

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 9 (239)
2017**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Сєверодонецьк 2017

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 9 (239) 2017

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ
ВИХІД З ДРУКУ - ВІСІМНАДЦЯТЬ 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

№ 9 (239) 2017

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 1996
IT IS ISSUED EIGHTEEN 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.

ISSN 1998-7927

Головна редакційна колегія:

Поркуян О.В., докт. техн. наук (головний редактор),
Голубенко О.Л., член-кор. Академії педагогічних наук,
докт. техн. наук (заступник головного редактора),
Марченко Д.М., докт. техн. наук (заступник головного
редактора),
Бузько І.Р., докт. екон. наук, (заступник головного
редактора),

Архипов О.Г., докт. техн. наук,
Глікін М.А., докт. техн. наук,
Горбунов М.І., докт. техн. наук,
Рач В.А., докт. техн. наук,
Рязанцев О.І., докт. техн. наук,
Смолій В.М., докт. техн. наук,
Соколов В.І., докт. техн. наук,
Стенцель Й.І., докт. техн. наук,
Суворін О.В., докт. техн. наук,
Татарченко Г.О., докт. техн. наук,
Чернецька-Білецька Н.Б., докт. техн. наук,
Харламов Ю.О., докт. техн. наук,

Даніч В.М., докт. екон. наук,
Заблудська І.В., докт. екон. наук,
Костирко Л.А., докт. екон. наук,
Рамазанов С.К., докт. техн. наук, докт. екон. наук,
Чернявська Є.І., докт. екон. наук,
Овчаренко Є. Ю., докт. екон. наук,
Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,
Войтович Л.В., докт. іст. наук,
Дьомін О.Б., докт. іст. наук,
Михайлюк В.П., докт. іст. наук,
Сергієнко Ю.Г., докт. іст. наук,
Стяжкіна О.В., докт. іст. наук,
Чернявський Г.И., докт. іст. наук,
Якунін В.К., докт. іст. наук,
Новіков В.П., докт. хім. наук,
Кондратов С.О., докт. хім. наук,
Галстян Г.А., докт. хім. наук,
Галстян А.Г., докт. хім. наук,
Потапенко Е.В., докт. хім. наук,
Голосман Є.З., докт. хім. наук

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 4 від 22 грудня 2017 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2017
© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2017

ЗМІСТ

Адамян Д.Р., Глікіна І.М., Кудрявцев С.О., Глікін М.А. СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ КАТАЛІТИЧНОГО ПРОЦЕСА ОКСИХЛОРУВАННЯ ЕТИЛЕНУ ЗА ДОПОМОГОЮ СНЕМСАД	5
Архипов О. Г., Усов Д. І., Карпюк Л. В., Галабурда Н. І. ДЕГРАДАЦІЯ МЕТАЛУ ГАЗОПРОВІДІВ В УМОВАХ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ	13
Архипов О.Г., Ушакова А.В., Довгалов Л.Ю., Ушакова О.Ю. СКЛАДОВІ СИСТЕМИ КОРОЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ МЕТОДУ HIGH-RESOLUTION ER.....	17
Валігура М.Я. ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК І УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВІТРОРІЗПОДІЛЬНИКІВ ПАСАЖИРСЬКОГО ТИПУ	21
Галстян Г.А., Галстян А.Г.Сєдих Г.О., Бондар О.Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ РЕАКЦІЙ КАТАЛІТИЧНОГО ЦИКЛУ ОКИСНЕННЯ ТОЛУЕНУ ТА ЙОГО ОКСИГЕНПОХІДНИХ ОЗОНОМ В АЦЕТАТНОМУ АНГІДРИДІ	27
Дьомін Р.Ю. РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ШВИДКІСНОГО ВАГОНА	33
Жидков А.Б., Марченко Д.М., Бойко Г.О. ПЕРЕДДЕФЕКТНИЙ СТАН МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТОМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ	38
Кравченко І. В., Зубцов Є. І. ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ ФОТООКИСНЕННЯМ N ₂ O У НІТРОЗНИХ ГАЗАХ	42
Сагайда П.И., Гетьман И.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАТЕГОРИАЛЬНО-ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.....	49
Суворін О. В., Грінь С. О., Кузнєцов П. В., Ожерєдова М. А. ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛУ ТОКСИЧНИХ ВАНАДІЙВІСНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ТА МЕТОДИКА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	58
Тарасов В. Ю. ДЕМІЛІТАРИЗАЦІЯ. ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ БОЄПРИПАСІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	63
Татарченко Г.О., Скурідіна Т.М., Поркуян С.Л. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ	67
Хорошун Г.М., Рязанцев А.О. ТОПОЛОГІЯ ДИФРАКЦІЙНОГО ПОЛЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТРАЄКТОРІЯМИ РУХУ МІКРО- І НАНОЧАСТИНОК.....	72
Асманкіна А.А., Лорія М.Г., Целіщев О.Б., Жидков А.Б. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТУПІНЧАСТОЇ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ З ГІДРОДИНАМІЧНИМ КАВІТАЦІЙНИМ УЛАШТУВАННЯМ	77
Атанова Н.М., Лісова А.Є. ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ISO 14000	81
Чернецька-Білецька Н.Б., Роговий А.С. Баранов І.О., Мірошникова М.В. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА В ТРУБОПРОВІДІ	85
Ganzha S., Marchenko D. THE ALGORITHM FOR PLACING ELEMENTS ON PRINTED CIRCUIT BOARDS WITH A UNIFORM FILLING OF THE SPACE	91

CONTENTS

Adamyan David R., Glikina Irene M., Kudryavtsev Sergey A., Glikin Marat A. CREATION OF THE COMPUTER MODEL OF THE CATALYTIC PROCESS OF OXIDATIVE CHLORINATION OF ETHYLENE WITH THE CHEMCAD SOFTWARE PACKAGE.....	5
Arhypov O. G., Usov D. I., Karpyuk L. V., Galaburda N. I. DEGRADATION OF THE METAL OF GAS PIPELINES UNDER CATHODIC PROTECTION CONDITIONS	13
Arkhipov O.G., Ushakova A.V., Dovgalov L.Y., Ushakova O.Y. STRUCTURE OF THE CORROSION MONITORING SYSTEM BASED ON HIGH-RESOLUTION ER METHOD.....	17
Valigura M.Y. EVOLUTIONAL DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION FEATURES OF PASAZHIRSK TYPE AIRCRAFT	21
Galstyan G.A, Galstyan A. G., Sedych A.A., Bondar A. Y. RESEARCH OF INDIVIDUAL REACTIONS OF THE CATALYTIC CYCLE THE OXIDATION OF TOLUENE AND ITS OXIGENADA OZONE IN ACETIC ANHYDRIDE.....	27
Domin R. CALCULATED ESTIMATION OF DYNAMIC INDICATORS OF A HIGH-SPEED WAGON	33
Zhydkov A.B., Marchenko D.M., Boiko H.O. PRE-DEFECT CONDITION OF METAL CONSTRUCTIONS AND ITS REVEALING BY MAGNETOMETRIC METHODS	38
Kravchenko I. V., Zubtsov Y. I. INCREASE OF ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF NITRIC ACID PRODUCTION BY PHOTOOXIDATION OF N ₂ O IN NITROUS GASES	42
Sahaida P.I., Getman I.A. APPLICATION OF CATEGORICAL-ONTOLOGICAL MODELING METHOD FOR DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC SUPPORT FOR INFORMATION- MEASURING SYSTEM	49
Suvorin A. V., Gryn G. O., Kuznietsov P. V., Ozheredova M. A. CHARACTERISTIC DISTRIBUTION TOXIC VANADIUM-CONTAINING INDUSTRIAL WASTE AND METHODS OF RESEARCH.....	58
Tarasov V. Yu. DEMILITARIZATION. DISPOSAL TECHNOLOGIES OF AMMUNITIONS AND ENERGETIC MATERIALS	63
Tatarchenko G.O., Skuridina T.M., Porkuian S.L. EVALUATION OF ENERGY LOSSOF ADMINISTRATIVE BUILDING.....	67
Khoroshun G.M., Ryazantsev A.O. TOPOLOGY OF THE DIFFRACTION FIELD FOR GUIDING OF MICRO- AND NANOPARTICLES	72
Asmankina A.A., Loriia M.G., Tselishchev O.B., Zhydkov A.B. THE DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS APARTMENT WITH A HYDRODYNAMIC KAVITATION DEVICE MATHEMATICAL MODEL	77
Atanova N.M., Lisova A.E. THE PROBLEMS OF IMPLEMENTING THE ISO 14000.....	81
Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Mirosnykova M. MATHEMATICAL MODELING MOVEMENT OF WATER-COAL FUEL IN PIPELINE.....	85
Ganzha S., Marchenko D. THE ALGORITHM FOR PLACING ELEMENTS ON PRINTED CIRCUIT BOARDS WITH A UNIFORM FILLING OF THE SPACE	91

УДК 661.4:54.06

СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ КАТАЛІТИЧНОГО ПРОЦЕСА ОКСИХЛОРУВАННЯ ЕТИЛЕНУ ЗА ДОПОМОГОЮ CHEMCAD

Адамян Д.Р., Глікiна І.М., Кудрявцев С.О., Глікiн М.А.

CREATION OF THE COMPUTER MODEL OF THE CATALYTIC PROCESS OF OXIDATIVE CHLORINATION OF ETHYLENE WITH THE CHEMCAD SOFTWARE PACKAGE

Adamyan David R., Glikina Irene M., Kudryavtsev Sergey A., Glikin Marat A.

В статті побудована комп'ютерна модель процесу оксихлорування етилену. Проведені дослідження й розглянутий вплив співвідношення реагентів вихідної суміші на вихід 1,2-дихлоретану. Була запропонована схема використання процесу оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану у досконаленій схемі виробництва вінілхлориду в умовах технології аерозольного нанокаталіза.

Ключові слова: оксихлорування, етилен, ChemCad, 1,2-дихлоретан, аерозольний нанокаталіз

1. Вступ

Для побудови комп'ютерної моделі ми використовуємо програмний комплекс ChemCad.

ChemCad був створений для комп'ютерного моделювання хіміко-технологічних процесів при розробці, модернізації та оптимізації хімічних, нафтохімічних та нафтопереробних виробництв.

ChemCad дозволяє математично моделювати хіміко-технологічні процеси, вирішувати завдання дослідження і проектування.

Структура ChemCad - модульна. Це дозволяє складати хіміко-технологічну схему і здійснювати її розрахунок.

Найбільш поширеним продуктом у народному господарстві є хлорорганічні сполуки. Особливо широко розповсюджені вони у полімерній промисловості, як мономери чи розчинники, в сільському господарстві, як сировина для пестицидів та в інших галузях, у якості розчинників та холодоагентів. Різноманітність існування хлорорганічних сполук призводить до постійного створення унікальних технологій їх отримання. При цьому дотримують усі технологічні принципи побудови, які можуть бути поштовхом для створення безвідходних виробництв. Найбільш поширеною хлорвмісною сполукою є 1,2-дихлоретан. Він знайшов широке застосування в якості розчинника для більшості галузей промисловості та як напівпродукт в синтезі більш цінних хло-

роганічних продуктів, наприклад вінілхлориду. [1].

Відомими у загальній хімії є три способи одержання 1,2-дихлоретану:

- хлорування етилену в газовій або рідкій фазі в присутності каталізатора;
- хлорування етану в газовій фазі;
- окисне хлорування етилену в газовій фазі на каталізаторі Дикона.

Однак у промисловості найбільш поширеними є тільки два методи за якими отримують 1,2-дихлоретан:

- пряме хлорування етилену в рідкій фазі в присутності каталізатора (FeCl_3);
- окисне хлорування етилену в паровій фазі на каталізаторі Дикона.

Перший з них є найбільш поширений в промисловості і відноситься до йонно-каталітичного галогенування. Раніше цей процес галогенування олефінів здійснювали в газовій фазі і механізм реакції був радикально-ланцюговий. Використання рідкої фази відзначили, що реакція різко прискорюється, перебігає в розчині й механізм реакції змінюється. Однак це не виключає утворення ряду побічних продуктів. Для їх зниження додатково вводять сполуки – інгібітори ланцюгових реакцій, зокрема кисень.

Окисне хлорування етилену є невід'ємною частиною схеми у виробництві вінілхлориду, який у свою чергу посідає місце одного з провідних цільових хлорорганічних продуктів [2]

Стаття спрямована на вивчення процесу окисного хлорування олефінів на прикладі етилену з одержанням 1,2-дихлоретану.

У тепершній використовують процес оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану, але при об'єднанні з процесом хлорування до однієї схеми. Це дозволило у сучасних технологіях збалансувати витрати і викиди хлору на виробництвах.

У даній статті розглянемо умови перебігу процесу оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану та можливість включення цієї реакції до схеми отримання вінілхлориду за перспективною технологією аерозольного нанокаталізу.

2. Мета й задачі дослідження

Метою роботи є вивчення реакції оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану за допомогою комп'ютерної програми ChemCad з впровадженням його до технологічної схеми виробництва вінілхлориду в умовах аерозольного нанокаталізу.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі:

- проаналізувати існуючі методи одержання 1,2-дихлоретану оксихлоруванням етилену;
- ознайомитись з програмним комплексом ChemCad, створити модель процесу дослідження та проаналізувати вихід цільового продукту;
- визначити вплив параметрів керування перебігом процесу (температура, співвідношення вихідних реагентів);
- припустити схему застосування процесу оксихлорування етилену з одержанням 1,2-дихлоретану.

3. Аналіз методів одержання

1,2-дихлоретану оксихлоруванням етилену

Відомим фактом є те, що процес оксихлорування вуглеводнів дозволяє утилізувати газоподібний хлороводень, як продукт процесів хлорування і дегідрохлорування при виробництві хлорорганічних продуктів.

При використанні комбінованої схеми виробництва вінілхлориду досягається повне використання хлору. При цьому в схемі одночасно поєднуються пряме хлорування і оксихлорування етилену та принципову схему можливо побачити на Рис. 1.

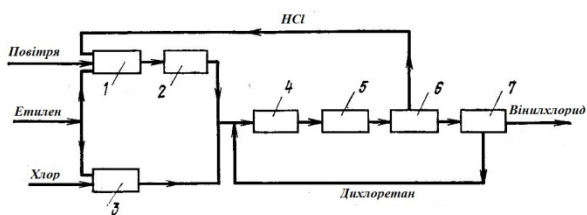


Рис. 1. Схема хлорування етилену з використанням відводу хлористого водню:

- 1 - реактор окисного хлорування; 2 - вузол виділення дихлоретану; 3 - реактор хлорування; 4 - агрегат очищення дихлоретану; 5 - реактор крекінгу дихлоретану; 6 - агрегат очищення хлористого водню; 7 - агрегат очищення вінілхлориду

За цією схемою етилен паралельно подають в реактор 3 прямого хлорування і в реактор 1 окисного хлорування. У реактор 1 також подають хлористий водень і повітря. Хлористий водень повертають зі стадії прямого хлорування етилену. Окисне хлорування проводять при 200-300 °С в присутності каталізатора. Агрегат 2 призначений для виділення

дихлоретану, який разом з дихлоретаном із реактора 3 надходить на очистку в агрегат 4. Агрегат 5 призначений для крекінгу дихлоретану. Очищення хлористого водню проводять у вузлі 6, очищений газ повертають в процес. Очищення вінілхлориду проводять в вузлі 7, а відокремлений дихлоретан повертають у цикл [3].

У 1960-х рр. процес оксихлорування етилену в нерухомому шарі каталізатора розроблений компанією «Штауффер». Процес зазвичай багатостадійний, що полегшує управління сильноекзотермічною реакцією.

Принципова схема оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану у трубчатому реакторі з нерухомим шаром представлена на Рис. 2.

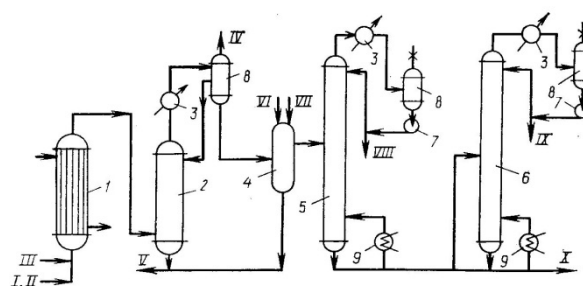


Рис. 2. Принципова схема отримання 1,2-дихлоретану окисним хлоруванням етилену:

- 1 - реактор; 2 - гартівна колона; 3 - холодильник; 4 - нейтралізатор; 5, 6 - ректифікаційні колони; 7 - насос; 8 - збірник; 9 - кип'ятильник; І - НСІ; ІІ - повітря; ІІІ - C_2H_4 ; ІV - на абсорбцію; ІV - на очистку; ІVІ - вода; ІVІІ - NaOH; ІVІІІ - легка фракція; ІХ - 1,2-дихлоретан; Х - кубові залишки

При використанні цієї схеми в трубчастий реактор 1 подають етилен, НСІ і повітря. Реакція відбувається при 210-260 °С в присутності каталізатора алюміній оксиду або алюмосилікату, покритого хлоридом міді. В процесі застосовують невеликий надлишок етилену. У гартівній колоні 2 відокремлюють НСІ. Інертні гази відходять зверху збірника 8, верхній шар з якого надходить в колона 2, а хлоровмісний продукт нейтралізують і промивають в колоні 4, далі розділяють в секції ректифікації на легку фракцію і дихлоретан в колонах 5 і 6. Кубові залишки відводять. У колоні 5 також осушують вологий дихлоретан азеотропною перегонкою.

Питома витрата сировини і енергоресурсів у виробництві 1,2-дихлоретану хлоруванням етилену: етилен - 0,315 т; хлор - 0,72 т; електроенергія - 16,3 кВт·ч; водяна пара - 3 ГДж; вода - 55 м³; холод - 2,9 ГДж [2].

Процес оксихлорування етилену проводили й у псевдозрідженому шарі. Одна з таких схем представлена на Рис. 3. Це схема трьохстадійної установки оксихлорування з реактором для вилучення етилену.

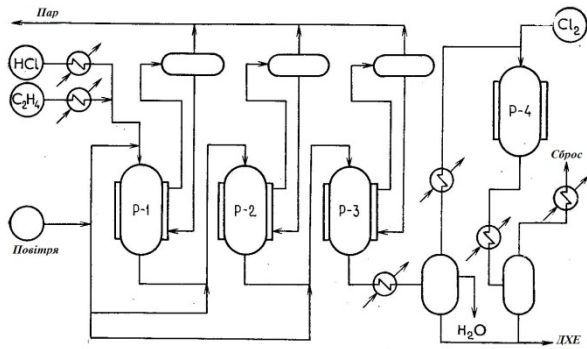


Рис. 3. Система оксихлорування етилену в нерухомому шарі каталізатора з реактором для вилучення етилену

Процес оксихлорування в реакторі з псевдозрідженим шаром проводять на каталізаторі, який створений за схемою Б.Ф. Гудріча. Процес був відкрит в 1960-х роках. Киплячий шар є ізотермічним процесом, температура по всьому реактору однакова в межах 220-225 °С. Для збільшення ефективності процесу і полегшення конденсації дихлоретану підтримують тиск в реакторі трохи вище атмосферного (1,7-2,5 атм). У процесі використовують каталізатор Дикона, у якому активним компонентом є дихлорид міді. При цьому Б.Ф. Гудріч вказав, що переважно використовувати 3,5-7% мас. міді і 7,4-14,8% мас - CuCl_2 . Якщо вміст міді перевищує 12%, то швидкість реакції не підвищується і виникає небезпека спікання каталізатора.

На Рис. 4 показана ще одна система оксихлорування етилену в киплячому шарі каталізатора.

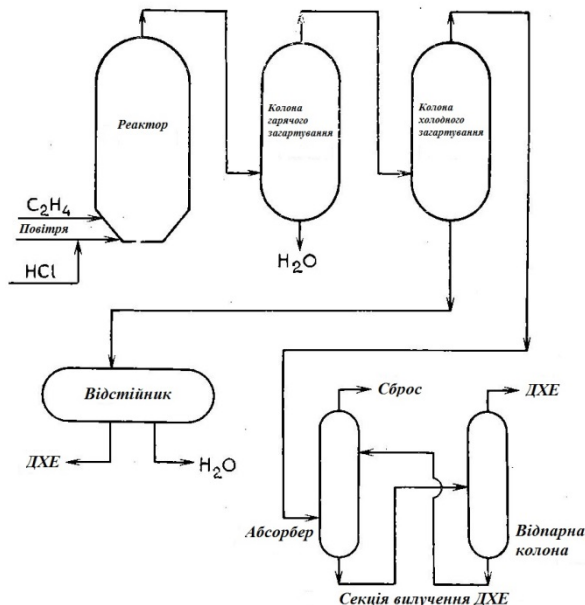


Рис. 4. Система оксихлорування етилену в киплячому шарі каталізатора

Більшість цієї системи зайнята процесами очищення дихлоретану від інших продуктів. Система очищення складається з декількох складних апаратів [4].

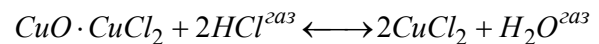
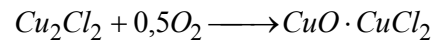
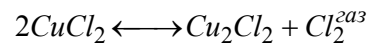
При розгляді існуючих методів перебігу процесу оксихлорування етилену з отриманням 1,2-дихлоретану було виявлено, що даний процес, за роки свого існування постійно вдосконалювався. Відзначимо, що навіть за невисокої температури в реакторах можуть виникнути «гарячі» зони, які призводять до втрати селективності. Вияснено, що при використанні реактора з нерухожим шаром каталізатора, останній має складну трубчасту конструкцію.

В ході процесу виникають труднощі з регулюванням температури через виділення великої кількості теплоти. Існують проблеми з використанням багатокомпонентного каталізатора та складність його приготування. В процесі з нерухожим шаром ще можуть паралельно утворюватися й інші сполуки, що містять хлор, окрім дихлоретану.

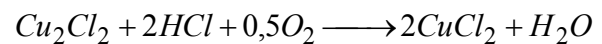
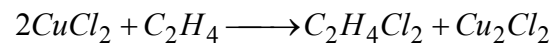
4. Хімізм і механізм процесу оксихлорування етилену

Основою процесу оксихлорування служить газофазний процес окислення хлориду водню на каталізаторах, що містять хлорид міді (реакція Дикона). Відомо, що при спільному перебігу процесів Дикона і хлорування рівновага реакції зсувається за рахунок використання хлору, тому HCl повністю витрачається.

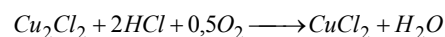
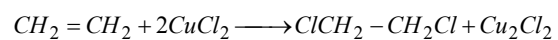
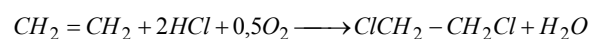
Реакції оксихлорування практично необоротні, при цьому хлорид міді залишається єдиним каталізатором окислення HCl і процесу оксихлорування. Для цього Диконом була запропонована схема окислення HCl :



Після цього був ще запропонований механізм отримання 1,2-дихлоретану при взаємодії етилену з дихлоридом міді, з утворенням відновленої форми міді:



Тому в разі окисного хлорування етилену при 210-280 °С відбувається приєднання хлору на місці подвійного зв'язку. Встановлено, що хлорування здійснюється не хлором, а дихлоридом міді, який під дією HCl і O_2 регенерується:



Передбачається, що в присутності кисню Cu_2Cl_2 окиснюється в оксохлориди міді (II), а в присутності HCl переходить в CuCl_2 [5].

5. Методика побудова схеми та ввід даних її модуль для процесу оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану

Спочатку роботи с програмою ChemCad ми вибираємо одиниці вимірювання параметрів величин. Для досліджуваного процесу оксихлорування етилену приймаємо наступні одиниці: годину; кмоль; °C; кПа; атомні частки.

Далі зі списку речовин бази даних програми необхідно вибрати усі речовини, які беруть участь і утворюються в ході хімічної взаємодії.

Програма має свого майстра термодинаміки, тому для досліджуваного процесу встановлюємо моделі розрахунку константи рівноваги і ентальпії. У програмному комплексі ChemCad до цих параметрів входить інтервал величин по температурі й тиску. У нашому випадку вибір показаний на Рис. 5.

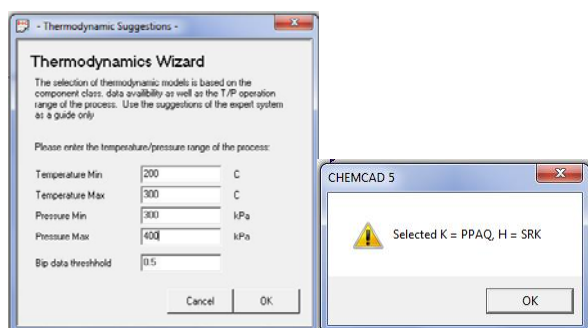


Рис. 5. Панель вводу фізико-хімічних величин параметрів процесу оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану

Схема, яка описує процес оксихлорування етилену з одержанням 1,2-дихлоретану у програмі ChemCad виглядає як показано на Рис. 6.

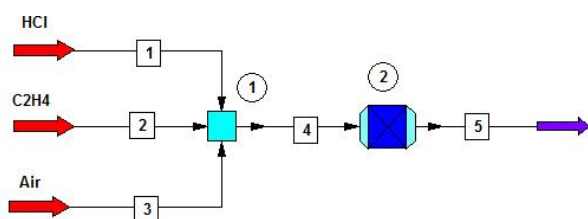


Рис. 6. Комп'ютерна модель схеми процесу оксихлорування етилену з одержанням 1,2-дихлоретану

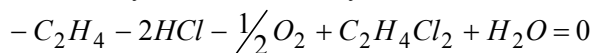
В цій схемі використано 5 модулів програми, а саме:

- потік живлення;
- потік продукту
- формування потоків, що пов'язують апарати, а також елементи, відповідні потокам живлення і продуктових потоків;
- модуль змішування потоків;
- моделювання однієї хімічної реакції – модуль стехіометричного реактора.

Важливим фактом є те, що модулі пов'язані з хімічною реакцією мають тільки один потік живлення та один потік продукту. Тому якщо до реакто-

ру надходить суміш, тоді необхідно використовувати модуль змішування потоків.

Брутто-реакція процесу оксихлорування етилену з одержанням 1,2-дихлоретану для системи ChemCad буде виглядати наступним чином:



Виділивши на схемі змішувач 1, знаходимо й натискаємо панель «Редагувати параметри потоків модуля» та у відкритому вікні ми вводим параметри усіх трьох вхідних потоків за дослідженням та обчисленими кількостями речовин при відповідному співвідношенні.

Коли ми виділили на схемі модуль реактора, знаходимо й натискаємо команду Edit Unit On Data та виводимо панель реактора. На цій панелі задаємо температуру ізотермічного процесу, ступінь перетворення ключового компонента (у нашому випадку ми взяли HCl), стехіометричні коефіцієнти балансового рівняння реакції (Рис. 7).

Після вводу параметрів процесу виконують розрахунок та виводять меню видачі звіту й вказують у якому вигляді слід виводити результати розрахунку [6].

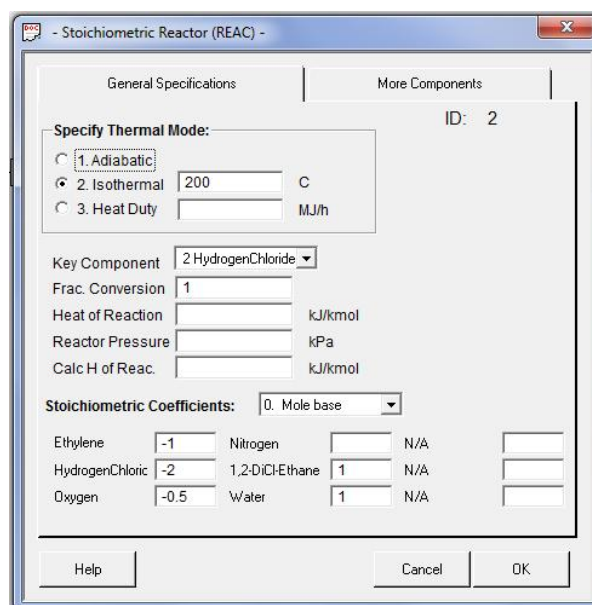


Рис. 7. Панель вводу параметрів стехіометричного реактора процесу оксихлорування етилену з одержанням 1,2-дихлоретану

6. Результати дослідження процесу оксихлорування етилену

Розрахунок будемо вести на 1000 кг етилену ($n_1 = 36,65$ кмоль), при цьому підтримуючи постійним тиск 350 кПа та температуру 220 °C.

При аналізі літератури було з'ясовано, що мольне співвідношення $C_2H_4:O_2:HCl=1:(0,75-0,8):(1,85-1,9)$ сприяє високій конверсії вихідних речовин і досить високим виходом цільового продукту (1,2-дихлоретану). При цьому температура процесу досягає 210-230 °C і тиск – 0,35-0,5 МПа.

В експерименті №1 ми досліджували співвідношення вихідних речовин $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,8:1,9$.

Для дослідження нам знадобиться кількість вихідних речовин у кмоль, які ми й обчислюємо:

$$HCl: n_3 = 1.9 \cdot n_1 = 1.9 \cdot 36.65 = 67.74$$

$$O_2: n_4 = 0.8 \cdot n_1 = 0.8 \cdot 36.65 = 29.32$$

$$N_2: n_5 = n_4 \cdot 0.79/0.21 = 29.32 \cdot 0.79/0.21 = 110.3$$

Результати розрахунку цього матеріального балансу наведені у Таблиці 1.

В експерименті №2 ми досліджували співвідношення вихідних речовин $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,75:1,85$.

Для дослідження нам знадобиться кількість вихідних речовин у кмоль, які ми й обчислюємо:

$$HCl: n_3 = 1.85 \cdot n_1 = 1.85 \cdot 36.65 = 67.80$$

$$O_2: n_4 = 0.75 \cdot n_1 = 0.75 \cdot 36.65 = 27.49$$

$$N_2: n_5 = n_4 \cdot 0.79/0.21 = 27.49 \cdot 0.79/0.21 = 103.4$$

Результати розрахунку цього матеріального балансу наведені у Таблиці 2.

В експерименті №3 ми досліджували співвідношення вихідних речовин $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,6:1,7$.

Для дослідження нам знадобиться кількість вихідних речовин у кмоль, які ми й обчислюємо:

$$HCl: n_3 = 1.7 \cdot n_1 = 1.7 \cdot 36.65 = 62.31$$

$$O_2: n_4 = 0.6 \cdot n_1 = 0.6 \cdot 36.65 = 21.99$$

$$N_2: n_5 = n_4 \cdot 0.79/0.21 = 21.99 \cdot 0.79/0.21 = 82.72$$

Результати розрахунку цього матеріального балансу наведені у Таблиці 3.

В експерименті №4 ми досліджували співвідношення вихідних речовин $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,85:1,95$.

Для дослідження нам знадобиться кількість вихідних речовин у кмоль, які ми й обчислюємо:

$$HCl: n_3 = 1.95 \cdot n_1 = 1.95 \cdot 36.65 = 71.47$$

$$O_2: n_4 = 0.85 \cdot n_1 = 0.85 \cdot 36.65 = 31.15$$

$$N_2: n_5 = n_4 \cdot 0.79/0.21 = 31.15 \cdot 0.79/0.21 = 117.18$$

Результати розрахунку цього матеріального балансу наведені у Таблиці 4.

В експерименті №5 ми досліджували співвідношення вихідних речовин $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,7:1,8$.

Для дослідження нам знадобиться кількість вихідних речовин у кмоль, які ми й обчислюємо:

$$HCl: n_3 = 1.8 \cdot n_1 = 1.8 \cdot 36.65 = 65.97$$

$$O_2: n_4 = 0.7 \cdot n_1 = 0.7 \cdot 36.65 = 25.66$$

$$N_2: n_5 = n_4 \cdot 0.79/0.21 = 25.66 \cdot 0.79/0.21 = 96.53$$

Результати розрахунку цього матеріального балансу наведені у Таблиці 5.

У ході експерименту був визначений тепловий ефект при різних значеннях температури. Залежність представлена на Рис. 8.

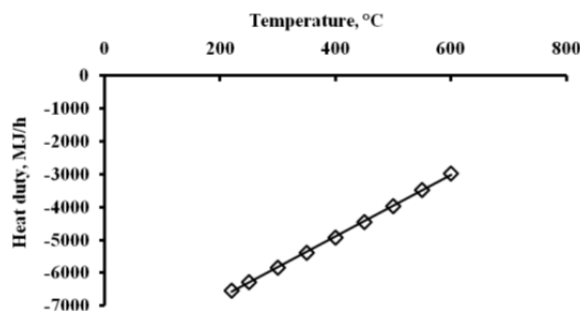


Рис. 8. Тепловий ефект процесу оксихлорування етилену до 1,2-дихлоретану в інтервалі температур 200-600 °C

Таблиця 1

**Матеріальний баланс процесу при співвідношенні $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,8:1,9$
Overall Mass Balance**

	kmol/h		kg/h	
	Input	Output	Input	Output
Ethylene	36.650	2.780	1028.179	77.990
HydrogenChloride	67.740	0.000	2469.868	0.000
Oxygen	29.320	12.385	938.211	396.308
Nitrogen	110.300	110.300	3089.944	3089.944
1,2-DiCl-Ethane	0.000	33.870	0.000	3351.741
Water	0.000	33.870	0.000	610.168
Total	244.010	193.205	7526.202	7526.151

Таблиця 2

**Матеріальний баланс процесу при співвідношенні $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,75:1,85$
Overall Mass Balance**

	kmol/h		kg/h	
	Input	Output	Input	Output
Ethylene	36.650	2.750	1028.179	77.149
HydrogenChloride	67.800	0.000	2472.056	0.000
Oxygen	27.490	10.540	879.653	337.269
Nitrogen	103.400	103.400	2896.648	2896.648
1,2-DiCl-Ethane	0.000	33.900	0.000	3354.710
Water	0.000	33.900	0.000	610.709
Total	235.340	184.490	7276.535	7276.484

Таблиця 3

**Матеріальний баланс процесу при співвідношенні $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,6:1,7$
Overall Mass Balance**

	kmol/h		kg/h	
	Input	Output	Input	Output
Ethylene	36.650	5.495	1028.179	154.157
HydrogenChloride	62.310	0.000	2271.885	0.000
Oxygen	21.990	6.412	703.658	205.194
Nitrogen	82.720	82.720	2317.318	2317.318
1,2-DiCl-Ethane	0.000	31.155	0.000	3083.068
Water	0.000	31.155	0.000	561.257
Total	203.670	156.938	6321.040	6320.993

Таблиця 4

**Матеріальний баланс процесу при співвідношенні
C₂H₄:O₂:HCl=1:0,85:1,95
Overall Mass Balance**

	kmol/h		kg/h	
	Input	Output	Input	Output
Ethylene	36.650	0.915	1028.179	25.669
HydrogenChloride	71.470	0.000	2605.868	0.000
Oxygen	31.150	13.283	996.769	425.027
Nitrogen	117.180	117.180	3282.680	3282.680
1,2-DiCl-Ethane	0.000	35.735	0.000	3536.300
Water	0.000	35.735	0.000	643.766
Total	256.450	202.848	7913.497	7913.442

Таблиця 5

**Матеріальний баланс процесу при співвідношенні
C₂H₄:O₂:HCl=1:0,7:1,8
Overall Mass Balance**

	kmol/h		kg/h	
	Input	Output	Input	Output
Ethylene	36.650	3.665	1028.179	102.818
HydrogenChloride	65.970	0.000	2405.332	0.000
Oxygen	25.660	9.168	821.094	293.351
Nitrogen	96.530	96.530	2704.191	2704.191
1,2-DiCl-Ethane	0.000	32.985	0.000	3264.162
Water	0.000	32.985	0.000	594.225
Total	224.810	175.333	6958.797	6958.747

7. Аналіз отриманих результатів

Для полегшення розглядання експериментальних даних представимо результати експериментів у вигляді таблиці 6.

Це дозволяє більш детально розглянути умови перебігу процесу та провести подальший аналіз результатів.

З результатів таблиці 6 видно, що зі збільшенням співвідношення масовий вихід 1,2-дихлоретану незначно зростає. При цьому можливо відмітити деякі співвідношення, при яких отримували практично однаковий вихід 1,2-дихлоретану. Цими співвідношеннями є C₂H₄:O₂:HCl=1:0,8:1,9 та C₂H₄:O₂:HCl=1:0,75:1,85.

Вплив маси хлороводню у вихідній суміші на вихід масової кількості продуктів показана на Рис. 9. Бачимо, що маса 1,2-дихлоретану плавно збільшується зі збільшенням кількості хлороводню у вихідній суміші, при цьому отримана кількість води майже не змінюється.

Відомим фактом є те, що етилен у суміші з повітрям вибухонебезпечний, тому він має свої межі вибуховості, а саме нижню межу вибуховості – 2,75% об., верхню межу вибуховості – 28,6 %об. З цього слід, що даний процес треба проводити при вибухобезпечній межі за етиленом [7].

Залежність виходу 1,2-дихлоретану від об'ємної концентрації етилену у вихідній суміші показана на Рис. 10.

Таблиця 6

Результати експериментів з впливом співвідношення речовин

Співвідношення реагентів	Кількість речовин на виході з системи							
	C ₂ H ₄		O ₂		C ₂ H ₄ Cl ₂		H ₂ O	
	кг/год	%мол.	кг/год	%мол.	кг/год	%мол.	кг/год	%мол.
C ₂ H ₄ :O ₂ :HCl								
1:0,85:1,95	25,669	0,45	425,027	6,55	3536,3	17,62	643,766	17,62
1:0,8:1,9	77,99	1,44	396,308	6,41	3351,741	17,53	610,168	17,53
1:0,75:1,85	77,149	1,49	337,269	5,71	3354,710	18,375	610,709	18,375
1:0,7:1,8	102,818	2,09	293,351	5,23	3264,162	18,8	594,225	18,8
1:0,6:1,7	154,157	3,5	205,194	4,09	3083,068	19,85	561,257	19,85

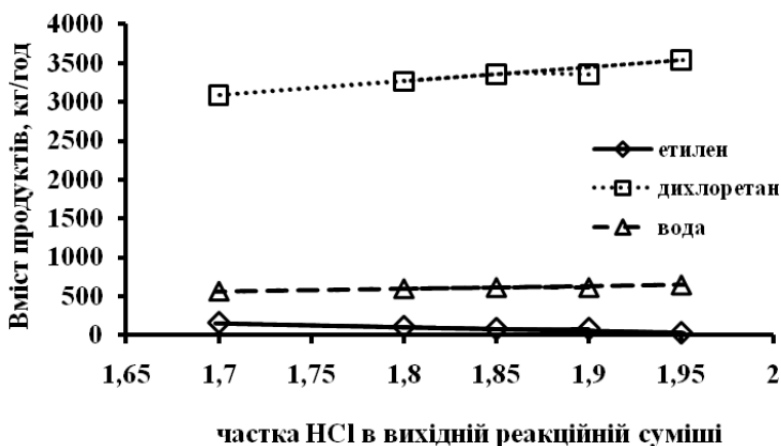


Рис. 9. Залежність виходу продуктів реакції від частки HCl вихідній реакційній суміші

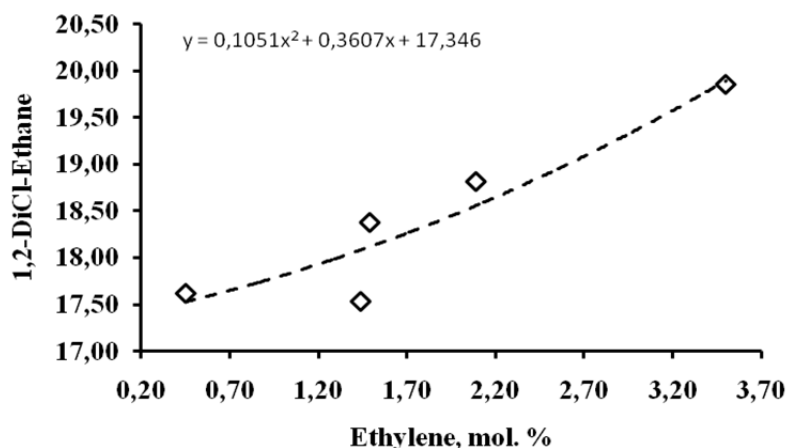


Рис. 10. Залежність виходу 1,2-дихлоретану від концентрації етилену у вихідній суміші

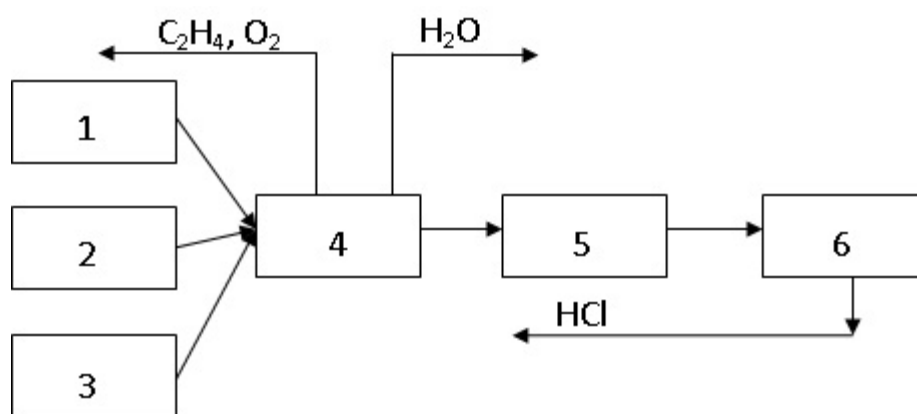


Рис. 11. Блок-схема отримання вінілхлориду через оксихлорування етилену:
 1 - етилен; 2 - хлороводень; 3 - кисень повітря; 4 - процес оксихлорування етилену з виділенням C_2H_4 , O_2 і H_2O - для охолодження; 5 - піроліз 1,2-дихлоретану методом аерозольного нанокаталізу;
 6 - відділення вінілхлориду від інших продуктів з виділенням HCl - для рецикла

Можливо розглядити, що зі зростом концентрації етилену, вихід 1,2-дихлоретану різко збільшується. Однак у дослідженному інтервалі співвідношень найбільший вихід 1,2-дихлоретану отримали при концентрації етилену 3,5%об., але вона входить до межі вибуховості етилену. Тому ми пропонуємо в якості результату розрахунку за концентрацією етилену в вихідній суміші використовувати концентрацію етилену 2,1%.

8. Застосування процесу оксихлорування етилену у технологічній схемі

Досліджений в роботі процес можна застосувати в технологічній схемі отримання вінілхлориду. При цьому існуючу схему ми трохи вдосконалюємо за рахунок перспективної технології аерозольного нанокаталізу. Представлену на Рис. 11 вдосконалену схему отримання вінілхлориду через етап отримання 1,2-дихлоретану ми вважаємо здатної до життя.

Згідно цієї схеми процес піролізу 1,2-дихлоретану був вдосконалено розглянутий в лабора-

торних умовах та доказано можливість його перебігу за технологією аерозольного нанокаталізу. Процес йде при температурі 300 °С, атмосферному тиску на гетерогенному каталізаторі окись міді, який знаходиться у дрібнозрідженому шарі [8].

Ми вважаємо, що для всієї схеми можливо використати для перебігу хімічних перетворень технологію аерозольного нанокаталізу. При цьому процес оксихлорування етилену проводити при температурі 220 °С та на гетерогенному каталізаторі, а саме окисі міді.

Висновки

У даній роботі була проаналізована стадія оксихлорування етилену для виробництва вінілхлориду. Визначено умови перебігу цього процесу при різних співвідношеннях вихідної суміші і розглянута можливість використання технології аерозольного нанокаталізу для здійснення процесу.

В результаті роботи більш детально були:

1. розглянуті способи перебігу оксихлорування етилену та виявлені можливі параметри управління (температура, співвідношення реагентів, допустима концентрація етилену в суміші з обраним інтервалом.

2. побудована комп'ютерна модель та проаналізовані зміни виходу продуктів реакції оксихлорування етилену в 1,2-дихлоретан за допомогою комп'ютерної системи ChemCad.

3. обрані прийнятні умови параметрів управління процесом оксихлорування етилену. А саме – температура 220 °С, $C_2H_4:O_2:HCl=1:0,7:1,8$.

4. зроблено припущення про можливість застосування технології аерозольного нанокаталізу для процесу оксихлорування етилену у сумісній схемі одержання винілхлориду піролізом 1,2-дихлоретану.

Література

1. Промышленные хлороорганические продукты : справочник / Л. А. Ошин, Ю. А. Трегер, Г. В. Мотарев и др.; под ред. Л. А. Ошина. – Москва:Химия, 1978. – 654 с.
2. Химия и технология галогенорганических соединений / Ф.Ф. Мугалинский, Ю.А. Трегер, М.М. Люшиню – М.:Химия, 1991. – 272 с.
3. Гуревич Д.А. Переработка отходов в промышленности полупродуктов и красителей. – М.:Химия, 1980. – 160 с.
4. Катализ промышленности: в 2-х т. Т.1 / Под ред. Б. Лича. – М.:Мир, 1986. – 324 с.
5. Тимофеев В.С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: Учеб. Пособие для вузов / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов. – М.:Высшая школа, 2003. – 536 с.
6. Математическое моделирование химико-технологических систем с использованием программы ChemCad: Учебно-методическое пособие / Казан. гос. технол. ун-т. Сост.: Н.Н. Зиятдинов, Т.В. Лаптева, Д.А. Рыжов. – Казань, 2008. – 160 с.
7. <http://forca.com.ua/info/bezopasnost/predely-vzryvaemosti-gazov-i-parov-v-vozduhe-i-kislorode.html> - Пределы взрываемости газов и паров в воздухе и кислороде
8. Ляскевич В. С., Гликина И. М. Пиролиз дихлорэтана в условиях аерозольного нанокатализа. Схема промышленной реализации // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, № 9(216), 2014. – С.114-120

References

1. Promishlenie khlороorganitseskie produkty : spravotsnik / L. A. Oshin, Yu. A. Treger, G. V. Motsarev i dr.; pod red. L. A. Oshina. – M.:Khimiya, 1978. – 654 s.
2. Khimiya i tekhnologiya galogenorganitseskikh soedinenij / F. F. Mugalinskiy, Yu. A. Treger, M. M. Lyushinyu – M.:Khimiya, 1991. – 272 s.
3. Gurevich D. A. Pererabotka otkhodov v promishlennosti poluproduktov i krasiteley. – M.:Khimiya, 1980. – 160 s.
4. Kataliz v promyshlenosti: v 2-kh t. T.1 / Pod red. B. Licha. – M.:Mir, 1986. – 324 s.
5. Timofeev V.S. Printcipi tekhnologii osnovnogo organicheskogo i heftekhimicheskogo sinteza: Ucheb. Posobie dlya vuzov / V. S. Timofeev, L. A. Serafimov. – M.:Vyshaya shkola, 2003. – 536 s.

6. Matematicheskoe modelirovanie khimiko-tekhnologicheskikh sistem s ispolizovaniem programmi ChemCad : Uchebno-metodicheskoe posobie / Kazan. Gos. Tekhnol. Univer. Sost. N. N. Ziyatdinov, T. V. Lapteva, D. A. Ryzhov. – Kazan, 2008. - 160 s.
7. <http://forca.com.ua/info/bezopasnost/predely-vzryvaemosti-gazov-i-parov-v-vozduhe-i-kislorode.html> - Predeli vzryvaemosti gazov i parov v vozduke i kislorode
8. Lyaskevich V. S. Piroлиз dikhloretana v usloviyakh aерozolnogo kataliza. Skhema promishlennoy realizatsii / V. S. Lyaskevich, I. M. Glikina // Visnik SNU im. V. Dalya, 9(216), 2014. – S. 114-120

Адамян Д.Р., Гликина И.М., Кудрявцев С.А., Гликин М.А. Создание компьютерной модели каталитического процесса оксихлорирования этилена при помощи ChemCad.

Построена компьютерная модель процесса оксихлорирования этилена с получением 1,2-дихлорэтана. Проведены исследования и рассмотрено влияние соотношения исходных реагентов смеси на выход 1,2-дихлорэтана. Предложена схема применения процесса оксихлорирования этилена до 1,2-дихлорэтана. Схема представляет собой перспективное направление. 1,2-дихлорэтан используют как сырье для получения винилхлорида пиролизом в условиях аерозольного нанокатализа. Предполагаем, что процесс оксихлорирования этилена до 1,2-дихлорэтана также реально проводить по технологии аерозольного нанокатализа.

Ключевые слова: оксихлорирование, ChemCad, 1,2-дихлорэтан, аерозольный нанокатализ

Adamyan David R., Glikina Irene M., Kudryavtsev Sergey A., Glikin Marat A. Creation of the computer model of the catalytic process of oxidative chlorination of ethylene with the ChemCad software package

A computer model of the process of oxychlorination of ethylene with the preparation of 1,2-dichloroethane is constructed. The investigations were conducted and the effect of the ratio of the initial reactants of the mixture on the yield of 1,2-dichloroethane was examined. The scheme of application of the process of oxychlorination of ethylene to 1,2-dichloroethane is proposed. The scheme is a promising direction. 1,2-dichloroethane is used as a raw material for the production of vinyl chloride by pyrolysis under aerosol nanocatalysis conditions. We assume that the process of oxychlorination of ethylene to 1,2-dichloroethane is also feasible in the aerosol nanocatalysis technology.

Key words: oxychlorination, ChemCad, 1,2-dichloroethane, aerosol nanocatalysis

Адамян Д.Р. - учень 11 класу Северодонецької загальноосвітньої школи I-III ступенів № 10

Гликіна І.М. – д.т.н., доцент, професор кафедри хімічної інженерії та екології, СХУ ім. Даля, e-mail: irene555@i.ua

Кудрявцев С.О. - к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології, СХУ ім. Даля, e-mail: irene555@i.ua

Глікін М.А. – д.т.н., професор, засл. діяч науки і техніки України, професор кафедри хімічної інженерії та екології, СХУ ім. Даля, e-mail: irene555@i.ua

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

УДК 620.193

ДЕГРАДАЦІЯ МЕТАЛУ ГАЗОПРОВІДІВ В УМОВАХ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ**Архипов О. Г., Усов Д. І., Карпюк Л. В., Галабурда Н. І.****DEGRADATION OF THE METAL OF GAS PIPELINES UNDER CATHODIC PROTECTION CONDITIONS****Arhypov O. G., Usov D. I., Karpyuk L. V., Galaburda N. I.**

Проаналізовано структурні зміни металу труб газопроводу і ступінь наводнювання окремих його ділянок. Труби, що знаходилися в експлуатації тривалий час, були виготовлені зі сталі Сталь 20. Для досліджень обрано труби Ду273 з товщиною стінки 8 мм. Для виготовлення анодів використовувалися труби Ду159 з товщиною стінки 6 мм після 20 років експлуатації в складі газопроводу, а потім порізані на ділянки довжиною 20 метрів. Для активації роботи анодів використовувалися хімічно активні речовини, що викликало зменшення опору в системі анод-грунт. Результати структурних змін металу труб дозволили визначити тенденції деградації металу та намітити шляхи для подальших досліджень з метою подовження їх експлуатаційного ресурсу.

