mp:235 °C were obtained).*

*The basic technological scheme for obtaining MUSCh, as well as sulfonamides and sulfoesters based on it, is proposed and described. They can be aliphatic or aromatic 5-sulfosubstituted 6-methyluracil. Such products are obtained by heating in an appropriate solvent as a result of the reaction of MUSCh with various amines and alcohols. Table 1 shows the main technological parameters for the production of these products on the basis of MUSCh.*

*Obtained by the proposed technology, the products have a sufficient degree of purity, but for use in drugs should be recrystallized from an appropriate solvent.*

*For each of the described products, biological activity was screened using the Prediction of Activity spectra for Substances (PAAS) computer program. Such compounds may exhibit antimicrobial, anti-cancer and other activities. Using computer simulation, a forecast of possible toxicity among the compounds studied was carried out. For this, the GUSAR online program was used. It was found that the synthesized compounds belong to the 4th and 5th toxicity class.*

**Keywords:** 6-methyluracil-5-sulfonylchloride, increase in yield and quality, dichloroethane, the principle technological scheme, sulfoesters and sulfonamides based on MUSCh.

**Масуд Абдо-Аллах** - аспірант кафедри екології та технології полімерів. Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне)

**Шипідченко Марина Володимирівна** – інженер I категорії кафедри природничих та суспільно-гуманітарних дисциплін, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). [martik77@i.ua](mailto:martik77@i.ua)

**Попов Євген Вадимович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри екології та технології полімерів. Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). [popov@iht.lg.ua](mailto:popov@iht.lg.ua)

**Мороз Олексій Валерійович** – к.т.н., ст. викладач кафедри екології та технології полімерів.

**Ісак Олександр Дем'янович** – к.х.н., доцент кафедри природничих та суспільно-гуманітарних дисциплін, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). [Isak\\_ad@ukr.net](mailto:Isak_ad@ukr.net)

Стаття подана 18.10.2019.

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-141-147>

УДК 004.93:004.02

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ГІБРИДНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ДЛЯ ОБРОБКИ НЕОДНОРІДНИХ ДАНИХ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

Захожай О.І.

## INFORMATION TECHNOLOGY OF HYBRID PATTERNS RECOGNITION FOR HETEROGENOUS DATA PROCESSING IN COMPLEX SYSTEMS

Zakhozhay O.

*Гібридне розпізнавання образів дозволяє обробляти неоднорідні дані за рахунок представлення складної системи сукупністю образів різної природи виникнення. Це сприяє отриманню бажаного рівня достовірності класифікації за умови динамічної зміни наявних у зовнішньому середовищі перешкод і викривлень. При цьому, гібридне розпізнавання пов'язано з розширенням розмірності інформаційного поля аналізу даних, що призводить до збільшення часової складності самого процесу обробки та прийняття рішення. У багатьох прикладних застосуваннях, час обробки має критичне значення, тому для ефективного використання гібридного розпізнавання образів необхідне вирішення важливої науково-технічної задачі забезпечення бажаного рівня достовірності розпізнавання при одночасній мінімізації часу отримання класифікаційного рішення. В статті представлено вирішення цієї задачі шляхом розробки нової інформаційної технології гібридного розпізнавання для обробки неоднорідних даних в складних системах. Згідно цієї технології, процес обробки здійснюється до моменту отримання апріорно заданого рівня достовірності класифікації, або до моменту завершення часу, виділеного на співставлення ознак складної системи та отримання результату. Ефективність розроблених технічних рішень було перевірено на трьох різноманітних прикладних інформаційних технологіях в яких було отримано позитивний результат.*

**Ключові слова:** гібридне розпізнавання образів, методи прийняття рішень, інформаційні системи і технології, достовірність розпізнавання, алгоритми обробки даних.

**Вступ.** Гібридне розпізнавання образів, основане на представленні стану складної системи сукупністю образів, ознаки яких мають різну природу виникнення [1-3]. Це дозволяє забезпечити отримання достовірного рішення за умови широкої зміни різноманітних перешкод і викривлень, що мають місце на практиці. В цьому випадку, достовірність класифікації забезпечується за сукупностями ознак складної системи, на які поточні перешкоди або взагалі не впливають, або їх вплив незначний. Таким

чином, відсутня необхідність використання додаткових алгоритмів попередньої обробки, з метою зменшення впливу викривлень, тим більше, що такі алгоритми витрачають додатковий машинний час та затягують отримання остаточного результату. При гібридному розпізнаванні, ознаки, що набули значних викривлень та мають малий рівень інформативності за поточних умов спостереження, усуваються від аналізу [4, 5], тим самим зменшуючи кількість джерел помилок при розпізнаванні.

