

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

В І С Н И К

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 5 (235)
2017**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Сєвєродонецьк 2017

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 5 (235) 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

Свідectво про державну реєстрацію

серія КВ № 15607-4079ПР

від 18.08.2009 р.

VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

№ 5 (235) 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.П., 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.І., 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,
Поталенко 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 № 7 від 28 квітня 2017 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2017

© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2017

ЗМІСТ

ХІМІЧНІ НАУКИ

Галстян А. Г. СЕЛЕКТИВНЕ ОКИСНЕННЯ МЕТИЛБЕНЗЕНІВ ОЗОНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ	7
Золотарьова О. В. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНОГО КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ ІЗ ДИСТИЛЕРНОЇ РІДИНИ СОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА.....	12
Созонтов В.И., Суворин А.В., Казаков В.В., Кошовец Н.В., Ожередова М.А. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РАСТВОРОВ $N_2O_3 - N_2O_4$	16
Шапкін В. П., Мороз О. В. СИНТЕЗ ЛІНІЙНОГО ХІНАКРИДОНУ ІЗ АЦЕНАФТЕНУ КОКСОВОЇ СМОЛИ, ЙОГО ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І КОЛОРИСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.....	20

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Karmanov N. I., Baturin A.I., Ivanov V.G. ANALYSIS OF MODERN MONITORING METHODS OF EQUIPMENT AT PETROCHEMICAL PLANTS IN THE PROCESS OF OPERATION	26
Архипов О. Г., Усов Д. І., Карпюк Л. В., Галабурда Н. І. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ ШЛЯХОМ ПОДОЛАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ БАР'ЄРІВ	30
Биковський А. І., Романченко Ю. А., Шведчикова І. О. РОЗРОБКА СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	34
Бродский А.Л. ПРОБЛЕМА КОНЕЧНОГО И БЕСКОНЕЧНОГО В ПРЕПОДАВАНИИ МАТЕМАТИКИ	38
Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю., Шевчук П.А. КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ РУХУ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ НА ВІЗКАХ З ЦЕНТРАЛЬНИМ І БУКСОВИМ РЕСОРНИМ ПІДВІШУВАННЯМ.....	41
Зинченко С.Г. ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА МОРСКОГО РЕГИОНА ВОСТОЧНОЙ УКРАИНЫ.....	46
Зубцов Є. І., Тарасов В. Ю., Бродський О. Л., Кравченко І. В. ПАРОВА КОНВЕРСИЯ ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ В РОЗПЛАВІ В СТАЦІОНАРНОМУ ТА ПРОТОЧНОМУ РЕЖИМІ	50
Кара С. В. ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІКИ ТА МІЦНОСТІ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ КОНСТРУКТИВНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ	55
Корчуганова О.М., Чумак В.О., Пригородов П.В., Канарова К.І. МЕТОДИ ТА ВІДХОДИ ПРОЦЕСІВ ВОДОПІДГОТОВКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	61
Костенко Т.В. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА СПАСАТЕЛЕЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ	66
Рибалка І. О. ДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ШВИДКОЇ ІНВАЗІЇ ОМЕЛИ БІЛОЇ (<i>VISCUM ALBUM L.</i>)	72
Суворин А. В., Ожередова М. А., Доценко А. Д. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЗЛА ОЧИСТКИ И ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРА НИТРАТА НИКЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ.....	82
Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. ПОЛІПШЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРВЕЗЕННЯ ЗЕРНА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ ДИНАМІЧНИМ ЗУСИЛЛЯМ	88

Цибрій Ю.О.

МЕХАТРОННА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПЛАВКОЮ ТИТАНУ ЗІ ЗВОРОТНИМ
ЗВ'ЯЗКОМ ПО ТЕМПЕРАТУРІ ТА ПО РІВНЮ РОЗПЛАВУ В КРИСТАЛІЗАТОРІ..... 100

Шпирка І.І., Небесний Р.В., Піх З.Г., Сидорчук В.В., Халамейда С.В

СИНТЕЗ VPO КАТАЛІЗАТОРІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ
АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ З ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ТА ФОРМАЛЬДЕГІДУ..... 106

Махненко О.В., Великоіваненко О.А., Мілєнін О.С., Фальченко Ю.В., Новомлинець О.О.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ.....111

CONTENTS

CHEMICAL SCIENCE

Galstyan A. G.

THE SELECTIVITY OXIDATION OF METHYLBENZENES BY OZONE
IN THE LIQUID PHASE.....7

Zolotarova O. V.

OBTAINING OF HIGHLY DISPERSIVE CALCIUM CARBONATE FROM
THE DISTILLERY LIQUID OF SODA PRODUCTION.....12

Sozontov V.I., Suvorin A.V., Kazakov V.V., Koshovets N.V., Ozheredova M.A.

THERMODYNAMIC CALCULATIONS OF REACTIONS THAT OCCUR DURING THE
PRODUCTION OF N_2O_3 – N_2O_4 SOLUTIONS16

Shapkin V. P., Moroz A. V.

SYNTHESIS OF LINEAR CHACEDONY WITH THE COKE ACENAPHTHENE RESIN THE
PHYSICO-CHEMICAL AND COLORISTIC PROPERTIES20

TECHNICAL SCIENCE

Karmanov N. I., Baturin A.I., Ivanov V.G.

ANALYSIS OF MODERN MONITORING METHODS OF EQUIPMENT AT PETROCHEMICAL
PLANTS IN THE PROCESS OF OPERATION.....26

Arhypov O. G., Usov D. I., Karpyuk L. V., Galaburda N. I.

IMPROVING EFFICIENCY OF THE ANODE EARTHING SWITCHES BY OVERCOMING OF
ELECTROCHEMICAL BARRIERS.....30

Bykovsky A. I., Romanchenko Ju. A., Shvedchykova I. O.

DEVELOPMENT OF MODERN MATERIALS WITH HIGH PROTECTION LEVEL FROM
ELECTROMAGNETIC RADIATION34

Brodsky A.L.

THE PROBLEM OF FINITE AND INFINITE IN THE TEACHING OF MATHEMATICS38

Domin Iurii, Cherniak Ganna, Shevchuk Pavlo

COMPUTER MODELS OF DYNAMICS OF FLAT CARS WITH THE BOGIES
WITH CENTRAL AND AXLE-BOX SPRING SUSPENSION41

Zinchenko S.

TRANSPORT SYSTEM OF EAST UKRAINE SEA REGION.....46

Zubtsov Y. I., Tarasov V. Y., Brodskiy O. L., Kravchenko I. V.

STEAM CONVERSION OF GASEOUS COAL IN THE MELT
IN STATIONARY AND FLOW MODE.....50

Kara S.

IMPROVEMENT OF INDICATORS OF DYNAMICS AND STRENGTH
OF FREIGHT CARS BOGIES BY CONSTRUCTIVE CHANGES.....55

Korchuganova O.M., Chumak V.O., Prygorodov P.V., Kanarova K.I.

THE METHODS AND WASTES OF THE INDUSTRIAL WATER TREATMENTS PROCESSES.....61

Kostenko T.

IMPACT ASSESSMENT OF SOLAR RADIATION ON RESCUERS WORKING
IN THE OPEN AREA.....66

Rybalka I. O.

TO THE ISSUE OF PROVIDE THE ECOLOGICAL SAFETY OF GREEN PLANTATIONS
UNDER THE RAPID INVASION OF THE WHITE MISTLETOE (*VISCUM ALBUM* L.).....72

Suvorin A. V., Ozheredova M. A., Docenko A. D.

IMPROVEMENT OF CLEANING AND FILTRATION UNIT OF THE NICKEL NITRATE SOLUTION
IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF SPENT CATALYSTS UTILIZATION82

Fomin O., Prokopenko P., Gorbunov M. Sapronova S.

IMPROVING THE BEARING ABILITY OF HOPPER WAGON
FOR GRAIN TRANSPORTATION WITH THE PURPOSE OF RESISTANCEINCREASE BY
DYNAMIC EFFORTS.....88

Tsybrii I.O.

MECHATRONIC CONTROL SYSTEM FOR TITANIUM MELTING WITH
TEMPERATURE AND MELT LEVEL OF THE CRYSTALLIZER FEEDBACK..... 100

Shpyrka I.I., Nebesnyi R.V., Pikh Z.G., Sydorchuk V.V., Khalameida S.V.

SYNTHESIS OF VPO CATALYSTS AND THEIR APPLICATION FOR ACRYLIC
ACID OBTAINING FROM ACETIC ACID AND FORMALDEHYDE 106

Makhnenko O.V., Velykoivanenko O.A., Milienin O.S., Falchenko Yu.V., Novomlynets O.O.

METHODOLOGY OF CALCULATION OF PRESSURE WELDING MODES
FOR OBTAINING PRECISION NON-DETACHABLE COMPOUNDS.....111

ХІМІЧНІ НАУКИ

УДК 541.127: 542.943

СЕЛЕКТИВНЕ ОКИСНЕННЯ МЕТИЛБЕНЗЕНІВ ОЗОНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ

Галстян А. Г.

THE SELECTIVITY OXIDATION OF METHYLBENZENES
BY OZONE IN THE LIQUID PHASE

Galstyan A. G.

Досліджено селективне окиснення метилбензенів озоном в оцтовому ангідрид. Показано, що в присутності сілі мангану та мінеральної кислоти окиснення озоном при температурі 293К перебігає переважно за бічними ланцюгом з утворенням відповідних бензилових спиртів у вигляді бензилацетатів з виходом 42-65 %. Визначені константи швидкості елементарних реакцій каталітичного процесу, визначено роль мінеральної кислоти в окисній системі. Запропоновано механізм реакції, який пояснює отримані експериментальні дані.

Ключові слова: каталізатор, окиснення, озон, метилбензен, оцтовий ангідрид, сульфатна кислота, озоноліз.