Ключові слова: деградація, опір ґрунту, корозія, наводнювання металу

Вступ. Значна кількість газо- і нафтопроводів в Україні знаходиться в експлуатації тривалий час. Відомо, за тривалої дії агресивного середовища можуть відбуватися структурні зміни металу, що обумовлює погіршення механічних і інших характеристик металу [1-3]. Силоне навантаження на труби у вигляді внутрішнього тиску, власної ваги, нерівномірного навантаження ґрунту, температурних коливань прискорюють цей процес, а можливе наводнювання веде з часом до експлуатаційної об'ємної деградації металу. Враховуючи розгалуженість трубопроводної системи, значущість трубопроводного транспорту для економіки, безпека її експлуатації є пріоритетною задачею. Однією з загроз для трубопроводів є корозія металу. Для захисту від корозії використовуються пасивні і активні методи захисту. Пасивний захист реалізується у вигляді нанесення різноманітних ізолюючих покриттів. Катодний захист є одним з найбільш поширених методів активного захисту. Але ступінь захисту суттєво залежить від багатьох факторів: складу ґрунту, відстані від точки дренажу катодної станції, пори року, рівня ґрунтових вод тощо. Дослідження змін, що відбуваються з металом трубопроводів за час тривалої ек-

сплуатації з врахуванням віддаленості від катодної станції, є предметом даної роботи. Врахування деградаційних процесів підвищує безпеку експлуатації і дозволяє більш оптимально планувати ремонтні роботи.

Викладення основного матеріалу. Предметом досліджень були труби газопроводу Ду273, виготовлені зі сталі Сталь 20. В експлуатації досліджувана ділянка газопроводу знаходилась 51 рік. За цей час газопроводом транспортувався природний газ з середнім тиском 30 кг/см². Як відомо, захисний потенціал певної ділянки трубопроводу, що накладається катодною станцією, суттєво залежить від таких факторів, як склад ґрунту, відстані ділянки труби від точки дренажу катодної станції, стану ізоляційного покриття, електричного опору системи анод-грунт тощо. Величина потенціалу протягом року може змінюватися внаслідок дії зовнішніх чинників. Для досліджень були вибрані фрагменти трубопроводу, що знаходились під захистом тієї ж самої катодної станції, але на різній відстані від неї. Були проведені металографічні дослідження, визначені величини наводнювання металу.

Крім того, досліджувались зміни електричного опору системи анод-грунт на анодах, робота яких була поліпшена використанням хімічно активних речовин. Ці речовини були закладені в спеціальній упаковці близько року назад на глибину приблизно двох метрів, для закладки були використані різні за хімічним складом продукти: аміачна селітра, NaCl, і суміш (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO₃²⁻) [4]. Анодні заземлювачі виготовлені зі сталевих труб Ду159, термін експлуатації в складі трубопроводу більш, ніж 20 років, довжина кожного анода 20 метрів, закладання вертикальне. Температура, за якої експлуатувалися анодні заземлювачі, знаходилась в інтервалі від +45° до -40°С. За час експлуатації на аноди подавалась напруга в діапазоні (5÷95)V.

Металографічні дослідження проводились за допомогою мікроскопу .

Вимір опору ґрунту проводився за допомогою приладу Ф4103-М1.

Для дослідження вмісту водню в металі труб використовувалась спеціально розроблена в Фізико-механічному інституті ім. В. Г. Карпенка НАН України установка. Спочатку визначалась частка низько енергетичного водню, що виділився з металу за температури 200°C, а потім високо енергетичного за температури 800°C. Сумарна кількість водню визначалась як сума складових. Для кожної ділянки трубопроводу досліджувалось 3 зразки.

Дослідження електричного опору ґрунту і системи анод-ґрунт показали ефективність використання хімічно активних речовин для зменшення опору в системі анод-ґрунт (Таблиця 1).

Таблиця 1

Заміри опору ґрунту і системи анод-ґрунт

№ п/п	На момент закладки		Через 7 місяців		Через 9 місяців		Через 10 місяців *		Через 10 місяців після заливки водою **	
	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом
1	40	9	48	12	43	11	48/38	11/4,5	23	4
1'	28	22	31,5	14	35	13	31,5/22	13/6,4	24	8
2	41	40	50	22,5	48	21	50/42	40/2,5	23	5
2'	32	20	42,2	11,8	35	12	42,2/29	12/6	22	2
3	30	8,8	30	4,5	36	16	30/20	16/6	24	2
3'	28	7	40	7	51	6	40/25	8/5	22	12

1, 1' – NaCl; 2, 2' – селітра; 3, 3' – Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO_3^{2-} ;

* - в чисельнику - дані до заливки водою, в знаменнику – по заливанню водою в той же день;

** - через 10 місяців і 2 тижні після заливання водою;

Rгр – опір ґрунту;

Ра.з. – опір системи анод - ґрунт.

Слід зауважити, що опір ґрунту і системи 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 заміру. Установлено, що за час експлуатації протягом року найкращі результати отримано на анодах, біля яких використовувалися закладки з аміачною селітрою і NaCl. Навіть за зростання опору ґрунту, в системі анод-ґрунт опір зменшено або він залишався на тому ж рівні. Використання суміші (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO_3^{2-}) в цілому показали ефективність її застосування, але результати поки менш очевидні. Треба відзначити, що ці дослідження розраховані на більш тривалий час, тому остаточні висновки будуть зроблені пізніше з урахуванням швидкості корозії анодних заземлювачів.

Металографічні дослідження труби газопроводу Ду273 проводились для металу в стані поставки (0), також зразки вирізались з труб на відстані 0,5 км від катодної станції (1), на відстані 8 км (2) і на відстані 15 км (3). На момент поставки метал труб мав ферито-перлітну мікроструктуру, за шкалою 7

ГОСТ 8233 зміст перліт/ферит відповідав співвідношенню 35/65. За час експлуатації відбулось розкладання перліту і для всіх зразків незалежно від відстані співвідношення перліт/ферит стало відповідати 20/80, що свідчить про суттєві деградаційні процеси в металі труб. На момент поставки розмір зерна металу відповідав 9-10 балам за ГОСТ 5639. Після тривалої експлуатації у зразків з ділянок 1 і 3 він змінився до 6-7 балів, а у зразків з ділянки 2 - до 8-9 балів. У всіх металів по тривалій експлуатації відзначаються на границях феритних зерен поодинокі прошарки цементиту, у зразків з ділянок 2 і 3 зафіксовані дисперсні карбіди біля границь зерен, у зразків з ділянок 3 утворилися дисперсні карбіди по фериту. Мікроструктуру металу зразків ділянок 1, 2 і 3 представлено на рисунках 1, 2, і 3 відповідно.



Рис. 1. Мікроструктура металу на відстані 0,5 км, ×1000

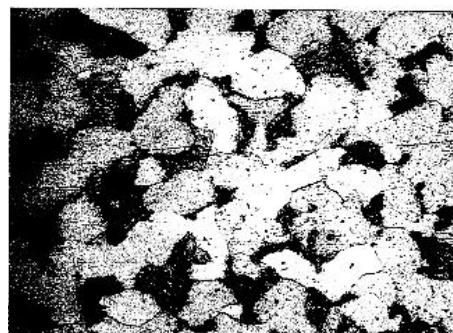


Рис. 2. Мікроструктура металу на відстані 8 км, ×1000



Рис. 3. Мікроструктура металу на відстані 15 км, ×1000

Таблиця 2

Результати досліджень вмісту водню

№	н/п	m _z , г	C _{H₂} ²⁰⁰ , см ³	C _{H₂} ⁸⁰⁰ , см ³	C _{H₂} ²⁰⁰ , см ³ /100г Ме	C _{H₂} ⁸⁰⁰ , см ³ /100г Ме	ΣC _{H₂} , см ³ /100г Ме	C _{H₂} ²⁰⁰ , ppm	C _{H₂} ⁸⁰⁰ , ppm	ΣC _{H₂} , ppm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	7,1841	0,0031	0,0045	0,0432	0,0623	0,1055	0,0389	0,0562	0,0951
	2	7,1156	0,0024	0,0034	0,0343	0,0479	0,0822	0,0309	0,0432	0,0741
	3	7,1952	0,0097	0,0064	0,1349	0,0884	0,2233	0,1215	0,0796	0,2011
1	1	7,4592	0,0071	0,0015	0,0954	0,0205	0,1159	0,0859	0,0185	0,1044
	2	6,4411	0,0022	0,0011	0,0339	0,0167	0,0506	0,0306	0,0150	0,0456
	3	7,0917	0,0071	0,0034	0,0996	0,0481	0,1477	0,0897	0,0434	0,1331
2	1	7,0983	0,0276	0,2265	0,3894	3,1903	3,5797	0,3508	2,8742	3,225
	2	7,0945	0,0259	0,0715	0,3645	1,0077	1,3722	0,3284	0,9079	1,2363
	3	7,9985	0,0012	0,0375	0,0153	0,4689	0,4842	0,0137	0,4224	0,4361
3	1	7,9223	0,0202	0,0547	0,2553	0,6902	0,9455	0,2299	0,6218	0,8517
	2	7,2946	0,0172	0,0303	0,2354	0,4159	0,6513	0,2121	0,3747	0,5868
	3	7,7534	0,0026	0,0523	0,0341	0,6751	0,7092	0,0307	0,6082	0,6389

Корозійні пошкодження внутрішньої поверхні по тривалій експлуатації приблизно однакові на всіх ділянках і знаходяться в інтервалі значень 0,2 – 0,25 мм. На зовнішній поверхні глибини виразкової корозії для зразків 1, 2 і 3 відповідно склали до 2мм, 0,4 мм і 0,7 мм.

В цілому металографічні дослідження довели, що за час експлуатації зі структурою металу відбулись значні зміни, що проявилось в зміні розміру зерна, розкладанні перліту, утворенні карбідів по фериту і біля границі зерен. Результати досліджень вмісту водню наведені в таблиці 2.

Встановлено, що для ділянок 1 і 3 вміст водню знаходиться в тому ж інтервалі значень, що і для металу в стані поставки. Для ділянки 2 сумарний вміст водню знаходиться в інтервалі значень 0,4842 – 3,5797 см³/100 г (0,4361 - 3,225 ppm), що знаходиться в межах допустимого для даної сталі, але значно більше, ніж на інших досліджених ділянках.

Результати дослідження механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних з труб на ділянках 1, 2, 3, надані в таблиці 3.

Аналіз даних показує, що за час експлуатації механічні характеристики знаходяться в інтервалі допустимих значень. Дещо відрізняються від решти значення ударної в'язкості металу з ділянки 3. Можливо, це пояснюється більшими змінами структури металу, а саме утворенням дисперсних карбідів не лише на границі зерен, а і по фериту. На думку де-

яких авторів, саме ударна в'язкість є найбільш чутливою характеристикою до деградації сталей і це може свідчити про початок змін не лише структури, а вже і механічних характеристик. Але поки ці показники не виходять за межі допустимих.

Таблиця 3

Результати дослідження механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних з труб

№ ділянки/зразка	σ _в МПа	ψ %	δ %	к _{сц} 10 ⁵ Дж/м ²	НВ	
0	1	484	73,0	31,3	23,52	143
	2	453	65,0	30,0	23,52	143
1	1	484	63,0	23,3	19,6	143
	2	492	63,0	22,0	22,54	143
2	1	475	59,0	33,0	18,62	143
	2	490	59,0	33,0	20,77	143
3	1	470	65,0	33,0	16,27	137
	2	470	66,0	30,0	14,7	137
Ст20 ГОСТ 550-75	≥431	≥50	≥22	≥7,64	≤150	

Висновки. Проведені дослідження дозволили установити структурні зміни, що відбулися з металом труб по тривалій експлуатації. Установлено, що в металі відбулось суттєве зменшення перліту і утворення карбідів на границях зерен на всіх ділянках, а на ділянці 3 карбіди зафіксовані і в фериті.

Вміст водню у всіх досліджених випадках знаходився в межах норми, але у зразків з ділянки 2 він значно більший, ніж на сусідніх ділянках. Можливо,

це обумовлено установкою труб з іншої партії поставки, а можливо менш ефективним катодним захистом на цій ділянці, на що треба звернути увагу.

Механічні характеристики труб на всіх ділянках знаходяться в межах норми, але у зразків з 3 ділянки ударна в'язкість найменша. Можливо, це пояснюється більш серйозними змінами структури металу.

За період проведених досліджень активізація роботи анодних заземлювачів хімічно активними речовинами показала ефективність запропонованого методу. Роботу в цьому напрямку необхідно продовжити на більш тривалий термін.

Література

1. Ильин С. И. Изменение структуры и свойств трубной стали во время длительных выдержек под нагрузкой / С. И. Ильин, М. А. Смирнов, Ю. И. Пашков [и др.] // Известия Челябинского научного центра. 2002. – № 4. – С. 42–46.
2. Nykyforchyn H. M., Kurzydowski K. J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions / in Book: Environment-induced cracking of materials, vol. 2 “Prediction, industrial developments and evaluations”, ed. by S. Shipilov, Elsevier, 2008. – P. 349–361.
3. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrylnyk, et al. // Engineering Failure Analysis. – 2010. – V. 17. – P. 624–632.
4. Архипов О. Г. Підвищення ефективності роботи анодних заземлювачів шляхом подання електрохімічних бар'єрів / О. Г. Архипов, Д. І. Усов, Л. В. Карпюк, Н. І. Галабурда // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2017. - №5 (235). –С. 30-33.

References

1. Il'in S. I. Izmenenie struktury i svojstv trubnoj stali vo vremja dlitel'nyh vyderzhek pod nagruzkoy / S. I. Il'in, M. A. Smirnov, Ju. I. Pashkov [i dr.] // Izvestija Cheljabinskogo nauchnogo centra. 2002. – № 4. – S. 42–46.
2. Nykyforchyn H. M., Kurzydowski K. J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions / in Book: Environment-induced cracking of materials, vol. 2 “Prediction, industrial developments and evaluations”, ed. by S. Shipilov, Elsevier, 2008. – P. 349–361.
3. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrylnyk, et al. // Engineering Failure Analysis. – 2010. – V. 17. – P. 624–632.
4. Arhipov O. G. Pidvishhennja efektyvnosti roboti anod-nih zazemljuvachiv shljahom podalannja elektrohimičnih bar'єriv / O. G. Arhipov, D. I. Usov, L. V. Karpjuk, N. I. Galaburda // Visnik SNU im. V. Dalja. – 2017. - №5 (235). –S. 30-33.

Архипов А. Г., Усов Д. И., Карпюк Л. В., Галабурда Н. И. Деградация металла газопроводов в условиях катодной защиты.

Проанализированы структурные изменения металла труб газопровода и степень орошения отдельных его участков. Трубы, находившиеся в эксплуатации длительное время, были изготовлены из стали Сталь 20. Для исследований выбраны трубы Ду273 с толщиной стенки 8 мм. Для изготовления анодов использовались трубы Ду159 с толщиной стенки 6 мм после 20 лет эксплуатации в составе газопровода, а затем порезанные на участки длиной 20 метров. Для активации работы анодов использовались химически активные вещества, что вызвало уменьшение сопротивления в системе анод-грунт. Результаты структурных изменений металла труб позволили определить тенденции деградации металла и наметить пути для дальнейших исследований с целью продления их эксплуатационного ресурса.

Ключевые слова: деградация, сопротивление почвы, коррозия, орошение металла

Arhipov O. G., Usov D. I. Karpjuk L. V., Galaburda N. I. Degradation of the metal of gas pipelines under cathodic protection conditions.

Degradation of the metal of gas pipelines under cathodic protection conditions.

Structural changes in the metal of the pipes of the gas pipeline and the degree of irrigation of its individual sections are analyzed. The pipes, which were in operation for a long time, were made of steel Steel 20. The pipes Du 273 with a wall thickness of 8 mm were chosen for the research. To produce anodes Du159 pipes with a wall thickness of 6 mm were used after 20 years of operation as part of the gas pipeline, and then they were cut into sections of 20 meters in length. To activate the anodes chemically active substances were used, which caused a decrease of the resistance in the anode-ground system. The results of the structural changes in the metal of the pipes made possible to determine the trends of metal degradation and to outline the ways for further research with a purpose to prolong their service life.

Key words: degradation, soil resistance, corrosion, metal irrigation.

Архипов Олександр Геннадійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля

Усов Дмитро Ігорович, начальник ПКЗ Северодонецького ЛВУ

Карпюк Людмила Вікторівна, старший викладач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля

Галабурда Наталія Іллівна, старший викладач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 18.11.2017.

УДК 620.193

СКЛАДОВІ СИСТЕМИ КОРОЗІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ МЕТОДУ HIGH-RESOLUTION ER

Архипов О.Г., Ушакова А.В., Довгалов Л.Ю., Ушакова О.Ю.

STRUCTURE OF THE CORROSION MONITORING SYSTEM BASED ON HIGH-RESOLUTION ER METHOD

Arkhipov O.G., Ushakova A.V., Dovgalov L.Y., Ushakova O.Y.

Розглянуто структуру сучасної корозіометричної системи на основі методу HIGH-RESOLUTION ER. Наведено приклад конструкції датчика занурювального типу, розробленого для цієї системи, і організацію процесу вимірювання швидкості корозії без спеціального датчика. Роль еталона в цьому разі виконує підготовлена за спеціальною технологією частина стінки обладнання. Система дозволяє не лише вимірювати швидкість корозії, але і визначати залишковий ресурс. Обробка інформації здійснюється системою SCADA Trace Mode. Система гнучка і дозволяє легко вписуватись в діюче обладнання.

Ключові слова: корозіометрична система, датчик, швидкість корозії, еталон, ділянка обладнання

Безпечна експлуатація технологічного обладнання забезпечується різними методами: підвищенням механічної міцності і стійкості, корозійної тривкості, системою захисту від аварійних ситуацій тощо. В хімічній промисловості обладнання проектується згідно умов нормативних документів і на момент початку експлуатації мусить відповідати чинним вимогам. Часто реальні умови експлуатації відрізняються від розрахункових. Найбільш критичні відмінності обумовлені позаплановими зупинками, інтенсифікацією виробничих процесів, змінами, що вносяться в технологічний процес з метою покращення якості кінцевої продукції. Як результат маємо непередбачувані деградаційні зміни структури металів і сплавів та корозійно-механічні пошкодження, часто значно більші за прогнозовані. Для запобігання цьому необхідно використовувати різні методи діагностики та контролю технічного стану устаткування. У випадках, коли робочими середовищами є електроліти, для цього широко використовуються електрохімічні методи. До них відносяться методи електрохімічного шуму, зміннострумового імпедансу, лінійного поляризаційного опору, контролю потенціалу корозії [1, 2]. Перспективним в

майбутньому виглядає використання імпульсного методу [3, 4].

За допомогою цих методів ведеться оцінка загальної та різних видів локальної корозії, а також здійснюється захист обладнання від корозії. Використання того чи іншого методу залежить від специфіки протікання технологічних процесів, особливостей конструкції апаратів тощо. Що стосується методів зміннострумового імпедансу і електрохімічного шуму, то їх використання вимагає високої фахової підготовки обслуговуючого персоналу і досконалого вивчення особливостей конкретної конструкції, що підлягає діагностуванню. Саме це забезпечує високу точність діагностики. Використовувати ці методи для безперервного моніторингу стану обладнання в реальному часі поки що проблематично. Метод поляризаційного опору дозволяє вести моніторинг в реальному часі, має розвинутий математичний апарат. Але цей метод в основному використовується для вимірювання швидкості корозії і проблематично використовувати його для визначення ресурсу.

Таким чином, задача оцінювання корозійно-механічного стану обладнання і апаратури та прогнозування на основі цього залишкового ресурсу є задачею актуальною і важливою.

Метою представленої роботи є розробка датчиків корозіометричної системи, побудованої на вимірі електричного опору елементів відомої геометрії, що розташовані в рідкому агресивному середовищі. Цей метод добре відомий і має багато прикладів технічної реалізації, але не позбавлений деяких притаманних йому суттєвих недоліків: температурна залежність, вплив масштабних факторів тощо. Використання сучасної елементної бази і оригінальні ідеї побудови структури корозіометричної системи дозволили значною мірою усунути ці недоліки і запропонувати промисловості сучасну гнучку і надійну систему не лише контролю корозії,

але і визначення залишкового ресурсу в режимі реального часу.

Структурна схема корозіометричної системи з використанням датчиків занурювального типу і варіант тієї ж системи, коли роль датчика порівняння виконує частина стінки труби представлена на рис. 1.

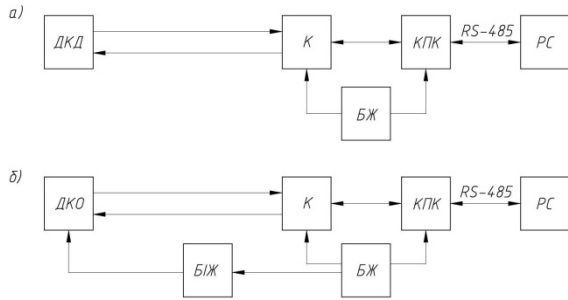


Рис. 1. Структурна схема системи корозійного контролю:
а – з датчиком корозії занурювального типу;
б – з ділянкою обладнання порівняльного контролю
ДКД- датчик корозії дротовий, К- корозиметр,
КПК- контролер процесу корозії, БЖ,
БЖ- блоки живлення, РС- робоча станція

Важливою складовою будь-якої системи вимірювання є первинні перетворювачі. Вимоги до них можуть бути найрізноманітніші: високі динамічні характеристики, компактність, великий ресурс, технологічність тощо. Але головною вимогою є відповідність отриманої інформації тим характеристикам і параметрам, що контролюються. При використанні датчиків занурювального типу важливим є не лише конструкція і характеристики самого первинного перетворювача, але і мінімізація його впливу на рух середовища, що його оточує, врахування дії агресивного середовища на стабільність його роботи тощо. Тому важливим є вибір місць установки таких датчиків на обладнанні і простота обслуговування.

Розробниками системи запропоновані датчики власної розробки. На рис. 2 наведена функціональна схема датчика занурювального типу.

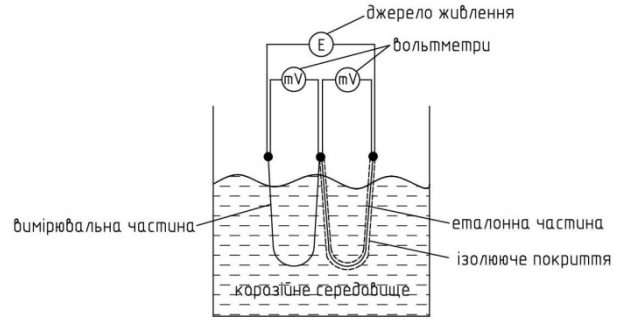


Рис. 2. Функціональна схема вимірювання швидкості корозії методом електричного опору з використанням спеціального датчика

Чутливий елемент (ЧЕ) складається з вимірювальної і еталонної частин, через які протікає однаковий струм. Остання захищена від дії агресивного середовища спеціальним ізолюючим покриттям з тefлону. Виготовлені вони з одного металу. Решта факторів впливу, як температура, тиск, динамічна дія середовища однакові для обох частин. На момент початку експлуатації відомі показання мілівольтметрів на вимірювальній і еталонній частинах ЧЕ. В процесі експлуатації внаслідок протікання корозійних процесів товщина вимірювальної частини датчика зменшується, що обумовлює збільшення електричного опору, а отже збільшення різниці показань мілівольтметрів. За співвідношенням падінь напруг визначається поточна товщина (діаметр) вимірювальної частини. Визначення динаміки змін товщини ЧЕ елемента дозволяє визначити швидкість протікання корозії.

На рис. 3 наведено конструкцію однієї з модифікацій описаного датчика.

Введення датчика в конструктив обладнання полегшується застосуванням спеціального уніфікованого вузла введення, конструктивно погодженого з геометрією датчика.

Розміри, геометрія, термін експлуатації і чутливість датчика визначаються залежно від прогнозованого значення швидкості корозії. Його метрологічні характеристики підтверджені Аттестатом Держстандарту України [5].

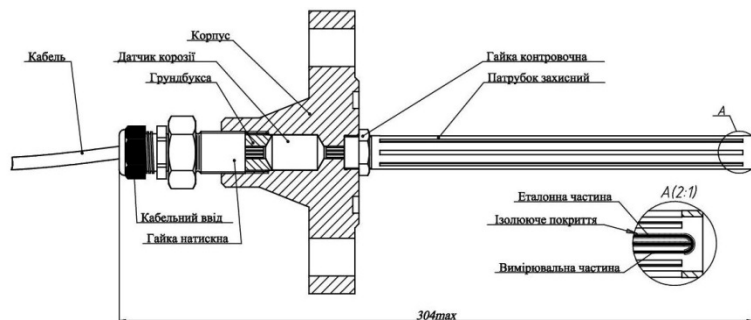


Рис. 3. Конструкція датчика корозії

Звичною проблемою неруйнівних методів контролю є необхідність доведення зв'язку між характеристикою, що вимірюється, і параметром, який є об'єктом вимірювання. В розглянутому випадку була необхідність доведення зв'язку між корозією датчика і корозією стінки труби. В корозиометрії дуже часто результати вимірювань підтверджуються гравіметричними дослідженнями тієї ж самої ділянки, що досліджувалась методом неруйнівного контролю. В даному випадку проведені гравіметричні іспити підтвердили високі метрологічні показники системи, чутливим елементом якої був описаний вище датчик.

Деяко інакше задача виміру швидкості корозії розв'язується, коли роль еталонної частини виконує частина обладнання, що не змінює своїх характеристик протягом експлуатації і працює за тих же температур. На рис. 4 представлено функціональну схему такого варіанта побудови вимірювання швидкості корозії.

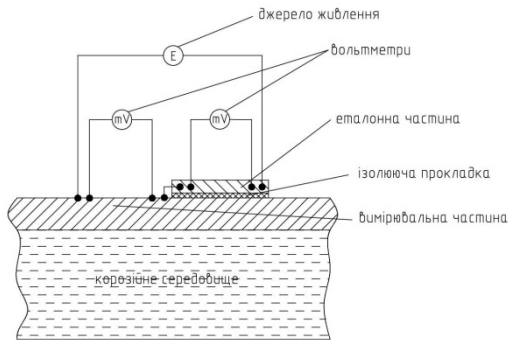


Рис. 4. Функціональна схема вимірювання швидкості корозії методом контролю корозії еталонної ділянки

В якості еталонного датчика, що не підлягає корозії, було використано елемент обладнання з тієї ж сталі (в представленому випадку це сегмент труби), наклеєний термопровідним клеєм зовні на деталь, що контролюється. Сам елемент електрично ізолюваний від труби. Попередньо ведеться підготовка стінки обладнання: приварювання кріпильних і

контактних шпильок, монтаж еталонної частини, кабелів. Монтаж шпильок ведеться за допомогою конденсаторного зварювання, що дозволяє виключити вплив зварювання на механічні, фізичні та корозійні характеристики обладнання, що контролюється. Монтажна ділянка термоізолюється від зовнішнього середовища, щоб виключити вплив конвективних струмів повітря в процесі подальшої експлуатації.

В процесі роботи через еталонну і контрольовану ділянку обладнання періодично пропускається струм і вимірюється падіння напруги на них. Падіння напружень на еталонній і вимірювальній ділянках пропорційно величинам їх опорів. За співвідношенням падіння напружень визначається товщина металу обладнання на контрольованій ділянці. Як і у випадку використання датчика, аналіз динаміки зміни товщини металу дозволяє оцінити швидкість корозії. Приклад облаштування робочої зони для контролю корозії за допомогою еталонної ділянки наведено на рис. 5.

Крім чутливих елементів до складу корозиометричної системи входять вторинна апаратура розробки ТОВ НТП «Екор». Для вимірювання падіння напруги на вимірювальній і еталонній частині датчика корозії або еталонної ділянки обладнання використовується корозиметр ЭКОР-ЭС-2М. Він виконує обробку і фільтрацію отриманих даних і в цифровій формі передає інформацію через RS-485 для подальшої обробки в контролер процесу корозії ЭКОР-КПК-ЭС-2.

Контролер призначений для управління процесом вимірювань та обробки отриманої від корозиметра інформації. Він виконує статистичну обробку даних, обраховує співвідношення опорів і розраховує геометричні розміри вимірювальної системи. За зміною товщини (діаметра) вимірювальної частини вираховує швидкість корозії за визначені проміжки часу (від 10 хвилин до 24 годин). Алгоритм роботи контролера виключає вплив на корозію вимірювальної частини датчика і дозволяє проводити вимірювання в умовах електрохімічного захисту.

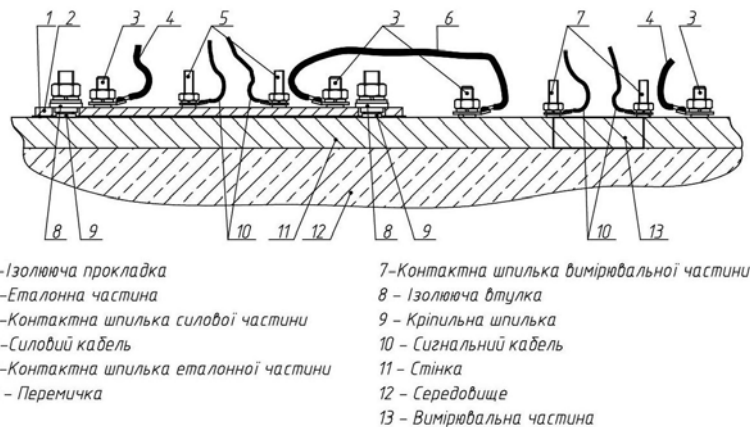


Рис. 5. Монтажна зона вимірювання корозії за допомогою еталонної ділянки

Отримана інформація записується і зберігається контролером протягом 3 місяців. Після контролера інформація передається для подальшої обробки в систему SCADA (Honeywell, Trace Mode тощо).

В SCADA системі залишковий ресурс визначається за формулою:

$$\tau = \frac{h_T - h_0}{V \cdot \alpha} \cdot 8760,$$

де: τ – залишковий ресурс обладнання, год;

h_T – поточна товщина стінки, мм;

h_0 – гранична товщина стінки, мм;

v – швидкість корозії, мм/год;

α – коефіцієнт неоднорідності корозії;

8760 – кількість годин на рік, год.

На цей час проведена державна атестація системи як засоба вимірювання корозії. Розроблена програма метрологічної атестації. Система має апробацію на підприємствах регіону, а окремі складові системи удосконалюються і проходять лабораторні дослідження на підприємстві-розробнику. За допомогою корозиометричної системи досліджується вплив на швидкість корозії таких факторів як температура, швидкість потоку, рН середовища, аерації тощо.

Література

1. Новицкий В.С., Писчик Л.М. Коррозионный контроль технологического оборудования. – К.: Наукова думка, 2001. – 171 с.
2. Чвірук В.П., Поляков С.Г., Герасименко Ю.С. Электрохимический мониторинг техногенных средовищ. – К.: Академперіодика, 2007. – 321с.
3. Патент України на корисну модель №38241. Импульсный способ оценки ступеня корозійно-механічного пошкодження обладнання / Зінченко О.В., Одарченко В.А., Бохонов А.А. – Оупблїк 25.12.2008. Бюл. № 24
4. Похмурський В.І., Хома М.С., Архипов О.Г. Розроблення імпульсного методу корозійного моніторингу та виготовлення технічних засобів для оцінки критичного стану обладнання хімічної промисловості, що працює за підвищених параметрів // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. Збірник наукових статей. Наук. кер. акад. Б.Є.Патон. – 2012. – С.
5. Аттестат № РБ 38-012-15 на программно-технический комплекс «Система контроля скорости коррозии». – 30.12.2015

References

1. Novickij V.S., Pischik L.M. Korroziornyj kontrol' tehnologicheskogo oborudovanija. – K.: Naukova dumka, 2001. – 171 s.
2. Chviruk V.P., Poljakov S.G., Gerasimenko Ju.S. Elektrohimičnij monitoring tehnogennih seredovishh. – K.: Akademperiodika, 2007. – 321s.
3. Patent Ukraini na korisnu model' #38241. Impul'snij sposib ocinki stupenja korozijno-mehanichnogo posh-

kodzhennja obladnannja / Zinchenko O.V., Odarchenko V.A., Bohonov A.A. – Opublik 25.12.2008. Bjul. # 24

4. Pohmurs'kij V.I., Homa M.S., Arhipov O.G. Rozroblennja impul'snogo metodu korozijnogo monitoringu ta vigotovlennja tehničnih zasobiv dlja ocinki kritičnogo stanu obladnannja himičnoi promislovosti, shho pracjue za pidvishhenih parametriv // Problemi resursu i bezpeki ekspluataciji konstrukcij, sporud ta mashin. Zbirnik naukovih statej. Naук. кер. акад. В.Е.Патон. – 2012. – С.
5. Аттестат № РБ 38-012-15 на программно-технический комплекс «Система контроля скорости коррозии». – 30.12.2015

Ушакова А.В., Архипов А.Г., Довгалов Л.Ю., Ушакова Е.Ю. Составляющие системы коррозионного мониторинга на основе метода HIGH-RESOLUTION ER

Рассмотрена структура современной корозиометрической системы на основе метода HIGH-RESOLUTION ER. Приведен пример конструкции датчика погружного типа, разработанного для этой системы и организация процесса измерения скорости коррозии без специального датчика. Роль эталона в этом случае выполняет подготовленная по специальной технологии часть стенки оборудования. Система позволяет не только измерять скорость коррозии, но и определять остаточный ресурс. Обработка информации осуществляется системой SCADA Trace Mode. Система гибкая и позволяет легко вписываться в действующее оборудование.

Ключевые слова: корозиометрическая система, датчик, скорость коррозии, эталон, участок оборудования

Arkhipov O.G., Ushakova A.V., Dovgalov L.Y., Ushakova O.Y. Structure of the corrosion monitoring system based on high-resolution er method

The structure of the modern corrosion-measuring system based on the HIGH-RESOLUTION ER method is considered. The example of submersible sensor design, which was developed for this system and organization of the corrosion rate measuring process without the sensor is given. The role of the reference in this case is performed by a part of the equipment wall prepared according to a special technology. The system allows not only to measure the corrosion rate, but also to determine the residual life. Information processing is carried out by the SCADA Trace Mode system. The system is flexible and allows to easily fit into existing equipment.

Key words: corrosiometric system, sensor, corrosion rate, reference, equipment wall area

Ушакова А.В. – інженер ТОВ НТП «Екор», avushak@gmail.com;

Архипов О.Г. – д.т.н., професор, завідувач кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств ЧНУ ім. В. Даля, arkhipov@gmail.com;

Довгалов Л.Ю. – директор ТОВ НТП «Екор», ntp.ekor@gmail.com;

Ушакова О.Ю. – інженер ТОВ НТП «Екор», ntp.ekor@gmail.com;

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 1.12.2017.

УДК 629.4.014.4

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК І УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВІТРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ПАСАЖИРСЬКОГО ТИПУ

Валігура М.Я.

EVOLUTIONAL DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION FEATURES OF PASAZHIRSK TYPE AIRCRAFT

Valigura M.Y.

В статті представлений докладний аналіз еволюції і удосконалення конструкції повітророзподільників пасажирського типу залізниць колії 1520 мм., вказані останні переваги і недоліки і описані технічні рішення, що направлені на покращення гальмових характеристик. Проведено аналітичне і експериментальне дослідження конструктивних особливостей будови повітророзподільників і швидкісних потрійних клапанів, вказано на залежність функціональних характеристик від діаметрів отворів і об'ємів внутрішніх камер які суттєво впливають на швидкість поповнення гальмових циліндрів при гальмуванні.

Ключові слова: повітророзподільник, гальмовий циліндр, запасний резервуар, гальмова магістраль, пасажирський вагон, гальмова хвиля, швидкодійний потрійний клапан.

1. Актуальність дослідження

Збільшення швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів, а також обсягів пасажирських і вантажних перевезень вимагає підвищення заходів із забезпечення безпеки залізничних перевезень.

Актуальність даної проблеми визначається необхідністю підвищення безпеки руху поїздів, яка в значній мірі залежить від надійності гальмового обладнання рухомого складу.

Одним із основних функціональних приладів пневматичної гальмової системи є повітророзподільник, технічні властивості якого суттєво впливають на характеристики всієї гальмової системи в цілому.

2. Постановка проблеми

Аналітичне дослідження еволюційного розвитку і удосконалення одного із головних приладів гальмових систем пасажирських вагонів, від якого суттєво залежать гальмові характеристики всієї системи в цілому.

3. Мета дослідження

Метою досліджень є розширений аналіз наукових досліджень розвитку і удосконалення повітророзподільників пасажирського рухомого складу та шляхи удосконалення ефективності його роботи.

4. Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- докладний аналіз еволюції і удосконалення конструкції повітророзподільників пасажирського типу залізниць колії 1520 мм;

- аналіз переваг і недоліків, технічних рішень, що направлені на покращення гальмових характеристик;

- аналітичне і експериментальне дослідження конструктивних особливостей будови повітророзподільників і швидкісних потрійних клапанів.

5. Викладення основного матеріалу на основі аналізу досліджень і публікацій стосовно розвитку і удосконалення конструктивних особливостей повітророзподільників пасажирського типу

Головним функціональним агрегатом пневматичної гальмової системи є повітророзподільник (ПР) або, як його спочатку називали, – потрійний клапан. Це найбільш складний за власною конструкцією елемент гальмової системи, технічні якості якого зумовлюють характеристики всієї системи в цілому. Призначення потрійного клапана (як і ПР) у автогальмовій системі, яка працює на стисненому повітрі, полягає в тому, щоб при зниженні тиску повітря в ГМ поїзда сполучати ЗР одиниці рухомого складу з її ГЦ (для гальмування), а при підвищенні тиску повітря в ГМ – по-перше, сполучати останню із ЗР (для заряджання гальма), а, по-друге, сполучати ГЦ з атмосферою (для відпуску гальма).

На залізницях Європи (з шириною колії 1435 мм) історично склалась концепція застосовувати ПР комбінованого типу, тобто один і той самий прилад – на вагонах як вантажних, так і пасажирських. На залізницях колишнього СРСР (з шириною колії 1524/1520 мм) ПР до тепер розрізняють за родом служби вагона: одні прилади – для вантажного рухомого складу, інші – для пасажирського. При цьому іще за часів царської Росії та у роки перших п'ятирічок бувшого СРСР, потрійні клапани розріз-

нялись також і на паровозні та вагонні, а кожні з них, у свою чергу, – залежно від діаметра гальмового циліндра, на який працював певний потрійний клапан.

Першими ПР пасажирських вагонів були так звані швидкодіючі потрійні клапани. Таких клапанів для пасажирських вагонів було чотири: №216, №217, №218 і №219, основні відмінності (за призначенням) яких - подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Дані, щодо потрійних клапанів [1]

Параметр	№216	№217	№218	№219
Діаметр ГЦ, дюйми	8	10	12	14
Об'єм ЗР, л	24	38	55	78
Колір фланця	жовтий	чорний	червоний	зелений

На рисунку 1.7 показано устрій потрійних клапанів №216 та №217. Потрійний клапан №216 відрізнявся від клапана №217 лише розмірами каліброваних отворів та канавок, щоб наповнення ГЦ і ЗР різних об'ємів відбувалось приблизно за однаковий час.

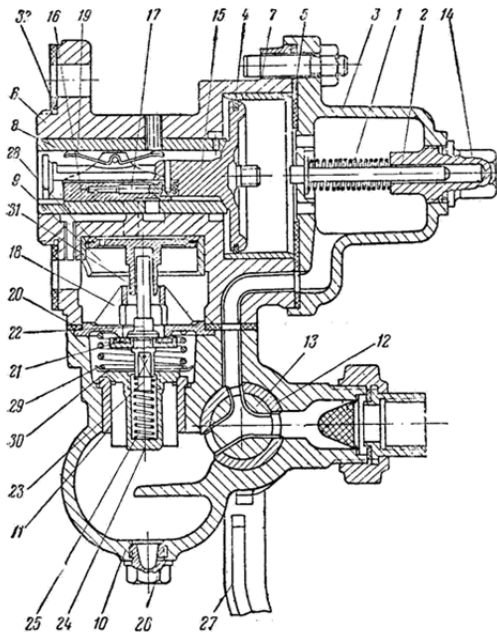


Рис. 1. Будова потрійних клапанів №216 і №217 [1]

В таблиці 2 подано перелік деталей потрійних клапанів №№216 і 217. В даній таблиці номер за порядком відповідає позиції деталі за рис. 1.

Потрійні клапани №218 і №219 відрізнялись від клапанів №216 і №217 не лише розмірами каліброваних отворів та канавок, але й конструкцією золотників та поршнів. Прилади №218 і №219 були в експлуатації більш тривалий час і в них з 1936 р. замість фрезерування обхідної канавки для зарядження запасного резервуара (як це було у відповідного приладу Вестінгауза) почали робити калібровані отвори у втулці головного поршня. Цей отвір у при-

ладу №218 мав номінальний діаметр 3,0 мм, а у приладу №219 – 3,5 мм

Таблиця 2

Специфікація деталей потрійних клапанів №216 і №217

Поз. деталі	Найменування деталі	Матеріал деталі
1	Пружина буферного стрижня	Провол. ПК-1
2	Стрижень буферний	Ст. 3
3	Кришка камери поршня	Сч. 32
4	Кільце поршня	Бр. ОЦСФ
5	Більша прокладка	Шкіра
6	Корпус	Сч. 32
7	Втулка головного поршня	Бр. ОЦС
8	Втулка золотника	Бр. ЛК 70-1,5
9	Втулка прискорювального поршня	Бр. ОЦС
10	Нижня частина	Сч. 32
11	Втулка	Бр. ЛК 80-3
12	Втулка перемикальної пробки	Бр. ОЦС
13	Перемикальна пробка	Бр. ОЦС
14	Напрямна пробка	Сч. 32
15	Головний поршень	Бр. ОЦС
16	Золотник	Бр. ОЦС
17	Зрівнювальний стрижень	ЛС-59-1
18	Сідло прискорювального клапана	Сч. 32
19	Пружина золотника	Ст. нерж.
20	Мала прокладка	Шкіра
21	Прокладка	Шкіра
22	Стрижень середнього прискорювального клапана	Ст. 3
23	Нижня частина середнього прискорювального клапана	Ст. 3
24	Нижній прискорювальний клапан	Бр. ЛК 80-3
25	Пружина середнього прискорювального клапана	Провол. ПК-1
26	Водоспускна пробка	Ст. 3
27	Ручка перемикальної пробки	Кч. 35—4
28	Кільце прискорювального поршня	Бр. ОЦСФ
29	Пружина нижнього прискорювального клапана	Проволока
30	Шайба пружини	Ст. лист.
31	Прискорювальний поршень	Сч. 32
32	Прокладка	Шкіра

Достатньо тривалий час експлуатації потрійних клапанів виявив їх недоліки. По-перше, - залежність при гальмуванні кінцевого тиску в ГЦ від величини виходу штока. Названа залежність призводила до того, що частина вагонів поїзда при ПСГ гальмувала повністю (вагони з малими виходами штоків ГЦ), а частина – гальмувала частково (вагони з великими виходами штоків ГЦ). При відпуску, навпаки, вагони з великими виходами штоків ГЦ розгальмувалися швидше за вагони з малими виходами штоків. По-друге, - виснаження гальма при тривалому гальмуванні. Під час довготривалого гальмування ЗР вагонів не сполучаються з ГМ, тому ГЦ, які при цьому живляться лише від ЗР, поступово зменшують галь-

мове натиснення внаслідок витоків стисненого повітря. По-третє, - мала швидкість гальмової хвилі при СГ. При збільшенні кількості вагонів у складі поїзда стали помітні поздовжні зусилля, що виникали внаслідок спрацювання гальм вагонів у голові складу, на які набігали хвостові вагони, де гальма спрацювали пізніше.

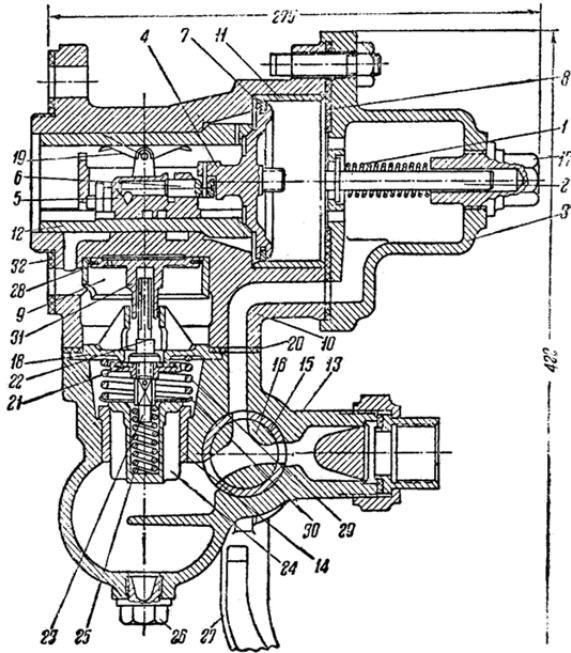


Рис. 2. Будова потрійних клапанів №218 і №219 [1]

Задля збільшення швидкості гальмової хвилі при СГ було запропоновано оснащення потрійних клапанів Вестінгауза прискорювачем Албегова. При цьому прискорювач встановлювали замість штатної кришки приладу без жодних інших змін самого потрійного клапана, як показано на рисунку 3.

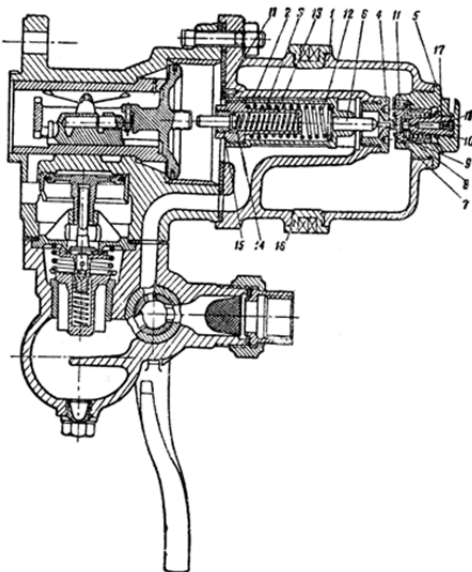


Рис. 3. Потрійний клапан з прискорювачем Албегова [1]

У таблиці 3 подано перелік та основні дані про деталі прискорювача Албегова (номер за порядком відповідає позиції деталі на рис. 3).

Таблиця 3

Специфікація деталей прискорювача Албегова

Поз. деталі	Найменування деталі	Кількість деталей	Матеріал деталі
1	Корпус	1	СЧ 18-36
2	Обойма	1	Ст.3
3	Стакан	1	Ст.3
4	Гніздо клапана	1	Ст.3
5	Задня заглушка	1	СЧ 18-36
6	Штовхач	1	Ст.3
7	Клапан	1	Ст.3
8	Пружина клапана	1	Провол. ПК-1
9	Шайба клапана	1	Гума
10	Диск клапана	1	Гума
11	Гвинт	2	Ст.3
12	Пружина гальмування службового	1	Провол. ПК-1
13	Пружина гальмування екстреного	1	Провол. ПК-1
14	Стержень	1	Ст.3
15	Напрямна	1	Ст.3
16	Бокова заглушка	2	СЧ 18-36
17	Сідло атмосферне	1	Ст.3
18	Ніпель	1	Ст.3

Прискорювач Албегова при зарядженні гальма вагона ніякої дії не чинив. При гальмуванні стиснене повітря з ГМ поступало до поглинальної камери прискорювача об'ємом 0,75 л, тобто прискорювач забезпечував новацію у пасажирських гальмах - додаткове розрядження ГМ кожним вагоном (приблизно на 0,35 кГ/кв.см). При відпуску гальма поглинальна камера прискорювача сполучалась з атмосферою. Другою технічною новацією прискорювача було застосування клапана з м'якою посадкою (для цього використовувалась гума). За даними дослідної експлуатації прискорювач Албегова у тричі підвищував швидкість розповсюдження гальмової хвилі при СГ, забезпечував суттєве зменшення поздовжніх реакцій у поїздів будь-якої довжини, підвищував керованість гальмами.

Для повноти огляду слід зазначити, що у повенні роки, разом із модифікацією потрійного клапана прискорювачем Албегова також був розроблений та знаходився в експлуатації (переважно на ізотермічних вагонах, які у ті часи курсували і в складі пасажирських поїздів, і у складі вантажних) так званий універсальний вдосконалений потрійний клапан [1]. Цей прилад тому і називали універсальним, що він мав два режими „вантажний” і „пасажирський”. Вдосконаленим його називали за функцію додаткової розрядки ГМ при гальмуванні та наявність стрибкового клапана, який забезпечував швидке наповнення ГЦ на початку гальмування, коли вихід штока ГЦ „витрачається” на зазорі в гальмовій важільній

передачі. Таким чином, цей прилад можна вважати допоміжним, тому він далі не розглядається.

Зрозуміло, що прискорювач став паліативом до запровадження у 1952 році наступної конструкції пасажирського ПР колії 1520 мм - №292. Цей ПР увібрав у себе всі риси потрійного клапана Вестінгауза та прискорювача Албегова і у своїй останній модифікації знаходиться в експлуатації вже понад пів століття. Будова ПР 292-001 показана на рисунку 1.10, а зв'язана позиціями специфікація подана у таблиці 4.