Однак, окрім безсумнівної переваги, гібридне розпізнавання образів також має істотний недолік – збільшення кількості неоднорідних ознак складної системи, що з одного боку, згідно глибокої статистичної теорії Вапніка-Червоненкіса [6], дозволяє отримати підвищення достовірності, але, з іншого боку, значно збільшує кількість співставлень ознак та затягує час отримання класифікаційного рішення [7-9].

Аналіз сучасного стану визначеної проблеми вказує на наявність моделей і методів гібридного розпізнавання, які в той чи іншій мірі дозволяють забезпечити ефективне практичне використання гібридного розпізнавання [1-5, 9-11]. Але, для спрощення впровадження гібридного розпізнавання при обробці даних складних систем різноманітного прикладного застосування є актуальним створення інформаційної технології гібридного розпізнавання, в якій здійснювалося би поєднання необхідних методів і моделей обробки неоднорідних даних.

**Аналіз питання та постановка завдання.** Для обробки неоднорідних даних в складних системах широкого поширення набула інформаційна технологія комбінованого розпізнавання, в якій об'єкт, що піддається аналізу, представляється образом, ознаки якого мають різний характер інформації: детерміновані, ймовірнісні, логічні та структурні. Основні аспекти побудови інформаційної технології комбіно-



мають різний вплив, розробка інформаційної технології гібридного розпізнавання дозволить виключити вказані недоліки.

Таким чином, можна визначити важливу науково-технічну задачу, яка вирішується далі, а саме: забезпечення завданого рівня достовірності класифікації при одночасному зменшенні кількості співставлень ознак. Це завдання вирішується шляхом розробки нової інформаційної технології гібридного розпізнавання образів для обробки неоднорідних даних складних систем з різноманітними проявами перешкод і викривлень.

**Вирішення задачі.** Виходячи з поставленої задачі роботи, інформаційна технологія гібридного розпізнавання повинна забезпечувати заданий рівень достовірності класифікації, з одночасним зменшенням кількості даних, що надаються для співставлення в складних системах з різноманітними проявами перешкод і викривлень. Тобто, процес співставлення повинен здійснюватися не до моменту завершення повної обробки усієї сукупності даних, а до моменту отримання апріорно заданого рівня достовірності результату.

З іншого боку, на інформаційну технологію накладається додаткова умова часового обмеження процесу обробки даних та прийняття рішення. Наявність певних обмежень на час обробки даних та класифікації, вказує на доцільність реалізації інформаційної технології гібридного розпізнавання образів на основі системи реального часу [17].

В системах реального часу маються жорсткі обмеження на часові (динамічні) характеристики виконання інформаційних процесів. Формально, це обмеження представляється у вигляді [17]:

$$t_{\min} < t < t_{\max}, \quad (2)$$

де  $t$  – часова характеристика, що визначає тривалість інформаційного процесу, тобто час співставлення неоднорідних ознак складної системи та отримання результату класифікації;

$t_{\min}$  і  $t_{\max}$  – відповідно, гранично припустимі значення тривалості інформаційного процесу.

В системах реального часу, перевищення інформаційним процесом гранично припустимої тривалості вважається відмовою в роботі.

Існують системи «жорсткого» та «м'якого» реального часу [17, 18]. В системах «жорсткого» реального часу виконання умови (2) обов'язково, коли для систем «м'якого» реального часу, умова тривалості інформаційного процесу припускається у формі [17]

$$t_{\min} - \Delta t < t < t_{\max} + \Delta t, \quad (3)$$

де  $\Delta t$  – припустиме значення відхилення тривалості інформаційного процесу.

Тобто, в системах «м'якого» реального часу припускається деяке перевищення граничних значень тривалості інформаційного процесу.