Постанова проблеми. Особливе місце серед реакцій озону з аренами займають його реакції з метилбензенами. Як модельні вихідні продукти, вони давно використовуються для вивчення загального механізму реакції озону з органічними сполуками, можливостей практичного застосування реакції та перспектив їх використання у промисловості. Перші роботи були присвячені, переважно, реакційній здатності бензену та його заміщених в реакції з озоном [1]. Механізм детально не вивчався, передбачалося що він є аналогічним механізму взаємодії озону з алкенами [2]. У більшості випадків ідентифікувалися лише продукти озонолітичної деструкції ароматичного кільця [3-4]. І лише в кінці XX сторіччя [5] було проведено систематичне дослідження реакції озону з метилбензенами і встановлено, що озон зазвичай витрачається за двома напрямками: за метильною групою і ароматичним кільцем; співвідношення цих напрямків залежить від умов реакції, кількості замісників, їх природи та місця розташування, але завжди переважним є другий напрямок з

утворенням продуктів окиснювальної деструкції ароматичного кільця – пероксидів; окиснення за метильною групою стає переважним в присутності сполук перехідних металів [5] і майже у всіх випадках закінчується утворенням досить стійких до дії озону бензойних кислот; відповідні бензилові спирти і альдегіди в цих умовах ідентифікуються лише як проміжні продукти, і виділити їх як основні продукти не можливо [6].

Мета. В даній роботі проведено дослідження кінетики та продуктів окиснення метилбензенів озоном у рідкій фазі з метою створення нових сучасних методів синтезу відповідних ароматичних спиртів та альдегідів.

Матеріали та результати дослідження. Кінетику окиснення метилбензенів озоном досліджували за методикою, описаною у [7]. Концентрацію метилбензену і продуктів його подальшого перетворення у розчині визначали методом газорідинної хроматографії на хроматографі з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці довжиною 3м і діаметром 4мм, заповненою носієм „Інертон-супер”, з нанесеною нерухомою фазою “FFAP” у кількості 5% від маси носія за наступних умов: температура термостату – за програмою 115-220 °С за 10 хв; швидкість газу носія (азот) – 1.8; водню – 1.8; повітря – 18 л/год. В якості внутрішнього стандарту використовували нітробензен.

В процесі досліджень було показано, що окиснення метилбензенів озоном як в оцтовій кислоті та і в її ангідриді перебігає переважно за ароматичним кільцем з утворенням озонідів – аліфатичних пероксидів, і в меншій мірі за метильною групою (табл.1).

Таблиця 1
Окиснення метилбензенів озоном у рідкій фазі при 293К

Сполука	Розчинник	Вихід відповідних продуктів, %			
		бензойна кислота	бензил-ацетат	бензилідендіацетат	озоніди
Толуен	AcOH	16,0	-	-	83,5
	Ac ₂ O	10,4	3,8	2,2	83,2
	Ac ₂ O*	-	12,2	4,5	83,3
4-Ксилен	AcOH	14,2	-	-	85,7
	Ac ₂ O	8,6	3,5	2,0	85,2
	Ac ₂ O*	-	10,4	3,5	85,3
4-Нітро-толуен	AcOH	32,0	-	-	67,4
	Ac ₂ O	20,5	3,3	8,1	66,5
	Ac ₂ O*	-	7,9	24,6	64,8
4-Ацетамідотолуен	AcOH	28,5	-	-	70,6
	Ac ₂ O	9,1	4,2	15,5	70,5
	Ac ₂ O*	-	6,3	22,7	70,2

* - в присутності сульфатної кислоти.

Серед продуктів окиснення за метильною групою субстрату в оцтовій кислоті переважають відповідні бензойні кислоти (табл. 1), а у розчині оцтового ангідриду - крім кислоти з'являються ще ароматичні спирти та альдегід у вигляді відповідних ацетатних похідних (табл. 1). Слід зауважити, що при озонуванні метилбензенів в оцтовому ангідриді в присутності сульфатної кислоти ($[H_2SO_4]_0 = 0,6-1,0$ моль/л) вдається зупинити окиснення за метильною групою на стадії утворення ароматичного спирту і альдегіду в ацильованій формі, бензойні кислоти в розчині не знайдені (табл. 1). Стійкість ароматичної системи в реакції з озоном збільшується введенням в ароматичне кільце електроноакцепторних замісників (табл.1). При окисненні 4-нітротолуену в середовищі оцтового ангідриду в присутності сульфатної кислоти при температурі 293К селективність процесу за метильною групою збільшується до 32,5%: серед продуктів неповного окиснення виявлені 4-нітробензилацетат (7,9%), 4-нітробензилідендіацетат (24,6 %) і слідові кількості 4-нітробензальдегіду. Введення в ароматичне кільце толуену другої електронодонорної метильної групи веде до зниження селективності окиснення за метильною групою (табл.1), що узгоджується з уявленнями щодо впливу природи замісників на реакційну здатність сполуки [8].

Певний інтерес викликає вплив електронодонорних замісників, які містять одну чи більше неподілених пар електронів (-OH, -NH₂), на реакційну здатність метилбензенів в реакціях з

озоном. З огляду на результати, отримані в оцтовій кислоті [9,10], аміно- та гідрокситолуени потребують попереднього захисту для запобігання атаки озоном за HO- та NH₂-групами. Втім, при проведенні озонування у розчині оцтового ангідриду в присутності кислотних каталізаторів (мінеральних кислот), необхідність у попередньому ацилюванні відпадає, оскільки в цих умовах ацилювання швидко закінчується в процесі приготування розчину для окиснення. Отримана, наприклад, ацетамідогрупа спричиняє вже електроноакцепторний вплив [8] на ароматичне кільце і субстрат окиснюється аналогічно 4-нітротолуену (табл.1).

З огляду на попередні дослідження [11] перспективним методом підвищення селективності озонування аренів в присутності мінеральних кислот є введення в систему солей мангану.

При озонуванні толуену в оцтовому ангідриді в присутності сульфатної кислоти і манган(II) ацетату основними продуктами реакції є бензилацетат (42,0%), бензилідендіацетат (17,5%), бензальдегід (30,0%) та «сліди» бензилового спирту (рис.1). Сумарна селективність окиснення за метильною групою сягає 89,5%. Характерно, що бензиловий спирт і бензальдегід утворюються майже у рівних кількостях. При вичерпному окисненні толуену в розчині утворюється також бензойна кислота (рис.1, крива 6). Як видно з рис. 1 ацильовані похідні бензилового спирту та бензальдегіду утворюються паралельно і є проміжними продуктами окиснення толуену до бензойної кислоти. S-подібний характер кінетичної кривої нагромадження бензальдегіду дає підставу вважати, що він утворюється внаслідок гідролізу бензилідендіацетату.

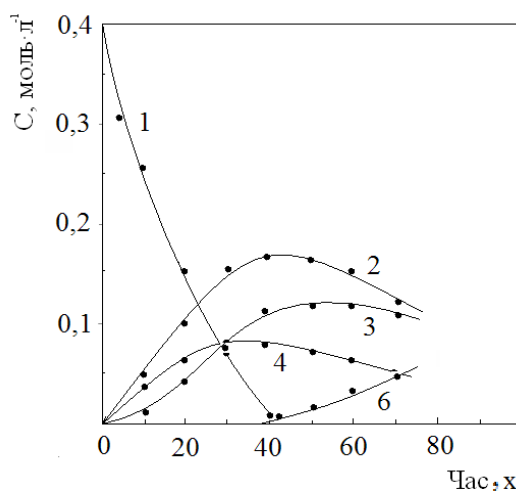


Рис.1. Кінетичні криві витрати толуену (1) та нагромадження бензилацетату (2), бензальдегіду (3), бензилідендіацетату (4), бензойної кислоти (6) при окисненні толуену озонотолуєною сумішшю в оцтовому ангідриді при температурі 293 К:

$[ArCH_3]_0 = 0,4$; $[O_3]_0 = 4,5 \cdot 10^{-4}$; $[Mn(OAc)_3]_0 = 0,06$;
 $[H_2SO_4]_0 = 0,8$ моль·л⁻¹

Введення в бензенове кільце толуену електроноакцепторних замісників підвищує селективність окиснення за ароматичним спиртом і він стає основним продуктом реакції (табл.2).

Таблиця 2

Залежність селективності окиснення аренів озonom в оцтовому ангідриді в присутності манган(II) ацетату і сульфатної кислоти при 293 К від будови субстрату.
 $[Mn(OAc)_2]_0 = 0,14$; $[O_3]_0 = 4,5 \cdot 10^{-4}$; $[H_2SO_4]_0 = 0,8$ моль·л⁻¹

Сполука	Вихід продуктів окиснення за метильною групою, %		
	Бензил-ацетати	Бензиліден-діацетати	Бен-заль-дегіди
Толуен	42,0	17,5	30,0
4-Ксилен	43,0	14,2	27,3
4-Нітротолуен	59,2	16,5	-
4-Ацетамідотолуен	65,5	15,4	-

Введення в бензенове кільце толуену електронодонорної метильної групи практично не впливає на селективність окиснення за ароматичним спиртом, але сумарна селективність окиснення за метильною групою знижується на 5 % (табл.2).

Таким чином, при озонуванні метилбензенів в середовищі стоп-реагенту – оцтового ангідриду в присутності кислотного каталізатора і каталізатора окиснення манган(II) ацетату, створюються умови, які дозволяють значно підвищити селективність окиснення за метильною групою і зупинити процес переважно на стадії утворення відповідних ацильованих бензилових спиртів.

Дослідження кінетики поглинання озону в реакціях з метилбенzenами виявило цікаві закономірності:

- окиснення метилбензенів з електроноакцепторними замісниками відбувається за іон-радикальним неланцюговим механізмом за участю озону зі швидкістю, яка лінійно залежить від концентрації реагентів (рис.2а):

$$r_o = k_{ef} \cdot [O_3]_0 [ArCH_3]_0 [Mn(OAc)_2]_0 [H_2SO_4]_0 \quad (1)$$

на утворення молекули спирту витрачається озону у кількості, близької до теоретично необхідної;

- якщо окиснюються моно- та диметилбензени, то витрата озону знижується до 45–60 % від теоретично необхідної кількості. Вираз для початкової швидкості реакції описує більш складну залежність (рис.2б):

$$r_o = k_{ef} \cdot [O_3]^{1,5} [ArCH_3]^{0,5} [Mn(OAc)_2]^{0,5} [H_2SO_4]^{0,5} \quad (2)$$

Зменшення витрати озону та вираз рівняння (2) свідчать про ймовірний перебіг реакції за іон-радикальним ланцюговим механізмом, коли певна кількість Mn(III) утворюється в реакції продовження ланцюга.