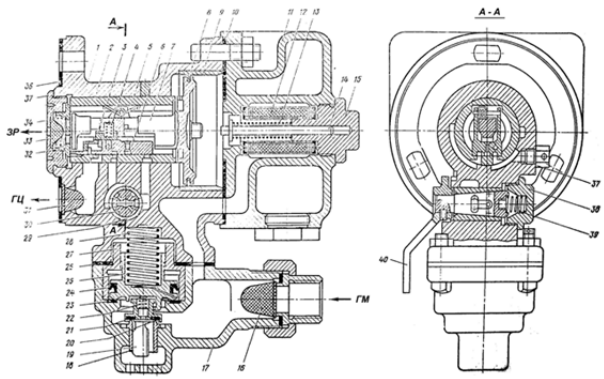


Рис. 4. Будова ПР 292-001 [10]

Серед особливостей приладу №292, які суттєві для моделювання внутрішньої газової динаміки, слід відмітити появу пневмореостата у вигляді додаткової камери на шляху стисненого повітря під час зарядження ЗР на вагонах у голові поїзда, коли магістральний поршень працює як клапан з жорсткою посадкою разом із своєю втулкою до торця якої і притискається. Прилад №292 розроблений для роботи разом із ГЦ діаметром 14 дюймів, як і потрійний клапан №219. Але у ПР №292 отвір діаметром 3,5 мм (як це зазначалось вище у приладу №219) для зарядження ЗР замінено трьома отворами діаметром по 1,25 мм кожен, причому ці отвори розташовані поряд таким чином, щоб одночасно перекривались манжетю магістрального поршня.

Останнім на залізницях колії 1520 мм, з 2007 р., було запроваджено ПР 242 на заміну ПР 292 [7]. Будова ПР 242 показано на рисунку 1.11, де позначено: 1, 3, 6, 16 і 24 – отвори; 2 і 4 – фільтри; 5 і 27 – поршень і клапан обмежувача додаткової розрядки ГМ; 7, 10, 13, 21 і 22 – пружини; 8 – випускний клапан; 9 – стрижень; 11 – головний поршень; 12 – клапан додаткової розрядки ГМ; 14 і 15 – ручка і поршень перемикача режимів; 17 і 28 – штоки; 18 – гальмовий клапан; 19 – зривний клапан; 20 і 25 – втулка і поршень прискорювача ЕГ; 23 і 26 – клапани; ПК – камера прискорювача; К і Д – положення ручки при увімкненні приладу на коротко- або довгоскладовий режим; Ат1, Ат2 і Ат3 – отвори до атмосфери; У1, У2 і У3 – робочі порожнини.

Таблиця 4
Специфікація деталей ПР №292-001

Поз. деталі	Найменування деталі	Матеріал деталі
1	Корпус	Сірий чавун
2	Втулка золотникова	Латунь
3	Золотник відсічний	Латунь
4	Пружина відсічного золотника	Проволока 0,8
5	Пружина головного золотника	Проволока 1,4
6	Золотник головний	Латунь
7	Поршень магістральний	Бронза
8	Кільце магістрального поршня	Латунь
9	Втулка поршнева	Латунь
10	Прокладка	Гума
11	Кришка з камерою додаткової розрядки	Сірий чавун
12	Фільтр у зборі	(збірка)
13	Пружина буфера	Проволока 1,8
14	Стрижень буфера	Сталь
15	Заглушка	Сірий чавун
16	Ковпачок сітчастий у зборі	(збірка)
17	Корпус нижньої частини	Сірий чавун
18	Сідло зривного клапана	Латунь
19	Хвостовик зривного клапана	Латунь
20	Ущільнення зривного клапана	Гума
21	Зривний клапан	Сталь
22	Пружина зривного клапана	Проволока 1,0
23	Кільце	Гума
24	Манжета	Гума
25	Поршень прискорювача	Сірий чавун
26	Прокладка	Гума
27	Втулка поршня прискорювача	Сірий чавун
28	Пружина поршня прискорювача	Проволока 3,0
29	Втулка перемикальної пробки	Латунь
30	Пробка перемикальна	Латунь
31	Ковпачок сітчастий у зборі	(збірка)
32	Упорка буферна	Сірий чавун
33	Ковпачок сітчастий у зборі	(збірка)
34	Пружина буфера	Проволока 1,8
35	Заглушка	Сірий чавун
36	Прокладка	Гума
37	Ніпель атмосферний	Сталь
38	Заглушка	Сірий чавун
39	Пружина пробки	Проволока 2,0
40	Ручка пробки	Сталь

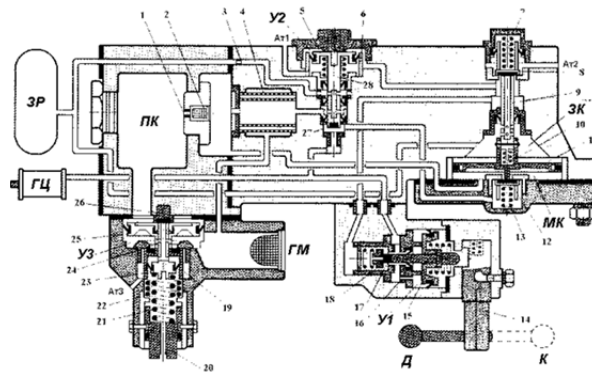


Рис. 5. Будова ПР 242 [10]

ПР 242 має “клапанно-поршневу” конструкцію на відміну від золотниково-поршневої (ПР 292) та “клапанно-діафрагменної” (ПР КЕс). Кількість деталей, з яких складається ПР 242, дорівнює 60. Серед них 36 унікальні, а решта – застосовані (з метою зменшення номенклатури) з інших гальмових приладів виготовлення МТЗ, а саме: 216, 259, 270, 292, 305, 334, 483 тощо (всі ці прилади можна ідентифікувати за номерами по довіднику [10]). Вага ПР242 у зборі при чавунному/алюмінієвому виконанні корпусу 24/17 кг (у ПР 292 при виключно чавунному виконанні – 21 кг).

6. Висновки

На основі виконаних досліджень встановлено:

1. Наявність камери додаткової розрядки дозволило отримати необхідну ефективність гальма пасажирського поїзда;
2. Обґрунтовано можливі положення експлуатаційно-технічних вимог до повітродозподільників.
3. Викладені вимоги до основних елементів гальмового обладнання.
4. На підставі теоретичних і практичних досліджень обґрунтовані задачі подальшого розвитку і удосконалення конструкцій повітродозподільників.

Література

1. Клыков, Е. В. Воздухораспределители тормозов железнодорожного подвижного состава [Текст] / Е.В.Клыков, В.В.Крылов. – М.: Транспорт, 1976. – 192 с.
2. Крылов, В. И. Автоматические тормоза подвижного состава [Текст] : учеб. для вузов / В.И.Крылов, В.В.Крылов. – М.: Транспорт, 1983. – 360 с.
3. Пневматические устройства и системы в машиностроении [Текст] : справочник / Е.В.Герц, А.И.Кондратьев, О.В.Ложкин и др. ; под общ. ред. Е.В.Герца. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.
4. Попов, В. Е. Влияние длины тормозной магистрали на параметры ее математических моделей [Текст] / В.Е.Попов, Б.Л.Спивак // Автоматизация управления тормозами поезда : межвуз. сб. научн. тр. УрЭМИИТ. – Свердловск. - 1980. – Вып. 61. – С. 32-36.
5. Казаринов, В. М. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов [Текст] / В.М.Казаринов, В.Г.Иноземцев, В.Ф.Ясенцев. – М.: Транспорт, 1968. – 400 с.
6. Сугак, П. А. Тормоз системы КЕ [Текст] / П.А.Сугак, В.М.Щегров. – М.: Транспорт, 1979. - 72 с.
7. Елсаков, Г. М. Моделирование процессов в устройствах пневматической тормозной систем [Текст] / Г.М.Елсаков, И.Г.Левин // Автоматизированные устройства управления тормозами поезда : сб. научн. тр. Уральск. электро-механическ. ин-та инж. ж.-д. трансп. – Свердловск. – 1974. – Вып.38 – С. 54-79.
8. Барщенко, В. Н. Устройство и работа воздухораспределителя 242 1 [Текст] / В.Н.Барщенко, Н.В.Кондратьев // Локомотив. – 2011. – № 8 (656). – С. 19-23.
9. Казаринов, В. М. Автотормоза [Текст] / В.М.Казаринов. – Изд. 2-е. - М.: Трансжелдориздат, 1962. – 239 с.
10. Козюлин, Л. В. Новый пассажирский воздухораспределитель №242 [Текст] / Л.В.Козюлин // Локомотив — 2007 — №2 — с. 22, 23.

References

1. Klykov, E. V. Air distributors of brakes of railway rolling stock [Text] / EVKlykov, VVKrylov. - Moscow: Transport, 1976. - 192 p.
2. Krylov, V.I. Automatic brakes of the rolling stock [Text]: Textbook. for higher education institutions / VI Krylov, VVKrylov. - M.: Transport, 1983. - 360 p.
3. Pneumatic devices and systems in mechanical engineering [Text]: reference book / EVVertz, AIKondratiev, OVLozhkin and others; under the Society. Ed. E.V.Gerz. - Moscow: Mechanical Engineering, 1981. - 408 p.
4. Popov, VE Influence of the length of the brake line on the parameters of its mathematical models [Text] / VE Popov, BLSpivak // Automation of brake control of a train: interuniversity. Sat. scientific. tr. UREMIIT. - Sverdlovsk. - 1980. - Issue. 61. - P. 32-36.
5. Kazarinov, VM Theoretical bases of design and operation of auto brakes [Text] / VM Kazarinov, VG Inozemtsev, VF Yasentsev. - Moscow: Transport, 1968. - 400 p.
6. Sugak, PA Brake of the KE system [Text] / PA Sugak, VM Shchegrov. - Moscow: Transport, 1979. - 72 p.
7. Elsakov, GM Modeling processes in devices of pneumatic braking systems [Text] / GMM.Elsakov, I.G.Levin // Automated control devices for train brakes: Sat. scientific. tr. Uralsk. electro-mechanical. in-ta Ing. railroad train. transp. - Sverdlovsk. - 1974. - Issue 38 - P. 54-79.
8. Barshchenkov, VN The device and operation of the air distributor 242 1 [Text] / VN Barshchenkov, NV Kondratyev // Lokomotiv. - 2011. - No. 8 (656). - C. 19-23.
9. Kazarinov, V.M. Avtortormoza [Text] / V.M.Kazarinov. - Ed. The 2 nd. - Moscow: Transzheldorizdat, 1962. - 239 p.
10. Kozyulin, LV New Passenger Air Distributor No. 242 [Text] / L.V. Kozyulin // Lokomotiv - 2007 - №2 - p. 22, 23.

Валигура М.А. Эволюционное развитие и усовершенствование конструктивных особенностей воздухораспределителя пассажирского типа

В статье представлен подробный анализ эволюции и усовершенствования конструкции воздухораспределителей пассажирского типа железных дорог колеи 1520 мм., указаны последние преимущества и недостатки и описаны технические решения, направленные на улучшение тормозных характеристик. Проведено аналитическое и экспериментальное исследование конструктивных особенностей строения воздухораспределителей и скоростных тройных клапанов, указано в зависимости функциональных характеристик от диаметров отверстий и объемов внутренних камер существенно влияют на скорость наполнения тормозных цилиндров при торможении.

Ключевые слова: воздухораспределитель, тормозной цилиндр, запасной резервуар, тормозная магистраль, пассажирский вагон, тормозная волна, быстродействующий тройной клапан.

Valigura M.Y. Evolutional development and improvement of construction features of pasazhirsk type aircraft

The article presents a detailed analysis of the evolution and improvement of the design of the air-distributor of passenger type railways 1520 mm, the latter advantages and disadvantages and the technical solutions described to improve the braking characteristics. The analytical and experimental research of the design features of the structure of the air distributor and the speed triple valves is carried out, it is indicated on the dependence of the functional characteristics on the diameter of the holes and the volume of the inner chambers,

which significantly affect the speed of filling the brake cylinders during braking.

Key words: *air distributor; brake cylinder; spare reservoir; brake line, passenger car; brake wave, high speed triple valve.*

Валігура Микола Якимович –старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**,

Стаття подана 22.11.2017.

УДК 541.127:542.943

ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ РЕАКЦІЙ КАТАЛІТИЧНОГО ЦИКЛУ ОКИСНЕННЯ ТОЛУЕНУ ТА ЙОГО ОКСИГЕНПОХІДНИХ ОЗОНОМ В АЦЕТАТНОМУ АНГІДРИДІ

Галстян Г.А., Галстян А.Г.Сєдих Г.О., Бондар О.Ю.

RESEARCH OF INDIVIDUAL REACTIONS OF THE CATALYTIC CYCLE THE OXIDATION OF TOLUENE AND ITS OXIGENADA OZONE IN ACETIC ANHYDRIDE

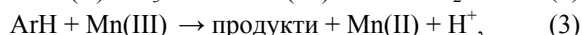
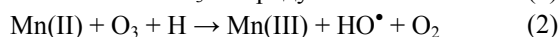
Galstyan G.A, Galstyan A. G., Sedych A.A., Bondar A. Y.

В даній роботі приведені результати кінетичних досліджень основних стадій каталітичного циклу реакцій окиснення толуену та продуктів його окиснення озонотривною сумішшю в розчині ацетатного ангідриду в присутності манган(II) ацетату та сульфатної кислоти при температурі 293 К. Показано, що в присутності манган(II) ацетату озон переважно витрачається за реакцією з Mn^{2+} з утворенням Mn^{3+} , який ініціює окиснення толуену за метильною групою з утворенням бензильних радикалів, які в присутності кисню перетворюються у відповідні пероксидні радикали і далі, за не ланцюговим механізмом, у молекулярні продукти – бензиловий спирт та бензальдегід.

Ключові слова: озон, окиснення, ацетатна кислота, манган(II) ацетат, толуен, бензилацетат, бензилідендіацетат.

В роботі [1] показано, що толуен в ацетатному ангідриді в присутності сульфатної кислоти окиснюється озonom переважно за ароматичним кільцем. Окиснення за метильною групою зупиняється на стадії утворення бензилацетату та бензилідендіацетату, сумарна селективність по яких не перевищує 6 %. Селективність окиснення за метильною групою підвищується до 89,5 % введенням в систему каталізаторів – солей металів змінної валентності, зокрема манган(II) ацетату [2].

З метою з'ясування ролі каталізатора в озонолітичних перетвореннях толуену вивчена кінетика окремих реакцій каталітичного циклу, а саме реакцій озону з толуеном, манган(II) ацетатом та його окисненої форми з толуеном, бензилацетатом та бензилідендіацетатом:



де ArH – толуен та продукти його окиснення

Експериментальна частина. Для проведення кінетичних досліджень реакцій (1) і (2) застосовувався безградієнтний за газовою фазою реактор типу «каталітична качка». Змішування газової і рідинної фаз у реакторі досягалося струшуванням реактора зі швидкістю, що дозволяло працювати в кінетичній області. Для реакції озонування толуену та продуктів його окиснення вона складала більше 8 c^{-1} . Кінетику реакцій вивчали по зміні концентрації озону у газовій фазі на виході з реактора методом спектрофотометрії з застосуванням озонметра, спорядженого проточною кюветою [3].

Ефективну константу швидкості реакцій визначали за формулою [3]:

$$k_{\text{еф}} = \frac{\omega([O_3]_0 - [O_3]_r)}{\alpha [O_3]_r^n [A]_0^m}, \quad (4)$$

де ω – питома швидкість подачі газової суміші, c^{-1} ; $[O_3]_0$ – вихідна концентрація озону в газовій фазі, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; $[O_3]_r$ – концентрація озону в газовій фазі на виході з реактора, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; α – коефіцієнт Генрі; $[A]_0$ – вихідна концентрація речовини, що озонується, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$; n і m – порядки реакцій. Помилка визначення $k_{\text{еф}} \approx 8 \div 10 \%$.

На рис. 1, як приклад, наведені ознограми (криві, що характеризують зміну $[O_3]_r$ у часі) окиснення толуену, за якими розраховувалися $k_{\text{еф}}$ для різних температур.

Для визначення стехіометрії за озonom досліди проводили до повного витрачання субстрату. У зв'язку з тим, що його концентрація наприкінці досліду була вичерпно малою, кількість витраченого озону відносили не до $\Delta[ArH]$, а до його початкової концентрації: $\Delta[O_3] / [ArH]_0$.

Концентрацію Mn(III) в реакціях з толуеном та продуктами його окиснення визначали йодометричним методом за формулою:

$$[\text{Mn(III)}] = V_T N_T, \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \quad (5)$$

де V_T – об'єм тіосульфату, витрачений на титрування розчину утвореного йоду, мл; N_T – нормальність тіосульфату.

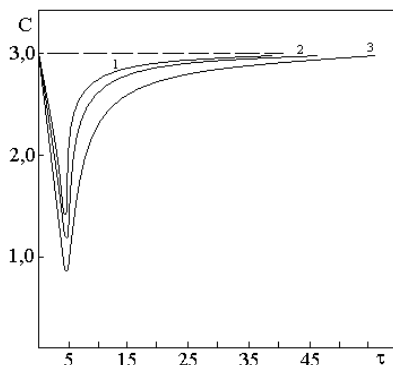


Рис. 1. Озонограми окиснення толуену озonom в оцтовому ангідриді при 278(1), 283(2), 288 К(3). С – концентрація озону, моль/л · 10⁻⁵; τ – час, хв

Результати та їх обговорення

Кінетика реакції озону з толуеном та продуктами його окиснення

Реакція озону з толуеном при температурах до 293 К бімолекулярна, тобто має перший порядок за реагентами (рис. 2); для визначення порядків за реагентами використовувались початкові швидкості реакції озону з толуеном

$$r_{\text{еф}} = k_{\text{еф}} [\text{ArCH}_3]_0 [\text{O}_3]_0,$$

де $r_{\text{еф}}$ – ефективна швидкість реакції, яка враховує витрати озону і толуену за всіма напрямками, моль · (л · с)⁻¹; $k_{\text{еф}}$ – ефективна константа швидкості, л · (моль · с)⁻¹.

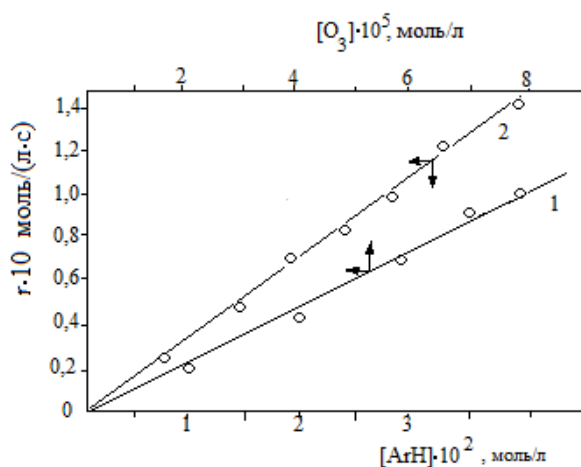


Рис. 2. Залежність початкової швидкості окиснення толуену від концентрації озону (1) ($[\text{ArCH}_3] = 0,03$ моль/л) і толуену (2) ($[\text{O}_3] = 6 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Ефективна константа швидкості, знайдена за формулою (1), при температурі 278 К, дорівнює 0,56

± 0,05 л/(моль · с). Залежність її від температури має вигляд:

$$K = 3,3 \cdot 10^{-5} \exp \frac{20300}{RT}, \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}.$$

Стехіометричний коефіцієнт за озonom не залежить від концентрації озону і толуену і є близьким до 3.

Кінетика реакції бензилацетату з озonom

Реакція озону з бензилацетатом при температурі 278 К описується рівнянням другого порядку

$$r_{\text{O}_3} = k_{\text{еф}} [\text{O}_3]_0 [\text{ArCH}_2\text{OCOCH}_3]_0,$$

про що свідчить лінійна залежність початкових швидкостей окиснення бензилацетату від концентрації реагуючих речовин (рис. 3). Ефективна константа швидкості витрати озону при 278 К дорівнює $0,5 \pm 0,05$ л/(моль · с), що є дещо нижчою за $k_{\text{еф}}$ реакції озону з толуеном і значно нижчою за $k_{\text{еф}}$ реакції озону з бензиловим спиртом (1,45 л/(моль · с)). Температурна залежність має вигляд

$$K = 1,9 \cdot 10^{-4} \exp \frac{24400}{RT}, \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}.$$

Стехіометричний коефіцієнт за озonom при 278 К дорівнює $1,13 \pm 0,11$ і не змінюється у широкому діапазоні концентрацій реагуючих речовин.

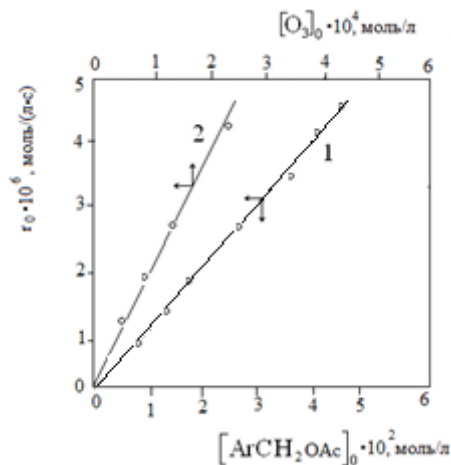


Рис. 3. Залежність початкової швидкості окиснення бензилацетату від концентрації реагуючих речовин при 278 К; $\omega = 0,18$ с⁻¹; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л 1 – залежність r_0 від концентрації бензилацетату при $[\text{O}_3]_0 = 1,9 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 2 – залежність r_0 від концентрації озону при $[\text{БАЦ}]_0 = 0,04$ моль/л

Кінетика реакції озону з бензилдендіацетатом. Реакція озону з бензилдендіацетатом в умовах дослідів ($T = 278$ К; $[\text{O}_3]_0 = 4,1 \cdot 10^{-4}$; $[\text{БДАЦ}]_0 = 0,4$; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л), як і у попередніх випадках описується рівнянням

$$r = k_{\text{еф}} [\text{O}_3]_0 [\text{БДАЦ}]_0.$$

При температурі 278 К $k_{\text{эф}}$ складає 0,23 л/(моль с), що вп'ятеро нижче за $k_{\text{эф}}$ реакції бензальдегіду з озоном (0,95 л/(моль с); $T = 278$ К).

Витрати озону на моль окисненого бензилідендіацетату мало залежать від концентрації реагуючих речовин і в широкому інтервалі концентрацій дорівнюють $1,1 \pm 0,1$ моль.

Реакція озону з манган(II) ацетатом описується рівнянням першого порядку за реагуючими речовинами (рис. 4). Параметри цієї реакції наведені в таблиці 1.

Швидкість окиснення Mn(II) в присутності сульфатної кислоти визначається будовою перехідного комплексу $[\text{Mn(II)} \cdot \text{L}_n \dots \text{O}_3]^\ddagger$, стійкість якого залежить від лігандного оточення металу [4, 5]. В оцтовому ангідриді лігандами можуть бути аніони ацетатної кислоти і її ангідриду: $[\text{Mn(II)} \cdot (\text{OAc})_x \cdot ((\text{AcO})_2\text{O})_y]$, а в присутності сульфатної кислоти, вочевидь, може перебігати лігандний обмін ацетат-іону на бісульфат-іон $[\text{Mn(II)} \cdot (\text{OAc})_x \cdot ((\text{AcO})_2\text{O})_{y-b} \cdot (\text{HSO}_4)_{a+b}]$, що може ускладнювати перенос електрону від металу до озону в вищезазначеному комплексі.

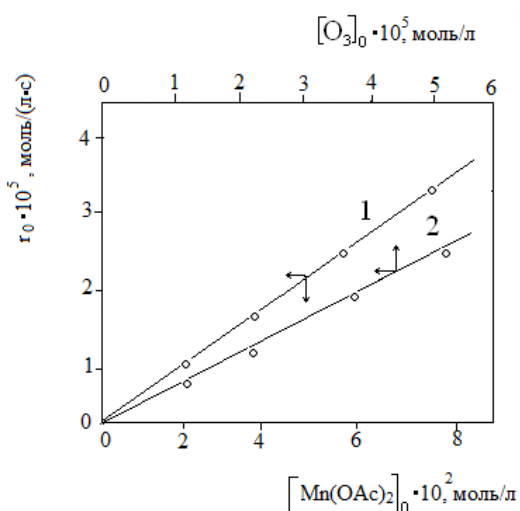
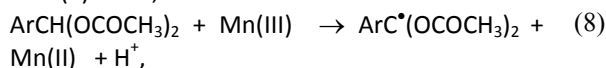
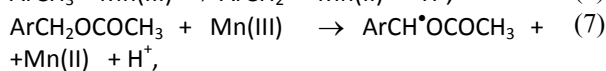
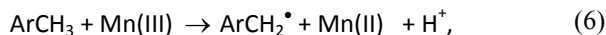


Рис. 4. Залежність швидкості окиснення від концентрації манган(II) ацетату (1, $[\text{O}_3]_0 = 4 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л) і озону (2, $[\text{Mn}(\text{OAc})_2]_0 = 0,06$ моль/л; $[\text{H}_2\text{SO}_4]_0 = 0,8$ моль/л) при температурі 278К

Реакції толуену та його оксигенвмісних похідних з манган(III) ацетатом

Реакція манган(III) ацетату з толуеном і продуктами його окиснення спрямовує реакцію окиснення за бічним ланцюгом:



Характер кінетичних кривих окиснення субстрату (або відновлення Mn(III) за цими реакціями) при різних температурах (рис. 5) свідчить про гальмування окиснення вже на початковій стадії. При -5°C реакція зупиняється при ступені перетворення Mn(III) в Mn(II) 45 % для толуену, 30 % для бензилацетату та 13% для бензилідендіацетату, тобто, чим нижча реакційна здатність субстрату, тим нижчий ступінь перетворення Mn(III), при якому зупиняється реакція. Ступінь перетворення Mn(III), за яким зупиняється реакція, залежить також від температури: вище температура – вищий ступінь перетворення (рис.5).

Швидкість відновлення Mn(III) у вивчених умовах залежить від концентрації Mn(III) та субстрату і є зворотнопропорційною концентрації Mn(II):

$$r = (k \cdot [\text{Mn(III)}]_0 \cdot [\text{ArH}]_0) / [\text{Mn(II)}]_0 \quad (9)$$

В таблиці 2 наведено значення констант швидкості відновлення окисненої форми мангану в реакціях (5-7), а також активаційні параметри цих реакцій. Розрахунки констант проводили з використанням початкових ділянок кінетичних кривих, отриманих при різних концентраціях реагентів і різних температурах. При цьому рахувалось, що гальмування реакції Mn(II) в цих умовах є незначним.

З таблиці 2 видно, що значення константи швидкості вивчених реакції знижуються в ряді толуен > бензилацетат > бензилідендіацетат і в такій же послідовності залежать від температури.

Таблиця 1

Константи швидкості реакції озону з манган(II) ацетатом в оцтовому ангідриді

T, K	Початкова концентрація, моль/л			k, л/(моль с)	E, кДж/моль	A, л/(моль с)
	$[\text{Mn}(\text{OAc})_2]_0 \cdot 10^2$	$[\text{O}_3]_0 \cdot 10^4$	$[\text{H}_2\text{SO}_4]_0$			
278	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	11,2	26,6±3,0	(2,1±2,0) · 10 ⁶
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,2	11,0		
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,4	11,1		
	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	1,0	11,2		
283	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	25,8		
288	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	31,8		
293	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	0,8	38,2		
278	2,0 ÷ 8,0	2,0 ÷ 8,0	-	1000,0	48,3±4,0	(1,1±0,1) · 10 ¹²

Таблиця 2

Параметри і константи швидкості окиснення толуену та його оксигенвмісних похідних Mn(III) ацетатом при 278К

Сполука	k л·моль ⁻¹ ·с ⁻¹	E , КДж/моль	A , л/(моль·с)
Толуен	0,054±0,005	24,8±2,5	2,5·10 ³ ±0,25
Бензилацетат	0,027±0,003	29,9±3,0	1,1·10 ⁴ ±0,11
Бензилідендіацетат	0,013±0,003	37,4±3,7	1,4·10 ⁵ ±0,14

Таблиця 3

Залежність констант швидкості реакції Mn(III) з толуеном та його оксигенвмісними похідними від концентрації сульфатної кислоти при 278К

Сполука	$k \cdot 10^2$ л·моль ⁻¹ ·с ⁻¹ при $[H_2SO_4]_0$, моль/						Порядок реакції по $[H_2SO_4]_0$
	0	0,2	0,4	0,8	1,0	1,2	
Толуен	1,13	2,80	4,80	5,20	5,10	4,80	1,00
Бензилацетат	-	1,30	2,00	2,90	-	2,00	0,50
Бензилідендіацетат	-	1,28	1,29	1,30	-	1,33	0,00

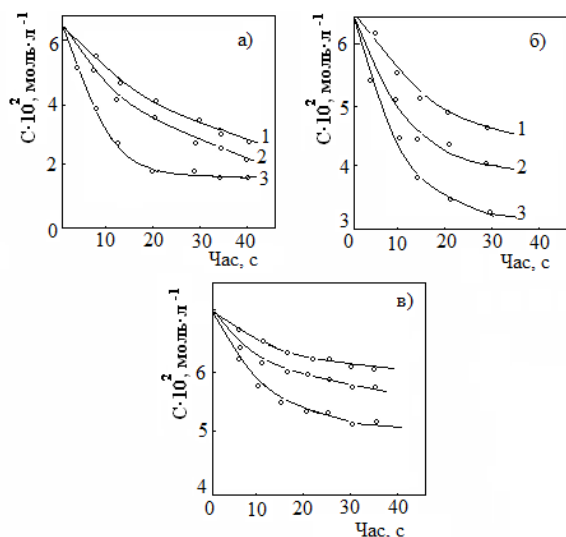
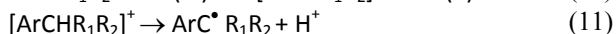


Рис. 5. Кінетичні криві витрати Mn(III) в реакціях з толуеном (а), бензилацетатом (б) та бензилідендіацетатом (в) при температурах 268 (1), 278 (2) та 283 К (3) $[Субстрат]_0 = 0,4$ моль/л; $[Mn(OAc)_2]_0 = 0,06$ моль/л.

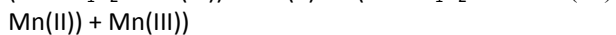
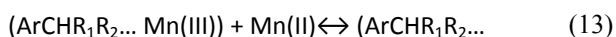
Отримане кінетичне рівняння (8) узгоджується з механізмом [6, 7], який включає зворотній перенос електрону з наступним розпадом катіон - радикалу, що утворюється:



Інгібування окиснення відновною формою мангану пояснюється утворенням на першій стадії комплексу:



який далі реагує з Mn(II) за схемою



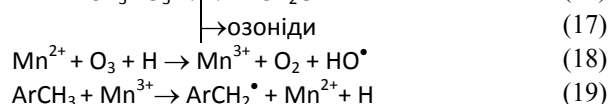
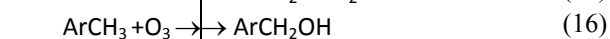
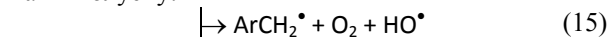
Швидкість окиснення вивчених субстратів має складну залежність від концентрації сульфатної кислоти (табл.3): для толуену, в межах $[H_2SO_4]_0 = 0-0,8$ моль/л, вона має перший порядок за сульфатною кислотою, 0,5 за бензилацетатом і нульовий – за бензилідендіацетатом. Тобто, для толуену і бензилацетату швидкість окиснення зростає з підвищенням концентрації сульфатної кислоти і майже не залежить від неї при окисненні бензилідендіацетату. При $[H_2SO_4]_0 > 0,8$ моль/л швидкість окиснення толуену і бензилідендіацетату знижуються.

За результатами кінетичних досліджень реакції каталітичного циклу стають зрозумілими основні принципи запобігання озонолізу ароматичної системи за умов каталізу і залучення толуену та його оксигенпохідних до окиснення за бічним ланцюгом.

За умов каталізу озон витрачається переважно по реакції з манган(II) ацетатом (2), при цьому в значній мірі запобігається реакція озонолізу (1) ($r_1 = 0,56 \cdot 0,4 \cdot 10^{-4} = 0,9 \cdot 10^{-4}$; $r_2 = 11,1 \cdot 0,06 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 2,7 \cdot 10^{-4}$ л·(моль·с)⁻¹; $r_2: r_1 = 3$)

Утворений за реакцією (2) Mn(III), спрямовує реакцію переважно у напрямку переважного окиснення бічного ланцюга [8] (р.5-7), тобто залучає в окиснення сполуку, що озонується, без руйнування ароматичної системи. Втім, як показали проведені дослідження, для здійснення цієї мети швидкість реакції (3) повинна бути значно вищою за швидкість реакції озонолізу (1), що досягається лише при досить високих концентраціях каталізатора (~15 % моль). Наприклад, для толуену $r_3 = 0,54 \cdot 0,06 \cdot 0,4 = 13 \cdot 10^{-4}$ моль(л·с)⁻¹, за цих умов $r_3: r_1 = 14,4$, а для бензилідендіацетату $r_3 = 0,13 \cdot 0,06 \cdot 0,4 = 3,1 \cdot 10^{-4}$ моль(л·с)⁻¹, а $r_3: r_1 = 3,4$.

Виявлені закономірності добре узгоджуються з наведеною схемою хімічних перетворень при озонуванні толуену:





За такою же схемою окиснюється бензилацетат та бензиліденацетат.

За розглянутою схемою хімічних перетворень селективність окиснення толуену визначається у першому наближенні наступними співвідношеннями:

$$S = \frac{k_{14-16} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{O}_3]_0 a + k_{18} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{Mn}(\text{OAc})_3]_0}{k_{14-16} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{O}_3]_0 + k_{18} [\text{ArH}]_0 \cdot [\text{Mn}(\text{OAc})_3]_0}$$

де $k_{14-16} = 0,56 \text{ л(моль}\cdot\text{с)}^{-1}$; $k_3 = 0,054 \text{ л(моль}\cdot\text{с)}^{-1}$; $[\text{ArH}] = 0,4$; $[\text{Mn}(\text{OAc})_2] = 0,06$; $[\text{O}_3]_0 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ моль}\cdot\text{л}^{-1}$; a – селективність за бічним ланцюгом, $a = 0,06$.

Розрахована селективність окиснення за метильною групою дорівнює 94%, що лише на 5,5 % відрізняється від експериментально знайденої. Така наближеність розрахункових і експериментальних значень підтверджує перебіг реакції окиснення за запропонованою схемою.

Висновки. Кінетичними дослідженнями з'ясована роль реакцій каталітичного циклу при озонуванні толуену в ацетатному ангідриді в присутності манган(II) ацетату. Показано, що введення в систему каталізатора запобігає озонолізу толуену, генерує активну форму Mn^{3+} , яка в реакції з субстратом сприяє його окисненню за бічним ланцюгом.

Л и т е р а т у р а

1. Галстян С.Г. Кінетика окиснення толуену озонופовітряною сумішшю в оцтовому ангідриді / С.Г. Галстян, Н.Ф. Тюпало, А.Г. Галстян // Український хімічний журнал. – 2010. – Т.76, №4. – С. 26-30.
2. Галстян А.Г. Исследование реакции толуола с озоном в жидкой фазе / А.Г. Галстян, С.Г. Галстян, Н.Ф. Тюпало // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т.83, вып. 2. – С. 268-271.
3. Разумовский С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1974. – 322 с.
4. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений / Гринберг А.А. – Л.: Химия, 1971. – 632 с.
5. Никитина Г.П. Окислительно-восстановительные реакции в азотокислых растворах. Окисление озоном четырехвалентных нептуния и плутония / Г.П. Никитина, Ю.Е. Иванов, В.Г. Шушков, В.П. Егоров // Радиохимия. – 1975. – Т.17, №6. – С. 957-963.
6. Накамура А. Принципы и применение гомогенного катализа / А. Накамура, М. Цуцун. – М.: Мир, 1963. – 23 с.
7. Белецкая И.П. Окисление алкилароматических глеводородов солями переходных металлов / И.П. Белецкая, Д.И. Махоньков // Успехи химии. – 1981. – Т.50, № 6. – С.1007-1045.
8. Галстян Г.А., Тюпало Н.Ф., Галстян А.Г. Жидкофазное каталитическое окисление ароматических соединений озоном. Луганск: Изд. ВНУ. 2009. – 415 с.

References

1. Galstyan S.G. Kinetika okisnennya toluenu ozonopovityranoyu sumishshyu v octovomu angidridi / S.G. Galstyan, N.F. Tyupalo, A.G. Galstyan // Ukrainskii himichnii zhurnal. – 2010. – T.76, №4. – S. 26-30.
2. Galstyan A.G. Issledovanie reakcii toluola s ozonom v jidkoi faze / A.G. Galstyan, S.G. Galstyan, N.F. Tyupalo // Jurnal prikladnoi himii. – 2010. – T.83, vip. 2. – S. 268-271.
3. Razumovskii S.D. Ozon i ego reakcii s organicheskimi soedineniyami / S.D. Razumovskii, G.E. Zaikov. – M. Nauka, 1974. – 322 s.
4. Razumovskii S.D. Ozon i ego reakcii s organicheskimi soedineniyami / S.D. Razumovskii, G.E. Zaikov. – M. Nauka, 1974. – 322 s.
5. Nikitina G.P. Okislitelno vosstanovitelnie reakcii v azotokislilich rastvorah. Okislenie ozonom chetirehvalentnih neptuniya i plutoniya / G.P. Nikitina, Yu.E. Ivanov, V.G. Shushkov, V.P. Egorov // Radiohimiya. – 1975. – T.17, №6. – S. 957-963.
6. Nakamura A. Principi i primenenie gomogennogo kataliza / A. Nakamura, M. Cucun. – M. Mir, 1963. – 23 s.
7. Beleckaya I.P. Okislenie alkilaromaticeskikh klevodorodov solyami perehodnih metallov / I.P. Beleckaya, D.I. Mahonkov // Uspehi himii. – 1981. – T.50, № 6. – S.1007-1045.
8. Galstyan G.A., Tyupalo N.F., Galstyan A.G. Zhidkofaznoe kataliticheskoe okislenie aromaticeskix soedinenij ozonom. Lugansk: izd. vnu. 2009. – 415 s.

Галстян Г.А., Галстян А.Г., Седых А.А., Бондарь А.Ю. Исследование отдельных реакций каталитического цикла окисления толуола и его кислородпроизводных озоном в уксусном ангидриде.

В данной работе приведены результаты кинетических исследований основных стадий каталитического цикла реакций окисления толуола и продуктов его окисления озоновоздушной смесью в растворе уксусного ангидрида в присутствии ацетата марганца (II) и серной кислоты при температуре 293 К. Показано, что в присутствии ацетата марганца (II) озон преимущественно расходуется по реакции с Mn^{2+} с образованием Mn^{3+} , который инициирует окисление толуола по метильной группе с образованием бензильных радикалов, которые в присутствии кислорода превращаются в соответствующие пероксидные радикалы и далее, по не ценному механизму, в молекулярные продукты – бензиловый спирт и бензальдегид.

Ключевые слова: озон, окисление, уксусная кислота, ацетат марганца (II), толуол, бензилацетат, бензилидендиацетат.

Galstyan G.A., Galstyan A. G., Sedych A.A., Bondar A. Y. Research of individual reactions of the catalytic cycle of oxidation of toluene and its oxygenproducing ozone in acetic anhydride.

This paper presents the results of the kinetic studies of basic steps of the catalytic cycle of toluene oxidation and its oxidation products ozone mixture in a solution of acetic anhydride in the presence of manganese acetate (II) and sulfuric acid at a temperature of 293 K. It is shown that in the presence of manganese acetate (II), ozone mainly consumed by reaction with Mn^{2+} with the formation of Mn^{3+} , which initiates the oxidation of toluene is at the methyl group to form the benzyl radicals which in the presence of oxygen are converted in the appropriate peroxy radicals, and further, not by a chain

mechanism, a molecular products - benzyl alcohol and benzaldehyde.

Key words: ozone, acidification, acetic acid, manganese(II) acetate, toluene, benzylated, benzylideneacetone.

Галстян Генрі Аршавірович - д.х.н., професор кафедри хімічних та фармацевтичних технологій, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне).

Галстян Андрій Генрійович – д.х.н., професор, декан факультету хімічних наук, Інститут хімічних технологій

Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). aggaalst@gmail.com

Сєдих Ганна Олексіївна – к.х.н., доцент, в.о. зав. кафедри медичної хімії, ДЗ «Луганський державний медичний університет». annamik080678@gmail.com

Бондар Олена Юрїївна – студентка, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне)

Рецензент: д.х.н., проф. **Стенцель Й.І.**

Стаття подана 12.12.2017.

УДК 629.4.027.2:629.45

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ШВИДКІСНОГО ВАГОНА

Дьомін Р.Ю.

CALCULATED ESTIMATION OF DYNAMIC INDICATORS OF A HIGH-SPEED WAGON

Domin R.

В статті представлено результати комп'ютерного моделювання динаміки швидкісного вагона локомотивної тяги типу «Мета». Досліджено залежність показників динаміки руху вагона від характеристик системи демпфірування коливань. Здійснено оцінку впливу на визначені динамічні показники вагона гасителів коливань впливання візків, а також параметрів геометричної взаємодії коліс і рейок.

Ключові слова: швидкісний вагон, динаміка руху, комп'ютерне моделювання, динамічні показники.

Вступ. За минулі десятиліття спостерігався бурхливий процес розвитку технічних рішень щодо удосконалення залізничного транспорту. З огляду на досягнутий нині рівень теоретичних досліджень динамічних процесів, які супроводжують рух рейкового рухомого складу, оцінку показників динаміки швидкісного пасажирського рухомого складу та його взаємодії з колією доцільно виконувати з залученням сучасних засобів комп'ютерного моделювання. За таким підходом відкривається можливість підвищення ефективності визначення впливу на динамічні показники безпеки руху й комфортність перевезень пасажирів конструкційних особливостей ходових частин, призначених для швидкісного руху. В свою чергу, результати комп'ютерного моделювання будуть сприяти прийняттю обґрунтованих рішень щодо допуску швидкісного рухомого складу до експлуатації, уникаючи проблем, що мали місце при впровадженні в систему швидкісних пасажирських перевезень електропоїзда НРCS2 [1].

Питанням математичного моделювання динаміки швидкісного рухомого складу присвячено чисельні дослідження. Значна робота в цьому напрямку виконана українською науковою школою академіка В.А. Лазаряна [2]. Так, ще в 1971-72 роках за ініціативи В.А. Лазаряна було проведено серію унікальних експериментів зі швидкісним вагоном-лабораторією (ШВЛ), який приводився в рух спар-

кою реактивних двигунів літака ЯК-40, встановлених над кабіною машиніста головного вагона електропоїзда ER22P. Під час випробувань ШВЛ на Придніпровській залізниці було досягнуто рекордної для залізниць колії 1520 мм швидкості руху – 250 км/год. За результатами цих випробувань було перевірено раніше побудовану математичну модель просторових коливань ШВЛ [3]. У подальшому ця модель як базова використовувалась при дослідженнях динаміки швидкісного рухомого складу, наприклад, вагонів електропоїзда ЭР-200 [4].

Метою цієї роботи є дослідження впливу на динамічні якості швидкісного пасажирського вагона конструкційних параметрів системи демпфірування і характеристик геометричної взаємодії коліс і рейок.

Об'єкт досліджень. В якості досліджуваного об'єкта прийнято швидкісний вагон «Мета» на візках типу моделі 68-7041 з пневмопідвішуванням побудови КВБЗ (рис. 1). Математичну модель динаміки цього вагона створено в пакеті програмного комплексу UM за методом підсистем [5]. За структурою розрахункова модель вагона подібна до раніше побудованої і верифікованої базової моделі [6]. Загальну систему «Швидкісний вагон» сформовано з 19-ти твердих тіл, 18-ти лінійних і 22-х біполярних силових елементів.



Рис. 1. Швидкісний вагон виробництва КВБЗ

На динамічні показники рухомого складу може суттєво впливати стан колії, який визначається ная-

вними нерівностями. Для моделювання нерівностей колії використано алгоритм формування реалізації випадкового процесу за наданими функціями спектральної щільності [7].

Залежність показників динаміки руху вагона від конструкційних параметрів системи демпфірування коливань. Рациональні параметри ресорного підвішування швидкісних ходових частин визначаються головним чином за результатами математичного моделювання. Це, перш за все, жорсткісні параметри. Відносно систем демпфірування коливань слід відзначити певні розбіжності у рекомендаціях виробників. Так, візки для швидкісних вагонів Тверського вагонобудівного заводу перших партій виробництва постачались гідравлічними демпферами у буксовому підвішуванні. У подальшому, за рекомендаціями, розробленими за експериментальними даними, візки цього типу були модифіковані шляхом усунення буксових гасителів.

З метою перевірки допустимості технічного рішення щодо позбавлення буксового підвішування швидкісних візків демпфірування коливань шляхом комп'ютерного моделювання проведено відповідну оцінку динамічних якостей вагона. При цьому розглянуто два розрахункових варіанти: 1 – коефіцієнт демпфірування буксового гасителя має номінальне значення; 2 – випадок відсутності демпфера.

За результатами розрахунків отримані значення середньоквадратичних відхилень (СКВ) сил взаємодії коліс і рейок, тобто сил Y і Q , а також прискорень рам візків і кузова. Ці значення наведені в таблицях 1, 2 і 3, де в чисельнику вказані розрахункові дані для вихідного варіанту, а в знаменнику – дані, отримані у випадку відсутності демпфірування у буксовому ступені ресорного підвішування.

Таблиця 1

Максимальні СКВ сил взаємодії

СКВ	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
Y , кН	1,77	2,29	2,85	3,39	3,75	4,42	5,12	5,73
	1,77	2,43	2,94	3,67	4,02	4,77	5,36	5,84
Q , кН	3,72	4,77	5,93	7,49	8,89	10,58	12,19	13,43
	3,84	5,92	7,39	11,44	11,24	13,66	12,59	11,29

Як видно з даних табл. 1, суттєві зміни в системі буксового підвішування стосовно демпфірування коливань практично не відбиваються на бокових силах Y . Разом з тим, з порівняння даних розрахунків виходить, що відсутність сил в'язкого опору суттєво змінює залежності вертикальних сил Q . Так, якщо рівень цих сил поступово зростає з нарощуванням швидкості руху екіпажу з номінальними параметрами, то для конструкційного варіанту, що відповідає випадку відсутності буксових гасителів рівень сил Q значно підвищується у швидкісному діапазоні 140-160 км/год.

Дані табл. 2 свідчать про істотний вплив параметрів демпфірування в першому ступені підвішування на рівень вертикальних прискорень рам візків a_z майже у всьому розрахунковому діапазоні швид-

костей руху. Значно менше відзначається вплив цих параметрів на рівень горизонтальних прискорень a_y .

Таблиця 2

Максимальні СКВ прискорень рам візків

СКВ	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
a_z , м/с ²	1,63	2,52	3,89	5,74	7,50	9,60	11,48	12,84
	4,68	10,30	14,02	27,23	25,23	30,50	27,95	19,80
a_y , м/с ²	0,45	0,66	0,93	1,32	1,70	2,30	2,97	3,72
	0,65	1,21	1,65	2,95	3,03	3,96	3,95	3,95

За Пам'яткою UIC 518 рівень горизонтальних поперечних прискорень рам візків виступає також критерієм безпеки руху [8]. За цим критерієм СКВ горизонтальних поперечних прискорень рами візка обмежені певним чином у залежності від маси візка. Так, виходячи з того, що маса візка швидкісного вагона становить 6,68 т, граничне значення СКВ прискорень a_y дорівнює 5,33 м/с². За даними табл. 2 виходить, що СКВ горизонтальних поперечних прискорень рам візків значно нижче допустимого рівня. Отже безпека руху вагона у всьому діапазоні швидкостей руху забезпечена з суттєвим запасом стійкості.

В табл. 3 наведено максимальні значення СКВ прискорень кузова. З приведених результатів розрахунків видно, що виключення з роботи буксових демпферів дещо підвищує рівень прискорень кузова.

Таблиця 3

Максимальні СКВ прискорень кузова

СКВ	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
a_z , м/с ²	0,30	0,31	0,36	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36
	0,35	0,39	0,44	0,41	0,42	0,42	0,42	0,39
a_y , м/с ²	0,20	0,28	0,37	0,44	0,47	0,53	0,61	0,68
	0,21	0,31	0,40	0,51	0,52	0,61	0,66	0,70

Оцінка впливу на динамічні показники вагона гасителів коливань виляння візків. За вимогами, що діють на залізницях колії 1435 мм, одиниці швидкісного рухомого складу мають оснащуватись гасителями коливань виляння (ГКВ). З огляду на світову практику впровадження швидкісного руху має сенс дослідити вплив демпферів цього типу на динамічні характеристики рухомого складу вітчизняного виробництва. З цією метою за допомогою розробленої комп'ютерної моделі виконано відповідні розрахунки.

Ефективність застосування ГКВ оцінювалась шляхом порівняння вихідних величин за відсутності гасителів і включення їх в роботу. В таблицях 4, 5 і 6 наведено максимальні значення СКВ сил Y і Q , а також прискорень рам візків і кузова. Тут в чисельнику приведено розрахункові дані, коли ГКВ відсутні, а в знаменнику – дані, отримані за наявності ГКВ.

З порівняння значень СКВ горизонтальних сил, приведених в табл. 4, можна констатувати, що введення в дію ГКВ загалом призводить до пониження рівня бокових сил при максимальній швидкості ру-

ху, проте загалом у розглянутому швидкісному діапазоні спостерігається збільшення цих сил, зокрема по першій колісній парі. На рівень вертикальних сил ГКВ практично не впливають.

Таблиця 4

Максимальні СКВ сил взаємодії

СКВ	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
Y, кН	1,77	2,29	2,85	3,39	3,75	4,42	5,12	5,73
	3,48	3,62	4,35	4,55	4,46	4,69	4,99	4,92
Q, кН	3,72	4,77	5,93	7,49	8,89	10,58	12,19	13,43
	3,68	4,67	5,91	7,34	8,62	10,22	11,64	12,63

За даними табл. 5, де наведено максимальні значення СКВ прискорень рам візків, виходить, що включення ГКВ практично не впливає на рівень вертикальних прискорень рам візків. Водночас ці демпфери значно знижують рівень горизонтальних прискорень. Тим самим за розглянутим вище критерієм безпеки руху суттєво збільшується запас стійкості вагона.

Таблиця 5

Максимальні СКВ прискорень рам візків

СКВ	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
a_z , м/с ²	1,63	2,52	3,89	5,74	7,50	9,60	11,48	12,84
	1,63	2,51	3,88	5,72	7,45	9,50	11,34	12,66
a_y , м/с ²	0,45	0,66	0,93	1,32	1,70	2,30	2,97	3,72
	0,41	0,57	0,77	0,98	1,14	1,31	1,45	1,53

В табл. 6 наведено максимальні значення СКВ прискорень кузова. З наведених розрахункових даних випливає, що демпфірування коливань впливають не впливає на рівень вертикальних прискорень кузова, натомість уведення цього демпфірування суттєво знижує рівень горизонтальних прискорень.