Таким чином, для забезпечення оперативної обробки даних, інформаційна технологія гібридного розпізнавання образів повинна бути адаптована для використання на базі як систем «жорсткого», так і «м'якого» реального часу.

Граничні умови реалізації інформаційної технології гібридного розпізнавання в системі «жорсткого» реального часу, пов'язані з не перевищенням строго визначеного проміжку часу, тобто

$$t_{\text{обр}} \leq t_{\text{макс}}, \quad (4)$$

де  $t_{\text{макс}}$  – максимальне порогове значення часу, що відводиться на обробку даних. З урахуванням цієї граничної умови, процес класифікації здійснюється або до моменту отримання заданого рівня достовірності ( $t_{\text{обр}} \leq t_{\text{макс}}$ ), або до закінчення часу, відведеного на аналіз. По закінченню часу, відведеного для аналізу ( $t_{\text{обр}} = t_{\text{макс}}$ ), результат розпізнавання представляється з досягнутим на цей час рівнем достовірності. Очевидно, що цей рівень буде меншим за цільове значення.

Граничні умови реалізації інформаційної технології в системі «м'якого» реального часу можуть бути представлені в наступній формі

$$t_{\text{обр}} \leq t_{\text{макс}} + \Delta t, \quad (5)$$

де  $\Delta t$  – визначений проміжок часу, на який процес співставлення ознак може перевищувати заданий максимально припустимий час. Тоді, в цьому випадку, процес обробки продовжується до моменту отримання завданого рівня достовірності, тобто  $t_{\text{обр}} < t_{\text{макс}}$ , або, якщо завдання рівень достовірності не досягнутий, то час обробки може бути продовжений до моменту  $t_{\text{макс}} + \Delta t$ . Якщо по досягненню граничного часу обробки цільове значення достовірності не було досягнуто, то результат розпізнавання надається з отриманим показником достовірності, який менший за апріорно заданий.

З урахуванням зазначених вище граничних умов, була розроблена інформаційна технологія гібридного розпізнавання образів, яка дозволяє, у випадку обмеженості часу на прийняття рішення, забезпечити апріорно заданий рівень достовірності класифікації складної системи за умови динамічної зміни перешкод і викривлень.

Серед етапів інформаційної технології гібридного розпізнавання можна відокремити апріорний етап (Етап 0) та апостеріорні етапи (Етап 1 – Етап 9). Апріорний етап виконується тільки під час створення інформаційної технології і направлений на визначення характеристик, що є незмінними в процесі реалізації інформаційної технології. Апостеріорні етапи здійснюються кожного разу, для кожного циклу обробки неоднорідних даних та гібридного розпізнавання образів. Однак, слід зазначити, що у залежності від поточної ситуації, рівня наявних пе-

решкод і викривлень, деякі етапи можуть пропускатися, якщо бажаний рівень достовірності класифікації досягається на попередніх етапах. Надалі наведений опис кожного етапу розробленої інформаційної технології гібридного розпізнавання образів.

**Етап 0.** Для кожного з  $k$  образів складної системи апріорно визначаються стаціонарні характеристики інформативності  $SICH_k$ . Методика визначення стаціонарних характеристик інформативності докладно розглянута у [4, 11]. Цими характеристиками враховується точність технічних засобів реєстрації ознак складної системи.  $\{SICH\}$  залишається постійною протягом усіх циклів гібридного розпізнавання. Якщо змінюється структура системи, або замінюються пристрої реєстрації – тільки тоді  $\{SICH\}$  підлягає корекції. Також, на цьому етапі визначається алфавіт класів, який характеризує сукупність можливих станів складної системи, що підлягає аналізу.

**Етап 1.** Реєстрація характеристик стану складної системи та поточних зовнішніх умов.

**Етап 2.** Нормування отриманих характеристик, і подальше формування сукупності образів складної системи та зовнішніх умов.

**Етап 3.** На основі методу визначення інформативності образів, який докладно розглянутий у [4], розраховуються нестационарні характеристики інформативності  $NSICH_k$  для кожного з  $k$  образів, а також, на основі результатів етапу 0, визначаються загальні характеристики  $ICH_k = SICH_k \cdot NSICH_k$ .

**Етап 4.** Згідно методу консолідації неоднорідних даних, представленого у [5], здійснюється селекція інформативних образів складної системи та усуваються від обробки ті образи, що за поточних зовнішніх умов не задовольняють апріорно заданим значенням  $ICH$ .