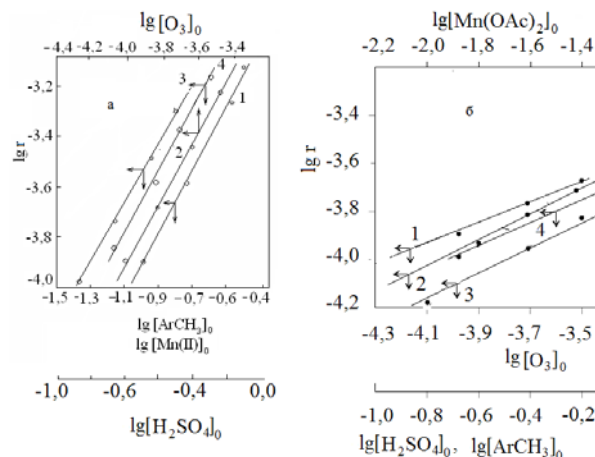
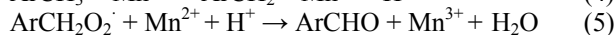
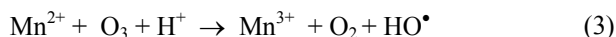


Рис. 2. Залежність швидкості реакції окиснення 4-ацетамідотолуену (а) та толуену (б) від концентрації субстрату (1); озону (2); каталізатора (3); сульфатної кислоти (4) при температурі 293К

З вищенаведеного випливає, що механізм селективного окиснення метилбензенів в оцтовому ангідриді в присутності сульфатної кислоти майже не відрізняється від двостадійного окиснення в оцтовій кислоті [6]. Озон реагує з Mn(II) з утворенням активної форми Mn(III) (3), який, в свою чергу, відновлюється в реакціях з метилбенzenами (4) або продуктами його перетворення. При окисненні толуену та диметилбензенів утворення активної форми каталізатора відбувається не тільки за реакцією (3), але і за реакцією продовження ланцюга з пероксидними радикалами (5).



Селективність окиснення бічного ланцюга залежить від співвідношення швидкостей реакцій (6) та (4). Зазвичай, константа швидкості реакції озонлізу субстратів на порядок вища, ніж константа швидкості окиснення бічного ланцюга Mn(III) (табл. 3). Тому селективне окиснення можливе лише за підвищених концентрацій Mn(III), що і спостерігається на практиці. Наведені в табл. 3 результати кінетичних досліджень також дають можливість зрозуміти причини, через які окиснення метилбензенів зупиняється на стадії утворення бензилацетатів і бензилідендіацетатів: швидкість окиснення метилбензенів манганом(III) і озonom сповільнюється в ряду: метилбензен > бензилацетат > бензилідендіацетат.

Швидкість і селективність каталітичного окиснення метилбензенів залежать від сили мінеральної кислоти. Так, в присутності сульфатної кислоти процес протікає з вищою швидкістю і селективністю, ніж в присутності фосфатної кислоти (табл.4). Ці дані цілком узгоджуються з існуючими уявленнями про каталіз реакції ацилювання [12] і результатами наших досліджень.

Таблиця 3

Кінетичні параметри реакцій каталітичного циклу окиснення метилбензенів та продуктів їх перетворення озоном в присутності сульфатної кислоти і манган(II) ацетату; $[ArH]_0 = 0,4$; $[O_3]_0 = 4,0 \cdot 10^{-4}$; $[Mn(OAc)_2]_0 = 0,06-0,14$; $[H_2SO_4]_0 = 0,8$ моль·л⁻¹; T = 293K

Сполука	Схема реакції	k_{ef} , л·(моль·с) ⁻¹	E, кДж·моль ⁻¹	A, л·моль ⁻¹ ·с ⁻¹
Толуен	$O_3 + ArCH_3$	$0,88 \pm 0,08$	$20,3 \pm 2,5$	$3,7 \cdot 10^3$
	$O_3 + ArCH_2OAc$	$0,50 \pm 0,05$	$23,8 \pm 2,5$	$8,8 \cdot 10^3$
	$O_3 + ArCH(OAc)_2$	$0,50 \pm 0,05$	$25,3 \pm 2,5$	$1,6 \cdot 10^4$
	$Mn^{2+} + O_3$	$38,22 \pm 3,82$	$22,8 \pm 2,5$	$4,4 \cdot 10^5$
	$Mn^{3+} + ArCH_3$	$0,095 \pm 0,001$	$24,5 \pm 2,5$	$2,2 \cdot 10^3$
	$Mn^{3+} + ArCH_2OAc$	$0,050 \pm 0,005$	$29,9 \pm 3,0$	$1,1 \cdot 10^5$
	$Mn^{3+} + ArCH(OAc)_2$	$0,030 \pm 0,003$	$37,4 \pm 3,5$	$1,4 \cdot 10^5$
4-Ацетамідотолуен	$O_3 + ArCH_3$	$0,85 \pm 0,08$	$16,9 \pm 2,0$	$8,4 \cdot 10^2$
	$O_3 + ArCH_2OAc$	$0,74 \pm 0,07$	$18,7 \pm 2,0$	$1,6 \cdot 10^3$
	$O_3 + ArCH(OAc)_2$	$0,58 \pm 0,05$	$20,9 \pm 2,0$	$3,1 \cdot 10^3$
	$Mn^{2+} + O_3$	$38,22 \pm 3,82$	$24,1 \pm 2,4$	$4,4 \cdot 10^5$
	$Mn^{3+} + ArCH_3$	$0,098 \pm 0,01$	$22,1 \pm 2,2$	$8,1 \cdot 10^2$
	$Mn^{3+} + ArCH_2OAc$	$0,06 \pm 0,006$	$31,6 \pm 3,1$	$2,6 \cdot 10^4$
	$Mn^{3+} + ArCH(OAc)_2$	$0,03 \pm 0,003$	$33,5 \pm 3,5$	$2,8 \cdot 10^4$
4-Нітро-толуен	$O_3 + ArCH_3$	$0,08 \pm 0,01$	$20,8 \pm 2,0$	$4,1 \cdot 10^2$
	$O_3 + ArCH_2OAc$	$0,04 \pm 0,004$	$35,5 \pm 3,5$	$8,5 \cdot 10^4$
	$O_3 + ArCH(OAc)_2$	$0,02 \pm 0,002$	$39,5 \pm 4,0$	$2,2 \cdot 10^5$
	$Mn^{2+} + O_3$	$38,22 \pm 3,82$	$22,8 \pm 2,5$	$4,4 \cdot 10^5$
	$Mn^{3+} + ArCH_3$	$0,007 \pm 0,001$	$31,7 \pm 3,0$	$3,2 \cdot 10^3$
	$Mn^{3+} + ArCH_2OAc$	$0,005 \pm 0,001$	$35,5 \pm 3,5$	$1,1 \cdot 10^4$
	$Mn^{3+} + ArCH(OAc)_2$	$0,004 \pm 0,001$	$43,2 \pm 4,5$	$2,0 \cdot 10^5$

Вплив концентрації сульфатної кислоти на швидкість окиснення метилбензенів і склад продуктів реакції вивчали на прикладі толуену. Швидкість окиснення толуену і нагромадження продуктів реакції (рис. 3) зростає з підвищенням концентрації сульфатної кислоти до 0,8 моль·л⁻¹, а при вищих концентраціях спостерігається зменшення вказаних показників.

Подібні закономірності отримані при окисненні 4-ксилену, 4-ацетамідотолуену і 4-нітротолуену. Наприклад, при озонуванні 4-ацетамідотолуену з підвищенням концентрації сульфатної кислоти до 1,2 моль·л⁻¹ селективність окиснення зростає, в межах 1,2-1,5 моль·л⁻¹ не змінюється, а потім знижується. Отримані дані свідчать про те, що роль сульфатної кислоти в умовах каталізу манган(II) ацетатом не обмежується лише її участю в реакції ацилювання утворених в процесі окиснення бензилового спирту та бензальдегіду. Очевидно, вона в значній мірі впливає і на механізм селективного окиснення метилбензену за метильною групою.

Таблиця 4

Вплив природи мінеральної кислоти на селективність окиснення 4-ацетамідотолуену в оцтовому ангідриді при 293K. $[ArCH_3]_0 = 0,4$; $[Mn(OAc)_2]_0 = 0,18$; $[Кислота]_0 = 1,2$; $[O_3]_0 = 4,0 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; $V_p = 0,01$ л; швидкість озоноповітряної суміші – 30 л·ч⁻¹

Кислота	Час вичерпного окиснення, год	Вихід, %	
		4-Ацетамідо-бензилацетату	4-Ацетамідо-бензилі-дендіацетату
Сульфатна	1	65,5	15,4
Фосфатна	4	67,3	12,9

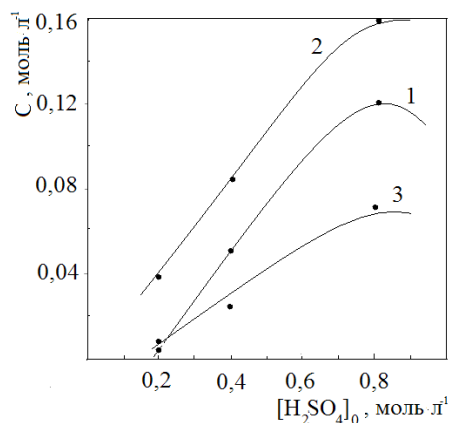


Рис. 3. Вплив концентрації сульфатної кислоти на кінетику утворення бензальдегіду (1), бензилацетату (2) та бензилдендіацетату (3) при окисненні толуену. T=293 K; $[ArCH_3]_0 = 0,4$; $[O_3]_0 = 4,0 \cdot 10^{-4}$; $[Mn(OAc)_2]_0 = 0,06$ моль·л⁻¹

Висновки. Таким чином, запропонована нова каталітична система (Mn(II)-H₂SO₄-Ac₂O) для озонолітичних перетворень, яка забезпечує селективне окиснення метилбензенів до відповідних бензилових спиртів з високим виходом при температурі 293K.