Таблиця 6

Максимальні СКВ прискорень кузова

СКВ	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
a_z , м/с ²	0,30	0,31	0,36	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36
	0,30	0,32	0,36	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35
a_y , м/с ²	0,20	0,28	0,37	0,44	0,47	0,53	0,61	0,68
	0,18	0,24	0,31	0,35	0,36	0,38	0,41	0,42

Вплив параметрів геометричної взаємодії коліс і рейок на контактні сили і прискорення екіпажної частини. Як свідчать численні дослідження коливань та стійкості руху рейкових екіпажів, геометричні характеристики взаємодії коліс і рейок належать до чинників, що визначають динамічні властивості рухомого складу [9]. Тому при дослідженні умов безпечної та комфортної експлуатації рухомого складу, призначеного для експлуатації з підвищеними швидкостями, перш за все, слід оцінити вплив характеристик геометричної взаємодії коліс і рейок. З метою визначення міри цього впливу прийнято до розгляду розрахункові випадки, коли колеса досліджуваного екіпажу мають профілі за

ГОСТ 9036 і ДМетІ [10]. Останній профіль було розроблено у Дніпропетровському металургійному інституті (тепер – Національна металургійна академія). При цьому приймається до уваги дія гасителів коливань виляння візків.

На рис. 2 представлено графіки залежностей середньоквадратичних відхилень (СКВ) бокових сил контактної взаємодії Y від швидкості руху. Тут через пл(п) позначено графіки СКВ бокових сил взаємодії з рейкою лівого (правого) колеса n-ої колісної пари. Як видно, значення бокових сил для коліс зі стандартним профілем мають розширене поле розкиду (рис. 2 а) у порівнянні з випадком застосування коліс з профілем ДМетІ (рис. 1 б). До того ж рівень бокових сил, що діють на колеса з профілем ДМетІ, нижчий ніж у випадку стандартних і підвищується з ростом швидкості руху приблизно з однаковими градієнтами для всіх коліс.

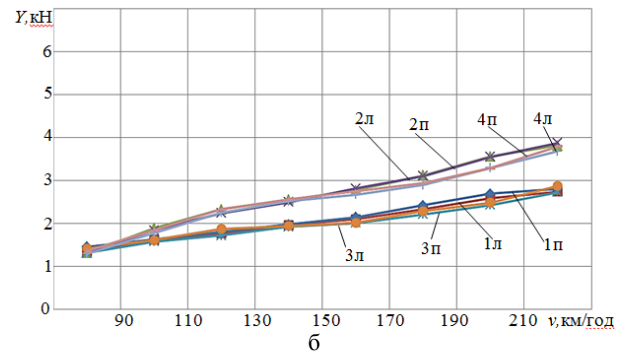
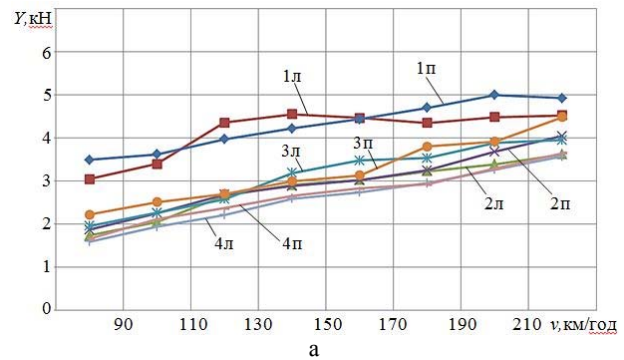


Рис. 2. СКВ горизонтальних сил взаємодії Y: а – колеса з профілем ГОСТ; б – колеса з профілем ДМетІ

Отримані розрахункові значення вертикальних сил взаємодії коліс і рейок свідчать про практичну відсутність їх залежності від геометрії поверхонь кочення коліс. Висновок про нечутливість до зміни профілю коліс стосується також як вертикальних, так і горизонтальних прискорень рам візків.

Як показують результати щодо оцінки прискорень кузова, рівні вертикальних прискорень практично не залежать від вибору профілю поверхонь кочення коліс. Аналогічний висновок також відноситься до горизонтальних прискорень, про що свідчать графіки, представлені на рис. 2.

Відповідно до чинної методики [11] за прискореннями кузова розраховувались показники плавності ходу W_z . За результатами моделювання динамі-

ки руху екіпажа визначено, що залежності значень показника W_z у вертикальному напрямку від швидкості у розглянутих розрахункових випадках залишаються однаковими. Таким чином, цей показник не чутливий до зміни профілів поверхонь кочення коліс – за ГОСТ у початковому і зношеному стані та ДМетІ. Більше того, виявилось, що введення в дію демпферів проти автоколиваний впливання візків також не позначається на плавності ходу вагона у вертикальному напрямку. В цілому, показники плавності ходу не перевищують 2,7, тобто значно нижче гранично допустимого значення – 3,25. Отже плавність ходу по вертикалі задовольняє вимогам комфортності перевезень пасажирів.

Результати розрахунків при вихідних характеристиках геометричної взаємодії коліс і рейок показали, що плавність ходу вагона у горизонтальному напрямку відповідає вимогам у всьому діапазоні швидкостей руху. Натомість у разі зношеності поверхонь кочення коліс з початковим профілем за ГОСТ умови плавності ходу задовольняються лише до швидкості руху 140 км/год.

Висновки

1. За результатами дослідження засобами комп'ютерного моделювання впливу конструкційних параметрів екіпажної частини на динамічні показники швидкісного вагона встановлено:

- при вихідних параметрах ходових частин забезпечуються умови безпеки руху вагона у розглянутому швидкісному діапазоні включно 220 км/год;

- внесення в буксове підвішування змін, пов'язаних з вилученням гідравлічних гасителів коливань, хоч і невідчутно впливає на рівень прискорень кузова, водночас призводить до інтенсивних вертикальних коливань рам візків, що негативно позначиться на ресурсі несучої конструкції;

- демпфірування автоколивань впливання візків, не впливаючи практично на показники вертикальної динаміки вагона, значно знижує інтенсивність горизонтальних коливань, що особливо спостерігається при підвищених швидкостях руху.

2. З дослідження впливу на динамічні показники швидкісного вагона конфігурації поверхонь кочення коліс відмічено певні переваги застосування коліс з профілем ДМетІ у порівнянні з варіантом застосування коліс з профілем за ГОСТ 9036.

3. За результатами аналізу розрахованих показників плавності ходу встановлено, що позбавлення першого ступеню ресорного підвішування демпфірування негативним чином позначається на плавності ходу як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Введення в дію гасителів коливань впливання візків значно покращує плавність ходу вагона в горизонтальному напрямку, не впливаючи на показники плавності ходу у вертикальному напрямку, які задовольняють нормативні вимоги у всьому дослідженому діапазоні швидкостей руху.

Література

1. Дьомін Р.Ю. Визначення показників безпеки руху швидкісного електропоїзда шляхом комп'ютерного моделювання динаміки його вагонів / Р.Ю. Дьомін, Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк // Вагонний парк – 2016. – №1-2. – С. 32-34.
2. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств: Избр. тр. – К.: Наук. думка, 1985. – 528 с.
3. Лазарян В.А. Экспериментальная проверка методов исследования устойчивости движения рельсовых экипажей / В.А. Лазарян, Ю.В. Демин, Г.Ф. Осадчий // Некоторые задачи механики скоростного наземного транспорта. – К.: Наук. думка, 1974.
4. Коротенко М.Л. Исследование влияния коэффициента псевдоскольжения на устойчивость движения моторного вагона электропоезда ЭР200 / М.Л. Коротенко, Ю.В. Демин, Г.Ф. Осадчий // Динамика и прочность высокоскоростного наземного транспорта. – К.: Наук. думка, 1976.
5. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / D.Yu. Pogorelov // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13-58.
6. Черняк Г.Ю. Базова комп'ютерна модель просторової динаміки пасажирського вагона для швидкісного руху / Г.Ю. Черняк, Ю.В. Щербина // Залізничний трансп. України. – 2012. - №6. – С. 55-58.
7. Черняк А.Ю. Моделирование случайных возмущений в системе «рельсовый экипаж – путь» / А.Ю. Черняк // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. Наук. журнал. Техн. науки. Серія «Транспорт 1», 2003. — № 9 (67). — С. 173–177.
8. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Ride quality. UIC Code 518, International Union of Railways, Paris, 2009.
9. Polach O. Influence of wheel/rail contact geometry on the behaviour of a railway vehicle at stability limit / O. Polach // In: ENOC-2005, Eindhoven, Netherlands. – Pp. 2203-2210.
10. Кулешов В.П. Об эффективности работ по программе «колесо-рельс» в локомотивном хозяйстве Украины / В.П. Кулешов, А.В. Сладковский // Залізничний трансп. України. – 2001. - №3. – С. 22-24.
11. СОУ МПП 45.060-204:2007. Вагони пасажирські. Плавність руху. Методи визначення. – К.: Мінпромполітики України, 2007. – 12 с.

References

1. Domin R.Yu. Determination of safety indicators of high-speed electric trains by computer simulation of dynamics of its cars / R.Yu. Domin, Yu.V. Domin G.Yu. Cherniak // Wagon Park - 2016. - No. 1-2. - P. 32-34.
2. Lazaryan V.A. Vehicle dynamics: Selected Pros. - K.: Nauk. dumka, 1985. - 528 p.
3. Lazaryan V.A. Experimental verification of methods for studying the stability of the movement of rail vehicles / V.A. Lazaryan, Yu.V. Domin, G.F. Osadchiy // Some problems of the mechanics of high-speed land transport. - K.: Nauk. Dumka, 1974.
4. Korotenko M.L. Investigation of the effect of the pseudo-slip coefficient on the stability of motion of a motor wag-

- on of an electric train ER200 / M.L. Korotenko, Yu.V. Domin, G.F. Osadchiy // Dynamics and strength of high-speed ground transportation. - K.: Nauk. Dumka, 1976.
5. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / D.Yu. Pogorelov // Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13-58.
 6. Cherniak G.Yu. Basic computer model of spatial dynamics of a passenger car for high-speed traffic / G.Yu. Cherniak, Yu.V. Shcherbyna // Railway trans. of Ukraine. - 2012. - No. 6. - P. 55-58.
 7. Cherniak A.: Simulation of random disturbances in the system “railway rolling stock – track”. Reporter of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. Academic periodical. Engineering sciences. Series “Vehicles 1”, 9 (67), 2003, pp.173-177.
 8. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Ride quality. UIC Code 518, International Union of Railways, Paris, 2009.
 9. Polach O. Influence of wheel/rail contact geometry on the behaviour of a railway vehicle at stability limit / O. Polach // In: ENOC-2005, Eindhoven, Netherlands. – Pp. 2203-2210.
 10. Kuleshov V.P. On the effectiveness of work on the program "wheel-rail" in the locomotive economy of Ukraine / V.P. Kuleshov, A.V. Sladkovsky // / Railway trans. of Ukraine. - 2001. - №3. - P. 22-24.
 11. SOU WPP 45.060-204: 2007. Passenger cars. Smooth traffic. Methods of determination. - K.: Ministry of Industrial Policy of Ukraine, 2007 - 12 p.

Демин Р.Ю. Расчетная оценка динамических показателей скоростного вагона

В статье представлены результаты компьютерного моделирования динамики скоростного вагона локомотивной тяги типа «Мета». Исследована зависимость показателей динамики движения вагона от характеристик системы демпфирования колебаний. Осуществлена оценка влияния на определенные динамические показатели вагона гасителей колебаний виляния тележек, а также параметров геометрического взаимодействия колес и рельсов.

Ключевые слова: скоростной вагон, динамика движения, компьютерное моделирование, динамические показатели.

Domin R. Calculated estimation of dynamic indicators of a high-speed wagon

The paper presents the results of computer simulation of the dynamics of a high-speed wagon of locomotive traction of the "Meta" type. The dependence of the dynamics of the wagon motion on the characteristics of the oscillation damping system is investigated. The impact on certain dynamic indicators of the wagon of vibration damping oscillators of trolleys as well as parameters of geometric interaction between wheels and rails was assessed.

Key words: high-speed car, dynamics of movement, computer modeling, dynamic indicators.

Дьомін Р.Ю. – к.т.н., докторант кафедри залізничного, автомобільного транспорту, підйомних та транспортних систем СНУ ім. В. Даля,
e-mail: r.domin@1520mm.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Глікін М.А.**

Стаття подана 09.12.2017.

УДК 519.2:330.:658.5

ПЕРЕДДЕФЕКТНИЙ СТАН МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТОМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Жидков А.Б., Марченко Д.М., Бойко Г.О.

PRE-DEFECT CONDITION OF METAL CONSTRUCTIONS AND ITS REVEALING BY MAGNETOMETRIC METHODS

Zhydkov A.B., Marchenko D.M., Boiko H.O.

В статті наведено класифікацію основних дефектів металоконструкцій та розглянуто механізм та стадійність виникнення переддефектного стану в елементах металоконструкції, які піддаються змінному навантаженню. Наведено зв'язок між концентрацією механічних напруг, яка має місце при зародженні та на початкових етапах зростання втомної тріщини і магнітними властивостями металу в цій області. Наведено результати експериментальних досліджень магнітних полів зразків з дефектами різного типу, в тому числі на початкових стадіях втомного руйнування, тобто у переддефектному стані.

Ключові слова: дефекти, переддефектний стан, магнітні властивості, металоконструкція, втомне руйнування, магнітометрія

Вступ. Якщо виходити з визначення та класифікації дефектів, то для забезпечення безаварійної експлуатації при проведенні неруйнівного контролю в першу чергу постає завдання виявлення значущих та критичних дефектів. Причому основну увагу доцільно приділити експлуатаційним дефектам, оскільки дефекти іншого виду повинні бути встановлені при виготовленні металоконструкції, або на стадії її вводу до експлуатації.

Переважаю більшість експлуатаційних дефектів можна звести до тріщин, які відрізняються тільки причинами їх виникнення кількістю та розмірами (рис. 1) [1].

Сучасна наука про міцність вважає, що субмікро- та мікротріщини є звичайним елементом дефектної структури металу, яка характерна для металоконструкцій, подібно до дислокацій та вакансій, а руйнування, як процес зародження, об'єднання та росту тріщин закінчується при втраті стійкості однією з них [2].

Метою статті є формулювання науково-обґрунтованого підходу до визначення переддефектного стану металоконструкції та обґрунтування використання магнітометрії для його визначення.



Рис. 1. Класифікація експлуатаційних дефектів

Розвиток тріщин, практично незалежно від їх походження і виду, під дією навантаження проходить за подібними сценаріями. Можна чітко виділити три стадії існування тріщини: зародження, повільний ріст, лавиноподібний ріст. Причому навіть для таких крихких матеріалів, як силікатне скло швидкість розвитку тріщини на кінцевому етапі менша у 10^7 - 10^8 разів ніж на початку її росту. Тому саме момент безпосередньо перед переходом тріщини з другої до третьої стадії доцільно вважати переддефектним станом.

Оскільки критичний розмір тріщини при її переході від другої до третьої стадії може суттєво відрізнятися для різних матеріалів та схем навантаження, то сам факт виявлення тріщини певного розміру не є ознакою настання переддефектного стану.

Розглянемо другу стадію росту тріщини більш ретельно.

Автори пропонують використовувати для визначення настання переддефектного стану металоконструкції відомості з повної діаграми втомного руйнування, на якій також можна виділити три сут-

тево різні ділянки (рис. 2), які виділено за ознакою швидкості росту тріщини.

Перша ділянка низьких швидкостей відповідає коефіцієнтам інтенсивності напруг близьким до порогового значення. Цей період зростання тріщини припадає на понад 90 % часу напрацювання конструкції на злам. На цієї ділянці тріщина росте дуже нерівномірно: скачки приросту її довжини чергуються з зупинками. Тому на першій ділянці діаграми подаються деякі усереднені значення швидкості росту втомної макротріщини.

Друга ділянка діаграми (ділянка Паріса) - прямолінійна. Прийнято вважати, що тут тріщина росте в основному рівномірно за кожен цикл навантаження.

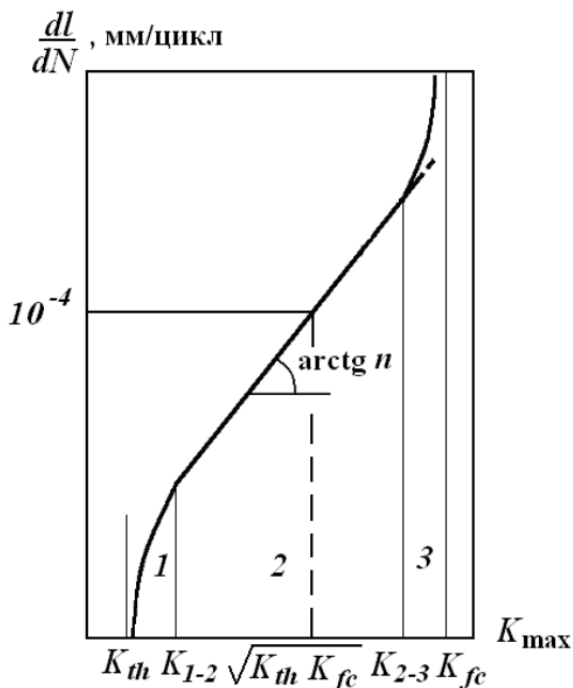


Рис. 2. Повна діаграма втомного руйнування в логарифмічних координатах:

- 1 - область низьких швидкостей росту тріщини;
- 2 – область стабільної швидкості росту тріщини при якій вона подовжується на однакову величину за кожне коливання;
- 3 – область швидкого лавиноподібного росту тріщини (область доламу)

Третя ділянка діаграми вигнута, і її крутизна збільшується в міру наближення K_{max} до критичного значення K_{fc} це стадія доламу, яка є власне стадією руйнування конструкції.

Пропонується далі не розглядати стадію виникнення тріщини, а вважати, що вона вже існує у металі і експлуатація конструкції починається з наявними мікротріщинами, які, як було зазначено вище з вірогідністю близькою до 1 присутні у металі реальної конструкції у будь-якій цікавій для розгляду її ділянці. Такій підхід відповідає підходам механіки руйнування [2, 4].

Тоді в якості критерію настання переддефектного стану можна прийняти область стабільної шви-

дкості роста тріщини, який описується формулою Паріса [5]:

$$\frac{dl}{dN} = 10^{-4} \left(\frac{\Delta K}{c} \right)^n \quad (1)$$

Вважається, що якщо значення K_{max} не перевищує K_{th} то тріщина не росте. Але для визначення настання переддефектного стану є важливим факт перевищення на кожному циклі навантаження K_{max} критичного значення K_{th} . Це свідчить про перехід процесу до другої стадії і може використовуватися в якості ознаки переддефектного стану.

Для визначення переддефектного стану автори пропонують використовувати магнітометричні засоби виявлення концентрації механічних напружень які побудовані на вимірювання власного магнітного поля виробу (метод магнітної пам'яті).

Запропонований метод ґрунтується на наступних фізичних ефектах:

- зміна індукції у феромагнетику, який знаходиться в зовнішньому магнітному полі під дією механічних навантажень (магнітопружний ефект);
- зміна вектору залишкової намагніченості феромагнітного виробу в напрямку дії максимальних напружень (магнітомеханічний ефект);
- ефект формування доменів і доменних меж на скупченнях дислокацій в зонах концентрації напружень (магнітопластика);
- ефект розсіювання магнітного поля структурними і механічними неоднорідностями в умовах природної намагніченості металу.

Сутність метода зводиться до вимірювання магнітного поля на поверхні виробу та подальшому розрахунку і візуалізації результатів.

Основними інформативними параметрами є:

- значення напруження магнітного поля по координатах (зазвичай використовують тільки дві з них (нормальна та тангенціальна складова, але можливо використання і третьої складової вектор якої направлено вглиб металу);
- градієнт магнітного поля по довжині (dH_p / dx) або по базі між каналами вимірювань.

Багатьма дослідженнями доведений зв'язок між напружено-деформованим станом металу напруженням власного магнітного поля зразка. На рис. 3. Наведено криві розподілу еквівалентних напруг та напруженість постійного магнітного поля поблизу малого отвору у навантаженому зразку.

Зв'язок між параметрами очевидний, але для визначення переддефектного стану цікаві ділянки, саме концентрації напруг. Наприклад, такі, як наведено на рис. 4.

Вимірювання магнітного поля на ділянках з високою концентрацією напруг дають різні результати в залежності від ступеня пластичної деформації та наявності чи відсутності несучальностей у металі (дефектів типу пір, тріщин, непроварів зварних швів, тощо). При вимірювання напруження магнітного поля за трьома координатами результати не дають змогу ідентифікувати дефект (рис. 5)

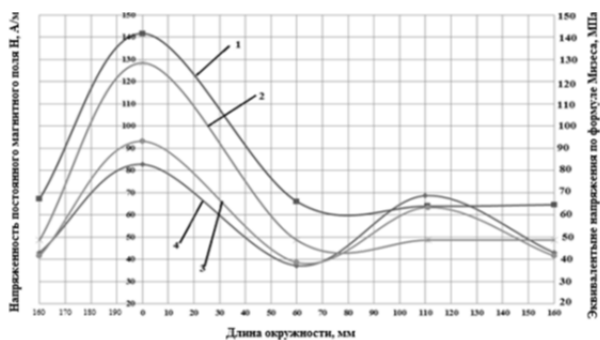


Рис. 3. Розподіл еквівалентних напруг (1, 2) та напруження магнітного поля (3,4) поблизу отвору у навантаженому зразку [6]



Рис. 4. Зона з концентрацією механічних напруг, яка виявлена на діаграмі нормальної складової магнітних напружень

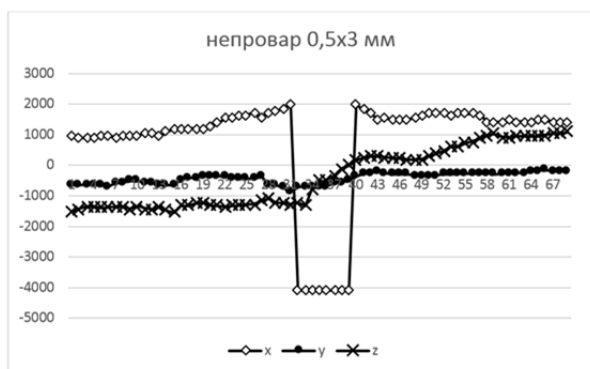


Рис. 5. Магнітне поле плоского зразка зі зварним швом та непроваром

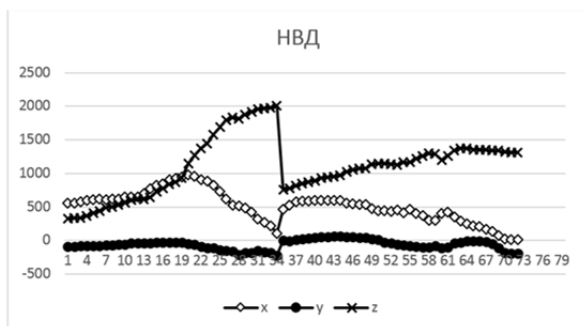


Рис. 6. Магнітне поле для зразків із зародком тріщини, яка росте внаслідок значної циклічної деформації



Рис. 7. Магнітне поле для зразків із зварним швом та поодиноким порою

Для збільшення інформативності був запропонований метод візуалізації вимірювань магнітного поля, який оснований на побудові вектору магнітної індукції, що дозволяє отримувати картини зміни напрямку та величини магнітної індукції поблизу зони, де метал перебуває у переддефектному стані. Приклад наведено на рис. 8.

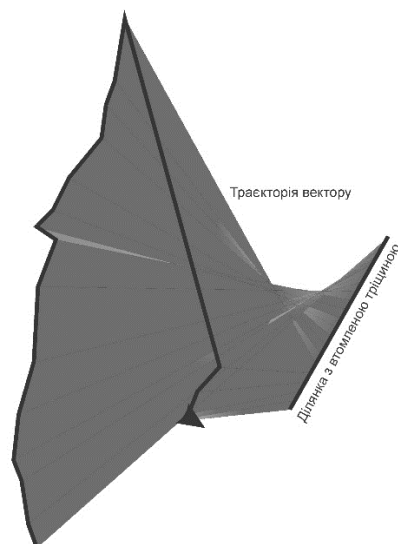


Рис. 8. Результати магнітометрії для пошуку зон у переддефектному стані у вигляді тривимірного представлення траєкторії вектору напруження магнітного поля

Запропонований метод дозволяє оперативно здійснювати діагностику обладнання та має наступні переваги:

- застосування методу не потребує спеціальних намагнічуючих пристроїв, оскільки використовується явище намагнічування вузлів устаткування і конструкцій в процесі їх роботи;
- місця концентрації механічних напруг від робочих навантажень або в зоні розвитку тріщин які визначають переддефектний стан, заздалегідь не відомі і визначаються в процесі їх контролю;
- зачистки металу і іншої будь-якої підготовки контрольованої поверхні метод не вимагає;

- для здійснення контролю за пропонуванним методом використовуються прилади, що мають невеликі габарити, автономне живлення і реєструючи пристрої;

- спеціальні пристрої для сканування дозволяють контролювати металоконструкції в режимі експрес - контролю зі високою швидкістю.

Висновки. Переддефектний стан металоконструкції, яка підлягає циклічному навантаженню може бути визначений як ділянка на повній діаграмі руйнування при якій відбувається стабільний ріст тріщини. Це супроводжується значною концентрацією напруг по фронту росту тріщини та виявляється магнітометричними методами у вигляді різкої зміни напругу, або величини напруження магнітного поля, що може бути надійно зафіксовано за допомогою сучасних магнітометричних приладів. Використання таких методів НК має беззаперечні переваги перед традиційними методами.

Л і т е р а т у р а

1. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення
2. Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. – М.: Металлургия, 1989. – 576 с.
3. Гуревич С.Е., Едидович Л.Д. О скорости распространения трещины и пороговых значениях коэффициента интенсивности напряжений в процессе усталостного разрушения. В кн.: Усталость и вязкость разрушения металлов. – М.: Наука, 1974. – С. 36–79.
4. Нотт Дж. Основы механики разрушения. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.
5. Ярема С.Я., Микитишин С.И. Аналитическое описание диаграмм усталостного разрушения материалов // ФХММ. – 1975. – № 6. – С. 47–55.
6. Влияние напряженно-деформированного состояния оболочковой конструкции на магнитные характеристики. Хайбуллина Л.В., Васильев В.В. // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2013., №5, с. 376 – 384

R e f e r e n c e s

1. DSTU 2925-94. Product quality. Quality assessment. Terms and definitions
2. Herzberg R.V. Deformation and mechanics of structural materials destruction. - Moscow: Metallurgy, 1989. - 576 pp.
3. Gurevich SE, Edidovich L.D. The rate of crack propagation and the threshold values of the stress intensity factor in the process of fatigue failure. In the book: Fatigue and viscosity of metal destruction. - Moscow: Nauka, 1974. - С. 36-79.
4. Nott J. Fundamentals of the Mechanics of Destruction. - Moscow: Metallurgy, 1978. - 256 p.

5. Yarema S.Ya., Nikitshyn SI, Analytical description of fatigue fracture diagrams of materials // PhMMM. - 1975. - No. 6. - С. 47-55.
6. Influence of the stress-deformed state of the shell structure on the magnetic characteristics. Khaybullina LV, Vasiliev VV // Oil and gas business: electronic scientific journal. 2013, No. 5, p. 376 – 384

Жидков А.Б., Марченко Д.Н., Бойко Г.А. Преддефектное состояние металонструкций и его определение магнитометрическими методами

Аннотация: В статье приведена классификация основных дефектов металлоконструкций и рассмотрен механизм и стадийность возникновения преддефектного состояния в элементах металлоконструкции, которые подвергаются переменному нагружению. Изложена связь между концентрацией механических напряжений, которая имеет место при зарождении и на начальных этапах роста усталостной трещины и магнитными свойствами металла в этой области. Приведены результаты экспериментальных исследований магнитных полей образцов с дефектами различного типа, в том числе на начальных стадиях усталостного разрушения, то есть в преддефектном состоянии.

Ключевые слова: дефекты, преддефектное состояние, магнитные свойства, металлоконструкция, усталостное разрушение, магнитометрия

Zhydkov AB, Marchenko DN, Boyko GA. Pre-Defect condition of Metal Constructures and Its revealing by Magnetometric Methods

Annotation: The article gives a classification of the main defects of metal structures and considers the mechanism and stages of the appearance of the pre-defect state in the elements of the metal structure that are subject to variable loading. The relationship between the concentration of mechanical stresses that occurs during nucleation and at the initial stages of growth of a fatigue crack and the magnetic properties of a metal in this region is described. The results of experimental studies of magnetic fields of samples with defects of various types, including at the initial stages of fatigue failure, that is, in the predefect state, are presented.

Key words: defects, predefective state, magnetic properties, metal structure, fatigue failure, magnetometry

Жидков Андрій Борисович, к.т.н., доц., доцент кафедри електричної інженерії СХУ ім. В.Даля zhand.cmw@ukr.net
Марченко Дмитро Миколайович, д.т.н., проф. перший проректор СХУ ім. В.Даля, mdnsnumdn@gmail.com
Бойко Григорій Олексійович, к.т.н., доц., начальник НДЧ СХУ ім. В.Даля, ednil-uni@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Стенцель Й.І.**

Стаття подана 15.12.2017.

УДК 661.938(075.8)

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ ФОТООКИСНЕННЯМ N₂O У НІТРОЗНИХ ГАЗАХ

Кравченко І. В., Зубцов Є. І.

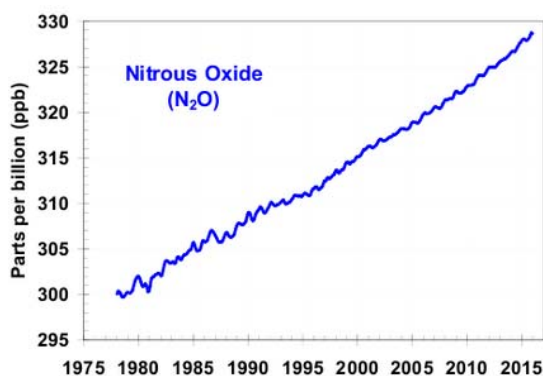
INCREASE OF ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF NITRIC ACID PRODUCTION BY PHOTOOXIDATION OF N₂O IN NITROUS GASES

Kravchenko I. V., Zubtsov Y. I.

У статті представлені дослідження залежності перетворення NO₂ від довжини хвилі когерентного опромінення, які дозволяють оцінити ефективність опромінення нітрозного газу ртутними лампами. Показано, що при опроміненні газу, який відходить з холодильника нітрозних газів, вихід нітратної кислоти зростає на 10,84%. Екологічна ефективність полягає у скороченні викидів парниковоутворюючого газу N₂O в еквіваленті на CO₂ в кількості 0,26 млн.т/рік.

Ключові слова: нітрозний газ, опромінення, синглетний окисен, монооксид динітрогену, вихід нітратної кислоти, скорочення викидів

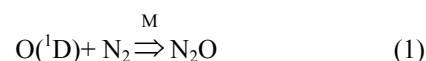
Постановка проблеми. Станом на 2015 р. підраховано, що майже 29,5 млн. т N₂O (а це 18,8 млн. т зв'язаного нітрогену) щорічно потрапляє в атмосферу, з яких 64% припадає на долю природних джерел, а 36% - на долю антропогенних, основними з яких є виробництва нітратної і адипінової кислот та глюкозала [1]. При цьому концентрація N₂O в атмосфері щорічно збільшується на 0,2% (рис.1).

Рис.1. Тенденція приросту в атмосфері парникового N₂O

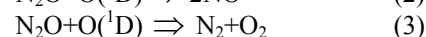
Сучасний промисловий спосіб виробництва нітратної кислоти заснований на каталітичному окисненні аміаку киснем повітря при 890-910°C з утворенням нітрозного газу, що містить солетворні оксиди нітрогену, водяну пару, кисень та динітроген монооксид (N₂O), відомий як парниковий газ та руйнівник озонового шару Землі. N₂O не реакційноздатна сполука в умовах отримання нітратної кислоти, баластом проходить все стадії виробництва й скидається в атмосферу разом з відкидними газами.

Більшість сучасних досліджень, покликаних вирішити проблему скорочення антропогенних викидів геміоксиду нітрогену, направлені на знешкодження шляхом руйнування (розкладання) N₂O безпосередньо в контактному апараті [2-4] або на стадії каталітичного очищення відкидних газів [5]. Але втрачати вже зв'язаний азот, певно, не дуже доцільно з технологічної точки зору. Адже є сенс відшукати можливість перетворення геміоксиду нітрогену на солетворні оксиди в умовах виробничого процесу з метою отримання додаткової кількості товарної нітратної кислоти та скорочення викидів N₂O.

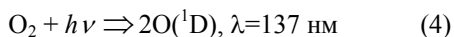
При температурах розкладання N₂O (520-900°C) атоми кисню основного триплетного стану O(³P) і молекули N₂, зближаючись відштовхуються [6]. N₂O виявлений у міжзоряному газі [7], він утворюється в результаті приєднання до молекулярного азоту атома кисню збудженого синглетного стану O(¹D) [8]:



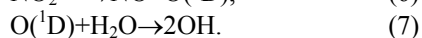
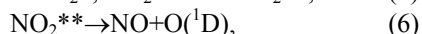
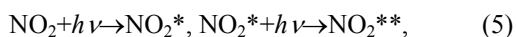
У стратосфері N₂O руйнується внаслідок УФ-опромінення (λ≈340 нм) і взаємодії з реакційноздатним O(¹D) за реакціями:



Можливість промислового отримання NO з атмосферного азоту або геміоксиду нітрогену за реакціями (1,2) залежить від розробки доступного способу одержання збуджених атомів кисню O(¹D). Атоми O(¹D) в атмосфері утворюються в результаті фотолізу молекулярного кисню, наприклад, за реакцією:



Реакцію (4) у промислових умовах досить важко здійснити, вона вимагає великих витрат енергії (873 кДж·моль⁻¹) [8]. Бажано для здешевлення процесу атоми O(¹D) одержувати у менш жорстких умовах та, ймовірно, на основі інших реагентів. Доступним і найбільш вигідним реагентом для синтезу O(¹D) може стати диоксид нітрогену збудженого стану, який при фотолізі утворює NO і O(¹D). Утворений NO окиснюється молекулярним киснем і повертається в цикл, тобто NO₂ у процесі одержання O(¹D) не губиться. У роботі [9] досліджувався аналогічний процес одержання OH-радикалів когерентним імпульсно-лазерним опроміненням молекули NO₂ основного стану спочатку фотонами з довжиною хвилі 432 нм для утворення NO₂* збудженого стану, а потім з довжиною хвилі 449 нм:



Було встановлено, що енергії опромінення з довжиною хвилі 435 нм вистачить як для переходу NO₂ + hν → NO₂*, так і для переходу NO₂* + hν → NO₂** → NO + O(¹D). При довжині хвилі вторинних фотонів від 450 до 532 нм й більше енергії вже недостатньо для отримання O(¹D), адже утворення

OH-радикалів вже не спостерігалось, з чого зрозуміло, що для отримання молекули NO₂* збудженого стану необхідні фотони з енергіями в інтервалі довжин хвиль 430-435 нм, а для поглинання другого фотону необхідна енергія довжин хвиль 435-449 нм.

Дотепер у великотоннажних промислових технологіях лазерне когерентне опромінення для газових середовищ не використовувалось внаслідок технічних складнощів, тому доцільно дослідити вплив некогерентного опромінення, наприклад, ртутними лампами.

Метою роботи є оцінка ефективності від визначення чинників, що дозволять отримати вихід NO при некогерентному опроміненні на рівні виходу, що досягається від когерентного опромінення.

Актуальність теми полягає в тому, що утворення NO з N₂ або N₂O при їх опроміненні в присутності NO₂ ртутними лампами приведе до способу одержання нітратної кислоти без аміаку, тобто на основі іншої сировини, а також вирішить проблему скорочення викидів N₂O.

Матеріали та результати дослідження. Завдання промислового одержання NO з N₂ або N₂O в умовах низьких температур може бути вирішено шляхом встановлення механізму перетворень окисника (NO₂) при когерентному опроміненні в діапазоні всіх УФ довжин хвиль, що надасть можливість прогнозувати результати перетворень при некогерентному опроміненні ртутними лампами, діапазон довжин хвиль яких різний.

Молекула-радикал NO₂ у результаті опромінення електромагнітними хвилями різних енергій може переходити у три збуджені метастабільні стани, структура й термодинамічні характеристики яких визначені раніше в роботах [10,11] і представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Дані квантово-хімічного розрахунку електронної структури й термодинамічних параметрів молекули NO₂ у різних електронних станах (²A₁, ²B₂, ²B₁, ²A₂"') та молекул N₂ і O₂ основних станів

Позначення молекулярної системи в стані	Геометричні характеристики (Å, градуси)	Найменування стану	Термодинамічні характеристики		
			Δ _r H ^o ₂₉₈ , кДж/моль	S ^o ₂₉₈ , Дж/(моль·К)	C ^o _{p,298} , Дж/(моль·К)
NO ₂ (² A ₁)	r(N-O)= 1,190 (1,193) <ONO=134,5 (134,1)	основний	34,2	240,17	36,7
NO ₂ (² B ₂)	r(N-O)= 1,254 <ONO=101,85	перший	130,7	244,0	40,16
NO ₂ (² B ₁)	r(N-O)= 1,195 <ONO=179,90	другий	188,6	192,12	39,4
NO ₂ (² A ₂ "')	r(N-O1)=1,5075 r(N-O2)=1,1562 <ONO=110,01	третій	229,9	254,1	42,7
N ₂ (¹ Σ _g)	r(N-N)=1,090 (1,097)	основний	0,0 0,0	191,35 191,50	29,10 29,12
O ₂ (³ Σ _g)	r(O-O)=1,203 (1,207)	основний	0,0 0,0	204,90 205,04	29,28 29,37

У таблиці 1 для N_2 і O_2 показані термодинамічні розрахункові та відомі експериментальні дані, які практично збігаються. Тому немає підстав піддавати сумніву точність даних для збуджених молекул NO_2^* .

Як видно з таблиці 1 переходи молекули NO_2 з основного стану в збуджені здійснюються з підвищенням ентальпії утворення, яке відображене у таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна ентальпії утворення в переходах NO_2 з основного у збуджені стани

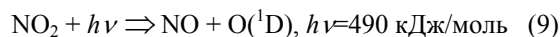
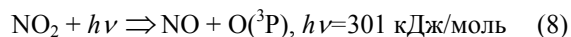
Перехід	Величина підвищення ентальпії утворення, кДж
$NO_2(^2A_1) \rightarrow NO_2(^2B_2)$	130,7-34,2=96,5
$NO_2(^2A_1) \rightarrow NO_2(^2B_1)$	188,6-34,2=154,4
$NO_2(^2A_1) \rightarrow NO_2(^2A'')$	229,9-34,2=195,7

Практична енергія збудження ($E_{\text{практ}}$) через екранування зв'язку та інші причини повинна бути дещо більшою. Відомо, що третій збуджений стан молекули $NO_2(^2A'')$ утворюється з $NO_2(^2A_1)$ основного стану при лазерному опроміненні, імовірно, з довжиною хвилі $\lambda=430$ нм [9] (хвильове число $\omega=23255,8$ cm^{-1}). Тобто $E_{\text{практ}}(NO_2(^2A''))=23255,8-11,963=278,21$ кДж/моль, де $11,963$ Дж/моль = 1 cm^{-1} [12].

Практичні значення енергій збудження NO_2 основного стану для переходів у перший та другий збуджені стани в доступній нам літературі не виявлені. Тому для їх наближеної оцінки можна застосувати співвідношення між $E_{\text{практ}}$ і величиною підвищення ентальпії при переході у третій збуджений стан $NO_2(^2A'')$, яке дорівнює $278,21/195,7=1,42$. Застосувавши цей коефіцієнт для інших станів, знаходимо $E_{\text{практ}}(NO_2(^2B_2))=96,5 \cdot 1,42=137,2$ кДж/моль – це відповідає довжині хвилі $\lambda=872$ нм, а $E_{\text{практ}}(NO_2(^2B_1))=154,4 \cdot 1,42=219,48$ кДж/моль – $\lambda=545,6$ нм (1-ий збуджений стан виникає при ІЧ-опроміненні).

У роботі [9] зазначено, що утворення ОН-радикалів з NO_2 та H_2O відбувається також при послідовному поглинанні 2-х фотонів з довжиною хвилі $\lambda=435$ нм. Однак, коли після поглинання першого фотону з $\lambda=432$ нм збуджений радикал NO_2^* опромінювався фотонами з $\lambda=532$ нм, то атоми $O(^1D)$ не утворювалися й радикали ОН не спостерігалися. Таким чином, з даних цієї роботи можна зрозуміти, що для утворення $O(^1D)$ довжина хвилі першого фотону може бути в межах 432- 435 нм, а другого фотону – 435-449 нм.

При лазерному УФ-опроміненні NO_2 встановлено [8], що при граничній довжині хвилі $\lambda=398$ нм відбувається фотоліз з утворенням атома кисню основного стану $O(^3P)$, а при $\lambda=244$ нм – фотоліз з утворенням $O(^1D)$:



При термічній дисоціації збуджених молекул NO_2^* утворення атомів $O(^1D)$ не відбувається.

Застосування когерентного УФ-опромінення з більш короткими довжинами хвиль, ніж $\lambda=244$ нм для подальшого переходу на некогерентне опромінення з метою утворення атомів $O(^1D)$ технічно й економічно не доцільно, тому нами не розглядається.

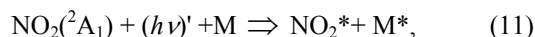
У роботі [13] опромінення молекул $NO_2(^2A_1)$ основного стану проводили за допомогою лазерного джерела при варіюванні довжин хвиль із метою вивчення часу життя збуджених молекул. Було встановлено, що збуджені в інтервалі довжин хвиль 399-416 нм молекули NO_2^* за тривалістю життя можна об'єднати у три групи: 35-82, 80-120 і близько 0,1 мкс. При лазерних опроміненнях у діапазоні 423-462 нм ці групи збуджених молекул мали час життя відповідно 39-48, 1-6 і близько 0,1 мкс. Порівнюючи розрахований час життя збуджених молекул NO_2^* [14] та наведені вище експериментальні значення, знайдено, що зазначені групи можна віднести до метастабільних збуджених станів відповідно перший $NO_2(^2B_2)$, гранична $\lambda=872$ нм, другий $NO_2(^2B_1)$, гранична $\lambda=545,6$ нм, і третій $NO_2(^2A_2)$, гранична $\lambda=435$ нм, які утворюються з основного стану $NO_2(^2A_1)$. Наявність усіх можливих збуджених станів при опроміненні NO_2 в УФ діапазонах довжин хвиль 399-416 нм і 423-462 нм свідчить про те, що при значеннях довжин хвиль нижче граничних у реакціях фотозбудження фотон з великою енергією сприяє утворенню збудженої молекули NO_2^* та фотону з меншою енергією:



де $(h\nu)'$ – енергія будь-якого фотона з довжиною хвилі 399-462 нм, кДж;

NO_2^* – молекула одного з трьох збуджених станів; $(h\nu)''$ – енергія фотона, що утворюється, кДж.

Напевно, фотони з малою енергією $(h\nu)''$ можуть поєднуватися та утворювати фотон з більшою енергією або перетворюватися з променевої енергії у теплову. При перетворенні $(h\nu)''$ у теплову енергію необхідно реакцію (10), подібно реакції (1), зображувати за участю реагенту (M):



де другий реагент (M) не змінюється, але поглинає енергію, що виділяється $(h\nu)''$.

Реакції фотолізу (8,9) при значеннях довжин хвиль нижче граничних будуть протікати подібно перетворенням (10,11). Можливі перетворення NO_2 при когерентному опроміненні в інтервалі довжин хвиль 872-230 нм представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

Перетворення NO₂ основного стану при когерентному опроміненні

Довжина хвилі, нм	Перетворення з основного стану	Час перетворення, с
<i>у перший збуджений стан</i>		
872	$NO_2(^2A_1) + h\nu \rightarrow NO_2(^2B_2)$	$10^{-17}-10^{-15}$ [15]
871-546	$NO_2(^2A_1) + (h\nu)' \begin{cases} \rightarrow NO_2(^2B_2) + (h\nu)'' \\ \xrightarrow{+M} NO_2(^2B_2) + M^* \end{cases}$	
<i>у другий збуджений стан</i>		
545,6	$NO_2(^2A_1) + h\nu \rightarrow NO_2(^2B_1)$	$10^{-17}-10^{-15}$ [15]
545-436	$NO_2(^2A_1) + (h\nu)' \begin{cases} \rightarrow NO_2(^2B_1) + (h\nu)'' \\ \xrightarrow{+M} NO_2(^2B_1) + M^* \end{cases}$	
<i>у третій збуджений стан</i>		
435	$NO_2(^2A_1) + h\nu \rightarrow NO_2(^2A_2)$	$10^{-17}-10^{-15}$ [9]
434-399	$NO_2(^2A_1) + (h\nu)' \begin{cases} \rightarrow NO_2(^2A_2) + (h\nu)'' \\ \xrightarrow{+M} NO_2(^2A_2) + M^* \end{cases}$	
<i>фотоліз з утворенням O(³P)</i>		
398	$NO_2(^2A_1) + h\nu \rightarrow NO + O(^3P)$	$10^{-15}-10^{-13}$ [8, 9]
397-245	$NO_2(^2A_1) + (h\nu)' \begin{cases} \rightarrow NO + O(^3P) + (h\nu)'' \\ \xrightarrow{+M} NO + O(^3P) + M^* \end{cases}$	
<i>фотоліз з утворенням O(¹D)</i>		
244	$NO_2(^2A_1) + h\nu \rightarrow NO + O(^1D)$	$10^{-15}-10^{-13}$ [8]
243-230	$NO_2(^2A_1) + (h\nu)' \begin{cases} \rightarrow NO + O(^1D) + (h\nu)'' \\ \xrightarrow{+M} NO + O(^1D) + M^* \end{cases}$	

Перетворення NO₂ при некогерентному опроміненні теоретично також можуть бути отримані, тільки якщо некогерентне опромінення дає такий самий спектр випромінювання 872-230 нм з такою ж відносною енергією кожної довжини хвилі.

З даних таблиці 3 видно, що в початковий період часу при некогерентному опроміненні ртутними лампами фотохімічні реакції утворення атомів кисню з NO₂ основного стану в інтервалі хвиль 398-230 нм не повинні протікати з причини їх тривалого часу перетворення. У процесі некогерентного опромінення при окисненні N₂ в інтервалі хвиль 872-399 нм спочатку мають місце тільки дуже швидкі переходи молекул NO₂ з основного в збуджені стани. Таким чином, при некогерентному опроміненні NO₂ ртутними лампами атоми кисню O(¹D) можуть утворитися тільки із збудженого стану NO₂* (переважно із третього збудженого стану) за реакціями (5,6), для чого NO₂* має поглинути ще один фотон. Розрахунками встановлюється, що довжина хвилі другого фотона для поглинання при довжинах хвиль першого поглиненого фотона (399-462 нм) повинна відповідно становити 491-420,6 нм. Другий фотон для поглинання молекулою NO₂* можна отримати від додаткового джерела некогерентного випромінювання. Завжди процеси збудження молекул NO₂ у деякій мірі практично одночасно супроводжуються й процесами утворення O(¹D).

Фотохімічні реакції селективні, фотон певної довжини хвилі може взаємодіяти тільки зі зв'язком відповідної енергії.

Зазвичай взаємодія фотона з молекулою при її збудженні здійснюється миттєво за 10⁻¹⁵-10⁻¹⁷ с [16].

При одночасній взаємодії фотонів всього спектру довжин хвиль і молекули NO₂ переважно проходять більш швидкі фотохімічні реакції, а лише потім повільніші тіньові реакції., які представлені в табл.4.

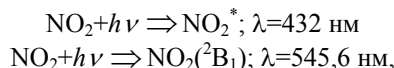
Таблиця 4

Тіньові екзотермічні реакції

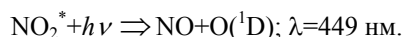
Реакція	Час перетворення, с
$2O(^3P) \Rightarrow O_2$	$10^{-3}-10^{-10}$
$2NO_2^* \Rightarrow 2NO + O_2$	$10^{-3}-10^{-10}$
$O(^1D) + N_2 \Rightarrow N_2O$	$10^{-3}-10^{-10}$
$2NO_2(^2B_1) \Rightarrow 2NO + O_2$	$10^{-3}-10^{-10}$
$2NO + O_2 \Rightarrow 2NO_2$	10^2-10^1

З даних таблиці 3 зрозуміло, що реакція дисоціації NO₂ до NO та O(³P) в інтервалі довжин хвиль 365-429 нм впливає практично на три порядки повільніше, ніж реакції збудження NO₂ в інтервалах 430-435 та 450-579 нм відповідно до третього збудженого стану NO₂* і другого збудженого стану NO₂(²B₁), час перетворення яких становить у середньому 10⁻¹⁶ с. Тому реакцію фотолізу NO₂ до NO та O(³P) з розгляду можна виключити. Потрібна нам реакція дисоціації молекули NO₂* третього збудженого стану

при 435-449 нм, що залежить від перебігу реакції збудження й спливає за $10^{-16} \div 10^{-13}$ с, є останнім можливим вторинним фотохімічним процесом серед фотохімічних реакцій. Таким чином, з урахуванням даних таблиці 4 бажаний процес двохфотонного поглинання оксидом нітрогену (IV) супроводжуватиметься проміжними реакціями, серед яких миттєві ($\tau=10^{-16}$ с) з рівними селективністю



та дуже швидка ($\tau=10^{-16} \div 10^{-13}$ с), що залежить від реакції утворення NO_2^*



В діючих виробництвах неконцентрованої нітратної кислоти під тиском 0,73 МПа потужністю 125 тис.т/рік з контактного апарату виходить близько 6,75 кг N_2O на 1 т HNO_3 . Для окиснення N_2O та N_2 пропонується опромінювати нітрозний газ перед колоною абсорбції.