**Етап 5.** Відібрані для аналізу образи ранжуються відповідно до їх значень інформативності, згідно методики, запропонованої в [4]. Таким чином, формується багатопоточна черга образів для подальшої обробки.

**Етап 6.** Використовується метод визначення послідовності обробки даних на основі динаміки змін значень ознак складної системи, який запропонований у [19]. В результаті, пріоритет в обробці для кожного образу надається ознакам, які мають максимальну динаміку зміни, порівняно з попереднім етапом гібридного аналізу і класифікації. Таким чином, формується ранжована черга обробки ознак для кожного образу.

**Етап 7.** Здійснюється екстенціональний аналіз [9], в якому методом гібридного розпізнавання, оснований на принципі роздільного аналізу [20] та пошуку груп ідентичних класифікацій [21], здійснюється співставлення ознак складної системи. За кожним образом, обчислюється ступінь його подібності до кожного класу з множини  $\{C\}$ , відповідно до залежності

$$S(P, C) = 1 - \frac{L}{L_{\max}}, \quad (6)$$

де  $L$  – відстань ознаки від репрезентативного значення відповідного класу;

$L_{\max}$  – сума відстаней, отриманих по кожному класу на поточному етапі порівняння ознак.

Достовірність класифікації визначається після кожного циклу порівнянь та обраховується з використанням міри подібності Хемінга [21, 22], яка адаптована для використання даних по визначених групах образів з ідентичною класифікацією:

$$D(C) = \frac{N(C)}{N}, \quad (7)$$

де  $N(C)$  – чисельність групи образів з ідентичною класифікацією до відповідного класу  $C$ .

На цьому етапі, якщо за одним або групою образів отримується наперед заданий рівень достовірності, то наступний етап 8 пропускається і надається отриманий результат класифікації – тобто відповідність поточного стану складної системи одному з наявних класів. Якщо час, виділений для аналізу даних спливає (відповідно до умов «жорсткого» і «м'якого» реального часу, описаних вище) або для кожного класу не отримане задовільне значення  $D(C)$  – здійснюється перехід на етап 8.

**Етап 8.** Здійснюється інтенціональний аналіз [9], в якому уточняється результат класифікації, отриманої на попередньому етапі. Якщо, в результаті такого уточнення, після співставлення досягається бажане значення  $D(C)$ , то подальший аналіз інших ознак припиняється і результат класифікації стану складної системи надається для використання. Якщо, за результатами аналізу усіх наявних ознак, не отримується заданий рівень достовірності  $D(C)$ , чи в результаті класифікації для декількох класів отримані значення  $D(C)$ , що задовольняють завданому значенню, або час, визначений для аналізу даних та класифікації спливає – здійснюється перехід до етапу 9.

**Етап 9.** Відповідно до методу та інформаційної моделі підтримки прийняття рішення у випадку багатоальтернативного результату класифікації [23], формується інформація про групи ідентичних класифікацій з розрахованими останніми значеннями отриманої достовірності. Ця інформація надається в ранжованому вигляді, що дозволяє на основі експертної оцінки визначити остаточний результат класифікації, який, з великою долею ймовірності, буде визначатися першими значеннями виведеної ранжованої послідовності.

Розроблена інформаційна технологія гібридного розпізнавання образів для обробки неоднорідних даних в складних системах може бути використана у будь-яких прикладних застосуваннях. Основними вимогами її використання є наявність широкого спектру неоднорідних даних, що характеризують складну систему, а також, виділення тих характеристик, що мають різну природу виникнення. Як правило переважна більшість складних систем, відповідають цієї умові. Однак, у кожному окремому випадку



дку, може ставати необхідність у додаванні характеристик, що реєструються для подальшого аналізу і класифікації. Це, відповідно, може вимагати розширення номенклатури використаних пристроїв реєстрації. З іншого боку, перегляд наявного переліку технічних засобів реєстрації характеристик, може мати зворотний ефект: додавання до аналізу характеристик різної природи виникнення може створити умови до виключення частини характеристик однієї природи виникнення. Таким чином, для кожного практичного застосування розробленої інформаційної технології, підлягає експертній оцінці набір інформаційних характеристик складної системи з метою визначення раціональної сукупності для побудови образів різної природи виникнення та класифікації засобами гібридного розпізнавання.