З'ясовано, що залучення до окиснення метилбензену за метильною групою відбувається переважно за реакцією з окисненою формою мангану. Розглянуто схему каталізу манган(II) ацетатом, яка пояснює природу селективного окиснення метилбензенів за метильною групою.

Показано, що оцтовий ангідрид в умовах дослідів відіграє не тільки роль розчинника, але і стопреагента, в присутності якого окиснення зупиняється на стадії утворення бензилових спиртів у вигляді бензилацетатів, достатньо стійких в реакціях з озоном.

Література

1. Разумовский С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г. Е. Заиков. – М. : Наука, 1974. – 322 с.
2. Bailey P.S. Ozonation in organic chemistry. Olefinic Compounds / P.S. Bailey. – N-Y, L. Academic Press, 1978. – V.1. – 942 p.
3. Harries C. D., Waiss V. Ozonide der aromatischen Kohlenwasserstoffe / C. D. Harries, V. Waiss // Liebigs Ann. Chem. – 1906. – Bd. 311. – S. 360-365.
4. Levine A. A. The ozonides of ortho-xylene and the structure of the benzene ring / A. A. Levine, A. G. Cole // J. Am. Chem. Soc. – 1932. – V. 54. – P. 338-343.
5. Якоби В. А. Озонирование ароматических соединений / В. А. Якоби // Реакционная способность органических соединений. – Сб. труды МХТИ. – М., 1978. – С. 66–92.
6. Галстян Г.А. Жидкофазное каталитическое окисление ароматических соединений озоном / Г.А. Галстян, Н.Ф. Тюпало, А.Г. Галстян. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – 415 с.
7. Galstyan A.G. Kinetics and Products of the Reaction of Ozone with Toluene and Its Derivatives in Acetic Anhydride / A.G.Galstyan, S.G.Galstyan, V.V. Lysak // Kinetics and Catalysis. – 2011. – V.52, №4. – P. 504-509.
8. Эфрос Л.С. Химия и технология ароматических соединений в задачах и упражнениях / Л.С.Эфрос, И.Я. Квитко. – Л.: Химия, 1971. – 496с.
9. Галстян А.Г. Кінетика окиснення 4-амінотолуолу озоном у рідкій фазі / А. Г. Галстян, А. С. Бушуєв, Р. М. Соломаний, Г. А. Галстян // Український хімічний журнал. – 2008. – Т. 74, № 7. – С. 57–61.
10. Тарасенко О.І. Кінетика рідиннофазного окиснення гідрокситолуолів озонופовітряною сумішшю / О.І. Тарасенко, А.Г. Галстян, І.А.Чалиш // Український хімічний журнал. – 2010. – Т.76, №2. – С. 92-95.
11. Галстян А.Г. Одержання хінонів окисненням аренів озонованими сполуками перехідних металів / А.Г. Галстян, В.П.Шапкін, В.В. Денисов // Вісник СНУ ім. В.Даля. – 2012. – №.15,Ч.2. – С. 19-25.
12. Gillespie R.J. Reactions of acetic anhydride / R.J. Gillespie // J. Am. Chem. Soc. – 1950. – V.39. – P. 2997 – 3003.
7. Galstyan A.G. Kinetics and Products of the Reaction of Ozone with Toluene and Its Derivatives in Acetic Anhydride / A.G.Galstyan, S.G.Galstyan, V.V. Lysak // Kinetics and Catalysis. – 2011. – V.52, №4. – P. 504-509.
8. Efros L.S. Himiya i tehnologiya aromaticeskikh soedineniy v zadachah i uprazhneniyah / L.S.Efros, I.Ya. Kvitko. – L.: Himiya, 1971. – 496s.
9. Galstyan A.G. Kinetika okisnennya 4-amInotoluolu ozonom u rldkly fazI / A. G. Galstyan, A. S. BushuEv, R. M. Solomyaniy, G. A. Galstyan // Ukrayinskiy himichniy zhurnal. – 2008. – T. 74, # 7. – S. 57–61.
10. Tarasenko O.I. Kinetika rldinnofaznogo okisnennya gldroksitoluoliv ozonopovitryanoyu sumishshyu / O.I. Tarasenko, A.G. Galstyan, I.A.Chalish // Ukrayinskiy himichniy zhurnal. – 2010. – T.76, #2. – S. 92-95.
11. Galstyan A.G. Oderzhannya hinoniv okisnenniyam areniv ozonovanimi spolukami perehidnih metaliv / A.G. Galstyan, V.P.Shapkin, V.V. Denisov // Visnik SNU im. V.Dalya. – 2012. – #.15,Ch.2. – S. 19-25.
12. Gillespie R.J. Reactions of acetic anhydride / R.J. Gillespie // J. Am. Chem. Soc. – 1950. – V.39. – P. 2997 – 3003.

References

1. Razumovskiy S. D. Ozon i ego reaktzii s organicheskimi soedineniyami / S.D. Razumovskiy, G. E. Zaikov. – M. : Nauka, 1974. – 322 s.
2. Bailey P.S. Ozonation in organic chemistry. Olefinic Compounds / P.S. Bailey. – N-Y, L. Academic Press, 1978. – V.1. – 942 p.
3. Harries C. D., Waiss V. Ozonide der aromatischen Kohlenwasserstoffe / C. D. Harries, V. Waiss // Liebigs Ann. Chem. – 1906. – Bd. 311. – S. 360-365.
4. Levine A. A. The ozonides of ortho-xylene and the structure of the benzene ring / A. A. Levine, A. G. Cole // J. Am. Chem. Soc. – 1932. – V. 54. – P. 338-343.
5. Yakobi V. A. Ozonirovanie aromaticeskikh soedineniy / V. A. Yakobi // Reaktсионnaya sposobnost organicheskikh soedineniy. – Sb. trudy MHTI. – M., 1978. – S. 66–92.
6. Galstyan G.A. Zhidkofaznoe kataliticheskoe okislenie aromaticeskikh soedineniy ozonom / G.A. Galstyan, N.F. Tyupalo, A.G. Galstyan. – Lugansk: VNU im. V. Dalya, 2009. – 415 s.

Галстян А.Г. Селективное окисление метилбензолов озоном в жидкой фазе.

Исследовано селективное окисление метилбензолов озоном в уксусном ангидриде. Показано, что в присутствии соли марганца и минеральной кислоты окисление озоном при температуре 293К протекает преимущественно по боковой цепи с образованием соответствующих бензиловых спиртов в виде бензилацетатов с выходом 42-65%. Определены константы скоростей элементарных реакций каталитического процесса, определена роль минеральной кислоты в окислительной системе. Предложен механизм реакций, который объясняет полученные экспериментальные данные.

Ключевые слова: катализатор, окисление, озон, метилбензол, уксусный ангидрид, серная кислота, озонлиз.

Galstyan A. G. The selectivity oxidation of methylbenzenes by ozone in the liquid phase.

The research selectivity oxidation of methylbenzenes with ozone in acetic anhydride has been studied. It was shown that in the presence of a manganese salt and mineral acid, ozone oxidation at temperature of 293 K proceeds predominantly along the side chain to form the corresponding benzyl alcohols in the form of benzyl acetates with a yield of 42-65%. The rate constants of the elementary reactions of the catalytic process are determined, the role of the mineral acid in the oxidizing system is determined. A reaction mechanism is proposed that explains the experimental data obtained.

Keywords: catalyst, oxidation, ozone, methylbenzene, acetic anhydride, sulfuric acid, ozonolysis.

Галстян Андрій Генрійович – д.х.н., професор, декан факультету хімічних наук Інституту хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, gaalst@mail.ru.

Рецензент: д.х.н., проф. **Кондратов С.О.**

Стаття подана 28.03.2017

УДК 661.321.22.004.8

ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНОГО КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ ІЗ ДИСТИЛЕРНОЇ РІДИНИ СОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Золотарьова О. В.

OBTAINING OF HIGHLY DISPERSIVE CALCIUM CARBONATE FROM THE DISTILLERY LIQUID OF SODA PRODUCTION

Zolotarova O. V.

У статті розглянуто питання щодо підвищення якості хімічно осадженого високодисперсного карбонату кальцію. Вивчено вплив параметрів процесів амонізації і карбонізації на насипну щільність та кристалічну структуру осадженої крейди.

Ключові слова: хімічно осаджений карбонат кальцію, насипна щільність, амонізація, карбонізація, дистилерна рідина, кристалізація.

Вступ. Карбонат кальцію – найбільш поширений наповнювач, який використовується у промисловому виробництві. Сьогодні використовуються дві основні форми карбонату кальцію, які є ідентичні за своїм хімічним складом, але відрізняються способом отримання - природний і хімічно осаджений. Природна крейда широко використовується практично в усіх галузях промисловості. Хімічно осаджена крейда менше використовується, але за рахунок збільшення показників якості (збільшення вмісту CaCO_3 , збільшення показника білизни, підвищення дисперсності), особливо останні десять років, його доля у світовому вживанні збільшується.

Постановка проблеми. Хімічно осаджений високодисперсний карбонат кальцію є продуктом, якого гостро потребують виробництва гуми та пластичних мас, які інтенсивно розвиваються. На таких виробництвах карбонат кальцію використовується при варінні скла, паперу, фарб, косметики. Карбонатні наповнювачі використовують в композиціях при отриманні полістиролу, поліуретанов, фенолформальдегідних і епоксидних смол. В якості реагенту тонкодисперсний карбонат кальцію використовується для одержання марочних вин. Велика частина крейди використовується в тваринницькій галузі для підгодовування тварин і приготування кормів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми виготовлення високодисперсного карбо-

ната кальцію із дистилерної рідини содового виробництва розглядалися у роботах Молчанова В. І., Лобойко О. Я., Михайлової Є. О., Посторонко А. І. та інших вчених. Однак і сьогодні під час проведення експерименту, дослідження хімічно осадженої коейди викликає багато запитань

Мета статті. Метою роботи є у лабораторних умовах отримати високодисперсну крейду з низькою насипною щільністю і високою ступінню чистоти.