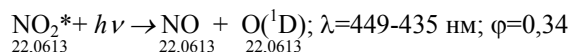
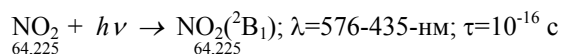
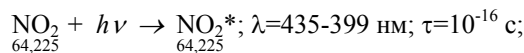
Склад та витрата газів після холодильника нітрозних газів наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

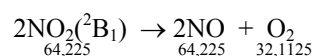
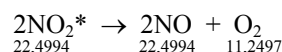
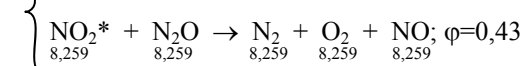
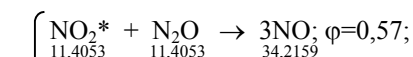
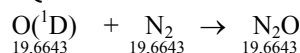
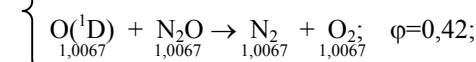
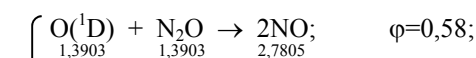
Склад нітрозного газу перед колоною абсорбції

Речовина	м ³ /год	кмоль/год	кг/год	% об.
NO	2411,584	107,660	3229,800	4,51
NO ₂	2877,280	128,450	5908,700	5,39
N ₂ O	53,693	2,397	105,468	0,10
O ₂	1482,107	66,166	2117,296	2,77
N ₂	39807,107	1777,103	49758,884	74,50
H ₂ O	6328,224	282,510	5085,180	11,84
Ar	470,749	21,016	839,573	0,88
Разом	53430,745	2385,301	67044,901	100

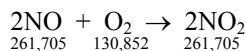
Відомо, що окисниками N_2O можуть виступати не лише атоми кисню $\text{O}(^1\text{D})$, а й молекули третього збудженого стану $\text{NO}_2(^2\text{A}')$ [17]. Для опромінення обрано ртутну лампу ППК-2 (робочій спектр $\lambda=248-579$ нм). Розрахунок матеріального балансу опромінення суміші та доокиснення наведений нижче (φ - селективність):



$\text{O}(^1\text{D})$ як окисник більш сильний, ніж NO_2^*



Доокиснення NO до NO₂



Кисень додається з повітря, склад якого, % об.: N₂ – 78,09, O₂ – 20,95, Ar – 0,932. Додано кисню 42,0611 кмоль/год.

Таблиця 6

Стадія опромінення NO₂

Прихід	м ³ /год	кмоль/год	кг/год	%об.	Витрата	м ³ /год	кмоль/год	кг/год	%об.
1) NO	2411,584	107,660	3229,800	4,51	1) NO	5862,102	261,701	7851,030	10,68
2) NO ₂	2877,280	128,450	5908,700	5,39	2) O ₂	2660,983	118,794	3801,405	4,85
3) N ₂ O	53,693	2,397	105,468	0,10	3) N ₂	39574,170	1766,704	49467,712	72,09
4) O ₂	1482,107	66,166	2117,296	2,77	4) H ₂ O	6328,224	282,510	5085,180	11,53
5) N ₂	39807,107	1777,103	49758,884	74,50	5) Ar	470,758	21,016	839,589	0,86
6) H ₂ O	6328,224	282,510	5085,180	11,84	Разом	54896,238	2450,725	67044,916	100
7) Ar	470,749	21,016	839,573	0,88					
Разом	53430,745	2385,301	67044,901	100					

Таблиця 7

Стадія доокиснення NO до NO₂

Прихід	м ³ /год	кмоль/год	кг/год	%об.	Витрата	м ³ /год	кмоль/год	кг/год	%об.
1) NO	5862,102	261,701	7851,030	9,87	1) NO ₂	5862,102	261,701	12038,246	10,38
2) O ₂	3603,152	160,855	5147,360	6,07	2) O ₂	672,000	30,000	960,000	1,19
3) N ₂	43086,053	1923,484	53857,566	72,54	3) N ₂	43086,053	1923,485	53857,566	76,31
4) H ₂ O	6328,224	282,510	5085,180	10,65	4) H ₂ O	6328,224	282,510	5085,180	11,21
5) Ar	512,673	22,887	914,342	0,86	5) Ar	512,673	22,887	914,344	0,91
Разом	59392,204	2651,438	72855,478	100,00	Разом	56461,052	2520,583	72855,336	100,00

Економічна ефективність. Додатково отримано NO_2

$261,701 - (107,66 + 128,45) = 25,591$ кмоль/годину,
що більше, ніж було до опромінення у
 $261,701 / (107,66 + 128,45) = 1,1084$ рази (на 10,84%).

Поряд з цим концентрація NO_2 перед колоною абсорбції збільшилася від 9,9 до 10,38% об. Таким чином, в процесі опромінення нітрозного газу вихід нітратної кислоти зростає на 10,84%, або на $125000 \cdot 0,1084 = 13550$ т/рік 100%-ї HNO_3 .

Екологічна ефективність. За рік у існуючому виробництві нітратної кислоти утворюється парникового та озоноруйнуючого викиду N_2O , який шляхом опромінення знешкоджується:

$$6,75 \times 125000 = 843,75 \text{ т } \text{N}_2\text{O}/\text{рік}.$$

У перерахунку на квоту (еквівалент) за CO_2 це становить $843,75 \times 310 = 261562,5$ т CO_2 /рік.

Висновки. З'ясовані залежності перетворення NO_2 від довжини хвилі когерентного опромінення, що дозволяє оцінити ефективність опромінення нітрозного газу ртутними лампами ПРК-2. Показано, що економічна ефективність при опроміненні газу, який відходить з холодильника нітрозних газів, зростає на 10,84%. Екологічна ефективність полягає у скороченні викидів парниковоутворюючого газу N_2O у перерахунку на CO_2 в кількості 0,26 млн.т/рік.

Література

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous_oxide
2. Катализатор, способ его приготовления и способ окисления аммиака [Текст] : пат. 2430782 Рос. Федерация: МПК С01В21/26. 2010-08-09 / заявители Л. Г. Пинаева, Е. Ф. Сутормина, Л. А. Исупова и др., патентообладатель Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
3. <http://www.ipa-news.com/>
4. <http://www.cogeneration.com.ua/>
5. <http://www.tkisrus.com/assets/pdf/brochures/ru/TKIS-EnviNOx-ru.pdf>
6. Кравченко, И.В. К вопросу о термостойкости оксида азота (I) [Текст] / И. В. Кравченко, В. И. Дышловой, О. И. Захарова, И. И. Захаров // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. – Горлівка, 2006. – №2(3). – С.128-132.
7. Леонтьев, А. В. Современная химия оксида азота (I) [Текст] / А. В. Леонтьев, О. А. Фомичева, М. В. Проскурнина, Н. С. Зефирова // Успехи химии. — 2001. — Т. 70 (2). — С. 107-121.
8. JPL Publication 10-06 “Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Studies” [Электронный ресурс] / National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, Pasadena, California — Режим доступа: <http://jpldataeval.jpl.nasa.gov/pdf/JPL%2010-6%20Final%2015June2011.pdf> — Evaluation Number 17, 2011. — Загл. с экрана.
9. Crowley, J. N. OH formation in the photoexcitation and of NO_2 beyond the dissociation threshold in the presence of

water vapor [Текст] / J. N. Crowley, S. A. Carl // J. Phys. Chem. A. — 1997. — Т. 101 (23). — С. 4178-4184.

10. Ionov, S. The density of reactive levels in NO_2 unimolecular decomposition [Текст] / S. Ionov, H. Davis, K. Mikhaylichenko etc. // J. Chem. Phys. — 1994. — Т. 101 (6). — С. 4809-4818.
11. Кравченко, И. В. Исследование реакционной способности диоксида азота в окислительных процессах [Текст] / И. В. Кравченко, В. И. Дышловой, О. И. Захарова, И. И. Захаров // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — 2006. — №11. — С.75-82.
12. Полинг, Л. Общая химия [Текст] / Ред. М.Х. Карапетьянца. — М.: Мир. — 1974. — 846с.
13. Sivakumaran, V. Lifetime measurement of NO_2 at 423-462 nm. Lifetime measurement of NO_2 in the predissociation region 399-416 nm [Текст] / V. Sivakumaran, K. Subramanian, V. Kumar // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. - 2001. - V.69, №4. - P.513-524.
14. Кравченко, И. В. Оценка времени жизни возбужденных частиц [Текст] / И. В. Кравченко, В. И. Дышловой, Н. Ф. Тюпало // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2010. — №6(148), Ч. 2. — С. 51-56.
15. Кравченко, И. В. К вопросу о сосуществовании NO_2 , NO и O_2 [Текст] / И. В. Кравченко // Интегрированные технологии и энергосбережение. — 2011. — №2. — С.64-71.
16. Байрамов, В. М. Основы химической кинетики и катализа [Текст] / В. М. Байрамов. — М. : Академия, 2003. — 256 с.
17. Кравченко, И. В. Окисление N_2 и N_2O до NO оксидом азота (IV) в присутствии озона [Текст] / И. В. Кравченко, В. И. Дышловой, Н. Ф. Тюпало // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2011. - №15 (169), ч.2. — С.55-64.

References

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous_oxide
2. Pinayeva, L. G., Sutormina, E. F., Isupova, L. A. (2010). The catalyst, the method for its preparation, and the method for the oxidation of ammonia: *Russian patent 2430782*.
3. <http://www.ipa-news.com/>
4. <http://www.cogeneration.com.ua/>
5. <http://www.tkisrus.com/assets/pdf/brochures/ru/TKIS-EnviNOx-ru.pdf>
6. Kravchenko, I. V., Dyshlovoy, V. I., Zakharova, O. I., Zakharov, I. I. (2006). To the question of the thermal stability of nitric oxide (I). *Automotive Road Institute*, 2(3), 128-132.
7. Leontyev, A. V., Fomicheva, O. A., Proskurnina, M. V., Zefirov, N. S. (2001). Modern chemistry of nitric oxide (I). *Russ. Chem. Rev.*, 70(2), 107-121.
8. JPL Publication 10-06 (2011). “Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Studies”. Retrieved from <http://jpldataeval.jpl.nasa.gov/pdf/JPL%2010-6%20Final%2015June2011.pdf>.
9. Crowley, J. N. & Carl S. A. (1997). OH formation in the photoexcitation and of NO_2 beyond the dissociation threshold in the presence of water vapor. *J.Phys. Chem.*, 101 (23), 4178-4184.
10. Ionov, S., Davis, H., Mikhaylichenko, K. (1994). The density of reactive levels in NO_2 unimolecular decomposition. *J. Chem. Phys.*, 101 (6), 4809-4818.
11. Kravchenko, I. V., Dyshlovoy, V. I., Zakharova, O. I., Zakharov, I. I. (2006). Investigation of the reactivity of ni-

trogen dioxide in oxidation processes. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*, 11, 75-82.

12. Pauling, L. (1974). General chemistry. Moscow, USSR: Mir, 846.
13. Sivakumaran, V, Subramanian, K. & Kumar, V. (2001). Lifetime measurement of NO₂ at 423-462 nm. Lifetime measurement of NO₂ in the predissociation region 399-416 nm. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 69(4), 513-524.
14. Kravchenko, I. V., Dychlovoj, V. I. & Tupalo, N. F. (2010). The lifetime of the excited particles. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 6 (2), 51-56.
15. Kravchenko, I. V. (2011). On the question of the coexistence of NO₂, NO and O₂. *Intehrovani Tekhnolohii ta Enerhozberezhennya*, 2, 64-71.
16. Bayramov, V. M. (2003). Fundamentals of chemical kinetics and catalysis. Moscow: Akademiya, 256.
17. Kravchenko, I. V., Dychlovoj, V. I. & Tupalo, N. F. (2011). Oxidation of N₂ and N₂O to NO by nitric oxide (IV) in the presence of ozone. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 15(169), 55-64.

Кравченко И. В., Зубцов Е. И. Повышение экономической и экологической эффективности производства азотной кислоты фотоокислением N₂O в нитрозных газах

В статье представлены исследования зависимости превращения NO₂ от длины волны когерентного излучения, которые позволяют оценить эффективность облучения нитрозного газа ртутными лампами. Показано, что при облучении газа, выходящего из холодильника нитрозных газов, выход азотной кислоты возрастает на 10,84%. Экологическая эффективность заключается в

сокращении выбросов парникового газа N₂O в эквиваленте на CO₂ в количестве 0,26 млн.т / год.

Ключевые слова: нитрозный газ, облучение, синглетный кислород, монооксид диазота, выход азотной кислоты, сокращение выбросов

Kravchenko I. V., Zubtsov Y. I. Increase of economic and ecological efficiency of nitric acid production by photooxidation of N₂O in nitrous gases

The article presents studies of the dependence of NO₂ conversion on the wavelength of coherent radiation, which allow one to estimate the effectiveness of irradiation of nitrous gas with mercury lamps. It is shown that when irradiating gas leaving the refrigerator of nitrous gases, the yield of nitric acid increases by 10.84%. Environmental efficiency consists in reducing N₂O greenhouse gas emissions equivalent to CO₂ in the amount of 0.26 million tonnes / year.

Keywords: nitrous gas, irradiation, singlet oxygen, dinitrogen monoxide, nitric acid yield, emission reduction

Кравченко Інна Василівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. nitrousoxide@ukr.net

Зубцов Євген Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. mining_07@i.ua

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 30.11.2017.

УДК 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАТЕГОРИАЛЬНО-ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Сагайда П.И., Гетьман И.А.

APPLICATION OF CATEGORICAL-ONTOLOGICAL MODELING METHOD FOR DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC SUPPORT FOR INFORMATION-MEASURING SYSTEM

Sahaida P.I., Getman I.A.

Разработан метод категориально-онтологического моделирования, реализующий построение онтологических моделей, верифицируемых на основе теории категорий и скетчей и позволяющий внести в процесс инженерии знаний математические основы и обоснование результатов. Разработана методика верификации онтологической модели на основе теории категорий и выполнена ее реализация на примере проектирования алгоритмического обеспечения информационно-измерительной системы контроля внешнего вида изделий. По результатам категориально-онтологического моделирования разработана операторная модель преобразований сигнала в измерительном канале такой системы, смоделировано влияние различных возмущающих воздействий на измерительный сигнал и определены мероприятия, компенсирующие такие воздействия.

Ключевые слова: категориально-онтологическое моделирование, методика верификации онтологической модели, операторная модель, информационно-измерительная система

Введение. При разработке хранилищ данных и знаний (ХДиЗ) и алгоритмического обеспечения компьютерных систем (КС) для интеллектуальной обработки данных (ИОД) [1,2] с использованием онтологического моделирования [3,4] предметной области (ПрО) существует проблема субъективности онтологий, т.к. каждая из них разрабатывается с учетом ограниченного числа аспектов рассмотрения и частных экспертных знаний, без возможности математической проверки корректности и полноты результатов, и проблема выравнивания (alignment), т.е. слияния близких, но не идентичных онтологий, разработанных различными группами аналитиков.

По результатам анализа достоинств и недостатков онтологического моделирования [3] и путей для его совершенствования, разработан подход категориально-онтологического (КО) моделирования [5,6],

реализующий построение онтологических моделей, верифицируемых на основе теории категорий и скетчей [7-9] и позволяющий внести в процесс инженерии знаний математические основы, проверку результатов и доказательную силу топологических шаблонов проектирования. КО моделирование, на основе коммутативных диаграмм для объектов и морфизмов теории категорий как мета-мета-модели, позволило органично объединить в один процесс проектирование ХДиЗ для КС на основе различных диаграммных методик и языков моделирования, без семантических и лингвистических барьеров, которые существуют в случае их несвязного применения.

Целью данной работы является разработка методики проектирования алгоритмического обеспечения компьютерной системы для интеллектуальной обработки данных, на примере информационно-измерительной системы (ИИС) для обработки изображений, сегментации и распознавания образов, на основе метода КО моделирования.

Изложение основного материала. Современный уровень развития ИИС предполагает высокую степень их интеграции в информационно-управляющие системы предприятий. Датчики, первичные преобразователи, устройства сопряжения, полевые шины, аналого-цифровые преобразователи, используемые в современных ИИС, должны быть описаны при помощи адекватных математических моделей. При этом необходим системный подход, требующий интегрировать разрозненные модели в единый комплекс, что позволяет оценить общие характеристики измерительного канала, определить возмущающие воздействия и помехи и оценить их вклад в погрешности измерения и контроля параметров изделий и процессов. Первым этапом проектирования КС, согласно [6], является накопление

На рис. 3 приведена КО модель, представляющая процесс генерации измерительного сигнала в виде копроизведения образа измеряемого свойства (характеристики) в измерительном канале ИИС, систематической погрешности и результатов возмущающих воздействий. Последние являются результатом работы топологических шаблонов pushouts, отображающих в систематическую погрешность состояние устройства измерения и особенности протокола измерения, с учетом измеряемого свойства, и в случайную погрешность – особенности протокола измерения и состояние измерительного канала, на которые воздействуют состояние внешней среды (световые и электромагнитные помехи, вибрации и др.) и поведение оператора ИИС, соответственно.

С использованием результатов КО моделирования, приведенных на рис. 3, а также результатов обобщенного событийного анализа для ПрО в ходе интеллектуальной обработки и анализа данных [6], была разработана верифицированная онтологическая модель, в виде диаграммы классов UML, приведенная на рис. 4. Были модифицированы и дополнены, в соответствии с разработанными КО моделями, следующие компоненты онтологии: компонента,

описывающая получение результатов измерений, составляющие протокола измерения, классификация и особенности формирования погрешностей, классы состояний устройства и измерительного канала, и др.

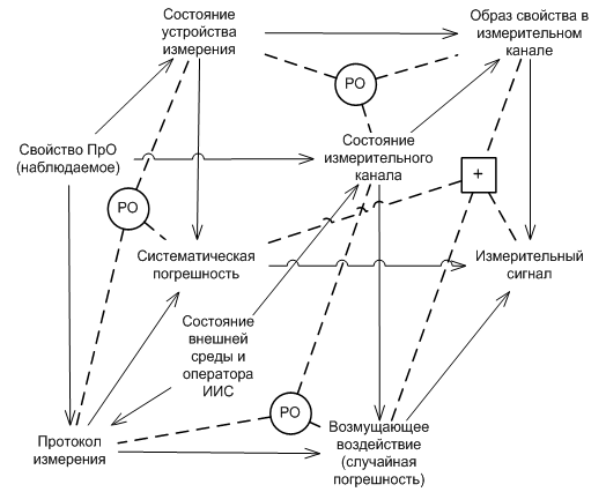


Рис. 3. КО модель, представляющая процесс генерации измерительного сигнала в ИИС

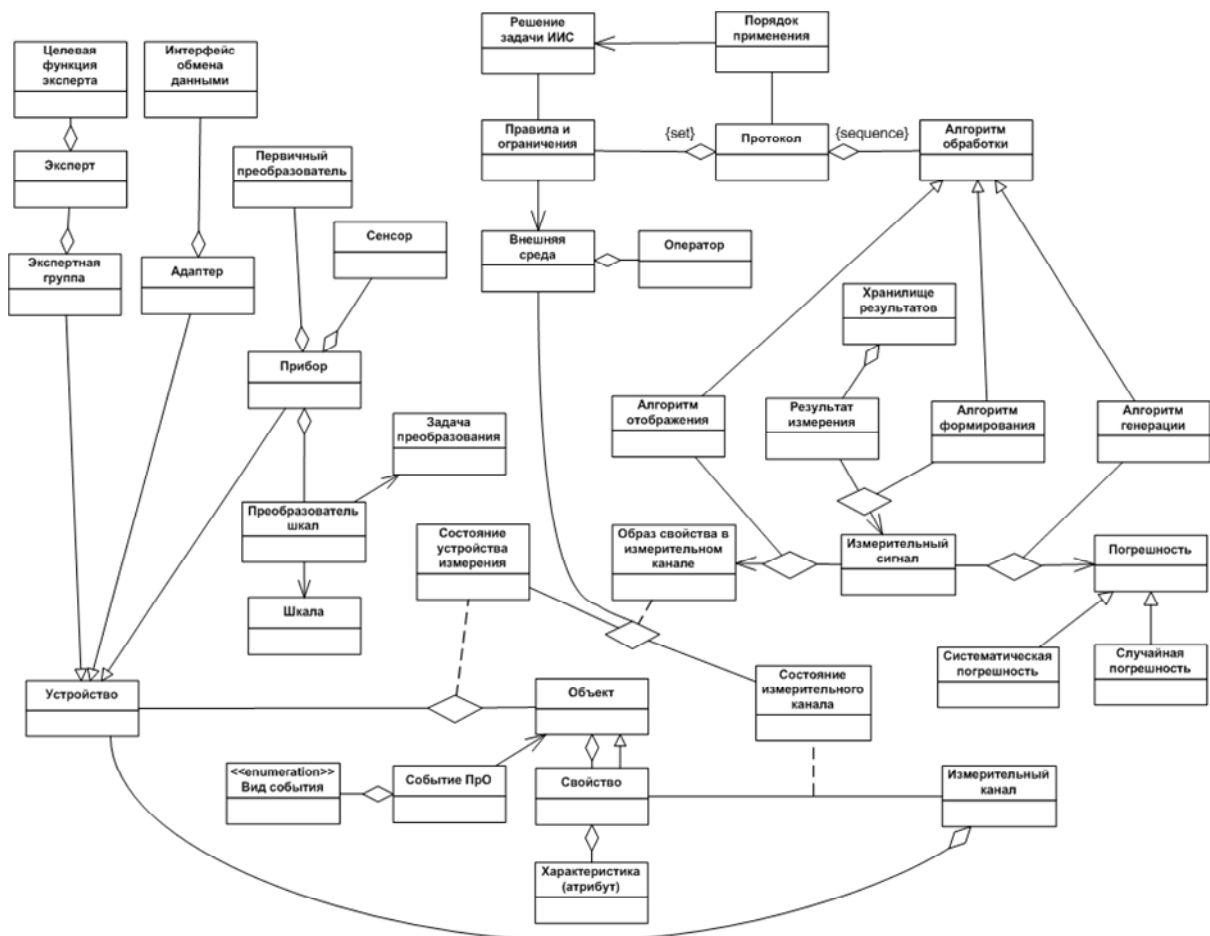


Рис. 4. Онтологическая модель ПрО функционирования ИИС, верифицированная на основе теории категории

Наиболее существенной компонентой модифицированной диаграммы является трехсторонняя ассоциация классов «Состояние устройства измерения», «Состояние измерительного канала» и «Внешняя среда», классом-ассоциацией которой (т.е. результатом взаимодействия объектов данных трех классов) является класс «Образ свойства в измерительном канале». Данная ассоциация корректно отображает процессы, смоделированные в КО модели на рис. 3, т.е. получение измерительного сигнала как результата отображения состояний устройства и измерительного канала, возникших в ходе восприятия сенсором значения свойства ПрО, и испытавшим влияние протокола измерения и внешней среды (в том числе, оператора ИИС). Также UML-модель на рис. 4 содержит уточнение процесса получения результата измерения, а также составных частей протокола измерения и их связей. Зависимость свойств погрешности результата измерения от протокола измерения и внешней среды обеспечена за счет ввода соответствующих классов, а также связей наследования и агрегации.

Обобщенный алгоритм построения диаграммы классов UML на основе КО модели, позволяющий верифицировать частную онтологическую модель на основе теории категорий, приведен на рис. 5.

Выполним на основе результатов КО моделирования, для определения состава и особенностей применения алгоритмического обеспечения ИИС, разработку операторной модели преобразований сигнала в измерительного канала, на примере ИИС контроля внешнего вида изделий.

Основными потребительскими свойствами различных изделий является их внешний вид. Для автоматизации наиболее трудоемкого и существенно влияющего на экономические показатели производственного предприятия (машиностроительного, керамического, полиграфического) этапа контроля качества - оценку геометрических параметров и внешнего вида изделия, - применяется фотоэлектрический метод контроля с использованием видеокамер на основе приборов с зарядовой связью и микропроцессорных средств обработки измерительного сигнала и распознавания изображений [11,12]. Для обеспечения эффективного функционирования ИИС необходимо разработать соответствующее алгоритмическое обеспечение обработки сигналов на основе математической модели преобразований сигнала в измерительном канале. Однако вследствие сложности многоэтапных процессов преобразования сигнала, испытывающего на различных этапах влияние возмущающих воздействий различной природы [11,13], для оперативности и корректности разработки также применим КО моделирование. Резуль-

таты разработки КО модели этапов преобразования сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий приведены на рис. 6. В данной КО модели для описания отношений между концептами ПрО применены, кроме уже описанных выше объектов ТК, следующие: pullback, или кокартов квадрат (на рис. 6 обозначен как «PB»); coequalizer, или коуравнитель (на рис. 6 обозначен как «EQ») [7-9].

Вход: //Частная онтологическая модель; Категориально-онтологическая модель

PrivateOntology = $\langle Concepts, Relations \rangle$;

COModel = $\langle Obj_{\Gamma}, Hom_{\Gamma} \rangle$;

Выход: //Верифицированная онтологическая модель в виде диаграммы классов UML

VerifiedOntology = $\langle Classes, Links \rangle$;

begin

$Classes = \{ \} ; Links = \{ \} ;$

//Проверка и добавление в результирующую модель всех концептов на основе объектов из КО модели и генерация связей на основе морфизмов

for all $O \in Obj_{\Gamma}$ **in** **COModel** **do**

for all $C \in Concepts$ **in** **PrivateOntology** **do**

if not $O \cong C$ **then** $C = create(O)$ **as** Concept;

$Classes = Classes \cup C ;$

for all $\mu \in Hom_{\Gamma}$ **in** **COModel** **do**

if not $\exists C \cong Dom(\mu)$ **then** createDomain(μ) ;

if not $\exists C \cong Cod(\mu)$ **then** createCodomain(μ) ;

$Classes = Classes \cup Dom(\mu) \cup Cod(\mu) ;$

$Links = Links \cup (\mu \text{ as Link}) ;$

end for;

end for;

end for;

//Определение классов-ассоциаций на основе объектов pullback, pushout, product и coproduct в КО модели.

//Поиск и исключение связей из результирующей модели, которые:

- не соответствуют морфизмам в КО модели;
- не удовлетворяют закону коммутативности согласно КО модели;
- не удовлетворяют закону композиции согласно КО модели;
- являются агрегатами введенных ранее связей.

//Поиск и исключение классов из результирующей модели, которые являются обобщением введенных ранее классов и для которых не установлены связи.

return (**VerifiedOntology**);

end

Рис. 5. Обобщенный алгоритм построения диаграммы классов UML на основе КО модели, позволяющий верифицировать частную онтологическую модель на основе теории категорий

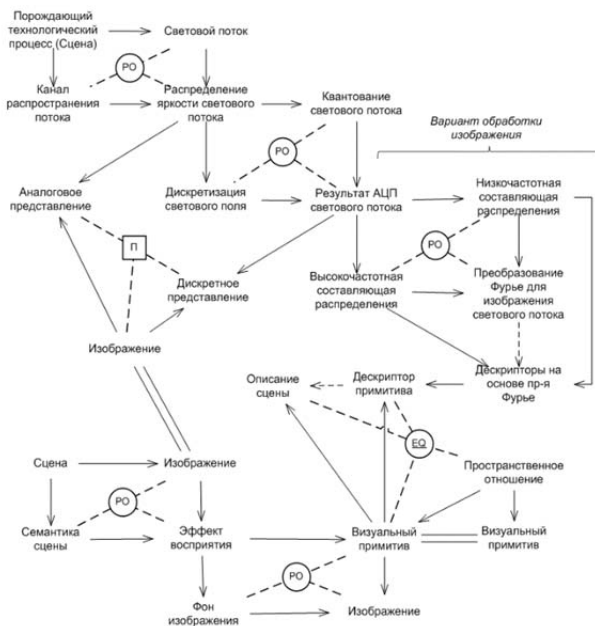


Рис. 6. КО модель этапов преобразования сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий

На основании разработанной КО модели, являющейся составной частью верифицированной с помощью ТК онтологической моделью данной ПрО, математическая модель преобразований, которым подвергается измерительный сигнал в канале распространения фотоэлектрической ИИС, может быть представлена с помощью ряда операторов, выполняющих последовательные преобразования над исходным сигналом – параметрами изделия, которое

получено на j -м шаге циклического технологического процесса.

При разработке математической модели преобразований сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий, для учета возмущающих воздействий и возможностей по их компенсации, была разработана КО модель, приведенная на рис. 7.

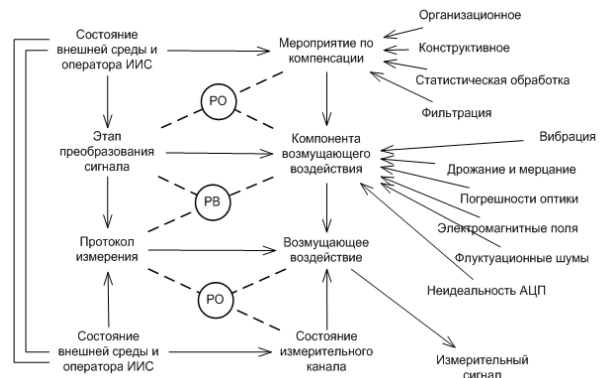


Рис. 7. КО модель формирования возмущающих воздействий и возможностей по их компенсации на различных этапах преобразования сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий

В соответствии с разработанными КО моделями для рассматриваемой ПрО, приведенными выше, была разработана операторная модель преобразований измерительного сигнала, общая схема которой приведена на рис. 8.

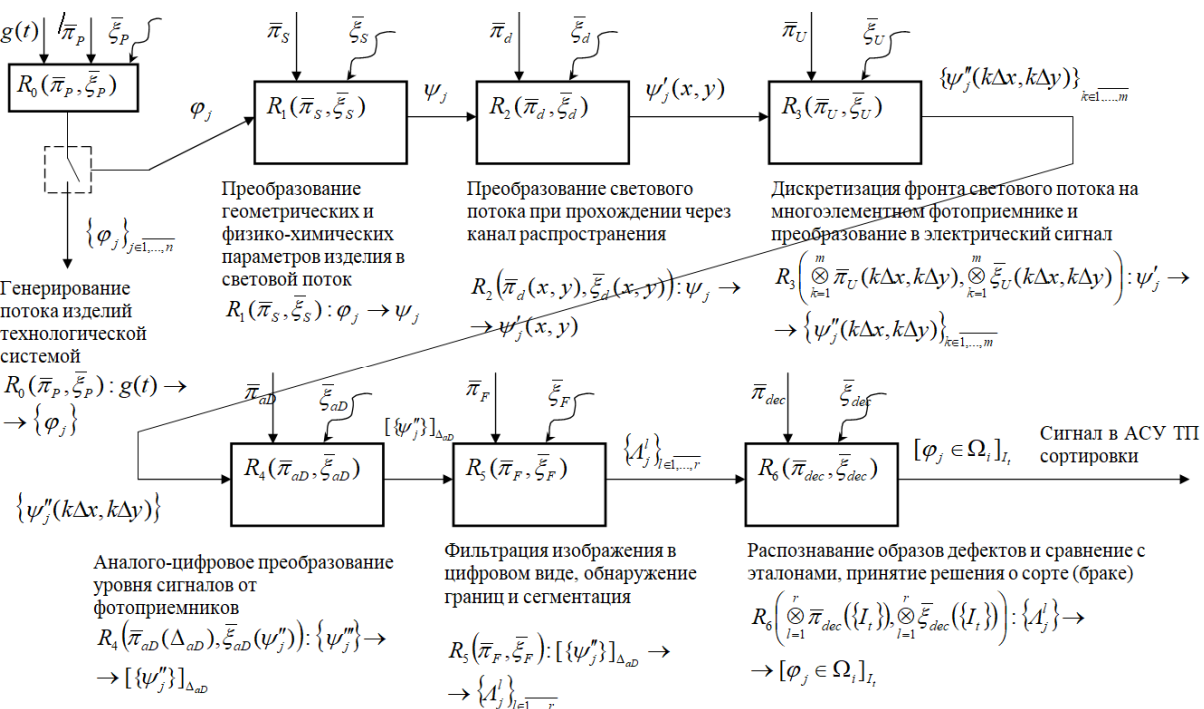


Рис. 8. Математическая модель преобразований в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий

Генерирование потока изделий технологической системой представим следующим образом:

$$R_0(\bar{\pi}_P, \bar{\xi}_P): g(t) \rightarrow \{\varphi_j\}, \quad (1)$$

где $g(t)$ - задание на производство потока изделий, $\bar{\pi}_P$ - вектор технологических параметров оборудования, $\bar{\xi}_P$ - вектор влияющих факторов и возмущающих воздействий (флуктуации физико-химических параметров исходных полуфабрикатов и заготовок, помехи со стороны параллельно функционирующего оборудования и ошибки обслуживающего персонала и т.д.); $\{\varphi_j\}$ - упорядоченное множество изделий, полученных в результате выполнения производственного задания. При этом поток изделий квантуется путем размещения их на сортировочном конвейере. Индекс u оператора R_0 показывает условность включения данного преобразования в модель измерительного канала. Однако без априорных моделей объектов измерения в данном случае построить эффективную ИИС затруднительно.

Преобразование геометрических и физико-химических параметров изделия φ_j (в том числе набора присущих ему дефектов и их параметров, как распределенных, так и сосредоточенных) в световой поток ψ_j представим оператором:

$$R_1(\bar{\pi}_S, \bar{\xi}_S): \varphi_j \rightarrow \psi_j \quad (2)$$

Ход преобразования при этом зависит от условий $\bar{\pi}_S$ размещения камеры и изделия в пространстве, освещения и отражения светового потока и т.д., а также от $\bar{\xi}_S$ (вектора амплитудно-частотных и статистических параметров оптических помех).

Световое поле от объекта контроля формируется за счет отражения излучения источника освещения. Явления ослабления и рассеяния света в цеховой атмосфере, дрожания и мерцания изображения в турбулентных потоках нагретого воздуха, фоновых и импульсных оптических помех, а также оценка влияния этих явлений на погрешность контроля и мероприятия по снижению их влияния рассмотрены в [11-14].

Преобразование светового потока при прохождении через канал распространения светового сигнала, включающего цеховую атмосферу с аэрозольными включениями и турбулентными воздушными потоками, а также оптическую подсистему видеокамеры, представим в виде оператора:

$$R_2(\bar{\pi}_d(x, y), \bar{\xi}_d(x, y)): \psi_j \rightarrow \psi'_j(x, y), \quad (3)$$

где $\bar{\pi}_d(x, y)$ - вектор условий преобразования, включающий в себя характеристики структуры ка-

нала распространения с соответствующими коэффициентами поглощения, геометрическими искажениями фрагментов светового потока, искажениями цветовой температуры, абберации светового потока в оптической подсистеме; $\bar{\xi}_d(x, y)$ - помехи вследствие динамических изменений условий преобразования и флуктуаций параметров канала распространения; $\psi'_j(x, y)$ - результирующее пространственное распределение светового потока, приходящего на светочувствительную поверхность приемной камеры.

Дискретизация фронта светового потока на многоэлементном фотоприемнике и преобразование его в набор m электрических сигналов от отдельных фотоэлементов представим в виде оператора:

$$R_3\left(\bigotimes_{k=1}^m \bar{\pi}_U(k\Delta x, k\Delta y), \bigotimes_{k=1}^m \bar{\xi}_U(k\Delta x, k\Delta y)\right): \psi'_j \rightarrow \{\psi''_j(k\Delta x, k\Delta y)\}_{k \in \overline{1, \dots, m}}, \quad (4)$$

где \bigotimes - обозначение операции композиции, $\bigotimes_{k=1}^m \bar{\pi}_U(k\Delta x, k\Delta y)$ - композиция режимов фотоэлек-

трического преобразования в матрице светочувствительных элементов (шаг решетки, разрешающая способность, размер пикселей и соотношение этого размера с размером кружка рассеяния), моделирующая влияние пространственной дискретизации путем отображения плоского изображения в решетчатую функцию двух переменных, погрешности дискретизации вследствие конечных размеров и интегрирующей способности поверхности отдельных фотоэлементов, а также неравномерности их разме-

щения; $\bigotimes_{k=1}^m \bar{\xi}_U(k\Delta x, k\Delta y)$ - композиция погрешностей преобразования, связанных с неравномерностью градуировочной характеристики приборов с зарядовой связью (ПЗС) в целом, флуктуаций этой характеристики у отдельных элементов и взаимным влиянием процессов преобразования в отдельных элементах; $\{\psi''_j(k\Delta x, k\Delta y)\}_{k \in \overline{1, \dots, m}}$ - массив аналоговых сигналов от матрицы ПЗС.

Аналого-цифровое преобразование (АЦП) уровня сигналов от набора фотоприемников представим в виде оператора:

$$R_4(\bar{\pi}_{aD}(\Delta_{aD}), \bar{\xi}_{aD}(\psi''_j)): \{\psi''_j\} \rightarrow [\{\psi'''_j\}]_{\Delta_{aD}}, \quad (5)$$

где Δ_{aD} - число уровней квантования, $\bar{\pi}_{aD}(\Delta_{aD})$ - режим проведения АЦП, $\bar{\xi}_{aD}(\psi''_j)$ - погрешности, вносимые АЦП в частотно-контрастную характеристику аналоговой приемной камеры, $[\{\psi'''_j\}]_{\Delta_{aD}}$ - массив отсчетов уровней видеосигнала от фотоприемников, представляющий собой цифро-

вое растровое изображение предметной области контроля – светового потока от изделия на фоне технологического оборудования и с внесенными искажениями, погрешностями и помехами в ходе различных преобразований.

Процессы фильтрации изображения в цифровом виде, обнаружения границ и сегментации изображения, выполняемых в ИИСКК, представим в виде оператора:

$$R_5(\bar{\pi}_F, \bar{\xi}_F): \{\psi_j''\}_{\Delta_{ad}} \rightarrow \{A_j^l\}_{l \in \overline{1, \dots, r}}, \quad (6)$$

где $\bar{\pi}_F$ - вектор режимов проведения цифровой обработки, учитывающий используемые алгоритмы, $\bar{\xi}_F$ - вносимые соответствующими алгоритмами искажения обрабатываемых сигналов и методические погрешности в результат измерительного контроля, $\{A_j^l\}_{l \in \overline{1, \dots, r}}$ - описание обработанного изображения, включающее в себя перечень характерных областей изображения, их геометрических, частотных и цветовых параметров, при этом l - номер элемента описания, а r - общее их количество.

Распознавание образов дефектов и сравнение с эталонами, принятие решения о сорте (браке) представим в виде оператора:

$$R_6\left(\bigotimes_{l=1}^r \bar{\pi}_{dec}(\{I_t\}), \bigotimes_{l=1}^r \bar{\xi}_{dec}(\{I_t\})\right): \{A_j^l\} \rightarrow [\varphi_j \in \Omega_i]_{I_t}, \quad (7)$$

где I_t - априорные данные о текущем производственном задании, допустимых сортах, возможных дефектах и их характеристиках, знания о режимах сортировки, в том числе нечеткие ограничения на параметры изделий, экспертные оценки о результатах предыдущих сортировок и т.д.; $\bigotimes_{l=1}^r \bar{\pi}_{dec}(\{I_t\})$ - композиция режимов распознавания образов, учитывающая используемые алгоритмы и их методические погрешности, полноту априорных данных и знаний; $\bigotimes_{l=1}^r \bar{\xi}_{dec}(\{I_t\})$ - погрешности, вносимые на этапе формирования априорных данных и знаний; $[\varphi_j \in \Omega_i]_{I_t}$ - решение о принадлежности контролируемого изделия соответствующему сорту, принятое на основе текущих априорных знаний. Данное решение используется системой автоматизации сортировки изделий для генерации управляющего воздействия исполнительным устройствам.

Для формализованного описания измерительной-контролирующей процедуры, выполняемой ИИС контроля внешнего вида, используем операторную форму следующего вида:

$$\lambda^* = P_2 K P_1 \varphi, \quad (8)$$

где P_1 - преобразования, выполняемые в аналоговой форме, K - аналого-цифровое преобразование, P_2 - преобразования, выполняемые в числовой форме, φ - входное воздействие. При этом оператор P_1 в нашем случае представляет собой произведение ряда определенных выше операторов, описывающих подробности этапа преобразований измерительного сигнала в аналоговом виде:

$$P_1 \varphi_j = R_3 R_2 R_1 \varphi_j = \{\psi_j''(k\Delta x, k\Delta y)\}_{k \in \overline{1, \dots, m}}. \quad (9)$$

Оператор K с помощью определенных выше операторов представляется следующим образом:

$$K \{\psi_j''\} = R_4 \{\psi_j''\} = \{\psi_j''\}_{\Delta_{ad}}. \quad (10)$$

Преобразования измерительного сигнала в цифровой форме, производимые над видеосигналами от ПЗС, над массивами отсчетов в виде изображений объекта контроля, преобразования изображений в набор элементов морфологического описания представлены в формализованной измерительной-контролирующей процедуре в следующем виде:

$$\lambda^* = P_2 [\{\psi_j''\}_{\Delta_{ad}}] = R_6 R_5 [\{\psi_j''\}_{\Delta_{ad}}] = [\varphi_j \in \Omega_i]_{I_t}. \quad (11)$$

Таким образом, результатом λ^* формализованной процедуры является принятие решения о принадлежности объекта контроля с параметрами φ_j классу Ω_i на основании априорных данных I_t .

Выводы. Онтологическая модель, конструируемая в общем виде на основе накопленных данных о работе предметной области, обладает рядом существенных недостатков. Она представляет частный фрагмент знаний аналитика по рассмотренному аспекту предметной области и один из вариантов возможной формализации, при этом результат математически не верифицируется. Для решения данной научно-практической проблемы разработан метод категориально-онтологического моделирования, реализующий построение онтологических моделей, верифицируемых на основе теории категорий и скетчей и позволяющий внести в процесс инженерии знаний математические основы и обоснование результатов. Разработана методика верификации онтологической модели на основе теории категорий и выполнена ее реализация на примере проектирования алгоритмического обеспечения информационно-измерительной системы контроля внешнего вида изделий. По результатам категориально-онтологического моделирования разработана операторная модель преобразований сигнала в измерительном канале такой системы, смоделировано влияние различных возмущающих воздействий на измерительный сигнал и определены мероприятия,

компенсирующие такие воздействия. Операторная модель позволила определить перечень и порядок применения алгоритмов обработки измерительного сигнала в информационно-измерительной системе для обеспечения достоверности результатов измерительного контроля внешнего вида изделий.

Подход в рамках теории категорий к моделированию информационно-измерительной системы и разработке ее алгоритмического обеспечения дал возможность определить перечень и последовательность морфизмов на основе универсальных свойств объектов теории категорий и разработать математически обоснованную модель измерительного канала и состав алгоритмического обеспечения для обработки сигналов.

Л и т е р а т у р а

1. Nettleton D. Commercial Data Mining: Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects / D. Nettleton. – Elsevier Waltham, USA, 2014. – 339 p. ISBN 978-0-12-416602-8
2. Witten I. H. Data mining: practical machine learning tools and techniques. – 3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. – Burlington, USA, 2005. – 629 p. ISBN 978-0-12-374856-0
3. Hepp M. Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications / M. Hepp, P. De Leenheer, A. de Moor, Y. Sure (Eds.). – Springer, 2007. – 293 p.
4. Палагин А.В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография / А.В. Палагин, С.Л. Крытый, Н.Г. Петренко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
5. Сагайда П.И. Моделирование проблемной области компьютеризированных информационных систем для интеллектуальной обработки данных с использованием инженерии знаний / П.И. Сагайда // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – № 1(30). – 2017. – С. 78-87. ISSN 2075-4272
6. Сагайда П.И. Категориально-онтологическое моделирование интеллектуальной обработки данных для математического обоснования результатов инженерии знаний / П.И. Сагайда // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – №4. – С. 152-162. ISSN 2219-9365.
7. Spivak D.I. Category theory for the sciences. – MIT Press, 2014. – 435 p.
8. Walter R.F.C. Categories and Computer Science / R.F.C. Walter. – Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1991. – 166 p.
9. Wells C. A generalization of the concept of sketch // Theoretical Computer Science. – 70. – 1990. – P. 159-178.
10. Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования. 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 624 с.
11. Сагайда П.И. Совершенствование информационно-измерительных систем ковочных комплексов // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2000. – С. 523-526.
12. Гетьман И.А. Автоматизированный контроль качества керамических изделий при помощи фотоэлектрической информационно-измерительной системы / И.А. Гетьман // Неруйнівний контроль та технічна діагностика: Тези доповідей на міжнародній науково-технічній конференції. – Івано-Франківськ. – 2002. – С. 104-106.
13. Гетьман И.А. Вопросы комплексной автоматизации технологических процессов формования керамических изделий на основе информационно-измерительных систем / П.И. Сагайда, И.А. Гетьман // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА. – 2002. – С. 242-248.
14. Воробьев В.И. Оптическая локация для радиоинженеров. / В.И. Воробьев. – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.

References

1. Nettleton D. Commercial Data Mining: Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects / D. Nettleton. – Elsevier Waltham, USA, 2014. – 339 p. ISBN 978-0-12-416602-8
2. Witten I. H. Data mining: practical machine learning tools and techniques. – 3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. – Burlington, USA, 2005. – 629 p. ISBN 978-0-12-374856-0
3. Hepp M. Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications / M. Hepp, P. De Leenheer, A. de Moor, Y. Sure (Eds.). – Springer, 2007. – 293 p.
4. Palagin A.V. Ontologicheskiye metody i sredstva obrabotki predmetnykh znaniy: monografiya / A.V. Palagin, S.L. Kryvyy, N.G. Petrenko. – Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dalya, 2012. – 324 p.
5. Sagayda P.I. Modelirovaniye problemnoy oblasti komp'yuterizirovannykh informatsionnykh sistem dlya intellektual'noy obrabotki dannykh s ispol'zovaniyem inzhenerii znaniy / P.I. Sagayda // Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: «Obchislyuval'na tekhnika ta avtomatizatsiya». – № 1(30). – 2017. – P. 78-87. ISSN 2075-4272
6. Sagayda P.I. Kategorial'no-ontologicheskoye modelirovaniye intellektual'noy obrabotki dannykh dlya matematicheskogo obosnovaniya rezul'tatov inzhenerii znaniy / P.I. Sagayda // Vimiryuval'na ta obchislyuval'na tekhnika v tekhnologichnikh protsesakh. – 2017. – №4. – P. 152-162. ISSN 2219-9365.
7. Spivak D.I. Category theory for the sciences. – MIT Press, 2014. – 435 p.
8. Walter R.F.C. Categories and Computer Science / R.F.C. Walter. – Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1991. – 166 p.
9. Wells C. A generalization of the concept of sketch // Theoretical Computer Science. – 70. – 1990. – P. 159-178.
10. Larman K. Primeneniye UML i shablonov proyektirovaniya. 2-ye izdaniye: Per. s angl. – M.: Izdatel'skiy dom "Vil'yame", 2004. – 624 p.
11. Sahayda P.Y. Sovershenstvovanye ynformatsyonno-ymerytel'nykh system kovochnykh kompleksov // Udoskonalennya protsesiv ta obladnannya obrobky tyskom u metalurhiyi i mashynobuduvanni: Zb. nauk. pr. – Kramators'k, 2000. – P. 523-526.
12. Get'man I.A. Avtomatizirovannyi kontrol' kachestva keramicheskikh izdeliy pri pomoshchi fotoelektricheskoy informatsionno-izmeritel'noy sistemy / I.A. Get'man // Neruynivnyi kontrol' ta tekhnichna diagnostika: Tezi dopovidey na mizhnarodniy naukovo-tekhnichniy konferentsii. – Ivano-Frankivs'k. – 2002. – P. 104-106.
13. Get'man I.A. Voprosy kompleksnoy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov formovaniya keramicheskikh izdeliy na osnove informatsionno-izmeritel'nykh sistem / P.I. Sagayda, I.A. Get'man // Nadfynist' instrum

mentu ta optimizatsiya tekhnologichnikh sistem: Zb. nauk. pr. – Kramators'k: DDMA. – 2002. – P. 242-248.

14. Vorob'yev V.I. Opticheskaya lokatsiya dlya radio-inzhenerov. / V.I. Vorob'yev. – M.: Radio i svyaz', 1983. – 176 p.

Сагайда П.І., Гетьман І.А. Застосування методу категоріально-онтологічного моделювання для розробки алгоритмічного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи.

Розроблено метод категоріально-онтологічного моделювання, який реалізує побудову онтологічних моделей що верифікуються на основі теорії категорій і скетчів, і дозволяє внести в процес інженерії знань математичні основи й обґрунтування результатів. Розроблено методику верифікації онтологічної моделі на основі теорії категорій і виконана її реалізація на прикладі проектування алгоритмічного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю зовнішнього вигляду виробів. За результатами категоріально-онтологічного моделювання розроблено операторну модель перетворень сигналу у вимірювальному каналі такої системи, змодельовано дію збурюючих впливів на вимірювальний сигнал і визначено заходи, що компенсують такі впливи.

Ключові слова: категоріально-онтологічне моделювання, методика верифікації онтологічної моделі, операторна модель, інформаційно-вимірювальна система

Sahaida P.I., Getman I.A. Application of categorical-ontological modeling method for development of algorithmic support for information-measuring system.

The methodology for verification of the ontological model based on the theory of categories is developed and its implementation is realized on the example of designing the algorithmic support of the information and measuring system for controlling the appearance of products. Based on the results of categorical-ontological modeling, operator model of signal transformations in the measuring channel of such a system has been developed, the influence of various perturbing influences on the measuring signal has been modeled and the measures compensating such influences have been determined. The approach within the framework of category theory to the modeling of the information measuring system and the development of its algorithmic support made it possible to determine the list and sequence of morphisms on the basis of the universal properties in category theory and to develop the mathematically grounded model of the measuring channel and the composition of algorithmic support for signal processing.

Keywords: categorical-ontological modeling, operator model, information-measuring system.

Сагайда Павло Іванович, к.т.н., доцент, докторант кафедри електронної техніки Донецького національного технічного університету, м. Покровськ, e-mail: paulsagayda@ukr.net

Гетьман Ірина Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, e-mail: getman_irina@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**,

Стаття подана 11.12.2017.

УДК 669.295

ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗПОДІЛУ ТОКСИЧНИХ ВАНАДІЙВМІСНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ТА МЕТОДИКА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

Суворін О. В., Грінь С. О., Кузнєцов П. В., Ожерєдова М. А.

CHARACTERISTIC DISTRIBUTION TOXIC VANADIUM-CONTAINING INDUSTRIAL WASTE AND METHODS OF RESEARCH

Suvorin A. V., Gryn G. O., Kuznietsov P. V., Ozheredova M. A.