Перевірка ефективності розробленої інформаційної технології здійснювалася на трьох абсолютно різних прикладних застосуваннях: інформаційній системі аналізу просторового розподілу температури коксового пирога [24]; інформаційній системі ультразвукового вимірювання лінійної відстані [25]; інформаційній системі визначення ступеня унікальності текстових даних [26]. В усіх прикладних застосуваннях, використання інформаційної технології гібридного розпізнавання образів дозволило підвищити достовірність класифікації при одночасному зменшенні кількості співставлень ознак.

#### Висновки.

Основні науково-технічні результати, представлені в статті, полягають в наступному.

1. Аналіз відомої інформаційної технології обробки неоднорідних даних на основі комбінованого розпізнавання виявив декілька істотних недоліків: організація обчислювальної процедури при великій потужності системи опорних множин вимагає значної кількості машинних операцій для співставлення великої кількості поєднань ознак складної системи; в інформаційній технології взагалі не враховується наявність різноманітних перешкод і викривлень ознак складної системи.

2. На основі проведеного аналізу було визначено важливу науково-технічну задачу розробки нової інформаційної технології гібридного розпізнавання образів для обробки неоднорідних даних складних систем з різноманітними проявами перешкод і викривлень.

3. Для вирішення поставленої задачі, запропонована інформаційна технологія гібридного розпізнавання образів в якій ефективно поєднуються розроблені та оприлюднені раніше методи, моделі та алгоритми консолідованої обробки неоднорідних даних в складних системах на основі апарату гібридного (багатопараметричного) розпізнавання образів.

4. Перевірка ефективності розробленої інформаційної технології було здійснене для трьох різних прикладних застосувань: інформаційній системі аналізу просторового розподілу температури коксового пирога, інформаційній системі ультразвукового

вимірювання лінійної відстані, інформаційній системі визначення ступеня унікальності текстових даних. Для всіх трьох систем було отримано підвищення достовірності класифікації при одночасному зменшенні кількості співставлень ознак при прийнятті рішення.

5. Представлені нові науково-технічні рішення можуть бути використані для обробки неоднорідних даних будь-яких складних систем, ознаки яких мають різну природу виникнення, та на які мають вплив різноманітні перешкоди і викривлення, що мають динамічні зміни в часі.

#### Література

1. Захожай О. І. Інформаційна технологія розпізнавання образів в задачах автоматизованої обробки інформації й управління складними системами / О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій», 2013. – № 01 (013). – С. 61–68.
2. Рябенський В. М. Комбіновані системи розпізнавання образів / В. М. Рябенський, О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій», 2011. – С. 156–160.
3. Захожай О. І. Спосіб розпізнавання образів / О. І. Захожай, О. С. Меняйленко, П. І. Бідюк // Патент на корисну модель № 100078 МПК (2015.01) G06K 9/00; опубл. 10.07.2015, бюл. №13.
4. Захожай О. І. Критерії визначення інформативності та ранжування образів при прийнятті рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання / О. І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2018. – № 27(103). – С. 196–204.
5. Захожай О. І. Селекція раціональної сукупності образів в комбінованих системах розпізнавання / О. І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2013. – № 09(85). – С. 186–192.
6. Вапник В. Н. Теория распознавания образов / В. Н. Вапник, А. Я. Червонекис. – М.: Наука, 1974. – 298 с.
7. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография (научное издание) / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
8. Симанков В. С. Синтез адаптивных АСУ сложными системами с применением моделей распознавания образов / В. С. Симанков, Е. В. Луценко // Автоматизация и современные технологии, 1999. – № 1. – С. 32–37.
9. Захожай О. І. Екстенціонально-інтенціональний підхід до синтезу інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації й управління на базі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів / О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій», 2015. – № 02 (018). – С. 106–111.
10. Захожай О. І. Спільний аналіз інформаційних ознак у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів / О. І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2019. – № 27(103). – С. 78–86.
11. Захожай О. І. Підвищення достовірності розпізнавання об'єктів за умови наявності викривлень їхнього відо-