Результати досліджень. Із зростанням споживання хімічно осадженої крейди підвищуються вимоги до якості CaCO_3 , що отримується за допомогою карбонізації суспензії гідроксиду кальцію. В силу природних властивостей використовуваної сировини цей спосіб не має значних резервів у поліпшенні основних якісних показників осадженого карбонату кальцію – залишкової вільної лужності, насипної щільності і дисперсності, білизни.

Залишкову лужність продукту можна істотно знизити, якщо в якості джерела кальцієвих іонів використати нейтральні розчини солей кальцію.

Дешевою сировиною є дистилерна рідина содового виробництва, частина якої переробляється на хлорид кальцію після відповідного очищення і упарювання. А накопичення CO_3^{2-} - іонів у розчині найзручніше проводити амонізацією і карбонізацією дистилерної рідини. У процесі сушіння осадженої крейди аміачні сполуки, що не видалилися під час промивання осаду, розкладаються, це дає можливість отримати чистий CaCO_3 .

У лабораторних умовах було вивчено вплив параметрів процесів амонізації і карбонізації на насипну щільність та кристалічну структуру осадженої крейди. Досліди проводилися в реакторі з мішалкою та універсальним приводом з кількістю обертів, що

змінюється. Початковим розчином служив розчин, ідентичний за вмістом солей на різних стадіях очищення і упарювання дистиленної рідини. Пасту CaCO_3 промивали на фільтрі «синя стрічка» до зникнення реакції на іон хлору і висушували при температурі 150° впродовж 1,5 години. Готовий продукт аналізували на вміст вільної лужності і визначали його насипну щільність. Шліфи отриманих зразків CaCO_3 досліджували на електронному мікроскопі та піддавали рентгенофазовому аналізу з мідним катодом.

Практично в усіх випадках лабораторного осадження CaCO_3 амонізацією і карбонізацією дистиленної рідини був отриманий продукт з більш високим вмістом основної речовини, з більш високою мірою білизни, малим вмістом нормованих домішок, а також стійко низьким вмістом вільного лугу. Проте один з основних показників якості крейди – насипна щільність – значно змінювалась в залежності від умов проведення експерименту.

При масовій кристалізації продукт зазвичай складається з агрегатів, що являють собою випадкові зростки кристалів різної форми та орієнтації. Основними чинниками, що впливають на зростання кількості кристалів і утворення агрегатів CaCO_3 , є температура, інтенсивність перемішування рідкої фази і пересичення розчину за CaCO_3 , створюване в процесі абсорбції NH_3 та CO_2 .

За інших рівних умов, підвищення температури від 20 до 60°C призводить до зниження початкового пересичення кристалізації, тобто зменшенню числа центрів кристалізації; при цьому середній розмір кристалів збільшується від $0,1$ до 8 мкм. При низькій температурі CaCO_3 кристалізується у вигляді ватерита з невеликою часткою кальциту. Дрібні ікринки ватерита утворюють агрегати неправильної форми, неоднорідні за розмірами (від 5 до 18 мкм). Крейда, осаждена при температурі 60°C , складається в основному з ромбоєдрів кальциту розміром $6 - 12$ мкм, об'єднаних в щільні агрегати розміром $15 - 35$ мкм, і має дуже високу насипну щільність, яка рівномірно зменшується при зниженні температури. Перехід від кристалізації у спокій до кристалізації при перемішуванні супроводжується зменшенням розмірів кристалів. Експериментальні дослідження виявили, що при відносно низькій інтенсивності перемішування (200 об/хв) в реакторі діаметром 64 мм, забезпеченому двохплощинною мішалкою, утворюються дещо щільніші агрегати розміром $8-16$ мкм. В інтервалі швидкостей обертання мішалки $1100-2000$ об/хв агрегати стають рихлими, досягаючи розміру до 20 мкм; при цьому продукт має нижчу насипну щільність.

Оскільки в досліджуваному процесі пересичення створюється в результаті хімічної взаємодії, ускладненої масообміном між рідкою і газовою фазами, на структуру кристалів, що утворюються, істотно впливає концентрація CaCl_2 в рідині і поря-

док подання газоподібних реагентів. Так, збільшення концентрації солі в розчині призводить до підпушування найдрібніших ікринок ватерита, зниження насипної щільності крейди.

У виробничих умовах можливе використання рідини після попереднього очищення і першої стадії упарювання до концентрації $18,5\%$ (мас.) Газові потоки у виробництві соди, наприклад у відділенні дистиляції, містять одночасно і аміак, і діоксид вуглецю. За допомогою діоксиду вуглецю станціями випалення карбонатної сировини можна змінювати об'ємне співвідношення між NH_3 та CO_2 . Найбільш сприятливим, з точки зору зниження насипної щільності продукту, виявилось співвідношення $\text{NH}_3:\text{CO}_2 = 2:1$. Збільшуючи витрату газового потоку з зазначеним співвідношенням газів від $2,4$ до $8,0$ л/хв за аміаком можна знизити насипну щільність до $0,31$ г/см³ за рахунок зменшення частки кальцината і стабілізації середнього розміру оолітів ватерита ($2-3$ мкм). Частка вкраплень кальциту в агрегатах ооліту також змінюється залежно від кількості поглиненого аміаку і діоксиду вуглецю. При еквівалентом співвідношенні $\text{NH}_3:\text{CO}_2 = 1,0 - 1,1$ частка кальциту складає $3-5\%$, із зростанням вказаного співвідношення до $\text{NH}_3:\text{CO}_2 = 1,4 - 1,6$ вона збільшується на 10% , а насипна щільність підвищується приблизно на 20% . Надлишок аміаку, що поглинається, і еквівалентна кількість діоксиду вуглецю по відношенню до хлориду кальцію, що міститься в розчині, навпаки, знижує насипну щільність крейди від $0,41$ г/см³ до $0,21$ г/см³. Причиною такого значного зменшення насипної щільності продукту є, і в даному випадку, зміна форми і розмірів кристалів, а також їх агрегатів розміром $8-15$ мкм, сформованих з частинок різної форми і розмірів. Одні мали форму ікринок до $0,1$ мкм в діаметрі, інші – витягнуту овальну форму завдовжки до 1 мкм. Агрегати були досить щільними, неправильної форми, з відносно невеликою насипною щільністю ($0,41$ г/см³). При значному надлишку аміаку виходили кристали CaCO_3 , що істотно відрізнялися від усіх попередніх зразків. Дуже тонкі кристали ватерита мали вигляд пелюсток завдовжки до $0,1$ мкм. За рахунок свого хаотичного розташування вони утворювали надзвичайно рихлі агрегати розміром від 6 до 15 мкм. Рідкісні кристали кальциту (до 10% загальної маси) мали вигляд списуватої призми завдовжки $6 - 12$ мкм. Насипна щільність зразків крейди коливалася близько величини $0,21$ г/см³.

Детальне вивчення кінетики осадження CaCO_3 у процесі абсорбції NH_3 та CO_2 дистиленною рідиною показало, що початковою стадією є кристалізація з розчину карбонату амонію разом з невеликою кількістю CaCO_3 . Система знаходиться в нерівноважному стані за рахунок існування пересичення за CaCO_3 досить тривалий час. По мірі зняття кристалізаційного пересичення за карбонатом кальцію карбонат амонію починає розчинятися.

Складність, багатостадійність процесу, ймовірно, відбиваються на структурі осаду, що утворюється, – пересичення непостійне в різних частинах реакційного об'єму, а також поблизу поверхні контакту газової і рідкої фаз. Цим можна пояснити появу кальцитових вкраплень, агрегатів різних розмірів і щільності. Істотним недоліком використання газоподібних реагентів є необхідність строгого дотримання певних швидкостей подання NH_3 та CO_2 і співвідношення між ними. Практично неминучі у виробничих умовах порушення режиму подання газу можуть різко погіршити якість крейди. У зв'язку з цим представляється доцільним подавати в реактор з дистилерною рідиною розчин карбонату амонію, заздалегідь отриманого з конденсату і газоподібних NH_3 та CO_2 .

При використанні розчину нітрату амонію із співвідношенням $\text{NH}_3 : \text{CO}_2 = 1,1$ повне осадження CaCO_3 закінчувалося за 10 хвилин. Концентрацію розчину змінювали від 3,9 до 10,8 екв/л, що дозволило оцінити вплив цього параметра на структуру, розмір кристалів і насипну щільність крейди. Так, при низькій концентрації розчину карбонату амонію осад з мінімальною насипною щільністю ($0,23 \text{ г/см}^3$) виходить лише у вузькому інтервалі співвідношення $\text{NH}_4^+ : \text{Ca}^{2+} = 1,1-1,2$. Ймовірно, при відсутності карбонату амонію ще не створюється достатнє високе початкове пересичення, а при збільшенні надлишку понад вказане система розбавляється, що також не сприяє створенню умов кристалізації високодисперсного продукту адже він складається з великих кристалів кальциту, що утворюють щільні агрегати. Насипна щільність крейди складає $0,47 \text{ г/см}^3$. Підвищення концентрації розчину карбонату амонію до 5-6 екв/л призводить до зниження насипної щільності крейди, причому надлишок іонів NH_4^+ по відношенню до іонів Ca^{2+} у цьому випадку позначається позитивно, а саме зменшується частка великих кристалів кальциту. При високій концентрації розчину (8,2-10,8 екв/л), навпаки, надлишок його вищий за співвідношення $\text{NH}_4^+ : \text{Ca}^{2+} = 1,2$ сприяє зростанню кристалів, ущільненню агрегатів, збільшенню насипної щільності до $0,63 \text{ г/см}^3$. Продукт з мінімальною насипною щільністю $0,18 \text{ г/см}^3$, отриманий при концентрації розчину карбонату амонію, що дорівнює 8,2 екв/л, і співвідношенні $\text{NH}_4^+ : \text{Ca}^{2+} = 1,1-1,2$, складається з дрібних кристалів кальциту, таких, що утворюють легкі рихлі агрегати, серед яких зустрічаються дуже щільні великі ромбоєдри кальциту.

Рентгенограми зразків крейди, отримані з використанням розчину карбонату амонію і перемішуючого приладу рамного типу, свідчить про те, що у досліджуваних умовах карбонат кальцію кристалізується у вигляді кальциту. Мікрорентгенографічні дослідження довели, що осад складається зі схо-

жих за формою часток розміром 2-4 мкм, тобто близький до монодисперсного. При невисокій інтенсивності перемішування (100 об/хв у реакторі діаметром $d=25 \text{ мм}$) ці дрібні поодинокі частки досить щільно упаковані, насипна щільність крейди при цьому досить велика – $0,31 \text{ г/см}^3$.