В роботі досліджено розподіл високотоксичних ванадійвмісних речовин на території України у відходах після спалювання органічного палива ТЕС і ТЕЦ. Показана систематизація відходів, що містять ванадій і методика розрахунку їх кількості. Переробка цих відходів дозволить виробляти пентаоксид ванадію, затребуваний промисловістю.

Ключеві слова: ванадійвмісні відходи, органічне паливо, електростанції, шлак, зола, шлам, пентаоксид ванадію, навколишнє середовище.

1. Вступ. Використання відходів, попутних і вторинних продуктів надзвичайно ефективно. Витрати на утилізацію корисних компонентів, що містяться в них в 2-3 рази менше витрат на їх видобуток, збагачення мінеральної сировини і його подальшу переробку. Витрата палива знижується на 10-40 %, а питомі капіталовкладення - на 30-50 %. В цілому це величезний резерв підвищення ефективності [1, 2]. Використання традиційних технологій видобутку і переробки сировини призводить до утворення величезних об'ємів вторинних ресурсів і відходів виробництва. На видалення і складування відходів виділяються значні капітальні вкладення. Значний інтерес представляють ванадійвмісні шлаки, утворені при спалюванні рідкого органічного палива - мазуту, а також відпрацьовані ванадієві каталізatori хімічних підприємств. Розміщення найбільших ТЕС у промислових центрах України (Київ, Запоріжжя, Харків, Донецьк та ін.) додатково погіршує екологічну ситуацію в цих районах. Володіючи вираженою токсичністю сполуки ванадію негативно впливають на здоров'я людей.

2. Викладення основних матеріалів.

З метою розробки технологій утилізації та переробки ванадійвмісних відходів і оцінки їх впливу на навколишнє середовище, вважається за необхідно вивчити розподіл високотоксичних ванадійвмісних речовин на території України, уточнити фізико-хімічні властивості золи та шлаків.

Основними споживачами сполук ванадію і нікелю в Україні є чорна металургія (виробництво феросплавів, спеціальних сталей), кольорова металургія (виплавка лігатур і сплавів), хімічна промисловість (виготовлення каталізаторів). Ці підприємства передбачають використання продуктів різного рівня якості від 70 - 80% до 99% за вмістом V_2O_5 . До недавнього часу Україна мала різні джерела ванадійвмісної сировини: шлаки конвертації ванадійвмісних чавунів; оборотні алюмінатні розчини великотоннажного глиноземного виробництва; відходи виробництва очищеного тетраоксида титану (алюмованадієві кеккі; різні види техногенних ванадійвмісних відходів (зола і шлами ТЕС, відпрацьовані каталізatori). З різних причин деякі з перерахованих джерел сировини в даний час практично відсутні. Так, припинено утворення алюмованадієвих кекків (випуск ванадійвмісних залізородних концентратів і V_2O_5), як попутного продукту в глиноземному виробництві. Незважаючи на припинення виробництва ванадійвмісної продукції (в майбутньому можливе відновлення виробництва), в даний час збережені певні запаси відходів у вигляді шлаків, відвалів та ін. За даними Мінпромполітики України, дефіцит ванадійвмісних продуктів оцінюється в кілька тисяч тонн щорічно. Існує значний дефіцит і нікелю, природних джерел якого в країні практично немає [3]. У зв'язку з цим, зростає роль техногенних відходів, що містять ванадій і нікель, як вторинних джерел цінної сировини.

В Україні є близько 30 теплових електростанцій, значна частина яких обладнана блоками, на яких спалюється органічне тверде та рідке паливо. Потужність найбільших ТЕС і ТЕЦ України і використане паливо представлено в таблиці 1. Сумарна потужність теплових електростанцій в країні перевищує 40 млн. кВт [4, 5].

Таблиця 1

Найбільші теплові електростанції України

Електростанції ГРЕС і ТЕЦ	Встановлена потужність, млн. кВт	Паливо, що використовується
Запорізька ГРЕС	3,6	мазут, газ
Вуглегірська ГРЕС	3,6	мазут, газ
Криворізька ГРЕС	3,0	газ
Зміївська ГРЕС	2,4	вугілля
Придніпровська ГРЕС	2,0	газ
Луганська ГРЕС	2,0	вугілля
Слов'янська ГРЕС	1,93	вугілля, газ
Трипільська ГРЕС	1,8	мазут
Курахівська ГРЕС	1,46	вугілля
Київська ТЕЦ-6	0,8	мазут
Київська ТЕЦ-5	0,7	мазут
Кременчуцька ТЕЦ	0,8	мазут

Як видно з таблиці 1, значна частина теплових електростанцій обладнана блоками, на яких спалюється мазут. За попередньою оцінкою загальна кількість ванадію, яка надійшла за останні 10 років в шламонакопичувачі, склала близько 1500 т.

За даними Київенерго, тільки на трьох Київських станціях (ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, Трипільської) утворено понад 500 т твердих продуктів спалювання мазуту. На ТЕС системи Київенерго утворено понад 900 т твердих продуктів спалювання, значна частина яких не утилізується і безповоротно потрапляє в навколишнє середовище [4, 6].

Продукти спалювання сірчистих мазутів на теплових станціях, в залежності від їх утворення, можна розділити на наступні групи:

- шлак - утворюється в топках енергетичних котлів, містить найбільшу кількість ванадію (концентрація в шламі близько 40 % мас. V_2O_5);

- зола - накопичується в газоходах, лежаках (до 10% V_2O_5), димарях (3 – 4 % мас. V_2O_5), на конвективних поверхнях нагріву хвостової частини котла (до 30% мас. V_2O_5);

- шлам - утворюється при переробці безпосередньо на ТЕС змивних вод після очищення конвективної поверхні нагрівання котлів і регенеративних підігрівачів повітря. При планових чистках агрегатів практично все йде в гідрозмив з подальшою утилізацією в шлами. Вміст в них V_2O_5 становить - 5 - 10% мас.

Кількості ванадійвмісних відходів можуть бути визначені як методом візуального огляду, замірів об'ємів, так і за допомогою розрахунків енергоблоків при точному знанні конструкційних особливостей і виконаних певних досліджень. З урахуванням [7], розрахунок кількості відходів конкретного енергоблоку може бути визначений за такою методикою:

1. Визначається кількість відкладення шлаків і золи на поду і горизонтальному газоході:

$$G_{1,2} = S_{1,2} \cdot h_{1,2} \cdot g, \quad (1)$$

де $S_{1,2}$ - площа поду і горизонтального газоходу, m^2 ;

$h_{1,2}$ - середня товщина відкладень шлаку, золи, м;

g - питома вага шлаку (середнє значення дослідних даних - $3,0 \text{ т/м}^3$).

2. Кількість відкладень шлаку на ширмовому пароперегрівачі (ШПП), конвективному пароперегрівачі (КПП ВД - I ступеня), конвективному пароперегрівачі (КПП ВД - II ступеня) визначається з рівняння:

$$G_{3,4,5} = \pi \cdot d \cdot l \cdot (n \cdot 2) \cdot h_{3,4,5} \cdot g \quad (2)$$

де d - діаметр труб пароперегрівача, на яких є відкладення золи і шламу, м;

l - довжина труб пароперегрівача, м;

n - кількість змійовиків, шт.;

$h_{3,4,5}$ - середня товщина відкладень шлаку, золи, м.

3. Визначається загальна кількість відкладених шлаків, золи:

$$G_{\text{заг.}} = \sum_{i=1}^{i=5} G_i \quad (3)$$

Фактичні запаси накопичених твердих продуктів спалювання мазутів (золи і шламів) і розраховані дані для деяких ТЕЦ і ГРЕС наведені в таблиці 2. Наведені дані показують, що запаси накопичених твердих відходів, що містять ванадій, тільки на семи ТЕЦ і ГРЕС становлять понад 6,5 тис. т з концентрацією 3 - 10% V_2O_5 , в яких міститься близько 460 т оксиду ванадію (V). Слід зазначити і те, що в шламонакопичувачі постійно надходить зола і шлам поточного вироблення, і кількість відходів збільшується. Щорічно на Україні з твердими відходами в навколишнє середовище скидається до 800 т V_2O_5 і більше 150 т NiO [8, 9].

Слід зазначити нерівномірний розподіл за територією України ТЕС і ГРЕС і тим самим різне екологічне навантаження на ці регіони ванадійвмісних токсичних відходів. Найбільша концентрація теплових електростанцій припадає на Донецький регіон (Вуглегірська, Зуївська, Луганська, Слов'янська, Курахівська,

Старобешівська, Штеровська ГРЕС), Київський регіон (Київська ТЕЦ - 5 і ТЕЦ - 6, Трипільська ГРЕС), Запорізько-Криворізький регіон (Запорізька, Криворізька і Дніпровська ГРЕС), Західно-Український регіон (Буштинська, Добровіська ДРЕС і львівська ТЕЦ), Харківський регіон (Харківська ТЕЦ - 5, Зміївська ГРЕС) і ін. З урахуванням потужностей теплових електростанцій і часу їх роботи, а відповідно до цього і об'ємів шламових відходів, техногенні відходи сполук ванадію з кожним роком зростають [10].

Таблиця 2

**Запаси ванадійвмісних відходів
в шламонакопичувачах ТЕС**

Найменування ТЕС	Фактична кількість, т	Розрахункові дані, т
Київська ТЕЦ-6	3000	2950
Київська ТЕЦ-5	2500	2458
Кременчуцька ТЕЦ	400	420
Запорізька ГРЕС	200	137
Білоцерківська ТЕЦ	100	104
Вуглегірська ГРЕС	850	890
Харківська ТЕЦ-5	450	435
Разом	7500	7394

Значну небезпеку сполуки ванадію V^{+5} представляють для водного басейну країни, оскільки вони добре розчинні у воді навіть при невисоких температурах (табл. 3).

Так, при обмивання конвективних поверхонь нагріву котлів та регенеративних підігрівачів повітря утворюються стічні води, що містять 0,5 - 1,7% сірчаної кислоти, 1,5 - 6,0 г/л твердих частинок, солі ванадію з концентрацією 0,5 - 2, 4 г/л

в перерахунку на V_2O_5 , солі нікелю в кількості до 0,7 г/л, міді до 0,01 і заліза 4 - 5 г/л.

Тому потрапляння вологи у вигляді дощу на шламові відходи сприяють розчиненню частини сполук ванадію та поширенню сполук ванадію та токсичних стоків на значну територію. На території України є 9 основних водозбірних басейнів, найбільші з них - басейни Дніпра, Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Сіверського Дінця. Основними забруднювачами ванадійвмісними сполуками р. Дніпро є Київська ТЕЦ - 5 і ТЕЦ - 6, Трипільська ГРЕС, Кременчуцька ТЕЦ, Білоцерківська ТЕЦ, Запорізька ГРЕС і ін. Теплові електростанції Донецького регіону отруюють воду в річках Дніпро, Сіверський Донець, Міус, Кальміус та ін. Бурштинська ГРЕС отруєє ванадієм басейн річки Дністер, а Ладизька ГРЕС - Південний Буг. З урахуванням того, що значна частина сполук ванадію знаходиться в вигляді V^{+5} , які добре розчиняються у воді і складають близько 40% від загальної кількості, тільки в р. Дніпро потрапляє зі стоками понад 250 т ванадійвмісних речовин, які згубно діють на тваринний світ і людину. Додаткове очищення від токсичних металів вимагає значних економічних витрат, оскільки водою для пиття на Україні з Дніпра користується близько 30 млн. осіб, здоров'я яких знаходиться під загрозою [11].

Висновки. Розглянуто і вивчені джерела техногенних відходів, розподіл їх за територією України, можливість забруднення навколишнього середовища. Запропоновано методику визначення ванадійвмісних відходів на ТЕС, визначені фактичні відходи на ТЕС та об'єми твердих продуктів на 7 основних теплових електростанціях України. Вивчено забруднення сполуками ванадію водозабірних басейнів країни сполуками пентаоксиду ванадію.

Таблиця 3

Властивості ванадатів (V)

Сполука	Колір	Щільність, г/см ³	Температура плавлення, К	Розчинність в воді (298 К), % мас
$NaVO_3$	жовтуватий	2,85	905	14,0
$NaVO_4$	світло - коричневий	—	1558	18,15
KVO_3	безбарвний	2,84	801	9,67
$Na_6V_{10}O_{28} \cdot 18H_2O$	помаранчево - червоний	2,42	Розкладається	24,43 (303 К)
NH_4VO_3	безбарвний	2,326	411 (з розкл.)	0,68
$Ca(VO_3)_2$	блідо-жовтий	3,59	1048 (з розкол.)	0,33
$Ca_2V_2O_7$	жовтий	3,36	1283 - 1288 (з розкл.)	—
$Ca_3(VO_4)_2$	жовтий	3,17	1673 (з розкл.)	—
$Ca_3V_{10}O_{28} \cdot 17H_2O$	помаранчевий	2,456	Розкладається	1,62
$Mg(VO_3)_2$	жовтий	—	1033 (з розкл.)	7,9
$FeVO_4$	червоно-коричневий	—	1113 (з розкл.)	—
$CrVO_4$	темно - коричневий	3,89	1190 (з розкл.)	—

Л и т е р а т у р а

1. Жуковский Т. Ф. Техніко-економічна оцінка технологій отримання ванадієвої продукції із техногенних відходів / Т. Ф. Жуковский, С. О. Гринь // Вісник ХГПУ. – 1998. - Вип. 33. - С. 61 – 64.
2. Шматко Г. А. Прямое легирование инструментальной стали ванадием с использованием шлаков мазутных ТЭС / Г. А. Шматко, А. Б. Мелентьев, С.Я. Сидельниковский // Матер. VI всес. совещ. по химии, технологии и применению ванадиевых соединений. – Свердловск. - 1990. – С. 38.
3. Руденко В. П. Природно-ресурсний потенціал Української РСР / В. П. Руденко // Изв. АН СССР. Сер. геогр. - 2009. - № 5. - С. 88
4. Жуковский Т. Ф. Исследование и разработка технологий получения ванадиевой продукции из зольных остатков ТЭС и ГРЭС. Дис. канд. техн. наук, Харьков, 1996. – 150 с.
5. Українська радянська енциклопедія. Том II, книга друга. Головна редакція УРЕ, Київ. - 1984, С. 166 – 169.
6. Гринь Г. И. Влияние соединений ванадия на окружающую среду / Г. И. Гринь, Т. Ф. Жуковский, С. О. Гринь // Вестник ХГПУ: Харьков. - 1998. – Вып. 12. – С. 12 – 16.
7. Исследовать мазутные шлаки ГРЭС, разработать и внедрить методы их обогащения и снижения токсичности при использовании в литейном производстве. Отчет НИР / ДонГУ. Руководитель Зубкова Ю. Н. № Г. Р. 01860069640. – Донецк. 1986. – С. 41.
8. Жуковский Т. Ф. Извлечение ванадия из продуктов нефти / Т. Ф. Жуковский // Вестник ХГПУ: Харьков. - Вып. 14. - 1998. - С. 145 – 148.
9. Гринь С. А. Минеральносырьевая база для промышленного получения ванадия / С. А. Гринь, И. В. Питак, П. В. Кузнецов // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. - Вип. 2 (79). – 2013. - С. 175 – 179.
10. Жуковский Т. Ф. Проблемы утилизации техногенных ванадийсодержащих отходов / Т. Ф. Жуковский, С. А. Гринь // Сб. научн. трудов ХГПУ. – Харьков: ХГПУ. – Вып. 6., ч. 3. – 1998. – С. 83 – 87.
11. Жуковский Т. Ф., Гринь С. О. Техніко-економічна і екологічна оцінка технологій отримання ванадієвої продукції з токсичних відходів / Т. Ф. Жуковский, С. О. Гринь // Вісник ХГПУ: Харків. – Вып. 33. – 1999. - С. 61 – 64.

R e f e r e n c e s

1. Zhukovskij T. F. Tekhniko-ekonomichna ocinka tekhnologij otrimannya vanadijevoj produkcii iz tekhnogennih vidhodiv / T. F. Zhukovskij, S. O. Grin' // Visnik HGPU. – 1998. - Vip. 33. - S. 61 – 64.
2. Shmatko G. A. Pryamoe legirovanie instrumental'noj stali vanaдием s ispol'zovaniem shlakov mazutnyh TEHS / G. A. Shmatko, A. B. Melent'ev, S.Y. Sidel'nikovskij // Mater. VI vses. soveshch. po himii, tekhnologii i primeneniyu vanadiyevykh soedinenij. – Sverdlovsk. - 1990. – S. 38.
3. Rudenko V. P. Prirodno-resursnij potencial Ukrain'skoї RSR / V. P. Rudenko // Izv. AN SSSR. Ser. geogr. - 2009. - № 5. - S. 88
4. Zhukovskij T. F. Issledovanie i razrabotka tekhnologij polucheniya vanadijevoj produkcii iz zol'nykh ostatkov TEHS i GREHS. Dis. kand. tekhn. nauk, Har'kov, 1996 – 150 s.
5. Ukrain'ska radyans'ka enciklopediya. Tom II, kniga druga. Golovna redakciya URE, Kiiv. - 1984, S. 166 – 169.

6. Grin' G. I. Vliyanie soedinenij vanadiya na okruzhayushchuyu sredy / G. I. Grin', T. F. Zhukovskij, S. O. Grin' // Vestnik HGPU: Har'kov. - 1998. – Vyp. 12. – S. 12 – 16.
7. Issledovat' mazutnye shlaki grehs, razrabotat' i vnedrit' metody ih obogashcheniya i snizheniya toksichnosti pri ispol'zovanii v litejnom proizvodstve. Otchet NIR / DonGU. Rukovoditel' Zubkova YU. N. № G. R. 01860069640. – Doneck. 1986. – S. 41.
8. Zhukovskij T. F. Izvlichenie vanadiya iz produktov nefiti / T. F. Zhukovskij // Vestnik HGPU: Har'kov. - Vyp. 14. - 1998. - S. 145 – 148.
9. Grin' S. A. Mineral'nosyr'evaya baza dlya promyshlennogo polucheniya vanadiya / S. A. Grin', I. V. Pitak, P. V. Kuznecov // Visnik Kremenuch'kogo nacional'nogo universitetu im. M. Ostrograd'skogo. - Vip. 2 (79). – 2013. - S. 175 – 179.
10. Zhukovskij T. F. Problemy utilizacii tekhnogennykh vanadijsoderzhashchih othodov / T. F. Zhukovskij, S. A. Grin' // Sb. nauchn. trudov HGPU. – Har'kov: HGPU. – Vyp. 6., ch. 3. – 1998. – S. 83 – 87.
11. Zhukovskij T. F., Grin' S. O. Tekhniko-ekonomichna i ekologichnaya ocinka tekhnologij otrimannya vanadijevoj produkcii z toksichnykh vidhodiv / T. F. Zhukovskij, S. O. Grin' // Visnik HGPU: Harkiv. – Vyp. 33. – 1999. - S. 61 – 64.

Суворин А. В., Гринь С. О., Кузнецов П. В., Ожередова М. А. Характеристика распределения токсичных ванадийсодержащих промышленных отходов и методика их исследований

В работе исследовано распределение высокотоксичных ванадийсодержащих веществ на территории Украины в отходах после сжигания органического топлива ТЭС и ТЭЦ. Показана систематизация ванадий содержащихся отходов и методика расчета их количества. Переработка этих отходов позволит производить пентаоксид ванадия, востребованный промышленностью.

Ключевые слова: ванадийсодержащие отходы, органическое топливо, электростанции, шлак, зола, шлам, пентаоксид ванадия, окружающая среда.

Suvorin A. V., Gryn G. O., Kuznietsov P. V., Ozheredova M. A. Characteristic distribution toxic vanadium-containing industrial waste and methods of research

The distribution highly toxic vanadium-containing substances on territory of Ukraine in waste after incineration organic fuel HPS and HEC. Shown systematization of vanadium containing waste and method of calculating their number. The processing of these waste will produce vanadium pentoxide, in demand by industry.

Keywords: vanadium-containing waste, organic fuels, power plants, slag, ash, sludge, vanadium pentoxide, the environment.

Суворин Александр Викторович – д. т. н., профессор, завідувач кафедри хімічної інженерії і екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. tnre.sti.2014@gmail.com

Гринь Світлана Олександрівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» gryn@kpi.kharkov.ua

Кузнєцов Павло Володимирович – к. т. н., доцент, доцент кафедри економічної кібернетики і маркетингового менеджменту, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
pk007@ukr.net,

Ожередова Марина Анатоліївна – к. т. н., доцент, доцент кафедри хімічної інженерії і екології,

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля.
ozheredovama@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Глікін М.А.**

Стаття подана 05.12.2017.

УДК 623.457.6

**ДЕМІЛІТАРИЗАЦІЯ. ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ БОЄПРИПАСІВ
ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ****Тарасов В. Ю.****DEMILITARIZATION. DISPOSAL TECHNOLOGIES OF AMMUNITIONS
AND ENERGETIC MATERIALS****Tarasov V. Yu.**

Проаналізовано сучасні технології знищення застарілих боєприпасів та енергетичних матеріалів. Деструктивні методи відкритого спалювання і детонація на відкритому повітрі пов'язані з безпосереднім викидом токсичних газів, твердих часток і важких металів, які розповсюджуються на великі ділянки і виступають джерелом забруднення. Хімічні методи представляють собою контрольований процес окиснення з використанням систем очищення. Показано необхідність розробки нових методів демілітаризації.

Ключові слова: детонація, демілітаризація, енергетичний матеріал, утилізація

Вступ. За останні 25 років майже у половині країн світу відбулося загалом близько 400 незапланованих вибухів на збройних складах. Ця ситуація значною мірою склалася по причині неправильного зберігання боєприпасів[1]. Як повідомлялося, такі неконтрольовані вибухи сталися на всіх континентах, окрім Антарктиди та Австралії. З 1997 по 2016 роки зафіксовано зростання подібних інцидентів більш ніж удвічі в порівнянні з попереднім десятиріччям, а середня кількість випадків детонації з 2007 по 2011 роки майже на 50 відсотків вища, ніж у попереднє п'ятиріччя [2, 3].

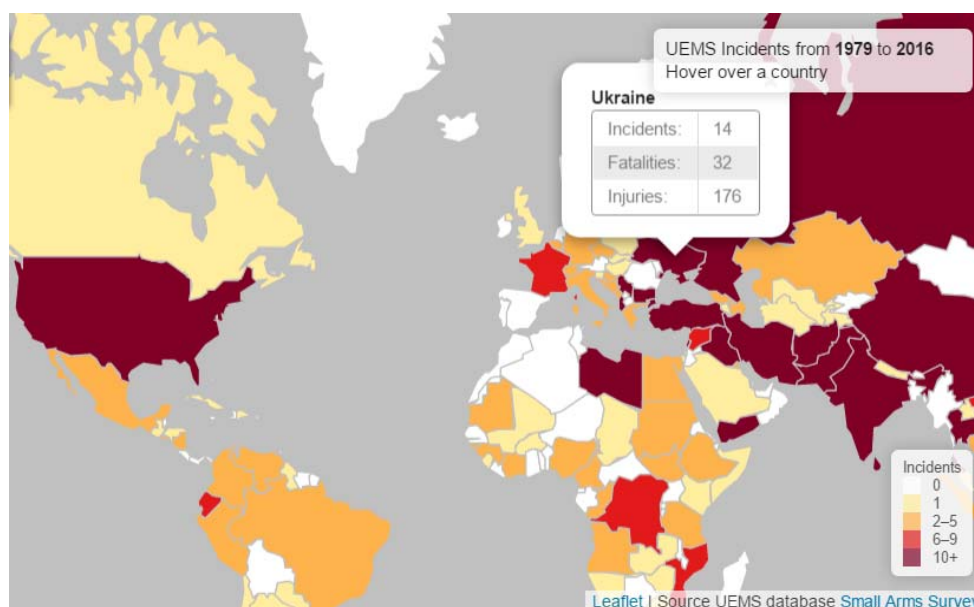


Рис. 1. Частота незапланованих вибухів на збройних складах протягом 37 років [3, 4]

Зростання випадків неконтрольованих детонацій може бути пояснено, зокрема, і статистичним фактором. Тобто, багатосторонні політичні та правові процеси на глобальному та регіональних рівнях примушують уряди країн надавати більш детальні звіти про випадкові вибухи на складах з боєприпасами, що фіксується у засобах масової інформації. Можливо, держави стали більш готовими визнати необхідність виділення фінансових ресурсів на розробку технологій задля уникнення стихійних детонацій.

Постановка проблеми. У сфері демілітаризації і знищення застарілих боєприпасів на теперішній час залишаються численні проблеми [4]. Регіональні підрозділи ООН і PSSM розробили низку технічних посібників з урахуванням передового досвіду. Проте ці посібники не охоплюють усі ситуації, що зустрічаються на практиці [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі на сьогодні методи знищення енергетичного матеріалу можна поділити на термічний та хімічний [8, 16]. Перший полягає у процесі горіння або детонації і може відбуватися на відкритому повітрі або у спеціальних печах/камерах детонації. Другий метод представляє собою процес окиснення, або біодеградацію [9], і знаходиться в стадії розробки, промислова реалізація його на цей час не знайшла розповсюдження.

Мета статті. Дослідження методів знищення застарілих боєприпасів та енергетичного матеріалу

Результати досліджень. Термодинамічні деструктивні методи відкритого спалювання і детонація на відкритому повітрі пов'язані з безпосереднім викидом газів (наприклад, летючі органічні сполуки, діоксини, фурани та ін.), твердих часток і важких металів, що є джерелом забруднення, яке розповсюджується на великі ділянки.

Ці викиди протягом багатьох років накопичуються в атмосфері, ґрунті, воді, забруднюють екосистеми, призводячи до порушення в них рівноваги (наприклад, втрата біорізноманіття та порушення харчових ланцюгів), а також для здоров'я людини (в зв'язку зі споживанням води та продуктів харчування, забруднених важкими металами та енергетичними матеріалами). Окрім цього, при знищенні боєприпасів на відкритому повітрі виникають небезпечні вібрації та шум, що здійснює негативний вплив на людей та живі організми.

Хімічний метод знищення енергетичного матеріалу представляє собою контрольований процес окислення з використанням систем очищення, які дозволяють зменшити викиди в атмосферу. Кількість викидів при хімічному методі значно нижча, ніж при детонації на відкритому повітрі, оскільки ці типи установок оснащені системами хімічного очищення димових газів, здатними нейтралізувати леткі органічні сполуки (ЛОС), кислі гази, а також відфільтрувати частки твердих речовин. Хімічний метод знищення боєприпасів також має свої недоліки та здійснює опосередкований вплив на екологію. Так,

вказана технологія пов'язана зі споживанням великої кількості енергії (спалювання залишків потребує енергоспоживання) та нейтралізацією твердих відходів (шлаки, зола, шлам), які класифікуються як токсичні небезпечні відходи із вмістом діоксинів та важких металів. Це, в свою чергу, також потребує споживання енергії та необхідних матеріалів.

Таблиця. 1

Методи демілітаризації.

Технологія	Характеристика
Підрив	Детонація регульованих кількостей енергетичного матеріалу або дрібних боєприпасів на відкритій місцевості. Детонація не контролювана. Територія може потребувати додаткового розмінування та очищення від токсичних продуктів.
	Детонація регульованих кількостей енергетичного матеріалу або дрібних боєприпасів в умовах високого опору у закритій камері. Фрагментація вибухових пристроїв і тиск від детонації перебувають під контролем у детонаційній камері. Детонаційна камера може бути транспортабельною і здебільшого включає в себе систему обробки газу. Цей метод не підходить для промислового масштабу, а використовується для знищення знайдених вибухових пристроїв безпосередньо на місці, під час проведення робіт з розмінування або знищення боєприпасів.
Спалювання	Стационарні печі та печі, що обертаються. Спалювання, або дефлаграція енергетичного матеріалу, що відбувається при температурі близько 500°C, при цьому існує велика ймовірність детонації. Це майже автоматизований процес з більш-менш складними системами очищення газу. Псевдозріджений шар. Вибухові відходи вводять в шар, що складається з частинок піску. Ці частинки починають плавати, діючи у вигляді рідини під дією потоку гарячого повітря. Це високобезпечна концепція для спалювання вибухонебезпечних відходів, яка може бути реалізована майже у всіх випадках.
Окиснення у надкритичній воді	Окиснення при температурі 374°C та 22,1 МПа дозволяє запобігти утворенню діоксинів при руйнуванні піротехнічних складників, що містять хлор.
Піроліз	Нейтралізація певних типів хімічних вибухових речовин у плазмі при температурі близько 20000°C. Процес супроводжується великим енергоспоживанням. Токсичні сполуки, що утворюються, концентруються у твердому склоподібному залишку.
Біодеградація	Мікроорганізми використовуються для споживання хімічних речовин, пов'язаних з боєприпасами, такими як ТНТ та іншими вибуховими речовинами або компонентами ракетного палива. Цей метод підходить для використання на місці рекультивації забруднених ґрунтів у військових містечках.

Окислювальний метод демілітаризації генерує велику кількість стічних вод, забруднених енергети-

чним матеріалом, який створює додаткову проблему очищення води. Це одна з найбільших проблем технологій, в яких вибухові речовини і вода вступають в контакт.

На теперішній час найпоширенішим методом утилізації боєприпасів є їх захоронення на полігонах, у шахтах, водоймах[10]. Він може становити серйозну загрозу безпеці протягом дуже тривалого часу. Затоплені боєприпаси іноді можуть мігрувати з місць захоронення. Існує також імовірність того, що інформація про місце зберігання непридатних вибухових пристроїв буде втрачена, а це може призвести до нещасних випадків або ненавмисних вибухів. Крім того, розкладання вибухових речовин є джерелом токсичного забруднення, яке впливає на поверхневі, ґрунтові води та ґрунти.

Висновок. При розгляді потенційних переваг і недоліків певного методу демілітаризації важливо враховувати екологічні обмеження на тому ж рівні, що й економічні та соціальні питання. Для кожної країни вирішальне значення мають індивідуальні чинники, які залежать від стратегії розвитку, політики, культури тощо. Таким чином, важко досягти консенсусу щодо пріоритетності тієї чи іншої технології з огляду на мінімізацію наслідків демілітаризаційного процесу. Більш того, навіть якщо оцінка проводиться за одним із факторів (наприклад, стан навколишнього середовища), то важко вибрати між різними альтернативами, оскільки вони можуть мати позитивний характер в одних випадках і негативний – в інших.

Література

- Eric G. Berman. Unplanned Explosions at Munitions Sites : Concerns and Consequences / Eric G. Berman, Pilar Reina [Small Arms Survey] URL: <https://www.jmu.edu/cisr/journal/16.2/pdfs/berman.pdf>]. (дата звернення: 20.05.2017)
- Eric G. Berman Unplanned Explosions at Munitions Sites (UEMS) : Excess Stockpiles as Liabilities rather than Assets / Eric G. Berman, Pilar Reina, June 2014. URL: <http://www.smallarmssurvey.org/de/publications/by-type/handbooks/uems-handbook.html>] (дата звернення: 20.05.2017)
- Unplanned Explosions at Munitions Sites Updated 13 September 2016 (data covering January 1979 to June 2016) URL: <http://www.smallarmssurvey.org/weapons-and-markets/stockpiles/unplanned-explosions-at-munitions-sites.html> (дата звернення: 20.05.2017)
- 2016 To Walk the Earth in Safety: Europe // Report BUREAU OF POLITICAL-MILITARY AFFAIRS URL: <https://www.state.gov/t/pm/rls/rpt/walkearth/2016/264007.htm> (дата звернення: 20.05.2017)
- Владимиров М. В. Опасность, обусловленная затоплением немецкого трофейного химического оружия в Балтийском море // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/opasnost-obuslovlennaya-zatopleniem-nemetskogo-trofeynogo-himicheskogo-oruzhiya-v-baltiyskom-more> (дата обращения: 20.05.2017)
- Цыренова Татьяна Батомункуевна Экологические аспекты концепции национальной безопасности Российской Федерации и Монголии // Власть. 2011. №2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-kontseptsii-natsionalnoy-bezopasnosti-rossiyskoy-federatsii-i-mongolii> (дата обращения: 20.05.2017).
- Романов В. И., Кононенко В. Н. Потенциальные опасности неорганизованных объектов химического оружия // Технологии гражданской безопасности. 2008. №1-2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/potentsialnye-opasnosti-neorganizovannyh-obektov-himicheskogo-oruzhiya> (дата обращения: 20.05.2017).
- Oldrich Machacek. NATO Science Series, “Application of Demilitarised Gun and Rocket Propellants in Commercial Explosives” / Oldrich Machacek. - Springer Science & Business Media, 2000. – 235 с. – ISBN 0792366972.
- Wilkinson J. Review of Demilitarization and Disposal Techniques for Munitions and Related Materials / Josh Wilkinson, Duncan Watt. – Munitions Safety Information Analysis Center, Belgium 2006. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.451.9301&rep=rep1&type=pdf>

References

- Eric G. Berman. Unplanned Explosions at Munitions Sites : Concerns and Consequences / Eric G. Berman, Pilar Reina [Small Arms Survey] URL: <https://www.jmu.edu/cisr/journal/16.2/pdfs/berman.pdf>]. (data zvernennya: 20.05.2017)
- Eric G. Berman Unplanned Explosions at Munitions Sites (UEMS) : Excess Stockpiles as Liabilities rather than Assets / Eric G. Berman, Pilar Reina, June 2014. URL: <http://www.smallarmssurvey.org/de/publications/by-type/handbooks/uems-handbook.html>] (data zvernennya: 20.05.2017)
- Unplanned Explosions at Munitions Sites Updated 13 September 2016 (data covering January 1979 to June 2016) URL: <http://www.smallarmssurvey.org/weapons-and-markets/stockpiles/unplanned-explosions-at-munitions-sites.html> (data zvernennya: 20.05.2017)
- 2016 To Walk the Earth in Safety: Europe // Report BUREAU OF POLITICAL-MILITARY AFFAIRS URL: <https://www.state.gov/t/pm/rls/rpt/walkearth/2016/264007.htm> (data zvernennya: 20.05.2017)
- Vladimirov M. V. Opasnost, obuslovlennaya zatopleniem nemetskogo trofeynogo himicheskogo oruzhiya v Baltiyskom more // Strategiya grazhdanskoy zaschityi: problemyi i issledovaniya. 2013. #2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/opasnost-obuslovlennaya-zatopleniem-nemetskogo-trofeynogo-himicheskogo-oruzhiya-v-baltiyskom-more> (data obrascheniya: 20.05.2017)
- Tsyirenova Tatyana Batomunkuevna Ekologicheskie aspektyi kontseptsii natsionalnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii i Mongolii // Vlast. 2011. #2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-kontseptsii-natsionalnoy-bezopasnosti-rossiyskoy-federatsii-i-mongolii> (data obrascheniya: 20.05.2017).
- Romanov V. I., Kononenko V. N. Potentsialnye opasnosti neorganizovannyh ob'ektov himicheskogo oruzhiya // Tehnologii grazhdanskoy bezopasnosti. 2008. #1-2. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/potentsialnye-opasnosti-neorganizovannyh-obektov-himicheskogo-oruzhiya> (data obrascheniya: 20.05.2017).
- Oldrich Machacek. NATO Science Series, “Application of Demilitarised Gun and Rocket Propellants in Commercial

Explosives” / Oldrich Machacek. - Springer Science & Business Media, 2000. – 235 с. – ISBN 0792366972.

9. Wilkinson J. Review of Demilitarization and Disposal Techniques for Munitions and Related Materials / Josh Wilkinson, Duncan Watt. – Munitions Safety Information Analysis Center, Belgique 2006. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.451.9301&rep=rep1&type=pdf>

Тарасов В. Ю. Демилитаризация. Технологии утилизации боеприпасов и энергетических материалов

Проанализированы современные технологии уничтожения устаревших боеприпасов и энергетических материалов. Деструктивные методы открытого сжигания и детонация на открытом воздухе связаны с непосредственным выбросом токсичных газов, твердых частиц и тяжелых металлов и являются источником загрязнения больших участков земли. Химические методы представляют собой контролируемый процесс окисления с использованием систем очистки. Показана необходимость разработки новых методов демилитаризации.

Ключевые слова: детонация, демилитаризация, энергетический материал, утилизация

Tarasov V. Yu. Demilitarization. Disposal technologies OF ammunitions and energetic materials

Analyzed recent technologies for destruction of ammunition and energetic materials. The thermal destructive techniques Open Burning and Open Detonation have associated to their processes the directly emission of gases, particulates, and heavy metals which are a contamination source for extended areas. The incineration process is a controlled demilitarization technique with systems to decrease the emissions to air. The development of new methods of demilitarization is need.

Key words: detonation, demilitarization, energetic material, recycling

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

Рецензент: д.т.н., професор **Глікін М.А.**

Стаття подана 18.12.2017.

УДК 658.26

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ**Татарченко Г.О., Скурідіна Т.М., Поркуян С.Л.****EVALUATION OF ENERGY LOSS OF ADMINISTRATIVE BUILDING****Tatarchenko G.O., Skuridina T.M., Porkuian S.L.**

В статті розглянуто результати теоретичних та практичних досліджень енергетичних втрат адміністративного будівництва 1994 року. Виконані теплові розрахунки та проведено тепловізійний огляд огорожувальних конструкцій адміністративної будівлі. Виявлені основні джерела теплових втрат, складений енергетичний паспорт.

Ключові слова: енергоаудит, будівля, теплові втрати, енергетичний паспорт.

Вступ. Енергозберігаючі заходи є ключовою ланкою реформування житлово-комунального господарства та промисловості України в цілому. На даний час пропонується запровадити державну експертизу ефективного енергетичного користування, а її висновки будуть обов'язковими для реалізації інвестиційних та інноваційних будівельних проектів, модернізації, створення нової енергоємної техніки і технологій, що претендують на державну підтримку.

Для окремих категорій підприємств планується обов'язкова оцінка енергетичних втрат адміністративної будівлі (енергетичний аудит), його в обов'язковому порядку повинні будуть проходити підприємства-монополісти, підприємства, що претендують на державну підтримку, компанії з часткою держави понад 50% і енергоспоживанням понад 1000 тон умовного палива в рік, а також бюджетні організації.

Постановка проблеми.

В основі вирішення завдань енергозбереження важливу роль займає проведення своєчасного, професійного енергетичного обстеження об'єкта — енергоаудиту. Методологія ведення енергоаудиту залежить від тієї інформації, яку прагне отримати і за яку бажає платити клієнт. З одного боку, енергоаудит може бути простим оглядом енергоспоживання, заснованим на даних лічильників будівлі. З іншого боку, енергоаудит може бути комплексним і трудомістким процесом по визначенню та ідентифікації всіх напрямків витрат енергії та передбачати установку нового стаціонарного вимірювального обладнання, тестування та вимірювання протягом тривалого періоду часу. Визначено порядок проведення енергетичного обстеження будівлі який передбачає наступні

етапи: збір документальної інформації; обстеження інженерного обладнання; інструментальне обстеження; обробка і аналіз отриманої інформації; розробка рекомендацій з енергозбереження; оформлення звіту з енергетичного аудиту. Проблемам впровадження енергозберігаючих заходів в різні сфери господарства присвячено багато наукових робіт і приділяється значна увага. Однак безпосередньо розробкам енергозберігаючих заходів не приділяється належного значення. У роботах багатьох фахівців акцент ставиться на вдосконаленні обліку споживання енергоносіїв, що, звичайно, важливо, але недостатньо. Для обліку всіх факторів, що впливають на енергоефективність будівлі, необхідна розробка енергопаспортів усіх об'єктів, тому робота в цьому напрямку є важливою та актуальною [1-2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У багатьох країнах накопичений досить великий досвід підвищення енергетичної ефективності. В європейському союзі однією з найбільш ефективних країн у галузі енергозбереження та підвищення енергоефективності є Фінляндія, яка займає перше місце в світі з використання біоенергії. У Фінляндії найнижчі в світі викиди вуглекислого газу на 1 кВт/рік енергії. До 2020 року з нинішніх 4% використовуваної фінами відновлюваної енергії зросте до 38% [3].

Данія знаходиться в більш вигідному положенні в сфері енергоефективності в порівнянні з іншими країнами завдяки своїй розумній енергетичній політиці. З 1981 року по теперішній час Данія збільшила економічне зростання на 75% у цілому, в той час як витрат енергії за великим рахунком не змінилася. Вона інвестувала кошти в ефективні енергетичні рішення і поновлювані джерела енергії.

Ще одною країною, що ефективно реалізує програми енергозбереження, є Німеччина. [4]. У цій країні директиви європейського союзу (ЄС) щодо енергоефективності будівель введені в існуючий національний закон (норми) $E_n E_v$, що відноситься до енергозбереження.

Питання енергозбереження в США вирішені на жорсткій обов'язковій основі. Користувачеві енергоресурсами не надається право обирати чи не обирати шлях енергоефективного господарювання. У 1992 році був прийнятий федеральний закон "Energy Policy Act of 1992" (Закон про енергетичну політику 1992) [5], в якому були визначені основні напрямки роботи з енергозбереження в Сполучених Штатах Америки. Згідно з цим законом була створена структура федеральних і місцевих агентств з енергозбереження, розробляються програми фінансування та заохочення робіт по впровадженню енергоефективних технологій.

Хорошим прикладом може служити позитивний досвід Польщі. Програма енергоефективності спрямована там в першу чергу на зниження витрат на опалення і газ. Тому будівлі, побудовані до 1984 року, повинні бути модернізовані - інженерні мережі замінені на сучасні, а вдома відремонтвані так, щоб зменшити тепловтрати. Всі ці роботи виконуються за рахунок товарищества співвласників житла (ТСЖ) - в іншому випадку муніципалітет має право позбавити недбайливого власника його нерухомості. Якщо врахувати, що, за даними мерії Варшави, 70% житлового фонду міста складають будинки, побудовані до Другої світової війни, то вищезазначений житловий фонд зазнає значних витрат. Для того щоб трохи скорегувати ситуацію соціальної нерівності, громадяни з низьким доходом, які мають власне житло, отримують субсидії від держави. Субсидія розраховується так, щоб покрити різницю між фактичними витратами та відсотком доходу, який має отримувати. Щоб полегшити життя самим ТСЖ, продумана система преміювання. Кожне товариство може отримати від держави субсидію - премію. Виплачує її Банк держави Крайова (BGK). Але, щоб знизити можливості корупції, «на руки» ці гроші ТСЖ не отримує - вони йдуть на погашення кредиту в тому банку, який виділив кошти на модернізацію будинку. Величина премії залежить від того, скільки коштів необхідно вкласти в реконструкцію будівлі, щоб знизити втрати енергії на 20%, причому і комплекс первинних заходів, і результати оцінюють за допомогою энергоаудиту. При цьому кредитоспроможність позичальника BGK не аналізує, і на умови позики вона не впливає [6].

Таким чином, ми бачимо, що в основі вирішення завдань енергозбереження важливу роль займає проведення професійного енергетичного аудиту.

Мета статті. Повна оцінка енергетичних втрат адміністративної будівлі та складання енергетичного паспорту.

Результати досліджень. Для найбільш ефективною реалізації енергозберігаючих можливостей в будівлях з великою площею, на підприємствах і виробництвах, а так само для зниження ризику - рекомендується застосовувати комплексний підхід, який пропонує великий вибір заходів, максимальну економію і включає в себе розгляд всього енергоспоживаючого обладнання. При такому підході використовується методичний збір даних, що значно спрощує завдання, яке стоїть перед фахівцями і дозволяє знайти, а в подальшому реалізувати на практиці, без труднощів, оптимально відповідні рішення.

Досліджувана адміністративна будівля перебуває у м. Северодонецьк та являє собою двоповерхову споруду з цокольним поверхом що введена в експлуатацію в 1994 році. Конструктивна схема будівлі – безкаркасна з зовнішньо несучими стінами, просторова жорсткість забезпечується внутрішніми поперечними стінами, та стінами сходових клітин, з'єднаними з зовнішніми поздовжніми стінами і міжповерховими перекриттями.

Першим етапом були проведені теоретичні розрахунки споживання енергоресурсів в адміністративній будівлі згідно з ДБН В 2.6-31:2006 [7-8] а саме стін, вікон, дверей, покриття, підлоги на ґрунті, перекриття під балконами. Виявлено, що отримані результати не відповідають сучасним вимогам до ефективного використання енергетичних ресурсів. Основними причинами такого становища є використання для спорудження будівель застарілих матеріалів і технологій, з точки зору енергоефективності. Приклад розрахунку теплофізичних характеристик стін наведені нижче (табл1).

Конструкція стін являє собою кладку з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині в 2 цегли товщиною $\delta=0,51\text{м}$, щільність $\rho=1800\text{кг/м}^3$; коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,87\text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. За розрахунками (1) опір теплопередачі становить $0,77\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$, що не відповідає вимогам ДБН В 2.6-31:2006 [7-8]. Нормативне значення – $3,3\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.

$$R_{\text{пр}} = 1/\alpha_{\text{в}} + \sum R_i + 1/\alpha_{\text{з}} = 1/8,7 + 0,37 + 1/23 = 0,115 + 0,37 + 0,043 = 0,53\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт} \quad (1)$$

Таблиця 1

Теплофізичні характеристики зовнішніх стін

Найменування матеріалу шару	Товщина шару δ , м	Щільність в сухому стані ρ_0 , кг/м^3	Коефіцієнт теплопровідності λ_i , $\text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	Термічний опір $R_i = \delta_i/\lambda_i$
Кладка з силікатної цегли на цементно-піщаному розчині	0,51	1800	0,87	0,59
Внутрішня штукатурка	0,02	1700	0,87	0,02
$\sum R$				0,61

Цокольні бетонні стіни товщиною $\delta=0,6\text{м}$ ($\rho=2400\text{ кг/м}^3$; $\lambda=1,86\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$). Середньозважений опір теплопередачі складає $0,99\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$. Висота цокольного поверху $2,5\text{м}$, при цьому висота цокольних стін над рівнем ґрунту становить $1,8\text{м}$, з урахуванням перекриття. Площа внутрішньої поверхні становить 136м^2 . Термічний опір $0,53\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$. Висота цокольних стін нижче рівня ґрунту на 1м . Площа внутрішньої поверхні – 64м^2 . Опір теплопередачі розраховано за зональною методикою і приймається як для першої зони $2,1\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ з додаванням опору конструкції $0,53\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$. Загальна площа внутрішньої поверхні внутрішніх стін цокольного поверху становить $199,2\text{м}^2$. Площа для утеплення — 233м^2 . Відсутність теплоізоляції в значній мірі впливає на експлуатаційні та теплотехнічні показники конструкцій.

Наступним етапом були дослідження фактичних теплових витрат за допомогою Тепловізійної камери серії DALI LT3. Це одна з новітніх портативних інфрачервоних камер з оптичним дозволом матриці 160×120 . Вона обладнана об'єктивом з інфрачервоним, тепловізійним модулем щодо формування зображення у видимій спектральній частині, рідинно-кристалічним дисплеєм, зовнішній мікро SD

пам'яттю, лазерним модулем, змінною акумуляторною батареєю, простим у використанні програмним забезпеченням і системою обробки даних. Тепловізор DALI серії LT3 дозволяє зробити миттєві і точні термограми. За допомогою цього пристрою можна визначити області найбільших тепловтрат в будівлі, що будується або вже експлуатується і зробити висновки про якість застосовуваних будівельних матеріалів і утеплювачів.

Метою тепловізійного обстеження огорожувальних конструкцій є виявлення їх фактичних теплозахисних якостей та їх відповідність нинішнім нормативним вимогам для забезпечення економії та раціонального використання енергетичних ресурсів. Тепловізійне обстеження передбачає визначення теплотехнічних параметрів конструкцій, використовуючи при цьому неруйнівні і розрахункові методи дослідження. Воно полягає у тепловізійній зйомці фасадів будівлі та інженерного обладнання, з отриманням інфрачервоного зображення ділянок з температурними аномаліями (реперні зони), де за кольорами можна визначити температуру на поверхні конструкцій, і так саме визначити величину теплового потоку через обрані ділянки площі.



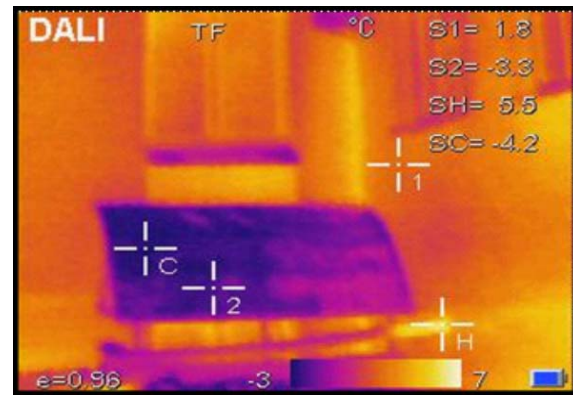
а



б



в



г

Рис. 1. Приклади тепловізійних обстежень адміністративної будівлі вікон, (а,б) цокольних стін (в,г); а, в – фотографії міста тепловізійної зйомки; б,г – тепловізійні показники температури об'єктів. Обладнання реєструє фотографії та термограму одночасно

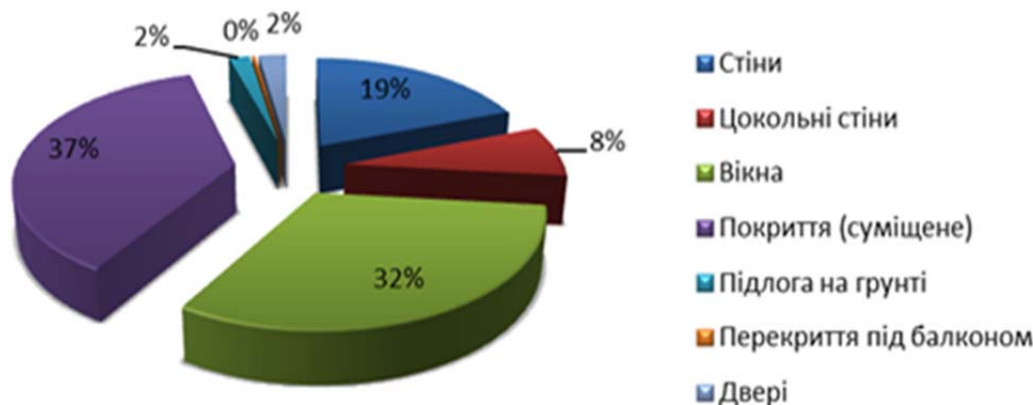


Рис. 2. Загальні теплові витрати через огорожувальні конструкції адміністративної будівлі за розрахунковими та тепловізійними даними

Оцінка теплозахисних властивостей конструкцій здійснювалася в природних умовах при різниці температур всередині і зовні будівлі не менш ніж 20°C. Тепловізійне обстеження проводилося у листопаді, у вечірній час, при температурі зовнішнього повітря мінус 3°C, швидкості вітру 4 м/с, погодні умови задовольняли проведенню тепловізійного обстеження. У момент проведення вимірювань бруд та інші нальоти, на досліджуваних поверхнях були прибрані, поверхні не були підвернені впливу прямих сонячних променів. Приклади тепловізійних обстежень адміністративної будівлі показано на рис. 1, де можна бачити по яскравості кольору та даним, які розташовані у верхнім правим куті зображення. Аналіз загальних теплових витрати через огорожувальні конструкції частин адміністративної будівлі (рис.2) виявив, що максимальні теплові втрати йдуть через вікна та покриття, крім того, стіни також додають внесок практично 20% от загальних теплових втрат.