- браження у просторі образів / О. І. Захожай // Вісник ХНТУ, 2013. – №1 (46). – С.128–131.
12. Журавлёв Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю. И. Журавлёв // Проблемы кибернетики, 1978. – Вып. 33. – С. 5–68.
  13. Журавлев Ю. И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М: Фазис, 2005. – 159 с.
  14. Барабаш Ю. Л. Коллективные статистические решения при распознавании / Ю. Л. Барабаш. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
  15. Niemann H. Pattern recognition and image understanding / H. Niemann, Yu. Zhuravlev, I. Gourevitch, I. Laptev. – Amsterdam: IOS Press, 2000. – 340 p.
  16. Горелик А. Л. Методы распознавания. Изд. 2. / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1984. – 219 с.
  17. Климентьев К. Е. Системы реального времени / К. Е. Климентьев. – Самара: СГАУ, 2008. – 52 с.
  18. Зыль С. Н. QNX Momentics: основы применения / С. Н. Зыль. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 256 с.
  19. Меньяйленко О. С. Основи синтезу класифікаторів технічних систем розпізнавання образів з використанням моделей емоційних процесів людини / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай // Науково-технічний журнал «Науковий вісник Національного гірничого університету», 2015. – № 1 (145). – С. 120–126.
  20. Захожай О. И. Раздельный анализ информационных признаков в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов / О. И. Захожай, А. С. Меньяйленко, В. А. Лыфарь // Problemele Energeticii Regionale, 2019. – № 1-1 (40). – С. 60–68. DOI: 10.5281/zenodo.3239140
  21. Захожай О. І. Прийняття рішень на основі пошуку груп ідентичних класифікацій в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів / О. І. Захожай, В. О. Лифар, О. І. Батурін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2019. – №9 (249). – С. 36–42.
  22. Коваленко І. І. Моделі подання та виведення знань у системах ситуаційного управління / І. І. Коваленко, А. В. Швед, К. О. Антіпова. – Миколаїв: «Гліон», 2018. – 91 с.
  23. Захожай О. І. Консолідація даних та прийняття рішень на основі ранжування груп ідентичних класифікацій в гібридних системах розпізнавання / О. І. Захожай, В. О. Лифар, В. Г. Іванов // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса. – 2019. – № 31(107) – С. 95–103.
  24. Меньяйленко О. С. Комбіновані системи розпізнавання образів при аналізі просторового розподілу температури коксового пирога / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай // Журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи», 2013. – № 12(88). – С. 147–154.
  25. Меньяйленко О. С. Інформаційна технологія автоматизованої обробки даних в багатоканальних системах ультразвукового вимірювання / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», 2014. – № 6 (98). – С. 62–67.
  26. Меньяйленко О. С. Підвищення достовірності перевірки унікальності текстів шляхом використання комбінованих систем розпізнавання образів / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай // Журнал «Системні дослідження та інформаційні технології», 2017. – № 4. – С. 29–37.