Зі збільшенням швидкості обертання мішалки до 1200 об/хв спостерігається агрегація окремих часток, можливо, за рахунок вторинного зародкоутворення. Утворення агрегатів супроводжується створенням більш «ажурної» структури осаду і зниженням насипної щільності до $0,15 - 0,16 \text{ г/см}^3$. Ця структура, проте, не зберігається при подальшому збільшенні інтенсивності перемішування суспензії, осад ущільнюється. Крейда, отримана при одночасному потраплянні у реактор обох реагентів, складається з досить великих (5-10 мкм) кристалів кальциту, що утворюють щільні агрегати.

Висновок. Таким чином, у лабораторних умовах були встановлені параметри процесу, при яких з дистилерної рідини содового виробництва після першої стадії упарювання і розчину карбонату амонію виходить високодисперсна крейда з низькою насипною щільністю і високою ступінню чистоти.

Література

1. Ткач Г. Л. Производство соды по малоотходной технологии / Г. Л. Ткач, В. А. Шапарев, В. М. Титов. – Харьков: ХГПУ, 1998. – 429с.
2. Методи керування відходами виробництва кальцинованої соди : матер. міжнар. наук.-практ. конф. / Сучасний університет: перспективи розвитку. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – Т. 2, Ч. 1. – 140с.
3. Валиуллин А. К. Производство химически осажденного мела / А. К. Валиуллин. – Москва : НИИТЭИМ, 1984. – 74с.
4. Михайлова Є. О. Одержання хімічно осадженого карбонату кальцію з відходів содового виробництва : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.01 / Є. О. Михайлова. – Харків, 2006. – 139с.

References

1. Tkach H. L. Proyzvodstvo sody po malootkhodnoy tekhnolohy / H. L. Tkach, V. A. Shaparev, V. M. Tytov. – Kharkov: KhHPU, 1998. – 429s.
2. Metody keruvannya vidkhodamy vyrobnytstva kal'tsynovanoyi sody : mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf. / Suchasnyy universytet: perspektyvy rozvytku. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – T. 2, Ch. 1. – 140s.
3. Valuyllyn A. K. Proyzvodstvo khymychesky osazhdennoho mela / A. K. Valuyllyn. – Moskva : NYUTЭУМ, 1984. – 74s.
4. Mykhaylova Ye. O. Oderzhannya khimichno osazhenoho karbonatu kal'tsiyu z vidkhodiv sodovoho vyrobnytstva : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.17.01 / Ye. O. Mykhaylova. – Kharkiv, 2006. – 139s.

Золотарева Е. В. Получение высокодисперсного карбоната кальция из дистиллерной жидкости содового производства.

В статье рассмотрены вопросы повышения качества химически осажденного высокодисперсного карбоната кальция. Изучено влияние параметров процесса аммонизации и кальцинации на насыпную плотность и кристаллическую структуру осажденного мела.

Ключевые слова: химически осажденный карбонат кальция, насыпная плотность, аммонизация, карбонизация, дистиллерная жидкость, кристаллизация.

Zolotarova O. V. Obtaining of highly dispersive calcium carbonate from the distillery liquid of soda production.

The paper considers the influence of ammoniation and carbonization processes on the bulk density and crystalline structure of the precipitated chalk was examined in laboratory studies. Owing to the natural properties of the used raw materials this way has no considerable reserves in the improvement of the main quality indicators of the precipitated calcium carbonate – a residual free alkalinity, bulk density and dispersion, a whiteness.

Keywords: highly dispersive chalk, bulk density, ammoniation, carbonization, distillery liquid, crystallization.

Золотарьова Олена В'ячеславівна, канд. пед. наук, старший викладач кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Даля, e-mail: 22lena72@mail.ru.

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

Стаття подана 15.04.2017

УДК 661.98:621.039.534

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РАСТВОРОВ $N_2O_3 - N_2O_4$** **Созонтов В.И., Суворин А.В., Казаков В.В., Кошовец Н.В., Ожередова М.А.****THERMODYNAMIC CALCULATIONS OF REACTIONS THAT OCCUR DURING
THE PRODUCTION OF $N_2O_3 - N_2O_4$ SOLUTIONS****Sozontov V.I., Suvorin A.V., Kazakov V.V., Koshovets N.V., Ozheredova M.A.**

Термодинамическими расчетами показана возможность создания технологического процесса получения жидких смесей $N_2O_3 - N_2O_4$ в составе действующих производств азотной кислоты. Определены оптимальные условия конденсации оксидов азота из нитрозных газов и их взаимодействия с водными растворами HNO_3 .

Ключевые слова: азотная кислота, оксиды азота, жидкие смеси, теплоноситель, термодинамика, обоснование, условия получения

1. Введение.

Важным новым негорючим теплоносителем для наиболее перспективных направлений атомной энергетики является жидкий тетраоксид диазота, который по сравнению с расплавами щелочных металлов имеет ряд теплофизических и эксплуатационных преимуществ, позволяющих интенсифицировать теплосъем и создать одноконтурную схему энергетической установки большой единичной мощности [1]. Главными эксплуатационными преимуществами тетраоксида диазота являются его полная пожаро- и взрывобезопасность при контакте с воздухом и водой и относительно низкая коррозионная активность ко многим металлам и их сплавам [2, 3, 4]. Однако в присутствии HNO_3 и N_2O_5 , наличие которых обусловлено процессом производства тетраоксида диазота существующими способами, наблюдается резкое повышение коррозионной активности теплоносителя [5].

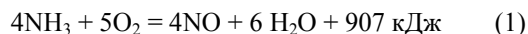
Понижение коррозионной активности может быть достигнуто введением в тетраоксид диазота различных ингибиторов. В качестве ингибитора коррозии может быть использован монооксид азота, который при взаимодействии с N_2O_5 превращается в N_2O_4 , а при взаимодействии с HNO_3 – в N_2O_4 и H_2O . Решение этой важной и актуальной проблемы возможно путем разработки и создания

технологического процесса получения растворов $N_2O_3 - N_2O_4$ [1, 2].

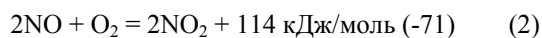
Анализ литературных данных [5, 6], теоретические исследования и наличие сырьевых ресурсов [7] показали, что жидкофазные смеси $N_2O_3 - N_2O_4$ целесообразно получать с использованием технического тетраоксида диазота и водных растворов азотной кислоты. Технологический процесс производства ингибированного теплоносителя может быть создан в составе действующих агрегатов получения неконцентрированной или концентрированной азотной кислоты [5, 6].

2. Изложение основных материалов.

Первой основной стадией процесса является контактное окисление аммиака, протекающее по уравнению:

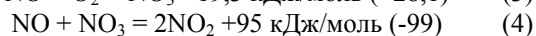


Последующие стадии включают окисление образующегося NO до высших оксидов азота и дальнейшее поглощение их водой. Расчеты термодинамических параметров рассмотренных ниже реакций проводились при $P=0,1$ МПа с использованием термодинамических данных и по методикам, предложенным в [8]. Образование из монооксида азота диоксида азота протекает по уравнению (здесь и далее в скобках указано изменение стандартной свободной энергии ΔG_{298}° (кДж/моль)):



Реакция протекает с выделением тепла и ее равновесие смещено вправо. При увеличении температуры от -10 до $+100^{\circ}\text{C}$, константа равновесия K_2 уменьшается от $1,12 \cdot 10^{15}$ до $2,43 \cdot 10^8$.

Реакцию окисления NO рассматривают как сумму двух биомолекулярных реакций [5]:

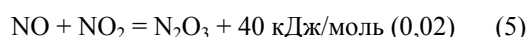


Константы равновесия K_3 и K_4 экзотермических реакций (3) и (4) с ростом температуры снижаются и в интервале температур от -10 до 100°C составляют:

$$K_3 = 3,47 \cdot 10^{-5} \div 2,57 \cdot 10^{-6}, \\ K_4 = 3,24 \cdot 10^{19} \div 9,33 \cdot 10^{13}.$$

Равновесие реакции (3) заметно смещено в лево, в то время как равновесие реакции (4) существенно смещено в право. При понижении температуры равновесия обеих реакций смещаются вправо, что благоприятно сказывается на выходе конечного продукта – NO_2 .

Образование NO_2 сопровождается его взаимодействием с NO по уравнению:



Реакция (5) является экзотермической и поэтому с повышением температуры от -10 до $+100^\circ\text{C}$ константа равновесия K_5 понижается от 8,71 до 0,04.

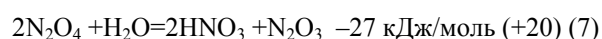
Наряду с образованием N_2O_3 из NO и NO_2 , происходит полимеризация NO_2 с образованием N_2O_4 :



Реакция (6) протекает с выделением тепла, и, следовательно, при снижении температуры от 100 до -10°C происходит рост константы равновесия K_6 от 0,007 до 794.

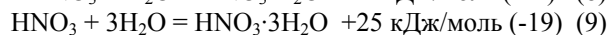
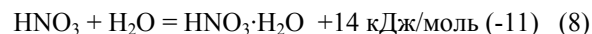
При расчете равновесной концентрации N_2O_3 необходимо учитывать образование N_2O_4 . Термодинамические расчеты показали, что при атмосферном давлении степень полимеризации NO_2 по реакции (6) при температурах 0, 10 и 20°C составляет 80,0; 75,0 и 65,5%, а степень образования N_2O_3 по реакции (5): -14,4, -14,0 и -13,8% соответственно. Следовательно, при получении растворов N_2O_3 – N_2O_4 непосредственно из нитрозных газов, необходимо конденсацию оксидов азота проводить при пониженных температурах, равных $-10 \div +10^\circ\text{C}$ и давлениях до 1,0 МПа.