Висновки. Виконано аналіз фактичного споживання енергоресурсів в адміністративній будівлі, розраховано питоме теплове навантаження об'єкту згідно з тепловитратами та теплонадходженнями за опалювальний період.

Проведення тепловізійного обстеження огорожувальних конструкцій об'єкту виявило, що адміністративна будівля не відповідає сучасним вимогам до ефективного використання енергетичних ресурсів. Основними причинами такого становища є використання для спорудження будівель застарілих матеріалів і технологій, з точки зору енергоефективності, що призводить до перевитрат палива для виробництва теплової енергії і, як наслідок, до надмірних викидів парникових газів. Тому, актуальним буде запропонувати енергоефективні заходи, які не тільки зменшать споживання теплової енергії, але і поліпшать комфортність умов перебування у приміщенні.

Л і т е р а т у р а

1. Енергетичний менеджмент: Навчальний посібник Праховник А, В., Розен В.П. .. Розумовський О.Б. Київ, 1999 рік
 2. Енергоаудит. Лекції Прокопенко В.О. доц., к. т. н. Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. Іжевськ.
 3. <http://jkg-portal.com.ua/ua/publication/one/derzhavn-mezh-jenergojefektivnost-38262>
 4. Збірник матеріалів передового вітчизняного і зарубіжного досвіду в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. "Національний дослідницький технологічний університет "Місіс". 2014р.
 5. Стельмах Н. Ю. Економіка та управління ресурсозбереженням. Навчально-методичний посібник [Електронний ресурс] / Н. Ю. Стельмах – Режим доступу до ресурсу: <http://ukrdoc.com.ua/text/47886/index1.html?page=5>.
 6. <http://www.cogita.ru/polskii-peterburg/sovremennost/polskii-opyt-energoeffektivnosti>
- Нормативна база:**
7. ДБН В 2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплоізоляція будівель.
 8. Зміна №1. ДБН В.2.6-31:2006

R e f e r e n c e s

1. Energety`chny`j menedzhment: Navchal`ny`j posibny`k Praxovny`k A, V., Rozen V.P. .. Rozumovs`ky`j O.B. Ky`yiv, 1999 rik
2. Energoaudy`t. Lekciyi Prokopenko V.O. docz., k. t. n. Insty`tut energozberezheniya ta energomenedzhmentu. Izhevsk`k.
3. <http://jkg-portal.com.ua/ua/publication/one/derzhavn-mezh-jenergojefektivnost-38262>
4. Zbirny`k materialiv peredovogo vitchyzn`yanogo i zarubizhnogo dosvidu v galuzi energozberezheniya ta pidvysh`shennya energety`chnoyi efekty`vnosti. "Nacional`ny`j doslidny`cz`ky`j texnologichny`j univ`ersy`tet "Misis". 2014r.
5. Stel`max N. Yu. Ekonomika ta upravlinnya resursozberezheny`ny`m. Navchal`no-metody`chny`j posibny`k [Elektronny`j resurs] / N. Yu. Stel`max – Rezhym dostupu do resursu: <http://ukrdoc.com.ua/text/47886/index1.html?page=5>.
6. <http://www.cogita.ru/polskii-peterburg/sovremennost/polskii-opyt-energoeffektivnosti>

Normaty`vna baza:

7. DBN V 2.6-31:2006. Konstrukciyi budy`nkiv i sporud. Teplova izolyaciya budivel`.
8. Zmina № 1. DBN V.2.6-31:2006

**Татарченко Г.О., Скуридина Т.Н., Поркуян С.Л.
Оценка энергетических потерь административным зданием**

В статье рассмотрены результаты теоретических и практических исследований энергетических потерь административного здания постройки 1994 года. Выполнены тепловые расчеты и проведены тепловизорные обследования ограждающих конструкций административного здания. Выявлены основные источники тепловых потерь, составлен энергетический паспорт.

Ключевые слова: энергоаудит, здание, тепловые потери, энергетический паспорт.

Tatarchenko GO, Skuridina T.N, Porkuian S.L Estimation of energy losses by an office building

The article considers the results of theoretical and practical studies of energy losses of the administrative building built in 1994. Thermal calculations were performed and thermal imaging surveys of the enclosing structures of the admin-

istrative building were carried out. The main sources of heat losses have been identified, an energy passport has been compiled.

Keywords: energy audit, building, heat losses, energy passport.

Татарченко Г.О. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Міського будівництва та господарства» Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, E-mail: tatarchenkogalina@gmail.com.

Скуридіна Т.М. – магістр групи МБГ-16дм Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, E-mail: t.skyridina@gmail.com

Поркуян С. Л. – заслужений будівельник України, генеральний директор холдингової компанії «МРІЯ - ІНВЕСТ», ст. викладач кафедри «Міського будівництва та господарства» Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, E-mail: s.porkuian@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.І.**

Стаття подана 23.11.2017.

УДК 535.2

ТОПОЛОГІЯ ДИФРАКЦІЙНОГО ПОЛЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТРАЄКТОРІЯМИ РУХУ МІКРО- І НАНОЧАСТИНОК

Хорошун Г.М., Рязанцев А.О.

TOPOLOGY OF THE DIFFRACTION FIELD FOR GUIDING OF MICRO- AND NANOPARTICLES

Khoroshun G.M., Ryazantsev A.O.

*Чисельно досліджено задачу проходження плоскої хвилі через круглий отвір без параксіального наближення і з його використанням. Проведено порівняльний аналіз отриманих розподілів і показано відмінність у топології оптичного поля. Описана структурованість світла і його перспективність при управлінні мікро- і наночастинками. **Ключові слова:** дифракція, топологічні об'єкти, мікро- і наночастинки, кубіт*

Вступ

У сучасній оптиці [1-3] активно досліджуються такі топологічні об'єкти, як максимуми, мінімуми, сідла і оптичні вихори в розподілах інтенсивності, фази і поляризації. Найбільш дивними властивостями володіє оптичний вихор, - лінія нульовий амплітуди і невизначеною (сингулярної) фази, навколо якої циркулює енергія аналогічно руху повітряних мас в смерчі. Унікальні властивості топологічних об'єктів знайшли широке застосування в різних напрямках: від прецезіонного метрологічних вимірювань менше довжини хвилі світла, а також оптичних пінцетів і багатоканальних маніпуляторів мікрочастинок до їх використання в квантових комп'ютерах.

Зупинимося на останньому застосуванні більш детально. Квантовий комп'ютер [4] концептуально схожий на цифровий класичний комп'ютер, в якому біти замінюються кубітами. Кубіти можуть перебувати в суперпозиції станів і можуть бути взаємно заплутаними - залежними (mutually entangled). Квантовий комп'ютер шукає рішення численних завдань, використовуючи послідовність логічних вентилів (logic gates) – базових елементів цифрової схеми, що виконують елементарні логічні операції, такі як додавання, множення, заперечення, виключення та інші, перетворюючи безліч вхідних логічних сигналів у вихідний логічний сигнал.

В результаті багаторічних досліджень виявлено, що в якості кубітів ефективніше використовувати нейтральні атоми внаслідок того, що:

- вони ідентичні і легко переводяться в потрібний стан за допомогою оптичного накачування;
- мають достатній час когерентності стану, що забезпечується можливістю ізолювати атоми від навколишнього середовища;
- безліч атомів може утримуватися разом без взаємодії один з одним, їх координати можуть бути точно виміряні за допомогою методів флуоресценції.

Нещодавно було показано, що метод захоплення атома світлом, краще, ніж магнітним полем. Це пояснюється тим, що внаслідок осциляції електричного поля світлової хвилі в атомі наводиться осцилюючий електричний дипольний момент із середньою затримкою в один період, що легко контролювати. Більш того, за допомогою певних розподілів світла можна управляти як кожним атомом окремо, так і групою атомів. Успішні експерименти в проведених квантових обчислень з використанням атомів цезію, методи їх розвитку та перспективи наведені в [4].

Підкреслимо, що для успішного управління частками необхідно знати точні координати (x,y,z) топологічних об'єктів у збудженому світловому полі. Круглий отвір є базовим елементом в якості власників елементів будь-яких оптичних приладів і пристосувань, а також важливим дифракційним елементом, дифрагованим поле якого становить значний інтерес для управління мікрочастинками. Тому, першочерговим завданням є обчислення точних характеристик обуреного поля. Метою даної роботи є виявити труднощі розрахунку дифракційного інтеграла з швидко осцилюючим підінтегральним виразом і запропонувати методи їх вирішення.

Математична модель

Вектор електричного поля світлової хвилі $E(r,t)$ задовольняє хвильовому рівнянню, яке для завдання, що володіє осью симетрії, зручно записати в циліндричних координатах ρ, φ, z :

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 E}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial E}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} \quad (1)$$

Шукаємо рішення рівняння (1) у вигляді

$$E(\rho, z, t) = A(\rho, z) \exp(i\omega t),$$

де ω – циклічна частота $\omega = k/c = 2\pi/\lambda$, λ – довжина хвилі світла. Оскільки ми розглядаємо усталене розподіл поля після проходження отвору, то комплексна амплітуда $A(\rho, z)$ від часу не залежить. Підставляючи цей вид рішення в (1), отримаємо рівняння для амплітуди

$$\frac{\partial^2 A}{\partial z^2} + \Delta_\rho A + \frac{\omega^2}{c^2} A = 0, \quad (2)$$

де Δ_ρ – радіальна частина лапласіана

$$\Delta_\rho = \frac{\partial^2 A(\rho, z)}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial A(\rho, z)}{\partial \rho}.$$

Гранична умова Кірхгофа в площині розташування екрану з круглим отвором одиничного радіуса має вигляд:

$$A(\rho, 0) = \begin{cases} A_0, \text{Im}(A) = 0 & \text{при } \rho \leq 1, \\ 0 & \text{при } \rho > 1 \end{cases}$$

Для радіально симетричних завдань було запропоновано використовувати перетворення Ханкеля, що дозволяє висловити кінцевий результат в ряді завдань у вигляді простих математичних виразів:

$$H \left[\frac{\partial^2 f(\rho)}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial f(\rho)}{\partial \rho} \right] = -s^2 H[f(\rho)] = -s^2 F(s).$$

Застосувавши перетворення Ханкеля відповідним чином отримаємо вираз, яке представляє собою точне рішення задачі дифракції плоскої хвилі на круглому отворі з граничними умовами Кірхгофа:

$$\begin{aligned} A(\rho, z) &= \int_0^\infty A(s, z) J_0(s\rho) s ds = \\ &= \int_0^\infty J_1(s) \exp\left(i \frac{ka}{2} \sqrt{(ka)^2 - s^2} z\right) J_0(s\rho) ds \end{aligned} \quad (3)$$

Для поля дифракції плоскої хвилі на круглому отворі Зоммерфельд [5] отримав розподіл амплітуди світла $A(z)$ в параксiальної наближенні позаду екрану на осі у вигляді:

$$E(z) = -2i E_0 \exp\left(ikz + i \frac{\pi a^2}{2\lambda z}\right) \sin\left(\frac{\pi a^2}{2\lambda z}\right). \quad (4)$$

формули (4) впливає, що на осі максимуми інтенсивності чергуються з мінімумами, що є точними нулями поля амплітуди. Кількість відкритих зон Френеля на відстані спостереження z визначається за формулою:

$$z_N = \frac{a^2}{N\lambda}, \quad (5)$$

де N – цілі числа, для парних N на осі спостерігається мінімум, а для непарних - максимум інтенсивності.

Нулі амплітуди повинні привести до сингулярності фази і появи в дифракційному полі таких топологічних об'єктів, як оптичні вихори. Щоб переконатися, чи так це потрібно розглянути рішення даної задачі без параксiального наближення, що і розглянута в статті [6]. Завдання вирішується в безрозмірних координатах, що відповідає виразу радіальних значень в розмірі радіуса отвору, а поздовжніх - в довжинах Релея L_R :

$$\tilde{\rho} = \frac{\rho}{a}, \quad \tilde{z} = \frac{z}{L_R} = \frac{z}{\pi a^2/\lambda}$$

Точне рішення на осі, має вид:

$$A = A_0 \exp\left(-i \frac{k^2 a^2 \tilde{z}}{2}\right).$$

$$\left[1 - \frac{ka\tilde{z}}{2\sqrt{\left(\frac{ka\tilde{z}}{2}\right)^2 + 1}} \exp\left(-ika\sqrt{\left(\frac{ka\tilde{z}}{2}\right)^2 + 1 + i \frac{k^2 a^2 \tilde{z}}{2}}\right) \right] \quad (6)$$

Мінімум поля на осі досягається в точках:

$$z_N = \frac{a^2}{N \cdot \lambda} - N \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

Таким чином, точки мінімуму інтенсивності в точній вирішенні (7) зрушені щодо «класичних», обчислених за формулою (5) з використанням параксiального наближення, на відстань $N \frac{\lambda}{2}$.

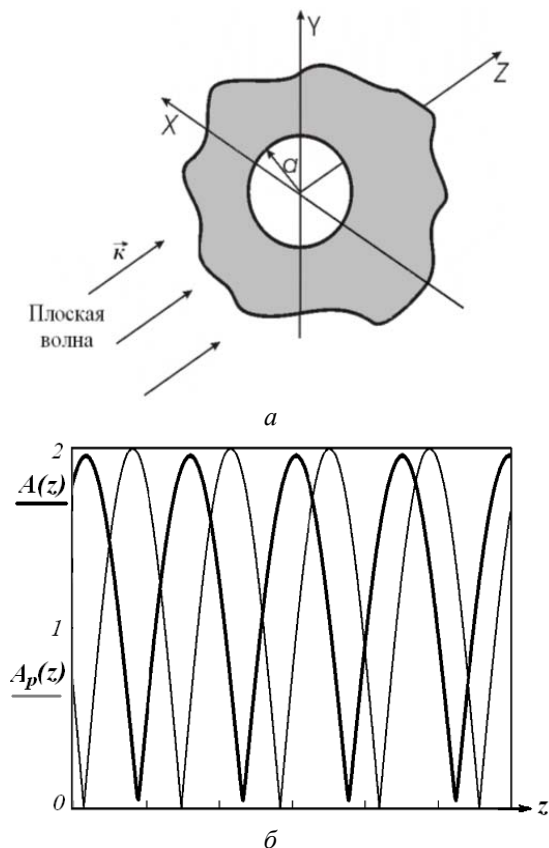


Рис.1. Дифракція плоскої хвилі на круглому отворі радіуса a . Хвиля падає нормально і поширюється вздовж осі Z (а). Залежність амплітуди дифрагрованої хвилі на осі пучка в параксильній наближенні $A_p(z)$ і для точного рішення $A(z)$. (б)

На графіку рис. 1б представлені залежності амплітуди дифрагрованої хвилі на осі пучка в параксильній наближенні $A_p(z)$ і для точного рішення $A(z)$. Видно, що для точного рішення відбувається зсув області знаходження топологічних об'єктів - мінімумів і максимумів, а також показано, що в разі точного рішення на осі немає нульового значення, а значить і фазових сингулярностей, а спостерігаються лише мінімуми амплітуди.

Чисельне моделювання дифракції плоскої хвилі на круглому отворі

Розглянемо більш повне рішення даного завдання не тільки на осі, а у всьому просторі дифрагovanого поля. Завдання має радіальну симетрію, тому зручно використовувати циліндричні координати (ρ, φ, z) . Інтеграл (3) дає розподіл дифрагovanого поля з урахуванням радіальної симетрії, тому кутова координата φ відсутня.

Підінтегральний вираз в (3) являє собою швидкоосцилюючу функцію, представлена на рис.2а. Даний інтеграл обчислювався з використанням двох програмування Fortran у сфері Visual Studio двома методами: трапецій та четвертої формули Ньютона-Котеса. Точність другого метода вище першого. Період функції не постійний, тому число точок для знаходження площі під інтегралом на один період відрізняється. Рішення інтеграла на осі в залежності

від знаходження верхньої межі в верхньому up_1 або нижньому положенні up_2 матиме на осі локальний максимум чи мінімум відповідно (рис. 2б). Такий розкид в значення не оптимальний при вирішенні завдань управління частками, тому дану ситуацію необхідно прояснити.

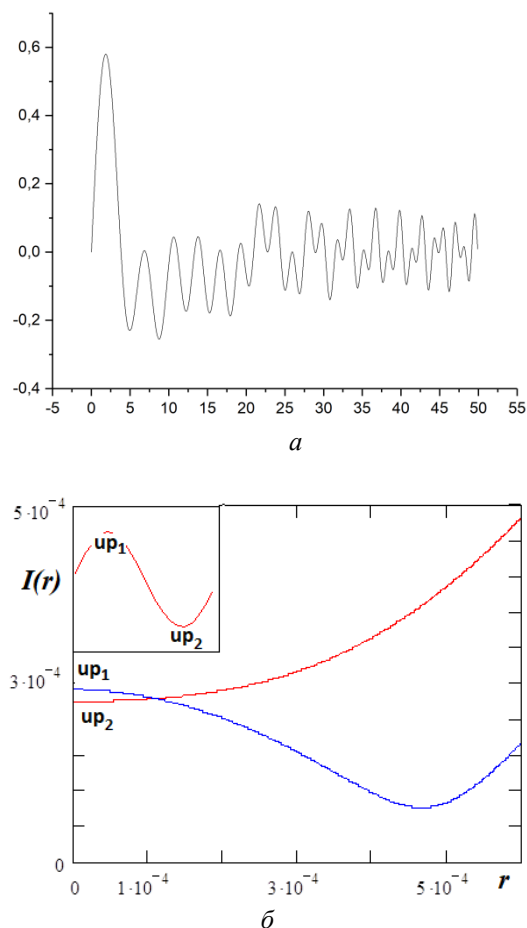


Рис. 2. Вид підінтегрального виразу - це швидкоосцилююча функція із змінним періодом (а). Залежності інтенсивності на осі пучка від вибору верхньої межі інтегрування

За більших $s > ka$ під коренем стоїть негативна величина і показник експоненти стає дійсним і негативним, тобто інтеграл повинен швидко сходиться. Тому при чисельному рахунку інтеграла можна верхній нескінченну границю замінити на кінцевий, для нашого випадку рівний $k \cdot a = 10^7$. Розподілу інтенсивності (рис.3 а, б, в) в поперечному перерізі пучка демонструє чергування темних і світлих кілець на відстанях 5,6 і 7 зон Френеля відповідно. Поля з періодичним чергуванням топологічних об'єктів називають структурованими. Цікаво відзначити конусоподібний тип чергування темних і світлих областей, спостережуваний в поздовжньому перетині пучка. Такі унікальні структурні особливості поля дифракції плоскої хвилі на круглому отворі можуть служити одним з варіантів упаковки нейтральних атомів, мікро- і наночастинок, що утворюють тривимірний кубіт, подібний такому, як показано на рис. 4б

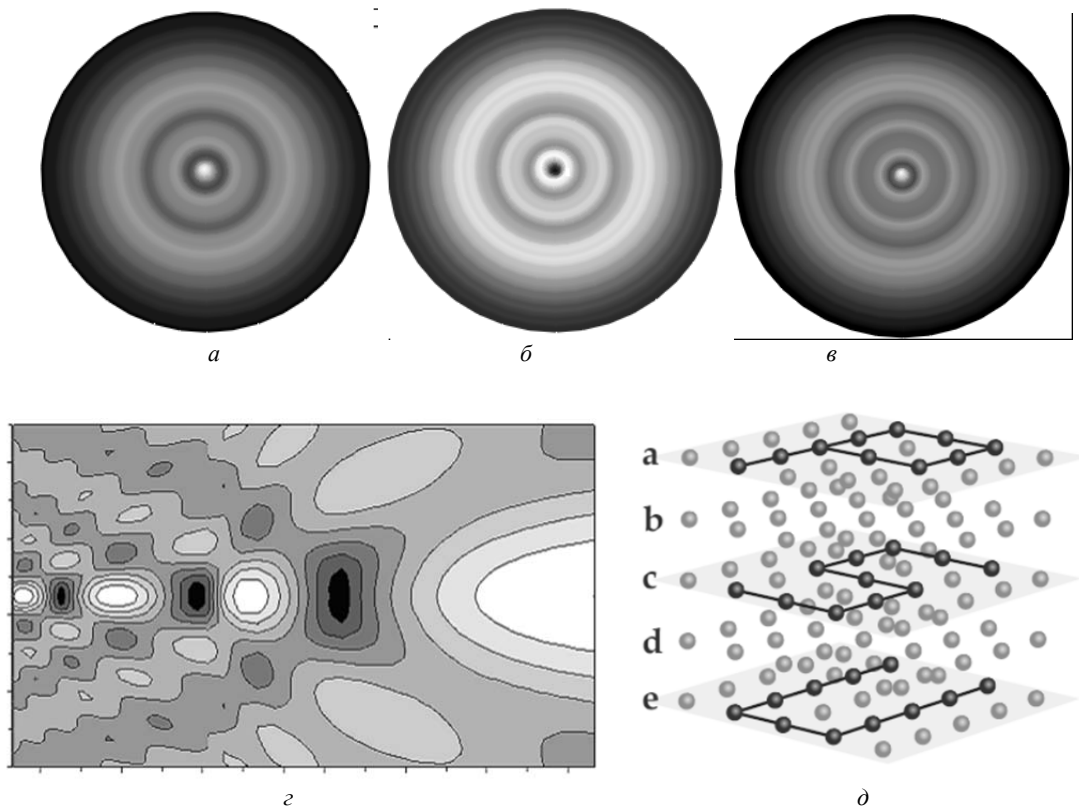


Рис. 3. Розподілу інтенсивності (а,б,в) поля дифракції плоскої хвилі на круглому отворі в поперечному перерізі пучка на відстанях 5,6 і 7 зон Френеля відповідно. Конфігурація інтенсивності поля дифракції плоскої хвилі на круглому отворі в поздовжньому перетині пучка на відстанях від 7 до 1 зони Френеля (г). Відтворення букв P, S і U в площинах тривимірної оптичної решітки (д)

Висновки

Показано особливості структури поля дифракції плоскої хвилі на круглому отворі з використанням чисельних методів без параксiального наближення і з його використанням. Проведено порівняльний аналіз отриманих розподілів інтенсивності. Вид топологічних об'єктів кардинально відрізняється: в параксiальній вирішенні має вигляд фазових сингулярностей, а в точному вирішенні - мінімумів амплітуди. Для опису дифракційних задач з радіальною симетрією використовувалося пряме і зворотне перетворення Ханкеля, яке дозволяє визначати аналітичне точне рішення поля на осі. Показані труднощі при взятті інтеграла від швидко осцилюючої функції та запропоновано методи їх вирішення з використанням калібрування аналітичного виразу на осі і заміною нескінченного межі на кінцевий, враховую графічне поведінку підінтегральної функції. Для здійснення чисельного інтегрування використовувалися методи трапецій і четвертої формули Ньютона-Котеса.

Розглянута задача має важливе практичне застосування. Розподіл інтенсивності в поперечному і поздовжньому перетинах пучка мають структуровані топологічні об'єкти у вигляді максимумів і мінімумів амплітуди з конусоподібним поділом світлох і темних зон, а отже, і світлового тиску. Що до-

зволяє використовувати даний пучок в якості пасток для захоплення мікрочастинок. Дана пастка Френеля на відміну від сингулярного пучка має гладкий хвильовий фронт, і, отже, захоплена частка обертається не буде. Це важливо при використанні пучків світла в якості оптичних пінцетів, багатоканальних маніпуляторів частинками, а також в квантових кубітах.

Література

1. M. S. Soskin and M.V. Vasnetsov, "Singular optics," *Prog. Opt.* 42, 219–276 (2001).
2. M. R. Dennis, Y. S. Kivshar, M. S. Soskin, G. A. Swartzlander Jr., "Singular optics: More ado about nothing," *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 11, 090201–090203 (2009).
3. P. Senthilkumaran, Sh. Sato, J. Masajada, "Singular Optics," *International Journal of Optics*, 1-106 (2012).
4. Quantum computing with neutral atoms David S. Weiss and Mark Saffman, *Physics Today* 70, 7, 44 (2017); doi: 10.1063/PT.3.3626
5. Зоммерфельд А. Оптика. М.: Иностранная Литература, 1953. – 486 с.
6. Khoroshun A. N., Vasnetsov M. V., Pas'ko V. A. and Soskin M. S.: Structure of the axial intensity minima in the Fresnel diffraction on a circular opening and superluminescent effects // *Opt. Comm.* – 2007. – V. 271, N2. – P. 316-322.

Хорошун А.Н., Рязанцев А.А. Топология дифракционного поля для управления микро- и наночастицами

Численно исследована задача прохождения плоской волны через круглое отверстие без параксиального приближения и с его использованием. Проведен сравнительный анализ полученных распределений и показано отличие в топологии оптического поля. Описана структурированность света и его перспективность при управлении микро- и наночастицами.

Ключевые слова: дифракция, топологические объекты, микро- и наночастицы, кубит

Khoroshun G.M., Ryazantsev A.O. Topology of the diffraction field for guiding of micro- and nanoparticles.

The problem of passing a plane wave through a circular hole is numerically investigated for two cases: exact solution and solution with the paraxial approach. A comparative analysis of the intensity distributions is provided and distinctions

in the optical field topology are represented. The structure of diffracted light field and its prospects in guiding of micro- and nanoparticles are described.

Keywords: diffraction, topological objects, micro- and nanoparticles, qubit

Хорошун Ганна Миколаївна – к.ф.-м. н., доцент кафедри «Міське будівництво та господарство» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. an_khor@i.ua

Рязанцев Андрій Олександрович – студент-магістр кафедри «Міське будівництво та господарство» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. drew.ryazancev@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 13.11.2017.

УДК 681.5.015

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТУПІНЧАСТОЇ ТЕПЛОНАСОСНОЇ
УСТАНОВКИ З ГІДРОДИНАМІЧНИМ КАВІТАЦІЙНИМ УЛАШТУВАННЯМ****Асманкіна А.А., Лорія М.Г., Целіщев О.Б., Жидков А.Б.****THE DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS APARTMENT WITH A HYDRODYNAMIC
KAVITATION DEVICE MATHEMATICAL MODEL****Asmankina A.A., Loria M.G., Tselishchev O.B., Zhydkov A.B.**

Мета усіх сучасних розробок - поліпшення якості та зменшення виробничих витрат. Підвищення тарифів є однією з основних проблем сучасної України, тому виникає необхідність створення енергонезалежних, автономних систем, які будуть контролюватися та управлятися віддалено. Створення комбінованих систем, здатних працювати дистанційно і незалежно від прямих енергоресурсів, призведе до значного підвищення рівня захищеності від нестабільності температурних перепадів і перепадів в електричній мережі. Наявність датчиків в цій системі дозволяє контролювати, регулювати і сигналізувати про її стан, а також дозволяє встановлювати необхідні параметри для побудови математичної моделі.

Ключові слова: математична модель, комбінований, система, кавітаційний, теплонасос, економічний, автономний.

Вступ. Основними споживачами всіх видів енергії та енергоносіїв є підприємства, а неодмінна частина будь-якого підприємства - його енергогосподарство. Енергогосподарство підприємства є не тільки допоміжним і обслуговуючим виробництвом, а й основою, що забезпечує нормальне функціонування підприємства. Наявність споживачів (малих міст, селищ), які перебувають в районах, ізольованих від існуючих енергомереж, або ж постачає електроенергією, з різних причин, з перебоями, вимагають організації автономного енергозабезпечення.[1] Обмеженість запасів викопних джерел енергії, а також що склалася в даний час ситуація з ростом цін на вуглеводневе паливо, поряд із загостренням екологічної обстановки, є факторами, що стимулюють впровадження і використання поновлюваних природних ресурсів в сфері виробництва електричної енергії.[2] Актуальність проблем автономного енергозабезпечення в нашій країні і її розвиненість за кордоном визначають необхідність досліджень і розробок щодо систем, що забезпечують незалежне енергопостачання з використанням ефективних засобів отримання,

накопичення і перетворення електроенергії. [3]

У даній роботі пропонується поєднати кілька видів систем, з подальшим дистанційним контролем. Для дослідження роботи комплексу систем необхідно створити математичну модель, тому були розглянуті праці інших дослідників.

Відомий винахід відноситься до устаткування для опалювання житлових і виробничих будівель. Компресійний тепловий насос містить випарник, компресор, конденсатор, дросельний вентиль і віддільник рідини. [4] Випарник і конденсатор виконані у вигляді кожухо-віхрових теплообмінників, що містять патрубків подачі і відведення робочого агента і патрубків подачі і відведення, відповідно низького потенційного теплоносія і високопотенційного теплоносія, колектор з направляючим апаратом і торцевими стінками, на внутрішній і зовнішній поверхні яких виконані канали, а із зовнішнього боку встановлений кожух.

Для підвищення ефективності трансформації теплової енергії використовують різні прийоми. Наприклад, в способі досягнення максимального опалювального коефіцієнта теплового насоса за патентом [5] вибирають хладагент теплового насоса рідким, щоб його критична температура була близька або дорівнює температурі охолоджуваного середовища.

Відомий спосіб теплопостачання, який включає подачу води на нагрів в теплонасосну установку системи, нагрівання води з її допомогою і доставку нагрітої води споживачам. Теплонасосна установка складається з теплових насосів, кожен з яких використовують як рівень послідовного нагріву води. [6]

Відомий пристрій[7], в якому для підвищення температури нагріву рідини додатково використовують вставку, виконану у вигляді перфорованої перегородки, встановленої в інжекційному патрубку. При проходженні рідини через канали перегородки в

рідині утворюються торіодальні каверни (бульбашки кавітації), пульсуючі на виході струменів за їх периферією. У кавернах з великою частотою відбуваються електричні розряди, енергія яких при «схлопуванні» каверн переходить в теплову, за рахунок чого відбувається генерування тепла в рідині. Недолік – відсутність кавітації у всьому об'ємі.

Мета статті, на вирішення якої направлений винахід, є розробка математичної моделі теплообмінної установки з тепловим насосом, що забезпечує підвищений тепловий коефіцієнт за рахунок зменшення витрат потужності на стискування робочого тіла в робочих порожнинах теплового насоса, а також за рахунок вживання на другому рівні гідродинамічного пристрою.

Основний матеріал. Поставлена мета досягається тим, що для зниження енергетичного навантаження на компресор і зменшення дросельних втрат робочого тіла установка забезпечена гідродинамічним пристроєм кавітації, в якому кавітатор представляє циліндр, внутрішня поверхня якого складається з «п» усічених конусів так, що похилі і горизонтальні поверхні створюють «каверни» схлопування перед звужуючим соплом, яке пов'язує потік кавітації з розсікачем, що має криволінійну поверхню. Крім того, крок між отворами конусів варіюється, а як робоче тіло використовується негорюча суміш.

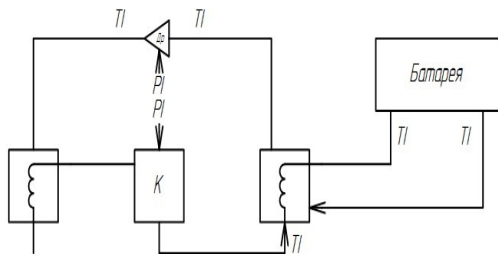


Рис. 1. Схематичне зображення установки

Для проведення лабораторних випробувань була розроблена установка, яка складається з компресора К, батареї, дроселя Др, системи датчиків температури Т і датчиків тиску РІ. Для руху рідини по трубах передбачений насос на вході лабораторної установки. Вода, що надходить в установку проходячи через компресор, де відбувається стиснення і переміщення парів холодоагенту, як в холодильних установках. Далі була поставлена задача на розробку математичної моделі, введені початкові параметри.

При стискаанні пари відбувається підвищення не лише тиску, але і температури. Після компресора стислий холодильний агент поступає в конденсатор, де стислий газ охолоджується і перетворюється на рідину, рідина потім через дросельний пристрій поступає у випарник (при цьому її тиск і температура знижується), де вона кипить, переходить в стан газу,

тим самим забираючи тепло з навколишнього простору. Після цього пари холодагента поступають знову в компресор для повторення циклу. Таким чином, на виході вода матиме температуру багато вище, ніж на вході, що і забезпечує нагрівання радіатора.[8] Далі використана рідина, що понизила температуру, проходить через дросель, для створення гідралічного опору потоку рідини. Додатковий гідралічний опір створюється за рахунок зміни прохідного перетину потоку рідини. Зміною гідралічного опору створюється необхідний перепад тиску, що призводить до ще більшого зниження температури потоку.[9]

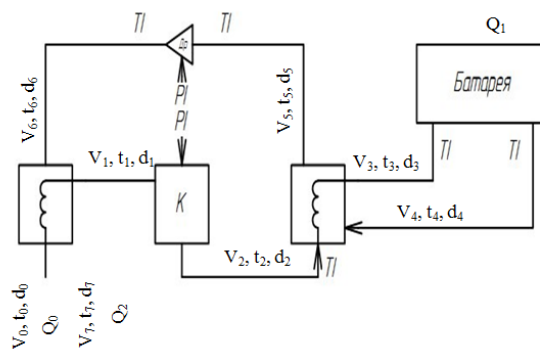


Рис. 2. Параметри для побудови математичної моделі, де V – об'єм рідини, t – показник температури, d – діаметр отвору, Q – кількість теплоти

Підвищення ефективності і міри кавітування теплоносія досягається шляхом інтенсифікації процесу на кордоні розділу фаз за рахунок кінетичної енергії взаємодії потоку рідини і кумулятивного ефекту схлопування струн.

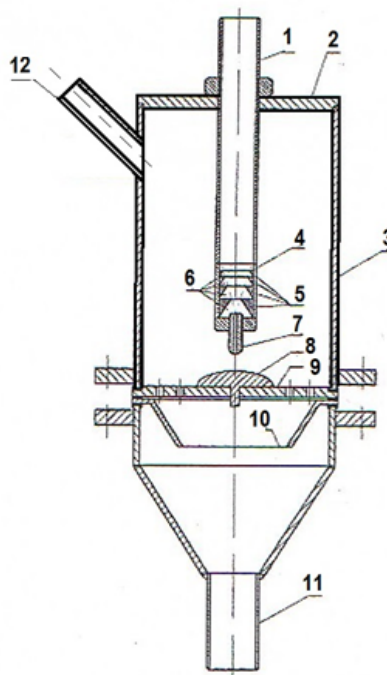


Рис. 3. Гідродинамічний реактор кавітації

Реактор містить: патрубок введення 1 другого потоку теплоносія; кришку 2; проточну камеру 3; циліндр 4; зворотні усечені конуси 5; каверни схлопівання 6; сопло 7; розсікач 8; разделительную перфоровану перегородку 9, яка служить опорою для розсікача; дифузор 10; патрубок виведення сумарного потоку теплоносія 11, що складається з першого і другого потоків; патрубок введення першого потоку теплоносія 12.

При стисненні парів відбувається підвищення не тільки тиску, а й температури. Після компресора стиснене холодильний агент поступає в конденсатор, де стиснений газ охолоджується і перетворюється в рідину, рідину потім через дросельний пристрій надходить у випарник (при цьому її тиск і температура знижується), де вона кипить, переходить в стан газу, тим самим забираючи тепло з навколишнього простору.

Після цього пари холодоагенту надходять знову в компресор для повторення циклу. Таким чином, на виході вода буде мати температуру багато вище, ніж на вході, що і забезпечує нагрівання радіатора.[10] Далі використана і знизилася температура рідини проходить через дросель, для створення гідравлічного опору потоку рідини. Додатковий гідравлічний опір створюється за рахунок зміни прохідного перетину потоку рідини. Зміною гідравлічного опору створюється необхідний перепад тисків, що призводить до ще більшого зниження температури потоку.[11]

Висновки. Результатом даної роботи є розробка і тестування дослідної лабораторної установки. Для побудови математичної моделі потрібен певний час на зняття показників, зведення їх у таблиці та подальшого формування закону дії установки. Для оцінки адекватності математичної моделі збір свідчень з датчиків змінюється залежно від температурних показників зовнішнього середовища, що вимагає детальніших спостережень залежно від пори року і бажаної температури в приміщенні.

Але, сильною стороною даного дослідження є отриманий позитивний ефект від зниження енергетичного навантаження на компресор. Так само зменшуються дросельні втрати робочого тепла в контурах теплового насоса досягається при середніх температурах конденсації.

Література

1. Фролов В.Я. Графики активной и реактивной нагрузки бытовых потребителей/ В.Я. Фролов, А.В. Коротков// Вестник ИГЭУ. – 2011. — № 5.
2. Е.А. Блинов Энергоснабжение. Учеб. пособие. – Спб.: СЗТУ/ Блинов Е.А., Джаншиев С.И., Зайцев Г.З., Можяева С.В. – 117с.
3. Поппель О.С. Комбинированные энергоустановки на основе ВИЭ [Электронный ресурс]: ООО «ГРЦ-Вертикаль». – Электрон. текстовые дан. – М., [200-]. – URL: www.src-vertical.com/files/misc/maps.pdf – Загл. с экрана.
4. патрф №2345295
5. РФ№2083932 F25B 30/00, 1997г
6. Авторское свидетельство СССР № 1283272

7. Chem Nayar. Innovative Remote Micro-Grid Systems // International Journal of Environment and Sustainability. — Vol. 1 No. 3, pp. 53-65. – 2012.
8. Г. Хейнрих, Х. Найрок, В. Нестлер «Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения» М. Строниздот. 1985г. 53-56
9. Целищев О.Б. Математичне моделювання технологічних об'єктів: підруч./ О.Б. Целищев, П.Й.Слісєєв, М.Г. Лорія, І.І. Захаров – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту, 2011. – 421с.
10. Цветков О. Б. и другие / [Озонобезопасные хладагенты](#). — Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». -Статья. — УДК 621.564
11. Абдурашитов С. А. Насосы и компрессоры/ С.А. Абдурашитов — М.: Недра, 1974.

References

1. Frolov V.Ya. Grafiki aktivnoy i reaktivnoy nagruzki byitovyih potrebitel'ey/ V.Ya. Frolov, A.V. Korotkov// Vestnik IGEU. – 2011. — # 5.
2. E.A. Blinov Energosnabzhenie. Ucheb. posobie. – Spb.: SZTU/ Blinov E.A., Dzhanshiev S.I., Zaytsev G.Z., Mozhaeva S.V. – 117s.
3. Poppel O.S. Kombinirovannyye energoustanovki na osnove VIE [Elektronnyiy resurs]: ООО «GRTs-Vertikal». – Elektron. tekstovyye dan. – M., [200-]. – URL: www.src-vertical.com/files/misc/maps.pdf zagl. s ekrana.
4. patrf #2345295
5. RF#2083932 F25B 30/00, 1997g
6. Avtorskoe svidetelstvo SSSR # 1283272
7. Chem Nayar. Innovative Remote Micro-Grid Systems // International Journal of Environment and Sustainability. — Vol. 1 No. 3, pp. 53 -65. – 2012.
8. G. Heynrih, H. Nayrok, V. Nestler «Teplonasosnyie ustanovki dlya otopeniya i goryachego vodosnabzheniya» M. Stronizdot. 1985g. 53-56
9. TselIschEv O.B. Matematichne modelyuvannya tehnologIchnih ob'EktIv: pIdruch./ O.B. TselIschEv, P.Y.EllsEEv, M.G. LorIya, I.I. Zaharov – Lugansk: Vid-vo ShIdnoukr. nats. un-tu, 2011. – 421s.
10. Tsvetkov O. B. i drugie / Ozonobezopasnyie hladagentyi. — Nauchnyiy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Holodilnaya tehnika i konditsionirovanie». -Statya. — UDK 621.564
11. Abdurashitov S. A. Nasosyi i kompressoryi/ S.A. Abdurashitov — M.: Nedra, 1974.

Асманкина А.А., Лорія М.Г., Целищев А.Б., Жидков А.Б. Разработка математической модели ступенчатой теплонасосной установки с гидродинамическим кавитационным устройством

Цель всех современных разработок - улучшение качества и уменьшение производственных затрат. Повышение тарифов является одной из основных проблем современной Украины, поэтому возникает необходимость создания энергонезависимых, автономных систем, которые будут контролироваться и управляться удаленно. Создание комбинированных систем, способных работать дистанционно и независимо от прямых энергоресурсов, приведет к значительному повышению уровня защищенности от нестабильности температурных перепадов и перепадов в электрической сети. Наличие датчиков в этой системе позволяет контролировать, регулировать и сигнализировать о ее состоянии, а также позволяет устанавливать необходимые параметры для построения математической модели.

Ключевые слова: математическая модель, комбинированный, система, кавитационный, теплонасос, экономический, автономный.

Asmankina A.A., Loria M.G., Tselishchev O.B., Zhydkov A.B. The development of autonomous apartment with a hydrodynamic kavitation device mathematical model

The all modern developments purpose is production inputs an improvement and diminishing. Tariffs increase is one of main modern Ukrainian problems, therefore there is a necessity for the energyindependent, autonomous systems creation which will be controlled and managed remotely. The combined systems creation, able to work remotely and regardless of direct energy resorses, will result in the considerable protected level increase from tempreature overfalls and overfalls in the electric system instability . Sensors presence in this system allows to control, regulate and signal about its state, and similarly, enables to set necessary parameters for the mathematical model construction.

Keywords: mathematical model, combined, system, kavitation, hitpump, economic, autonomous.

Лорія Марина Генадіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри електронних апаратів, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк).

Асманкіна Анастасія Анатоліївна – аспірант кафедри електронних апаратів, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк).

Целіщев Олексій Борисович - к.т.н., доц., директор Інституту міжнародних відносин, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк).

Жидков Андрій Борисович - к.т.н., доц., директор відокремленого підрозділу «Науково-дослідний інститут «Іскра» Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк).

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 15.11.2017

УДК 504.064:502.34

ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ISO 14000**Атанова Н.М., Лісова А.Є.****THE PROBLEMS OF IMPLEMENTING THE ISO 14000****Atanova N.M., Lisova A.E.**

У статті розглянуто недоліки впровадження стандарту ISO 14000, а саме транскордонний аспект забруднення повітряного та водного середовища України та досліджено їх сучасний екологічний нормативний стан, а також вивчена динаміка поширення основних забруднюючих речовин територією України та вздовж її кордонів внаслідок повітряних та водних масо-перенесень за обраний інтервал часу.

Ключові слова: ISO 14000, транскордонне забруднення, зона атмосферного ураження, забруднення водного середовища, промислові та побутові стоки.

Вступ. ISO 14000 – міжнародний стандарт, що містить вимоги до системи екологічного управління («environmental management system»), за якими проходить сертифікація підприємств.

Стандарти ISO 14000 допоможуть всім підприємствам-виробникам вирішувати системно екологічні проблеми, сприяючи тим самим поліпшенню екологічних показників. Вони охоплюють такі аспекти діяльності компаній в галузі управління природокористуванням, як: питання екологічного аудиту, визначення екологічних показників, задоволення претензій, що пред'являються до продукції, що виробляється, способів проведення аналізу життєвого циклу продукції, складання форм, що містять екологічну інформацію для подання державним установам і населенню [1].

Стандарти ISO 14000 є «добровільними». Вони не замінюють законодавчих вимог, а забезпечують систему визначення того, яким чином компанія впливає на навколишнє середовище і як виконуються вимоги законодавства.

Постанова проблеми. Основний документ серії – ISO 14000 не містить ніяких «абсолютних» вимог до впливу організації на навколишнє середовище, за винятком того, що організація в спеціальному документі повинна оголосити про своє прагнення відповідати національним стандартам. Стандарти ISO 14000 мають свої недоліки:

1) підприємство може бути сертифіковане відповідно до ISO 14000, навіть якщо технологічні системи і організаційні заходи не забезпечують власного зменшення впливу на навколишнє середовище;

2) стандарти створюють сприятливі умови для «експорту забруднень»;

3) надмірна гнучкість стандартів – підприємство-забруднювач може формально відповідати вимогам стандарту;

4) екологічна політика носить загальний характер.

Аналіз останніх досліджень. Система стандартів ISO 14000, на відміну від багатьох інших природоохоронних стандартів, орієнтована не на кількісні параметри (обсяг викидів, концентрації речовини і т.п.) і не на технології (вимога використовувати або не використовувати певні технології, вимога використовувати «найкращу доступну технологію»).

Мета роботи. Стандарт ISO 14000 містить загальні «рамкові» вимоги до системи екологічного менеджменту і не містить вимог до результатів природоохоронної діяльності. Необхідно визначити відповідність стандартів та нормативів екологічної політики підприємств та наявність реальних забруднювачів навколишнього середовища на підприємствах, де вже впроваджений стандарт ISO 14000.

Результати досліджень. Що стосується «експорту забруднень» повітряного середовища, то частка транскордонного забруднення території України за даними по оксидам нітрогену і оксидам сірки становить за різними даними від 40% до 60% [2].

Так, крім того, одним з найбільших транскордонних переносів є радіаційне забруднення, так звана Чорнобильська зона, уражена радіацією внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, розташована в Україні (рис. 1). Радіоактивні речовини поширилися на великі відстані (до 2 тис. км), охопивши Росію, Білорусію, частину Східної і Західної Європи. Тільки російська зона забруднення склала більше 50 тис. км², на яких розташовано 138 адміністративних ра-

йонів, 15 міст, близько 8 тис. населених пунктів, де проживає приблизно 3 млн. ос. У Росії наслідками цієї аварії порушено 14 областей (від Брянської до Ульяновської) і одна республіка (Мордовія).

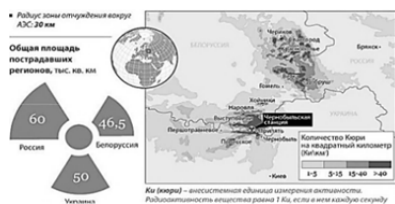


Рис. 1. Зона ураження територій після аварії на Чорнобильській АЕС

На сьогодні ЧАЕС і ЗАЕС відповідають ново введеним стандартам системи ISO 14000. ЧАЕС, в свою чергу, через три десятиліття з дня аварії несе катастрофічні наслідки для навколишнього середовища в порівнянні з ЗАЕС. Але все ж і Запорізьку АЕС вчені вже називають «Новим Чорнобилем», який може погубити не тільки всю Україну, а й значну частину Європи – аварії на електромережах можуть мати катастрофічні наслідки, оскільки ведуть до виходу з ладу систем охолодження атомного реактора, тим самим підтверджуючи формальність приналежності АЕС даному стандарту.

Основна частина забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря України (55%), осідає в межах її кордонів. Основними країнами, де відбувається осадження сполук свинцю з українських джерел, є Російська Федерація (19%), Румунія (4%) і Білорусь (3%). Близько 7% свинцю осідає в Чорному морі. Україна в свою чергу забруднюється викидами з Російської Федерації, Румунії та ін. країн [3].

Сумарні випадання окисленого азоту NO_x від російських джерел за 2016 р. на територію України становлять 33 тис. т, окислення сірки SO_x – 24 тис. т.

Візуально помітні дуже високі рівні ризику повітря на південному заході Румунії, які перевищують максимальний ризик в межах території України в 2 рази (рис. 2).



Рис. 2. Транскордонне забруднення атмосфери SO_2 в напрямку Румунія-Україна

Подальші дослідження спрямовані на уточнення характеру забруднення двооксидом сірки території дельти Дунаю, Дніпра і Чорного моря [4].

Що стосується «експорту забруднень» водного середовища, то ці проблеми мають специфічну локалізацію і гостроту на різних ділянках басейнів річок. Цілий ряд пріоритетних екологічних проблем

басейну Дністра має транскордонний аспект, зокрема:

1) транскордонний вплив регулювання стоку на кількість водних ресурсів на різних ділянках басейну;

2) транскордонний вплив регулювання стоку, фізичного, хімічного і мікробіологічного забруднення на стан гідробіологічних ресурсів;

3) транскордонний вплив хімічного і мікробіологічного забруднення в напрямку Молдова-Україна на якість води, стан екосистем на території України;

4) негативний вплив на екосистему Чорного моря за рахунок надходження забруднюючих речовин зі стоком Дністра [5].

З січня 2004 р. робота очисних споруд припинена, проте транскордонне забруднення р. Дністер триває. Молдавською стороною не вирішено питання утилізації мулу з мулових майданчиків.

У 2002 р. в водні об'єкти басейну з території України потрапило 286 млн m^3 стічних вод. Кількість забруднених вод становило 10,54 млн m^3 , нормативно чистих вод без очистки – 77,45 млн m^3 , нормативно очищених після очищення – 104,3 млн m^3 , недостатньо очищених – 93,99 млн m^3 .

Динаміка скидання зворотних вод у басейн Дністра за 1994-2002 рр. приведена на рис. 3 а-б.

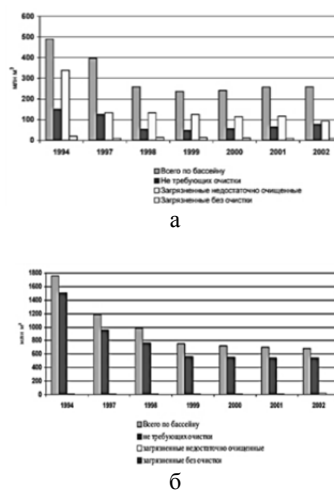


Рис. 3. Динаміка скидання зворотних вод у басейн Дністра, млн m^3 на рік: а – на території України; б – на території Молдови

Основними джерелами забруднення басейну Дністра є підприємства нафтохімічної, нафтовидобувної промисловості, комунального господарства, які в більшості своїй розміщені на притоках.

Зі стічними водами України у 2002 р. скинуто 3,3 тис. т органічних речовин, 7,5 т нафтопродуктів, 17,2 тис. т сульфатів, 29,1 тис. т хлоридів, 0,6 тис. т азоту амонійного, 0,1 т міді, 14 т синтетично поверхнево-активних речовин (СПАР).