## References

1. Zakhzhay O. I. Information technology of patterns recognition in tasks of automated information processing and complex systems controlling / O. I. Zakhzhay // Journal «Problems of information technologies», 2013. – № 01 (013). – P. 61–68.
2. Ryabenskiy V. M. Combined systems of patterns recognition / V. M. Ryabenskiy, O. I. Zakhzhay // Journal «Problems of information technologies», 2011. – P. 156–160.
3. Zakhzhay O. I. Method of patterns recognition / O. I. Zakhzhay, O. S. Menyaylenko, P. S. Bidyuk // Patent of Ukraine 100078 IPC (2015.01) G06K 9/00; publ. 10.07.2015, bull. 13.
4. Zakhzhay O. I. Criteria for the determination of informativity and patterns ranking for making decisions in multiparametric combined recognition systems / O. I. Zakhzhay // Electrotechnical and computer systems, 2018. – 27(103). – P. 196–204.
5. Zakhzhay O. I. The rational aggregate selection of informative patterns in the combined recognition systems / O. I. Zakhzhay // Electrotechnical and computer systems, 2013. – 09(85). – P. 186–192.
6. Vapnik V. N. Theory of patterns recognition / V. N. Vapnik, A. Ya. Chervonenkis. – М.: Nauka, 1974. – 298 p.
7. Simankov V. S. Adoptive controlling of complex systems on theory of patterns recognition: Monography (scientific publication) / V. S. Simankov, E. V. Lutsenko. – Krasnodar: Techn. Univ. Kuban State Technol. univ, 1999. – 318 p.
8. Simankov V. S. Complex systems adaptive AMS synthesis with using the models of patterns recognition / V. S. Simankov, E. V. Lutsenko // Automation and Modern Technologies, 1999. – № 1. – P. 32–37.
9. Zakhzhay O. I. The extensional-intensional approach to the synthesis of information technology of automated data processing and management based on multiparameter combined recognition systems / O. I. Zakhzhay // Journal «Problems of information technologies», 2015. – № 02 (018). – P. 106–111.
10. Zakhzhay O. I. Joint analysis of informational signs in multi-parametric combined patterns recognition systems / O. I. Zakhzhay // Electrotechnical and computer systems, 2019. – № 27(103). – P. 78–86.
11. Zakhzhay O. I. Increasing of object's recognition authenticity for condition of their reflection distortions presence in patterns space. / O. I. Zakhzhay // Bulletin KhNTU, 2013. – №1 (46). – P.128–131.
12. Zhuravlev Yu. I. About algebraic approach to recognition or classification tasks solving / Yu. I. Zhuravlev // Problems of cybernetics, 1978. – Ed. 33. – P. 5–68.
13. Zhuravlyov Yu. I. Recognition. Mathematical methods. Program system. Practical using. / Yu. I. Zhuravlyov, V. V. Ryzanov, O. V. Senko. – М: Phasis, 2005. – 159 p.
14. Barabash Yu. L. Collective statistic solving in time recognition / Yu. L. Barabash. – М.: Radio i svyaz, 1983. – 224 p.
15. Niemann H. Pattern recognition and image understanding / H. Niemann, Yu. Zhuravlev, I. Gourevitch, I. Laptev. – Amsterdam: IOS Press, 2000. – 340 p.
16. Gorelik A. L. Recognition methods. Ed. 2. / A. L. Gorelik, V. A. Skripkin. – М.: Vyshaya shkola, 1984. – 219 p.
17. Klimentiev K. E. Real-time systems / K. E. Klimentiev. – Samara: SSAU, 2008. – 52 p.

18. Zyl S. N. QNX Momentics: base application / S. N. Zyl. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005 – 256 p.
19. Menyailenko A. S. Synthesis fundamentals of classifiers for technical systems of patterns recognition with the use of human's models of emotional processes / A. S. Menyailenko, O. I. Zakhzhay // Science-technical journal «Scientific Bulletin of National Mining University», 2015. – № 1 (145). – P. 120–126.
20. Zakhzhay O. I. Separate Analysis of Informational Signs in Multi-Parametric Combined Patterns Recognition Systems / O. I. Zakhzhay, A. S. Menyaylenko, V. A. Lyfar // Problemele Energeticii Regionale, 2019. – № 1-1(40). – P. 60–68. DOI: 10.5281/zenodo.3239140
21. Zakhzhay O. I. The decision making by the finding of groups with identical classification in multiparametric combined patterns recognition systems / O. I. Zakhzhay, V. O. Lyfar, O. I. Baturin // Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian national university, 2019. – №9 (249). – P. 36–42.
22. Kovalenko I. I. Knowledge representation and output in situate control systems / I. I. Kovalenko, A. V. Shved, K. O. Antipova. – Mykolaiv: «Ilion», 2018. – 91 p.
23. Zakhzhay O. I. The data consolidation and decision making by the ranking of groups with identical classification in hybrid recognition systems / O. I. Zakhzhay, V. A. Lyfar, V. G. Ivanov // Electrotechnical and computer systems, 2019. – № 31(107) – P. 95–103.
24. Menyaylenko A. S. The combined systems of patterns recognition in monitoring of temperature's spatial distribution for coke pie / A. S. Menyaylenko, O. I. Zakhzhay // Electrotechnical and computer systems, 2013. – № 12(88). – P. 147–154.
25. Menyaylenko A. S. The information technology of automated data processing in the multi-channel ultrasonic measurement systems / A. S. Menyaylenko, O. I. Zakhzhay // Scientific Bulletin National Technical University of Ukraine «Kyiv polytechnic institute», 2014. – № 6 (98). – P. 62–67.
26. Menyaylenko A. S. The text-unique verification reliability increasing by using of combined patterns recognition systems / A. S. Menyaylenko, O. I. Zakhzhay // Journal «System research & information technologies», 2017. – № 4. – P. 29–37.