При создании технологии растворов N_2O_3 – N_2O_4 путем взаимодействия жидких оксидов азота с водными растворами нитратной кислоты и последующей ректификацией образующихся смесей будет протекать множество различных реакций. Одной из основополагающих реакций является гидролиз N_2O_4 , протекающий по уравнению:



Реакция (7) является эндотермической и смещена влево. Константа равновесия K_7 при температурах от -10 до $+100^\circ\text{C}$ возрастает от $8,3 \cdot 10^{-5}$ до $3,3 \cdot 10^{-3}$. При увеличении температуры от 0 до 30°C степень образования N_2O_3 увеличивается от 1,6 до 2,34%.

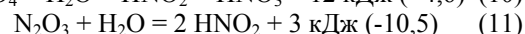
Образующаяся по реакции (7) азотная кислота взаимодействует с водой по уравнениям:



Обе реакции (8) и (9) протекают с выделением тепла и их равновесия смещены вправо, что благоприятно сказывается на смещении вправо равновесия реакции (7). С повышением температуры константы равновесия K_8 и K_9 реакций (8) и (9) уменьшаются. При температуре -10°C $K_8 = 170$ и $K_9 = 7,4 \cdot 10^3$, а при 100°C $K_8 = 26,3$ и $K_9 = 2,7 \cdot 10^2$.

Степень образования гидратов азотной кислоты по уравнениям (8) и (9) с увеличением температуры также уменьшается. При температурах 0; 10 и 30°C степень образования $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ составляет 84,20; 82,66 и 79,32%, а $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – 80,16; 78,40 и 74,60% соответственно.

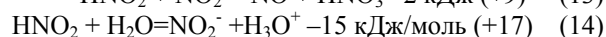
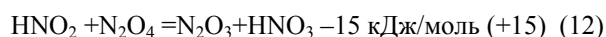
При взаимодействии жидких оксидов азота с водой протекают реакции с образованием азотистой кислоты по уравнениям:



Равновесие эндотермической реакции (10) с понижением температуры будет смещаться влево, а равновесие экзотермической реакции (11), наоборот, будет смещаться вправо.

При увеличении температуры от -10 до $+100^\circ\text{C}$ константа равновесия K_{10} реакции образования HNO_2 по уравнению (10) возрастает от 0,08 до 0,72, а константа равновесия K_{11} реакции (11) уменьшается от 79,4 до 53,7. Степень образования HNO_2 при температурах 0; 10 и 30°C по реакции (10) составляет 12,01; 12,86 и 14,60%, а по реакции (11) – 89,70; 89,48 и 89,05 соответственно.

Азотистая кислота вступает во взаимодействие с различными компонентами, присутствующими в системе «оксиды азота - HNO_3 - H_2O », как в жидкой, так и в газовой фазах. Реакции протекают по уравнениям:

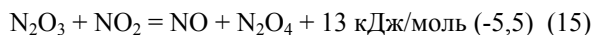


Реакции (12)–(14) протекают с поглощением тепла, поэтому при повышении температуры их равновесия будут смещаться вправо. С ростом температуры -10 до $+100^\circ\text{C}$ константа равновесия K_{12} реакции взаимодействия HNO_2 с N_2O_4 (12)

увеличивается от $1 \cdot 10^{-3}$ до $7,8 \cdot 10^{-3}$; константа равновесия K_{13} реакции взаимодействия HNO_2 с NO_2 (13) возрастает от $2,6 \cdot 10^{-2}$ до $3,5 \cdot 10^{-2}$, а константа равновесия K_{14} реакции взаимодействия HNO_2 с водой и образования смеси ионов $\text{NO}_2^- + \text{H}_3\text{O}^+$ по уравнению (14) увеличивается от $4,5 \cdot 10^{-4}$ до $3,2 \cdot 10^{-3}$. Степень превращения HNO_2 в соответствующие продукты при температурах 0, 10 и 30°C по уравнению (12) составляет 3,48; 3,96 и 4,76%; по уравнению (13) – 14,12; 14,34; 14,66% и по уравнению (14) – 2,35; 2,61 и 3,21%.

Из полученных результатов видно, что преобладает процесс взаимодействия HNO_2 с NO_2 по уравнению (13).

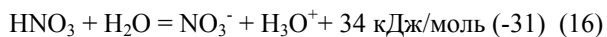
В системе «оксиды азота - HNO_3 - H_2O » устанавливается равновесие между оксидами азота различной степени окисленности по уравнению:



Равновесие реакции (15), являющейся экзотермической, смещено вправо. Следовательно, с повышением температуры от -10 до $+100^\circ\text{C}$ константа равновесия K_{15} уменьшается от 18,20 до 3,16.

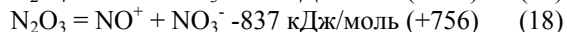
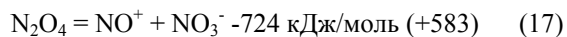
Степень образования NO по уравнению (15) при температурах – 10; 0; 10; 20 и 30°C соответственно равна 40,51; 39,60; 38,69; 37,88 и 37,13%.

При взаимодействии HNO_3 с H_2O происходит не только образование гидратов по уравнениям (8) и (9), но и ионов, как это имеет место при взаимодействии HNO_2 с H_2O по уравнению (14). Суммарно реакция протекает по уравнению:

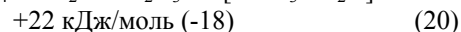
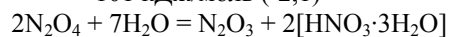
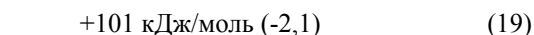
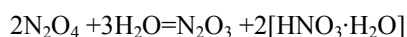


Реакция протекает с выделением тепла и константа ее равновесия K_{16} с повышением температуры от -10 до $+100^\circ\text{C}$ уменьшается от $1,4 \cdot 10^6$ до $1,5 \cdot 10^4$. Степень ионизации нитратной кислоты в температурном интервале $0 \div 30^\circ\text{C}$ составляет 99,89÷99,76%.

Наряду с ионизацией кислот (HNO_3 и HNO_2) не исключена также и ионизация оксидов азота, которая протекает по уравнениям:



При температуре -10°C константа равновесия K_{17} реакции ионизации N_2O_4 составляет $1,74 \cdot 10^{-119}$, а K_{18} реакции ионизации N_2O_4 – $2,5 \cdot 10^{-152}$. При 100°C $K_{17} = 4,90 \cdot 10^{-77}$, а $K_{18} = 1,90 \cdot 10^{-103}$. Степени ионизации оксидов азота возрастают при повышении температуры. Суммарные реакции гидролиза тетраоксида диазота имеют следующий вид:



При повышении температуры от -10 до $+100^\circ\text{C}$ константа равновесия K_{19} реакции (19) уменьшается от 530 до 0,0007, а константа равновесия K_{20} реакции (20) – от $4,7 \cdot 10^3$ до $2,4 \cdot 10^2$.

Степень образования N_2O_3 при температурах – 10; 0; 10; 20 и 30°C по реакции (19) составляют соответственно 15,23; 13,72; 12,05; 10,29 и 6,58%, а по реакции (20) – 6,98; 6,84; 6,70; 6,58; 6,43%. Полученные результаты показывают, что реакция (19) должна протекать глубже, чем реакция (20). При повышении температуры степень образования N_2O_3 по реакции (19) должна заметно снижаться, в то время как степень образования N_2O_3 по реакции (20) остается практически постоянной.

Несмотря на такие расхождения рассчитанных параметров, можно однозначно утверждать, что при смешении жидких оксидов азота с водными растворами азотной кислоты будут протекать обе реакции (19) и (20). Так как они протекают с выделением тепла, то с целью энергосбережения процесс взаимодействия жидких оксидов азота с водными растворами азотной кислоты следует проводить непосредственно в ректификационной колонне. Кроме того, это позволит избежать потерь NO (N_2O_3), которые обладают высокой упругостью паров даже при температурах, близких к 0°C .

Выводы.

Таким образом, на основании термодинамических расчетов установлена возможность получения жидких смесей $\text{N}_2\text{O}_3 - \text{N}_2\text{O}_4$ на действующих производствах азотной кислоты и определены основные технологические параметры процесса. Показано, что извлечение оксидов азота из нитрозных газов методом конденсации следует проводить при температурах, близких к 0°C . Установлено, что при взаимодействии жидких оксидов азота с водными растворами азотной кислоты протекают различные реакции, в результате которых образуется триоксид диазота. При установлении химического равновесия степень образования N_2O_3 может достигнуть 15,23%. Полученные результаты расчетов будут использованы при разработке технологической схемы и расчетах оборудования для получения жидкого теплоносителя на основе смесей $\text{N}_2\text{O}_3 - \text{N}_2\text{O}_4$ в действующем производстве азотной кислоты.

Л и т е р а т у р а

1. Сухотин А.М. Негорючие теплоносители и гидравлические жидкости. Справочное руководство / А.М. Сухотин - Л.: Химия, 1979. – 360 с.
2. Сухотин А.М. Диссоциирующие газы как теплоносители и рабочие тела энергетических установок / Материалы Всесоюзной конференции // А.М. Сухотин. - Минск: 1970. – с. 115 – 116.
3. Гольцев В.П. Конструкционные материалы энергетических установок на диссоциирующем

теплоносители N_2O_4 / В.П. Гольцев, А.Я. Каменев – Минск: Наука и техника, 1976. – 136 с.

4. Боришанский Е.М. Жидкометаллические теплоносители. / Е.М. Боришанский, С.С. Кутатоладзе, И.И. Новиков – М.: Атомиздат, 1976 г. – 328 с.
5. Атрошенко В.И. Технология азотной кислоты / В.И. Атрошенко, С.И. Каргин – М.: Химия, 1970 – 496 с.
6. Шестозуб А.Б. Концентрированная азотная кислота та продукти на її основі. Монографія. / А.Б. Шестозуб – Дніпродзержинськ, 2010. – 239 с.
7. Созонтов В.И. Химия и технология пентаоксида диазота: Монография / Созонтов В.И., Казаков В.В., Гринь Г.И., Кучер К.А. – Севоронецк: ОАО «Севоронецкая городская типография», 2010. – 240 с.
8. Рябин В.А. Термодинамические свойства веществ. Справочник. / В.А. Рябин, М.А. Остроумов, Т.Ф. Свит – Л.: Химия, 1977 г., - 392 с.