У 2002 р. в поверхневій водні об'єкти басейну з території Молдови потрапило 678,85 млн m^3 стічних вод, з них в поверхневій водні об'єкти – 112,9 млн m^3

нормативно очищених, 17,6 млн м³ недостатньо очищених і 0,45 млн м³ без очищення.

Кількість нормативно чистих вод, які не потребують очищення, становило 547,9 млн м³, що пов'язано в основному зі скидами від Кучурганської ТЕС. Зі стічними водами у 2002 році скинуто 2,6 тис. т органічних речовин, 1,8 тис. т завислих речовин, 0,02 тис. т нафтопродуктів, 18,6 тис. т сульфатів, 17,4 тис. т хлоридів, 0,1 тис. т азоту амонійного, 0,04 т міді, 21,5 т СПАР.

Нині необхідно провести експертизу берегово-го мулу як українським, так і молдавським експертам і, тільки потім провести наступну двосторонню зустріч для прийняття відповідних рішень і визначення подальших кроків [6].

Сучасний екологічний стан басейну можна охарактеризувати як напружений, з цілим комплексом проблем, що стосуються кількісних і якісних характеристик водних об'єктів, зменшення біологічних ресурсів і біологічного різноманіття, проявів руйнівної дії води [7].

На території Придністровської Республіки Молдова розміщені металургійний комбінат і понад 100 великих підприємств машинобудівної, легкої, електротехнічної та ін. промисловості, а також Молдавська ГРЕС і Дубосарська ГЕС. У 80-х рр. в Україні на кордоні з Молдовою була споруджена Дністровська ГЕС. Це гідробудівництво викликало у середньому Дністрі на ділянці, що протікає по межі Молдова-Україна і нижче – по території Молдови, принципові порушення екосистем. Вода, яка надходить з гідротехнічних споруд має протягом року приблизно однакову температуру – ~ 6 °С. До того ж, рівень води в річці нижче за течією українського гідрокомплексу піддається сильним коливанням протягом доби, що веде до осушення відкладеної рибами ікри.

Також, сьогодні басейн Сіверського Дінця нещадно експлуатують і забруднюють як промислові, так і комунальні підприємства. Басейн зачіпає три українські обл. – Луганську, Харківську і Донецьку, а також дві російські обл. – Ростовську і Білгородську (рис. 4).



Рис. 4. Схема розташування створів спостережень за якістю води р. Сіверський Донець

За створу р. Сіверський Донець – с. Графівка відзначається стійка забрудненість сполуками марганцю (від 3,3 до 13,7 ГДК) і азотом нітритним (від 3,1 до 6,2 ГДК), середньорічні концентрації марганцю перевищували за аналізований період, азотом ні-

тритним. Починаючи з 2009 р. відзначається забруднення фосфатами: до 2012 р. середньорічна концентрація збільшилася до 2,2 ГДК. Причиною цього був скидання забруднених стічних вод МУП «Міськводоканал» м. Білгород [8].

Якість води по створу р. Сіверський Донець – с. Стара Таволжанка в даному п'ятирічний період не відповідало рибогосподарської категорії за змістом марганцю (від 1,93 до 2,52 ГДК), міді (від 1,17 до 3,05 ГДК), нітритів (від 1,21 до 2,17 ГДК), заліза загального (від 1,4 до 1,82 ГДК), біохімічного споживання кисню (БСК₅) (від 1 до 1,15 ГДК), фосфатів від (від 1,19 до 1,71 ГДК). У 2012 р. спостерігалось перевищення цинку – 1,43 ГДК, кобальту – 1,38 ГДК, фенолів – 2 ГДК, сульфатів – 1,04 ГДК.

Забруднені води за течією з Білгородської обл. потрапляють в басейн річки на територію України (Харківську, Донецьку, Луганську обл.), потім знову повертаються на територію Росії в Ростовську обл. і впадають в р. Дон.

На території Луганської обл. безпосереднє забруднення спостерігається в районі Лисичанско-Северодонецько-Рубіжанського промвузла за рахунок промпідприємств «ЛіНІК», «Азот», «Зоря» (у створі в районі с. Світличне вода «забруднена» – 4 клас якості). Основні забруднюючі речовини – добрива, нафтопродукти, феноли, цинк, мідь.

Висновки. Таким чином, формальне впровадження стандарту ISO 14000 не гарантує автоматичного вирішення всіх природоохоронних проблем, які стосуються сучасного стану нині розглянутих ділянок та адміністративних областей України. Нормативний стан якості буде залежить, перш за все, від існуючого та майбутнього розвитку транскордонного співробітництва між Україною та її сусідніми державами, яке на сьогодні не регламентується стандартом ISO 14000. Ефективність застосування системи екологічного менеджменту, яку вже прийнято розглядати в якості своєрідного інструменту регулювання негативного впливу підприємства на навколишнє середовище, залежить, перш за все, від активності керівництва підприємства і залучення всього персоналу в природоохоронну діяльність.

Література

1. Пашков Є. В. Міжнародні стандарти ISO 14000: Основи екологічного управління / Г. С. Фомін, Д. В. Червоний. - М.: Хімія, 1997. - 89 с.
2. Рівень забруднення повітря: Транскордонне забруднення повітря [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://biofile.ru/bio/22269.html>
3. Моніторинг навколишнього середовища. Тематичне дослідження: Моніторинг транскордонного забруднення повітря [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://new.ecogofond.kz>
4. Родрігес Залепінос Р. А. Екологічна оцінка забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки над територією України / Р. А. Родрігес Залепінос, Г. В. Аверін // праці Другого міжнародного науково-практичного семінару «Повховського наукового читання». – [під. заг. ред.

- А. Б. Ступина]. – Донецьк: ДонНУ, 20 грудня 2012 р. – 335 с. – С. 131 – 137
5. Сіренко Л. А. Гідробіологічний режим Дністра і його водойм / Л. А. Сіренко, Н. Б. Євтушенко, Ф. Я. Комаровський. – К.: Наук. думка, 1992. – 356 с.
 6. Транскордонне діагностичне дослідження басейну річки Дністер [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.osce.org/ru/ukraine/104060?download=true>
 7. Шляхи вирішення забруднення берегової смуги Дністра [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dniester.eu/en/1031>
 8. Петіна М. А., Новікова Ю. І. Оцінка якості води в транскордонному створі річки Сіверський Донець – 2014. №1 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=12258>

References

1. Pashkov E. V. International Standards ISO 14000: Fundamentals of Environmental Management / GS Fomin, DV Krasniy. – М.: Chemistry, 1997. – 89 p.
2. Level of air pollution: Transboundary pollution [Electronic resource] – Access mode: <http://biofile.ru/bio/22269.html>
3. Environmental monitoring. Case study: Monitoring of transboundary air pollution [Electronic resource] - Access mode: <http://new.ecogofond.kz>
4. Rodriguez Zalepinos R. A. Environmental assessment of atmospheric air pollution by sulfur dioxide over the territory of Ukraine / R. A. Rodriguez Zalepinos, G. V. Averin // Proceedings of the Second International Scientific and Practical Seminar «Povkhov Scientific Readings». – [under. Society. Ed. A. B. Stupina]. – Donetsk: DonNU, December 20, 2012 – 335 with. – P. 131-137
5. Sirenko L. A. Hydrobiological regime of the Dniester and its reservoirs / L. A. Sirenko, N. B. Evtushenko, F. Y. Komarovsky. – К.: Science. Dumka, 1992. – 356 p.
6. Transboundary diagnostic study of the Dniester river basin [Electronic resource] – Access mode: <http://www.osce.org/ru/ukraine/104060?download=true>
7. Ways to address pollution of the Dniester riverbank [Electronic resource] – Access mode: <http://dniester.eu/en/1031>

8. Petina M. A, Novikova Y. I. Estimation of water quality in the transboundary structure of the river Siversky Donets – 2014. №1 [Electronic resource] – Access mode: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=1225>

Атанова Н.Н., Лисовая А.С. Недостатки внедрения ISO 14000.

В статье рассмотрены недостатки внедрения стандарта ISO 14000, а именно трансграничный аспект загрязнения воздушной и водной среды Украины и исследовано их современное экологическое нормативное состояние, а также изучена динамика распространения основных загрязняющих веществ по территории Украины и вдоль ее границ за счет воздушных и водных массопереносов за выбранный интервал времени.

Ключевые слова: ISO 14000, трансграничное загрязнение, зона атмосферного поражения, загрязнение водной среды, промышленные и бытовые стоки.

Atanova N.M., Lisova A.E. The problems of implementing the ISO 14000.

The article considers the shortcomings of the implementation of the ISO 14000 standard, namely the transboundary aspect of air and water pollution in Ukraine and investigated their current environmental regulatory state, and also studied the dynamics of the distribution of major pollutants across Ukraine and along its borders at the expense of air and water mass transfer for the selected time interval.

Keywords: ISO 14000, transboundary pollution, zone of atmospheric damage, pollution of the water eco-sys, temindustrial and domestic sewage.

Атанова Н.М. – магістр, академ. гр. ПЕО-17дм, e-mail: atanovanatasha@ukr.net
Лісова А.С. – магістр, академ. гр. ПЕО-17дм, e-mail: userendr04072@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 17.12.2017.

УДК 621.924.93

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА В ТРУБОПРОВОДІ

Чернецька-Білецька Н.Б., Роговий А.С., Баранов І.О., Мірошникова М.В.

MATHEMATICAL MODELING MOVEMENT OF WATER-COAL FUEL IN PIPELINE

Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Miroshnykova M.

Встановлені найбільш перспективні напрямки розвитку вугільних технологій в Україні. Визначені найбільш вагомі чинники, які впливають ефективність транспортування водовугільного палива. Виконано аналіз вітчизняного та закордонного досвіду розробки методів визначення енерговитрат при транспортуванні водовугільного палива. Наведено алгоритм розробки математичної моделі просторової тривимірної течії неньютоновою рідини, що дозволяє визначати гідравлічні параметри транспортування водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах з урахуванням реологічних властивостей, режимів течії і гранулометричного складу. Запропонована математична модель турбулентності (SST-модель Ментера) яка дозволяє визначати гідродинамічні параметри транспортування водовугільного палива в широкому діапазоні режимів течії та має низький рівень похибки розрахунків. Для кращої геометрії розрахункової області використана адаптивна локально здрібнена сітка.
Ключові слова: водовугільне паливо, транспортування, моделювання, гранулометричний склад, реологічні властивості, втрати тиску.

Вступ. Найбільш перспективним напрямком розвитку вугільних технологій в Україні, є використання водовугільного палива (ВВП) в якості альтернативного виду палива для потреб теплоенергетичного комплексу України. Низька ефективність попередніх впроваджених заходів практичної спрямованості пояснюється не тільки їх недостатньою організаційно-управлінською компонентою, а й необхідністю більш поглиблених досліджень ВВП як теоретичного так і емпіричного характеру [1].

Розширення сфери використання ВВП як ефективної вугільної технології викликає необхідність удосконалення технологій його приготування для зменшення енерговитрат в розрахунку одиницю продукту і транспортування для зменшення витрат на перекачування по трубопроводу і спрощення наосного обладнання.

Постановка проблеми. Численні теоретичні та експериментальні дослідження транспортування ВВП показали, що на параметри енергоефективності

транспортування впливають досить багато чинників, з яких один з основних є гранулометричний склад палива. Дослідження впливу гранулометричного складу на параметри та енергоефективність транспортування потребує значної кількості експериментальних досліджень та постійного змінювання складу, який впливає на реологічні показники. На сьогоднішній день, широке розповсюдження отримало числове вирішення задач руху рідини при розумних витратах часу на розрахунок. Таким чином, з'явилася можливість зменшити кількість експериментальних досліджень за рахунок заміни частини найбільш коштовних експериментальних досліджень теоретичними числовими. Для цього необхідно, в першу чергу, провести валідацію математичних моделей з метою отримання якнайменшого розходження між результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень [1, 2]. Після отримання найменших похибок розрахунку моделей течії необхідно вказати діапазон, в якому ці моделі мають достатню точність, та підкреслити в якому діапазоні параметрів отримані результати та висновки будуть мати чинність.

Для ньютонівських рідин за останні роки проведено велику кількість різноманітних досліджень щодо визначення найкращих, за помилками, моделей практично для усіх параметрів та геометрії течії, та ці роботи безупинно проводяться в даний час. На відміну від ньютонівських рідин для неньютоновських, визначення моделей значно більш складне за рахунок впливу додаткового чинника, такого як змінення в'язкості за реологічним законом. Для цих рідин проводиться значно менша кількість досліджень із допомогою програмних комплексів CFD, та наявність досить великої кількості реологічних моделей призводить до того, що для конкретної реологічної моделі та конкретних параметрів гранулометричного складу практично не проводилося досліджень числового вирішення рівнянь руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В даний час накопичено великий досвід, створена наукова база і розроблені методи для визначення енерговитрат при транспортуванні ВВП. Значний внесок у створення науково-методичного забезпечення та вирішення зазначених завдань внесли роботи зарубіжних вчених EERC у США, Cape Breton Development Corporation в Канаді, Snamprogetti в Італії, Salzgitter у Німеччині, AB Carbogel у Швеції, Elfsolaize у Франції, Japan COM, JGC та Nissho Iwai Coal Corp. в Японії, Janji CWM Corp. у Китаї, ФГАОУ ВПО, ЗАО НПП «Сибзекотехника», СФУ у Росії. Вагомий внесок у розвиток ВУТ-технологій в Україні внесли вчені ІТМ НАН України, ДНТУ, НВО «Хаймек», СЧУ ім. В. Даля, ІВЕ НАН України, УкрНДГідровугілля, ІНФОУ НАН України та ІК-ХІХВ НАН України та інші

Вирішенню питань зниження гідравлічного опору при транспортуванні ВВП промисловим гідротранспортом присвячені роботи вчених Білецького В.С., Брагіна Б.Ф., Власова Ю.Ф., Крутя О.А., Мурко В.І., Світлого Ю.Г., Семененко Є.В., Сергєєва П.В. та інших. Основи сучасних методів розрахунку параметрів транспортування неньютоновських рідин трубопроводами закладені Алієвим Р.А., Бібіком Е.Е., Губіним В.С., Дмитрієвим Г.П., Лойцяньський Л.Г., Рабіновичем Е.З., Смолдирєвим А.Е., Трайніс В.В., Урьєвим Н.Б., Яхно О.М. та іншими.

Мета статті. Метою роботи є розробка математичної моделі просторової тривимірної течії неньютоновської рідини, що дозволяє визначити гідравлічні параметри транспортування водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах з урахуванням реологічних властивостей, режимів течії і гранулометричного складу.

Результати досліджень. Розрахунки на математичних моделях процесів, що відбуваються під час транспортування водовугільного палива у трубопроводі та різноманітних елементах гідросистем дозволяють скоротити час на удосконалення методик розрахунку параметрів гідротранспортування та отримати найбільш точні характеристики систем із окресленням меж їх використання. Тому математичне моделювання є однією з найважливіших й актуальних задач дослідження руху висококонцентрованого водовугільного палива [3].

Для опису поведінки рідини запишемо теорему про зміну головного вектора кількості руху системи. Ця теорема формулює зв'язок індивідуальної похідної від головного вектора кількості руху «рідкого» об'єму з головним вектором зовнішніх об'ємних та поверхневих сил, що прикладені до частинок рідини, які розташовані відповідно в об'ємі та на поверхні, що його обмежує [4]:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} + \frac{1}{\rho} \text{Div}T. \quad (1)$$

Де \vec{V} – вектор швидкості; \vec{F} – вектор масових сил; ρ – густина середовища; t – час.

Тензор напружень:

$$T \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}.$$

В декартових координатах система рівнянь записується в такий спосіб:

$$\left\{ \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial V_1}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3} \right) &= \\ &= \rho F_1 + \frac{\partial p_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial p_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial p_{31}}{\partial x_3}, \\ \rho \left(\frac{\partial V_2}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_2}{\partial x_3} \right) &= \\ &= \rho F_2 + \frac{\partial p_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial p_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial p_{32}}{\partial x_3}, \\ \rho \left(\frac{\partial V_3}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_3}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_3}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_3}{\partial x_3} \right) &= \\ &= \rho F_3 + \frac{\partial p_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial p_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial p_{33}}{\partial x_3}. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Система рівнянь (2.2) у більш компактній індексній за правилом Ейнштейна, формі має наступний вигляд [4]:

$$\rho \left(\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} \right) = \rho F_i + \frac{\partial p_{ki}}{\partial x_k} \quad (3)$$

($i, k = 1, 2, 3$; підсумовування за k), (3)

де V_i, V_k – проекції складової вектора швидкості на осі координат; F_i – проекції вектора масових сил на осі координат; p_{ki} – елементи тензору напружень T .

Залежність між компонентами тензорів напружень та швидкостей деформації характеризує реологічний закон досліджуваної рідини. За результатами досліджень реологічного закону водовугільного палива отримано, що воно, за відповідною концентрацією твердої фази, відноситься до в'язкопластичних (бінгамівських) рідин. Тоді компоненти тангенціальних напружень

$$p_{ik} = 2 \left(\eta + \frac{\tau_0}{H} \right) S_{ik}, \quad i \neq k, \quad (4)$$

де

$$H = \left[\left(\frac{\partial V_1}{\partial x_2} + \frac{\partial V_2}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_3} + \frac{\partial V_3}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_3} + \frac{\partial V_3}{\partial x_2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V_1}{\partial x_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_3} \right)^2 \right]^{0,5} \quad (5)$$

Складові тензора швидкостей деформацій S записуються наступним чином

$$S_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_k} + \frac{\partial V_k}{\partial x_i} \right). \quad (6)$$

З урахуванням реологічного закону для в'язкопластичних рідин, для тривимірного руху, залежність між елементами тензорів в узагальненому вигляді формулюється наступним чином:

$$\begin{aligned} p_{11} &= -p + 2 \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \frac{\partial V_1}{\partial x_1} - \frac{2}{3} \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \operatorname{div} \bar{V}; \\ p_{22} &= -p + 2 \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \frac{\partial V_2}{\partial x_2} - \frac{2}{3} \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \operatorname{div} \bar{V}; \\ p_{33} &= -p + 2 \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \frac{\partial V_3}{\partial x_3} - \frac{2}{3} \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \operatorname{div} \bar{V}; \\ p_{12} &= p_{21} = \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_1} + \frac{\partial V_1}{\partial x_2} \right); \\ p_{13} &= p_{31} = \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_1} + \frac{\partial V_1}{\partial x_3} \right); \\ p_{23} &= p_{32} = \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_2} + \frac{\partial V_2}{\partial x_3} \right); \end{aligned}$$

Для замикання математичної моделі до рівнянь руху необхідно додати рівняння нерозривності.

Водовугільне паливо можна вважати нестисливою рідиною [4], тоді маємо

$$\operatorname{div} \bar{V} = 0,$$

або

$$\frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = 0. \quad (7)$$

У найбільш поширеному, турбулентному русі рідини, на сьогоднішній день, за недостатністю комп'ютерних ресурсів для прямого моделювання рівнянь, які є нелінійними диференціальними рівняннями в частинних похідних другого порядку [4], використовують їх осереднення за Рейнольдсом [4-6]. Запишемо теорему про зміну головного вектора кількості руху системи враховуючи осереднення та опускаючи знаки осереднення в подальшому:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V} = \bar{F} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \frac{1}{\rho} \operatorname{Div}(T_M + T_T); \\ \operatorname{div} \bar{V} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

де T_M і T_T – молекулярна та турбулентна складові тензору в'язких напружень.

Величини молекулярних складових тензору напружень визначають згідно реологічної моделі в'язкопластичної рідини:

$$T_M = 2 \left(\eta + \frac{\tau_o}{H} \right) S, \quad (9)$$

Система рівнянь (8) є незамкнутою оскільки зв'язок між турбулентними складовими тензора напружень T_T з параметрами осередненої течії невідома й повинна визначатися за допомогою додаткових співвідношень, тобто моделлю турбулентності. Якщо використовують лінійну модель турбулентності, наприклад SST-модель Ментера, припускають виконання узагальненої гіпотези Бусінеска [7]:

$$T_T = 2\mu_t S + \frac{2}{3} kE, \quad (10)$$

де μ_t – турбулентна в'язкість; k – кінетична енергія турбулентності,

$$k = \frac{1}{2} (V_1'^2 + V_2'^2 + V_3'^2), \quad (11)$$

$$E_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ – тензорна одиниця.}$$

Наведені вище рівняння є загальними для розрахунку турбулентної течії. Якщо течія ламінарна, то ці рівняння значно спрощуються та немає необхідності розрахунку пульсаційних компонент або використання моделей турбулентності. Для визначення режиму руху в'язкопластичної рідини обчислюють відповідне число Рейнольдса за наступною формулою [6]:

$$\operatorname{Re}^* = \frac{\rho V d}{\eta \left(1 + \frac{\tau_o d}{\eta V} \right)}. \quad (12)$$

У подальшому верхній індекс * записувати не будемо, але мова буде йти саме про відповідне для в'язкопластичної рідини число Рейнольдса.

У більшості випадків геометрична форма проточної частини характеризується великою кількістю змінень площі поперечного перетину, і задалегідь не відомо який тип течії існує. Особливо невизначеність проявляється під час поворотів та проходження елементів зі звуженням проточного перетину, де можуть локально з'являтися числа Рейнольдсу, що відповідають турбулентному рухові рідини. Таким чином, надалі будемо записувати рівняння, які відповідають загальному випадку турбулентної течії рідини.

За допомогою рівнянь переносу характеристик турбулентності можливо описати зміну в часі й просторі кінетичної енергії турбулентності й питомої швидкості її дисипації [7-9]:

$$\begin{cases} \frac{\partial k}{\partial t} + V_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = P_k - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \sigma_{k1} v_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]; \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + V_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha \Omega^2 - \beta \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \sigma_{\omega 1} v_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \\ + 2(1 - F_1) \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, \end{cases} \quad (13)$$

де V_j – компоненти швидкості; P_k – генераційний турбулентний член; F_1 – емпірична функція; $CD_{k\omega}$ – позитивна частина перехресних дифузійних членів [10, 11].

В роботі математичне моделювання проводилося при таких значеннях констант моделі: $\sigma_{k1} = 0,85$; $\sigma_{k2} = 1$; $\sigma_{\omega 1} = 0,5$; $\sigma_{\omega 2} = 0,856$; $\alpha_1 = 5/9$; $\alpha_2 = 0,44$; $\beta_1 = 3/40$; $\beta_2 = 0,0828$, обумовлених рівнянням $\phi = \phi_1 F_1 + \phi_2 (1 - F_1)$ [8].

Перевагами даної моделі турбулентності є нечутливість до граничних умов у зовнішньому потоці та врахування впливу структури турбулентності з боку шарів рідини, розташованих вище за течією [7].

Параметри τ_0 , η – початкова напруга зсуву та структурна в'язкість завдавалися програмно за результатами експериментальних досліджень щодо реологічних параметрів водовугільного палива.

Застосовувалися універсальні «жорсткі» граничні умови, що дозволяють розрахувати поле течії.

На твердих стінках, враховуючи прилипання рідини, приймалася наступна гранична умова:

$$\bar{V}|_b = 0.$$

У вхідному перетині каналу задавалася вхідна швидкість:

$$V|_b = V_{in}.$$

У вихідному перетині каналу рівність нулю статичного тиску:

$$p|_b = 0.$$

Для характеристик турбулентності на твердій поверхні прийняті такі граничні умови [12]. Рівність нулю потоку кінетичної енергії турбулентності: $Fk = 0$.

Питома швидкість дисипації енергії турбулентності на твердій стінці розраховувалася за залежністю [12]:

$$\omega = 10 \frac{6\nu}{\beta_1 (\Delta y)^2},$$

де Δy – прилежувальний крок.

У вхідному перетині каналу питому швидкість дисипації розраховували за залежністю:

$$\omega_{\infty} = (1 \rightarrow 10) \frac{V}{L_{\infty}},$$

де L_{∞} – орієнтовна довжина розрахункової області.

У вхідному перетині кінетична енергія турбулентності розраховували на основі вихрової в'язкості:

$$k_{\infty} = v_{t\infty} \omega_{\infty},$$

де $v_{t\infty} = 10^{-(2 \rightarrow 5)} \nu$ – вихрова в'язкість у вхідному перетині.

Для кращого рішення малих деталей геометрії розрахункової області й в області високих градієнтів параметрів розрахункових змінних використана адаптивна локально здрібнена сітка. Апроксимація розрахункової змінної виконана як схема реконструкції, що має підвищений порядок точності [12].

Розрахунок течії водовугільного палива каналом на запропонованій математичній моделі, займає тривалий проміжок часу, що становить приблизно 3 години при використанні персонального комп'ютера середньої потужності (CPU 5200 MHz, RAM 8192 Mb), що говорить про складність процесів, описуваних нею й необхідності використання потужної комп'ютерної техніки для розрахунку течії, особливо під час складних елементів звуження потоків або поворотів.

Висновок. В роботі були встановлені найбільш перспективні напрямки розвитку вугільних технологій в Україні. Визначені найбільш вагомими чинниками, які впливають на ефективність транспортування водовугільного палива. Виконано аналіз вітчизняного та закордонного досвіду розробки методів визначення енерговитрат при транспортуванні водовугільного палива.

На підставі запропонованої теорії наведено алгоритм розробки математичної моделі просторової тривимірної течії неньютонової рідини, що дозволила визначати гідравлічні параметри транспортування водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах з урахуванням реологічних властивостей, режимів течії і гранулометричного складу. Запропонована математична модель турбулентності (SST-модель Ментера) дозволила визначити гідродинамічні параметри транспортування водовугільного палива в широкому діапазоні режимів течії, при цьому мала низький рівень похибки розрахунків. Для кращої геометрії розрахункової області в роботі була використана адаптивна локально

здрібнена сітка на основі гексагональних елементів, що дозволило отримати задовільні результати розрахунків.

Література

1. Rogovyi A.S. Verification of Fluid Flow Calculation in Vortex Chamber Superchargers/ A.S. Rogovyi // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / МОН Украины, ХНАДУ. – Харьков, 2016. – Вып. 39. – С. 39-46.
2. Сємин Д.А. Верификация расчетов течений в вихрекамерных устройствах. / Сємин Д.А., Роговой А.С., Левашов А.М., Левашов Я.М. // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування, 2016. – № 2 (77). – С. 71-78.
3. Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. /П. Роуч. – М.: Мир, 1981.- 612 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. /Л.Г. Лойцянский. – М.:Наука, 1978. – 736 с.
5. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. /Б.Т. Емцев. – М.: Машиностроение, 1987. - 440 с.
6. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990.- 384 с.
7. Гарбарук А.В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
8. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. /С. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984.- 152 с.
9. Shur, M. L. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modelled LES capabilities /Shur, M. L., Spalart, P. R., Strelets, M. K., & Travin, A. K.// International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008. – 29(6), – P. 1638-1649.
10. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses /A.Rogovyi// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2016. – Vol. 16, No. 3. – P. 57-62.
11. Stephens D.W. Turbulence model analysis of flow inside a hydrocyclone /Stephens D. W., Mohanaragam K.//Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal. – 2010. – Vol. 10. – №. 5-6. – P. 366-373.
12. Nazukin V. A. CFD Analysis of Swirling Flows in Premixers /V. Nazukin, V.Avgustinovich//ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2014. – P. V04AT04A051-V04AT04A051.

References

1. Rogovyi A.S. Verification of Fluid Flow Calculation in Vortex Chamber Superchargers/ A.S. Rogovyi // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / МОН Украины, ХНАДУ. – Харьков, 2016. – Вып. 39. – С. 39-46.
2. Sjomin D.A. Verifikacija raschetov techenij v vikhrekamernyh ustrojstvah. / Sjomin D.A., Rogovoj A.S., Levashov A.M., Levashov Ja.M. // Visnik NTUU "KPI". Ser. Mashinobuduvannja, 2016. – № 2 (77). – С. 71-78.
3. Rouch P. Vychislitel'naja gidrodinamika: Per. s angl. /P. Rouch. – М.: Мир, 1981.- 612 с.
4. Lojczanski L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. /L.G. Lojczanski. – М.:Наука, 1978. – 736 с.
5. Emcev B.T. Tehnicheskaja gidromehanika. /B.T. Emcev. – М.: Mashinostroenie, 1987. - 440 с.

6. Anderson D. Vychislitel'naja gidromehanika i teplobmen: V 2-h t. T. 1: Per. s angl. / D. Anderson, Dzh. Tannehill, R. Pletcher. – М.: Мир, 1990.- 384 s.
7. Garbaruk A.V. Modelirovanie turbulentsnosti v ras-chetah slozhnyh techenij: uchebnoe posobie / A.V. Gar-baruk, M.H. Strelec, M.L. Shur – SPb: Izd-vo Poli-tehn. un-ta, 2012. – 88 s.
8. Patankar S. Chislennye metody reshenija zadach teplobmena i dinamiki zhidkosti: Per. s angl. /S. Patankar. – М.: Jenergoatomizdat, 1984.- 152 s.
9. Shur, M. L. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modelled LES capabilities /Shur, M. L., Spalart, P. R., Strelets, M. K., & Travin, A. K.// International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008. – 29(6), – P. 1638-1649.
10. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses /A.Rogovyi// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2016. – Vol. 16, No. 3. – P. 57-62.
11. Stephens D.W. Turbulence model analysis of flow inside a hydrocyclone /Stephens D. W., Mohanaragam K.//Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal. – 2010. – Vol. 10. – №. 5-6. – P. 366-373.
12. Nazukin V. A. CFD Analysis of Swirling Flows in Premixers /V. Nazukin, V.Avgustinovich//ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2014. – P. V04AT04A051-V04AT04A051.

Чернецька-Білецька Н.Б., Роговий А.С., Баранов І.О., Мірошнікова М.В. Математичне моделювання руху водовугільного палива в трубопроводі.

Встановлені найбільш перспективні напрямки розвитку вугільних технологій в Україні. Визначені найбільш вагомі чинники, які впливають ефективність транспортування водовугільного палива. Виконано аналіз вітчизняного та закордонного досвіду розробки методів визначення енерговитрат при транспортуванні водовугільного палива. Наведено алгоритм розробки математичної моделі просторової тривимірної течії ньютонівської рідини, що дозволяє визначати гідравлічні параметри транспортування водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах з урахуванням реологічних властивостей, режимів течії і гранулометричного складу. Запропонована математична модель турбулентності (SST-модель Ментера) яка дозволяє визначати гідродинамічні параметри транспортування водовугільного палива в широкому діапазоні режимів течії та має низький рівень похибки розрахунків. Для кращої геометрії розрахункової області використана адаптивна локально здрібнена сітка.

Ключові слова: водовугільне паливо, транспортування, моделювання, гранулометричний склад, реологічні властивості, втрати тиску.

Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Miroshnykova M. Mathematical modeling movement of water-coal fuel in pipeline.

The most perspective directions development of coal technologies in Ukraine are established. The most important factors that influence efficiency transportation coal-fired fuel are determined. An analysis domestic and foreign experience in the development methods for determining energy consumption during transport of water-coal fuel has been made. An al-

gorithm for developing a mathematical model three-dimensional flow non-Newtonian fluid, which allows to determine the hydraulic parameters of transporting water-coal fuel in industrial hydrotransport systems, taking into account rheological properties, flow regimes and granulometric composition. It is proposed mathematical model turbulence (SST-model of Menter) which allows determine hydrodynamic parameter transport of water-coal fuel in wide range flow regimes and has low level calculations. For better geometry calculated area, an adaptive locally gridded grid is used.

In the most common, turbulent motion fluid, due to lack computer resources for direct modeling equations, which are nonlinear differential equations in partial second order derivatives, they use averaging over Reynolds.

Calculations mathematical models processes occurring during transportation of coal-fired fuel in pipeline and various elements hydrotransport systems can reduce time improve methods of calculating parameters hydrotransport and obtain most accurate characteristics systems with delineation limits of their use.

Keywords: water-coal fuel, transportation, modeling, granulometric composition, rheological property, pressure loss.

Чернецька-Білецька Н.Б. – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.

Роговий А.С. – д.т.н., проф. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.

Баранов І.О. – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля. mail: baranov_90@ukr.net

Мірошникова М.В. - асистент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 08.12.2017.

УДК 621.396.931

THE ALGORITHM FOR PLACING ELEMENTS ON PRINTED CIRCUIT BOARDS WITH A UNIFORM FILLING OF THE SPACE

Ganzha S., Marchenko D.

АЛГОРИТМ РОЗМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНИХ ПЛАТАХ З РІВНОМІРНИМ ЗАПОВНЕННЯМ ПРОСТОРУ

Ганжа С.М., Марченко Д.М.

The authors have studied a heuristic algorithm of forming the orthogonal tree Steiner for contacts chain, and explored its statistical characteristics. In this study, it was found that the length of the Steiner tree is statistically associated with the mean square deviation of the circuit terminals

Keywords: algorithms, mounting space, objective function, tracing, entire surface

INTRODUCTION

The problem of placing electronic components on a printed circuit board is one of the most important tasks in automated designing of electronic equipment. How optimally placed elements on the mounting space, rely heavily on the results of the subsequent trace of the printed conductors and, as a result, the electrical, operational and constructive-technological parameters of the developed CIRCUIT BOARDS. To solve this problem, we use a large number of algorithms, mostly iterative, the purpose of optimization which is a simplification of the problem solution tracing by reducing the length of the chains, easier configuration, etc.

THE ANALYSIS OF RECENT RESEARCHES AND PUBLICATIONS

Most known algorithms are based on minimizing the total length of chain, length of chain is accepted proprietor rectangle covering all circuit terminals. The result of this objective function is often that the subsequent trace, in some regions of the mounting surface will need to spend too many chains. Some circuits may be simply impossible to implement at all, or their implementation will be quite complex, and lead to overloaded circuits other neighboring areas trace. In the end, you may have to carry out a manual revision of the project trace, or use a larger mounting surface. That is, in these algorithms, the quality of the automated placement may be low and unsatisfactory practices.

It is intuitively clear that we need to implement is the placement of the components, which nowhere on the mounting surface will not be a big saturation of the surface chains. Then the subsequent tracing of the circuits can be performed easier.

OBJECTIVES

This work is devoted to an attempt to formalize this idea, based on the concept of the density of the circuit. The authors have studied a heuristic algorithm of forming the orthogonal tree Steiner for contacts chain, and explored its statistical characteristics.

THE MAIN RESULTS OF THE RESEARCH

In study, it was found that the length of the Steiner tree is statistically associated with the mean square deviation of the circuit terminals along the axes X and Y, the following equations.

$$M_x(c) = (\sum X_i(c)) / N(c); \quad (1)$$

$$M_y(c) = (\sum Y_i(c)) / N(c); \quad (2)$$

$$\sigma_x(c) = \sqrt{(\sum X_i^2(c) - (\sum X_i(c))^2 / N(c)) / N(c)}; \quad (3)$$

$$\sigma_y(c) = \sqrt{(\sum Y_i^2(c) - (\sum Y_i(c))^2 / N(c)) / N(c)}; \quad (4)$$

$$L(c) = (\sigma_x(c) \times \sqrt{N} + \sigma_y(c) \times \sqrt{N}) \times (1,5 \pm 0,14); \quad (5)$$

where $X_i(c)$ and $Y_i(c)$ are coordinates of the i-th circuit terminal C at the X and Y axes;

$N(c)$ - the number of contacts of the circuit C;

$M_x(c), M_y(c)$ mathematical expectations of the coordinates of the circuit terminals X and Y;

$\sigma_x(c), \sigma_y(c)$ - slightly modified standard deviation of circuit terminals from mathematical expectations;

$L(c)$ - the length of the Steiner tree built on the contacts of the circuit.

To verify the adequacy of the proposed evaluation of the real chain length, we performed a simulation on a computer. With the help of random number generator has created a chain in the form of orthogonal trees prima with the number of nodes from two to twenty. The result was obtained the following dependence of the averaged relationships L_{pean} / L_{ou} for circuits with different number N (curve 1) in the figure. For comparison L_{pean} / L_{ou} to propriety covering rectangle (curve 2).

As the graph shows, the proposed assessment does not depend on the number of contacts of a circuit is proportional to the chain length with a constant error and therefore more accurately estimates the length of the chains.

As for the chain position on the mounting surface, it is well described by a rectangular area defined by the following conditions:

$$x \in [M_x(c) - \sigma_x(c) \times \alpha, M_x(c) + \sigma_x(c) \times \alpha] \quad (6)$$

$$\& y \in [M_y(c) - \sigma_y(c) \times \alpha, M_y(c) + \sigma_y(c) \times \alpha] \quad (7)$$

α - the coefficient of expansion of the area of the circuit, which must be equal to $1,5 \pm 0,15$.

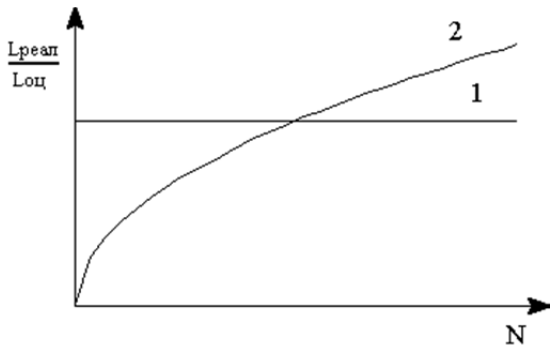


Fig. 1. The dependence of the ratio L_{pean} / L_{ou} of the number of circuit terminals

To determine the "density" of the circuit, divide the length of the chain to the size of a rectangular area presumably occupied by the circuit. Then we get the following determination of the density of chains at the stage of placing components:

$$P_c(x, y) = L(c) / (4 \times \sigma_x \times \sigma_y \times \alpha^2) \quad (8)$$

$$x \in [M_x(c) - \sigma_x(c) \times \alpha, M_x(c) + \sigma_x(c) \times \alpha] \quad (9)$$

$$\& y \in [M_y(c) - \sigma_y(c) \times \alpha, M_y(c) + \sigma_y(c) \times \alpha] \quad (10)$$

Otherwise

$$P_c(x, y) = 0, \quad (11)$$

where $P_c(x, y)$ - density of the chain in the mounting surface.

Then, the "density" of all circuits on the mounting surface, obviously, is determined using the following expression:

$$P(x, y) = \sum_c P_c(x, y) \quad (12)$$

where the summation is conducted on all circuits posted circuits.

After that, it is easy to formulate the following objective function defines the value of the quality criterion components placement:

$$\iint_S P^2(x, y) \times dx \times dy \rightarrow \min \quad (13)$$

Analyzing this expression, it is easy to establish that it is dimensionless, and evaluates the quality of accommodation irrespective of the scale of the placed component and the mounting surface.

Given that the formula for density, use constants that do not affect the minimization of the integral, you can determine the value $P_c(x, y)$ using a different expression:

$$P_c(x, y) = \sqrt{N} \times (1/\sigma_x + 1/\sigma_y) \quad (14)$$

Considering that the area presumably occupied by the chain, is sufficiently imprecise, we assume that it always describes an integer rectangle. Then the integral can be replaced by a finite amount. In this case, the value of $P(x, y)$ to the total density of chains is defined only for integers x and y that will really take advantage of the possibilities offered by the target function.

Consider the algorithm for the placement of components in Assembly area (PCB, crystal, BIS, etc.) that implements the criteria described above.

The purpose of the proposed algorithm is to facilitate subsequent tracing due to the uniform filling of the electrical circuits in space. To do this, the entire surface of the mounting space is divided into equal rectangles and support during placement is minimized by the density of circuits in these boxes:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^c P_{ijk} \right)^2 \quad (15)$$

where n, m - number of rows of the reference rectangles to the coordinates x and y ;
 c - number of circuits;

P_{ijk} – "density" of k-th chain in the reference rectangle (I_j).

The placement of elements is performed using a sequential and iterative procedures.

During the serial placement at the beginning all components are conventionally placed in the center of the mounting space, and all space is considered as the initial free area. The placement is to divide in half the largest free area and the redistribution of the components from the old center of the region in the centers obtained by dividing regions. The division is conducted until then, until you have defined spots for each component.

The procedure of component distribution by regions is as follows. Checked the proportions of the "filling" chains and as the area for installation is chosen less populated area. Selection of the next component for placement is made by looking at the list of Unallocated components of the source area and finding the item, the installation of which in the selected area gives a minimum increment in the objective function.

The complexity of the process will significantly decrease if the number of sample rectangles will increase as division areas. It is therefore proposed to determine the number of reference rows of rectangles N in each coordinate based on the ratio.

$$N = 2^n + 1, n = 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

where n is the number of stage placement.

New deployment phase begins when the number of layout areas will be increased four times compared to the previous stage. Received sequential algorithm a variant of the placement is optimized using the iterative procedure of permutations components places.

Experiments with the algorithm of pairwise permutations of the components showed that the proposed objective function provides a higher quality of accommodation than the traditional objective function.

Note another advantage of the proposed assessment of the length of chains in comparison with traditional spanning rectangle, which is particularly important when iterative algorithms embed. By rearranging the element to calculate propriety rectangle required viewing and analysis coordinate all contacts circuit for recalculation of spanning borders of the rectangle. There is no such necessity when using the proposed rating, if for each chain store and, in the case of reallocation, to

correct the amount $x_i(c), y_i(c), x_i^2(c) u y_i^2(c)$, consequently, the complexity of the adjustments does not depend on the number of contacts of the chain.

CONCLUSIONS

The proposed objective function provides a higher quality placement of electronic components on a circuit Board than a traditional objective function, thus achieving reduction of the complexity of the decision tasks in automated designing of electronic equipment and opti-

mizing the placement of elements on the mounting space.

References

1. Ganzha S.N., Korolev A.G. Ocenka dliny jelektriche-skih cepej v zadachah avtomatizirovannogo razmeshhenija komponentov. V kn. «Avtomatizacija konstruktorskogo proektirovanija RJeA i JeVA», Penza, 1988
2. Ganzha S.N., Korolev A.G., Sviridov V.V., Hil' M.I. Algoritm avtomatizirovannogo razmeshhenija mikroshem na pechatno-provodnyh platah. «ASU i pribory avtomatiki», vypusk № 91, Har'kov, 1989
3. Ganzha S.N., Pilipchatin E.N. Plotnoe razmeshhenie raznogabaritnyh topologicheskikh fragmentov matrichnyh BIS. V kn. "Avtomatizirovannoe proekti-rovanie RJeA", Kaunas, 1991.
4. Ganzha S.N., Hil' M.I. Podsystema razmeshhenija komponentov SAPR pechatnyh plat. V kn. "Metody analiza i sinteza sistem", HIRJe, 1992.
5. Ganzha S.N., Korolev A.G. Metod ocenki dliny ce-pej. Tezisy IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii po problemam Vysshej shkoly «Univer-sitet i region». Lugansk, 2003.
6. Ganzha S.N., Semenev V.V., Hil' M.I., Ivanov V.G. Ob odnom podhode k razmeshheniju jelementov na pechatnih platah, osnovannom na ponjatii „plotnosti” cepi. Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij 6/ 4 (30), 2007, Har'kov.
7. Ganzha S.N., Semenev V.V., Hil' M.I., Ivanov V.G. Algoritm razmeshhenija komponentov pechatnyh plat. Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu Povitrjanih Sil. Vipusk 3(15), 2007, m.Harkiv.
8. Ganzha S.N., Korolev A.G., Arushanov A.P. Celevaja funkcija razmeshhenija komponentov, osnovannaja na ponjatii „plotnosti” cepi. Visnik Shidnoukraïns'kogo Nacional'nogo universitetu im.V.Dalja №11(111) ch.2 Lugans'k, 2007.
9. Ganzha S.N., Maletich R.V., Ganzha S.A. Algoritm avtomatizirovannogo razmeshhenija raznogabaritnyh fragmentov matrichnyh BIS. Materiali 6-i Vseukraïns'koï konferencii „Informacijni tehnologii v osviti, nauci i tehnici”, Cherkasi 5-7. 05.2008.
10. Ganzha S.N., Ivanov V.G., Ganzha S.A., Ivanov G.P. Kriterij ravnomernogo zapolnenija montazhnogo prostranstva jelektricheskimi soedinenijami pri avtomatizirovannom razmeshhenii jelementov. Materiali 1V Mizhnarodnoï nauko-vo-praktichnoï Internet-konferencii „Nauka v informacijnomu prostori”. 15-16.10.2008, Dnipropetrovs'k, 2008.
11. Ganzha S.N., Ganzha Ju.S., Zamoshnikov M.V., Milo-ckij R.V. Algoritm razmeshhenija raznogabaritnyh jelementov na pechatnyh platah. Zbirnik tez dopovidej XI-oï Vseukraïns'koï nauko-vo-praktichnoï konferencii «Suspil'stvo i derzhava». Severodonec'k, MAUP, 2010.
12. Ganzha S.N., Ganzha S.A., Karpenko A.V. Algoritm razmeshhenija jelementov na pechatnoj plate s ravnomernym zapolneniem montazhnogo prostranstva. Zbirnik prac' KNUTD №6 2010 r, s.21-24.
13. Ganzha S.N., Korolev A.G., Karpenko A.V., Pojarko-va L.I. Algoritm minimizacii kolichestva perehod-nyh otverstij v pechatnoj plate. Visnik Shidnoukra-ïns'kogo Nacional'nogo universitetu im.V.Dalja №10(2) ch.2 Lugans'k, 2011 s.217-222.
14. Ganzha S.M. Trasuvannja drukovanih plat. Rozpodil elektrichnih lancjugiv po zonah na montazhnomu prostori. Zbirnik tez dopovidej 4-oï Vseukraïns'koï nauko-vo-

praktichnoї konferenciji «Aktual'nye problemy sozdanija jelektronnyh sredstv promyshlennyh avto-matizirovannyh sistem» Severodonec'k, TI, 2014.

Література

1. Ганжа С.Н., Королев А.Г. Оценка длины электрических цепей в задачах автоматизированного размещения компонентов. В кн. «Автоматизация конструкторского проектирования РЭА и ЭВА», Пенза, 1988
2. Ганжа С.Н., Королев А.Г., Свиридов В.В., Хиль М.И. Алгоритм автоматизированного размещения микросхем на печатно-проводных платах. «АСУ и приборы автоматики», выпуск № 91, Харьков, 1989
3. Ганжа С.Н., Пилипчатин Е.Н. Плотное размещение разногабаритных топологических фрагментов матричных БИС. В кн. «Автоматизированное проектирование РЭА», Каунас, 1991.
4. Ганжа С.Н., Хиль М.И. Подсистема размещения компонентов САПР печатных плат. В кн. «Методы анализа и синтеза систем», ХИРЭ, 1992.
5. Ганжа С.Н., Королев А.Г. Метод оценки длины цепей. Тезисы IX международной научно-практической конференции по проблемам Высшей школы «Университет и регион». Луганск, 2003.
6. Ганжа С.Н., Семенец В.В., Хиль М.И., Иванов В.Г. Об одном подходе к размещению элементов на печатных платах, основанном на понятии «плотности» цепи. Восточно-европейский журнал передовых технологий 6/4 (30), 2007, Харьков.
7. Ганжа С.Н., Семенец В.В., Хиль М.И., Иванов В.Г. Алгоритм размещения компонентов печатных плат. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Випуск 3(15), 2007, м.Харків.
8. Ганжа С.Н., Королев А.Г., Арушанов А.П. Целевая функция размещения компонентов, основанная на понятии «плотности» цепи. Вісник Східноукраїнського Національного університету ім.В.Даля №11(111) ч.2 Луганськ, 2007.
9. Ганжа С.Н., Малетич Р.В., Ганжа С.А. Алгоритм автоматизированного размещения разногабаритных фрагментов матричных БИС. Матеріали 6-ї Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці», Черкаси 5-7. 05.2008.
10. Ганжа С.Н., Иванов В.Г., Ганжа С.А., Иванов Г.П. Критерий равномерного заполнения монтажного пространства электрическими соединениями при автоматизированном размещении элементов. Матеріали 1V Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «Наука в інформаційному просторі». 15-16.10.2008, Дніпропетровськ, 2008.
11. Ганжа С.Н., Ганжа Ю.С., Замощников М.В., Милоцкий Р.В. Алгоритм размещения разногабаритных элементов на печатных платах. Збірник тез доповідей XI-

ої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Суспільство і держава». Северодонецьк, МАУП, 2010.

12. Ганжа С.Н., Ганжа С.А., Карпенко А.В. Алгоритм размещения элементов на печатной плате с равномерным заполнением монтажного пространства. Збірник праць КНУТД №6 2010 р, с.21-24.
13. Ганжа С.Н., Королев А.Г., Карпенко А.В., Пояркова Л.И. Алгоритм минимизации количества переходных отверстий в печатной плате. Вісник Східноукраїнського Національного університету ім.В.Даля №10(2) ч.2 Луганськ, 2011 с.217-222.
14. Ганжа С.М. Трасування друкованих плат. Розподіл електричних ланцюгів по зонах на монтажному просторі. Збірник тез доповідей 4-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми створення електронних средств промислових автоматизованих систем» Северодонецьк, ТІ, 2014.

Ганжа С.М., Марченко Д.М. Алгоритм розміщення елементів на друкованих платах з рівномірним заповненням простору

Автори використали евристичний алгоритм формування ортогонального дерева Штайнера для моделювання контактів електричних кіл і досліджували його статистичні характеристики. Було виявлено, що довжина електричних кіл статистично зв'язана із середньоквадратичним відхиленням координат контактів ланцюга

Ключові слова: алгоритм, монтажний простір, компонент, цільова функція, розміщення, трасування.

Ганжа С.Н., Марченко Д.Н. Алгоритм размещения элементов на печатных платах с равномерным заполнением пространства

Автори использовали эвристический алгоритм формирования ортогонального дерева Штайнера для моделирования контактов электрических цепей и исследовали его статистические характеристики. Было обнаружено, что длина электрических цепей статистически связана со среднеквадратичным отклонением координат контактов цепи.

Ключевые слова: алгоритм, монтажное пространство, компонент, целевая функция, размещение, трассировка.

Ганжа Сергій Миколайович – доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені В. Даля.

Марченко Дмитро Миколайович – перший проректор Східноукраїнського національного університету імені В. Даля, д.т.н., професор.

Рецензент: д.т.н., проф. **Глікін М.А.**

Стаття подана 09.12.2017.

**ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 9 (239) 2017**

Науковий журнал

Відповідальний за випуск

Кудрявцев С.О.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

Статті надруковано в авторській редакції

Підписано до друку 21.01.2018 р.
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 11,2. Обл.-вид. арк. 11,9.
Наклад 300 прим. Вид. № 3148. Замов. № 6. 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