**Захожай О.И. Информационная технология гибридного распознавания образов для обработки неоднородных данных в сложных системах.**

*Гибридное распознавание образов позволяет обрабатывать неоднородные данные за счет представления сложной системы как совокупности образов различной природы возникновения. Это способствует получению желаемого уровня достоверности классификации при динамическом изменении имеющихся во внешней среде помех и искажений. При этом, гибридное распознавание связано с расширением размерности информационного поля анализа данных, что приводит к увеличению временной сложности самого процесса обработки данных и принятия решения. Во многих прикладных применениях, время обработки имеет критическое значение, поэтому для эффективного использования гибридного распознавания образов необходимо решение важной научно-технической задачи обеспечения необходимого уровня достоверности распознавания при одновременном снижении времени получения классификационного решения. В статье представлено решение этой задачи, путем разработки новой информационной технологии гибридного*

*распознавания для обработки неоднородных данных в сложных системах. Согласно этой технологии, процесс обработки осуществляется до момента получения априорно заданного уровня достоверности классификации, или до момента истечения времени, выделенного на сопоставление признаков сложной системы и получения результата. Эффективность разработанных технических решений была проверена на трех различных прикладных информационных технологиях, для которых было получено положительный результат.*

**Ключевые слова:** гибридное распознавание образов, методы принятия решений, информационные системы и технологии, достоверность распознавания, алгоритмы обработки данных.

**Zakhzhay O.I. Information technology of hybrid patterns recognition for heterogenous data processing in complex systems.**

*Hybrid pattern recognition allows to process the heterogeneous data due complex systems description by patterns of difference nature origins. This contributes to obtaining the desired classification confidence level at the dynamical changing interference and distortion of environmental conditions. At the same time, hybrid recognition is associated with the data field extension of data analysis. It leads to increasing the time complexity of data-processing and decision-making. In various applied tasks, processing time have a critical value. The information technology of combined patterns recognition, which is used to process heterogeneous data, has a number of disadvantages, the main of which are: the high time's complexity of the algorithms and consideration of various interferences and distortions is absent too. According with it, for efficient using of hybrid patterns recognition is needed the solving of important scientific and technical task – providing the necessary level of recognition confidence while reducing the time to obtain a classification solution. The article presents a solving this problem by developing a new hybrid recognition information technology for processing heterogeneous data in complex systems. According to this technology, the data processing is carried out until a priori specified classification confidence level is obtained, or before time completion of signs matching process and result obtain. In addition to considering implementation stages of the new information technology, that has been developed, in the article also were attention to the development and justification of the boundary conditions for the hybrid recognition information technology using in relation to the "hard" and "soft" real-times systems. The effectiveness of the developed technical solutions was tested on three different applied solutions, such as: information technology for analyzing of temperature's spatial distribution for coke pie; information technology of automated data processing in the multi-channel ultrasonic measurement systems; information technology of text-unique verification. For these solutions a positive result was obtained in data-processing time decreasing and increasing the classification confidence level.*

**Keywords:** hybrid patterns recognition, decision making methods, information systems and technologies, recognition reliability, data processing algorithms.

**Захожай О. І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля,  
e-mail: zakhzhay.oleg@gmail.com

Стаття подана 28.10.2019.

**ВІСНИК  
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
№ 8 (256) 2019**

**Науковий журнал**

Відповідальний за випуск

Кудрявцев С.О.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

**Статті надруковано в авторській редакції**

Підписано до друку 10.12.2019 р.  
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 17,2. Обл.-вид. арк. 18,6.  
Наклад 300 прим. Вид. № 3251. Заказ № 45. Ціна вільна.

Видавництво  
Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса університета:** просп. Центральний 59-А  
м. Северодонецьк, 93400, Україна  
**E-mail:** [vidavnictvoSNU.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvoSNU.ua@gmail.com)

Надруковано:  
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля  
Адреса: просп. Центральний, 59-а  
м. Северодонецьк, 93400