References

1. Suhotin A.M. Negoryuchie teplonositeli i gidravlicheskie zhidkosti. Spravochnoe rukovodstvo / A.M. Suhotin - L.: Himiya, 1979. – 360 s.
2. Suhotin A.M. Dissotsiiruyushchie gazyi kak teplonositeli i rabochie tela energeticheskikh ustanovok / Materialy Vsesoyuznoy konferentsii // A.M. Suhotin. - Minsk: 1970. – s. 115 – 116.
3. Goltsev V.P. Konstruktsionnyie materialy energeticheskikh ustanovok na dissotsiiruyushchem teplonositele N_2O_4 / V.P. Goltsev, A.Ya. Kamenev – Minsk: Nauka i tehnika, 1976. – 136 s.
4. Borishanskiy E.M. Zhidkometallicheskie teplonositeli. / E.M. Borishanskiy, S.S. Kutatoladze, I.I. Novikov – M.: Atomizdat, 1976 g. – 328 s.
5. Atroschenko V.I. Tehnologiya azotnoy kisloty / V.I. Atroschenko, S.I. Kargin – M.: Himiya, 1970 – 496 s.
6. Shestozub A.B. Kontsentrovana azotna kislota ta produkti na Yiyi osnovi. Monografiya. / A.B. Shestozub - Dniproderzhinsk, 2010. – 239 s.
7. Sozontov V.I. i tehnologiya pentaoksida diazota: Monografiya / Sozontov V.I., Kazakov V.V., Grin G.I., Kucher K.A. – Sevodonetsk: ОАО «Sevodonetskaya gorodskaya tipografiya», 2010. – 240 s.
8. Ryabin V.A. Termodinamicheskie svoystva veshchestv. Spravochnik. / V.A. Ryabin, M.A. Ostroumov, T.F. Svit - L.: Himiya, 1977 g., - 392 s.

Созонтов В.Г., Суворін О.В., Казаков В.В., Кошовец М.В., Ожередова М.А. Термодинамічні розрахунки реакцій, що протікають при отриманні розчинів N_2O_3 – N_2O_4

Термодинамічними розрахунками показана можливість створення технологічного процесу отримання рідких сумішей N_2O_3 – N_2O_4 у складі діючих виробництв нітратної кислоти. Визначені оптимальні умови конденсації оксидів нітрогену з нітрозних газів та їх взаємодії з водними розчинами HNO_3 .

Ключові слова: нітратна кислота, оксиди нітрогену, рідкі суміші, теплоносії, термодинаміка, обґрунтування, умови отримання.

Sozontov V.I., Suvorin A.V., Kazakov V.V., Koshovets N.V., Ozheredova M.A. Thermodynamic calculations of reactions that occur during the production of N_2O_3 – N_2O_4 solutions

Thermodynamic calculations have shown the possibility of creating a technological process for the preparation of N_2O_3 - N_2O_4 liquid mixtures as part of the active production of nitric acid. The optimal conditions for the condensation of nitrogen oxides from nitrous gases and their interaction with aqueous solutions of HNO_3 are determined.

Keywords: nitric acid, nitrogen oxides, liquid mixtures, coolant, thermodynamics, justification, conditions for obtaining.

Созонтов Віктор Гнатович - д.т.н., професор кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля.
Суворін Олександр Вікторович – д.т.н., професор, завідувач кафедри хімічної інженерії і екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля.
tnre.sti.2014@gmail.com

Казаков Валентин Васильович - д.т.н., доцент, професор кафедри хімічної інженерії і екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля.

Кошовець Микола Володимирович – к.т.н., гральний директор ПрАТ «Севоронецький ОРГХІМ»
poste@orghim.lg.ua

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., професор **Глікін М.А.**

Стаття подана 10.04.2017

УДК 547.673.2:667.282.51

СИНТЕЗ ЛІНІЙНОГО ХІНАКРИДОНУ ІЗ АЦЕНАФТЕНУ КОКСОВОЇ СМОЛИ, ЙОГО ФІЗИКО-ХІМІЧНІ І КОЛОРИСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Шапкін В. П., Мороз О. В.

SYNTHESIS OF LINEAR CHACEDONY WITH THE COKE ACENAPHTHENE RESIN THE PHYSICO-CHEMICAL AND COLORISTIC PROPERTIES

Shapkin V. P., Moroz A. V.

Приведені результати дослідження процесу синтезу лінійного хінакридону (ЛХА) з аценафтену, виділеного з коксової смоли після коксування кам'яного вугілля, та його випускних форм. На прикладі синтезованого ЛХА отримані зразки кристалічних модифікацій, з яких γ -модифікація ідентифікована за допомогою рентгенографічного і дисперсійного аналізу в сукупності з колористичним і спектрофотометричним методами аналізу. Досліджені властивості синтезованого пігменту рожевого С хінакридонового у лакофарбовій промисловості.

Ключеві слова: синтез, лінійний хінакридон, аценафтен, пігмент, модифікації, аналіз, властивості.

Хінакридонові пігменти останнім часом знаходять широке застосування в різних областях народного господарства [1]. Це обумовлено їх цінними властивостями, особливо здатністю зберігати властивий їм яскравий колір за різних умов переробки полімерних матеріалів. Хінакридонові пігменти по стійкості до різних обробок близькі до фталоціаніну міді і застосовують їх в лакофарбовій промисловості, для високотемпературного забарвлення пластичних мас і хімічних волокон в масі [2].

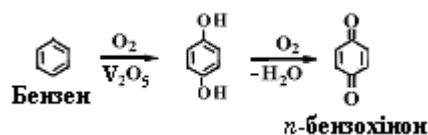
Метод синтезу лінійного *транс*-хінакридону на останніх стадіях передбачає в якості напівпродукту 2,5-дигалогентерeftалеву кислоту, що містить С1 або Вг. Ці кислоти або її діестери завантажують з надміром аніліну для отримання 2,5-діанілінотерeftалевої кислоти або її діестерів. По деяких патентах конденсацію з аніліном проводять в буферному розчині водного етиленгліколю у присутності ацетату міді і йодиду калію [1]. Розроблено безліч процесів переводу 2,5-діариламінотерeftалевої кислоти або її естерів у хінакридони [2, 3]. Циклізацію проводять при нагріванні в середовищі, що містить конденсуючий агент, який може бути розплавленою сумішшю хлоридів алюмінію і натрію або хлоридом алюмінію в киплячому трихлорбензені. Повідомляється, що хінакри-

дон, що утворюється, не вимагає ніякої додаткової очистки і відразу придатний для використання в якості пігменту. Судячи по патентах, хороші виходи спостерігаються при застосуванні бензоїлхлориду в *о*-дихлорбензені або нітробензені, в поліфосфорній кислоті, яка виконує роль середовища і циклізуючого агента [3] і у ряді інших методів [4-12] разом із синтезом розглянуті також питання отримання кристалічних модифікацій синтезованого лінійного хінакридону, що синтезується.

Синтез хінакридонового пігменту проведений шляхом окислення бензену, виділеного із коксового газу, до *n*-бензохінону з подальшою його взаємодією з антраніловою (2-амінобензойною) кислотою і циклізацією з утвореною хінондіантраніловою кислотою:

1. Отримання *n*-бензохінону

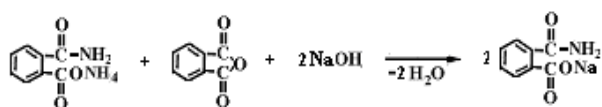
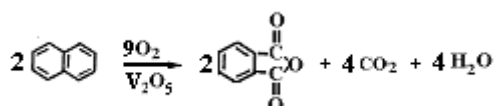
n-Бензохінон отримували з бензену, що утворюється при коксуванні кам'яного вугілля, каталітичним його окисленням у присутності молібденового або ванадієвого каталізатора по реакції:



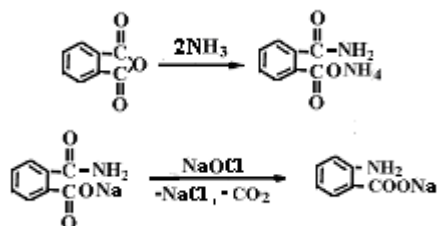
2. Отримання антранілової кислоти

Антранілову кислоту отримували із нафталіну коксохімічної смоли за таким перетворенням:

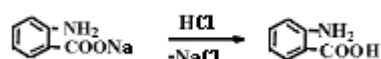
- отримання фталевого ангідриду окисленням нафталіну в конвертері при температурі 340-380°C (вихід у розрахунку на завантажений нафталін – 81%):



- отримання натрієвої солі фталамінової кислоти: та її окислення до антранілової кислоти:



- виділення антранілової кислоти, її фільтрація і промивка:

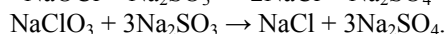
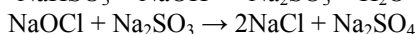
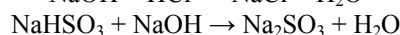
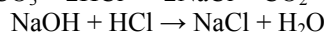
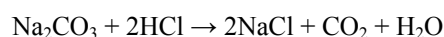


Допоміжні стадії:

1. Отримання гіпохлориту натрію:



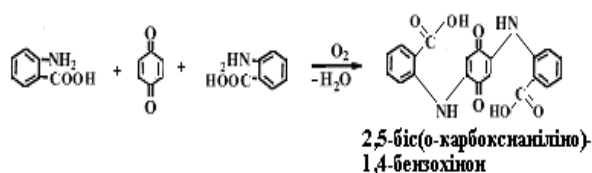
2. Нейтралізація хлоридною кислотою і зняття надлишку гіпохлориту натрію і хлоратів:



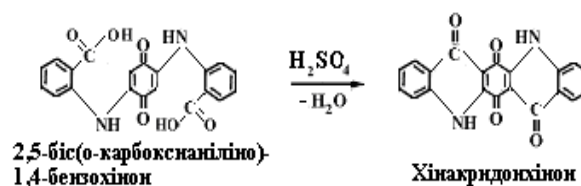
Загальний вихід в перерахунку на фталевий ангідрид складає 84%.

3. Отримання транс-ізомеру лінійного хінакридону (ЛХА)

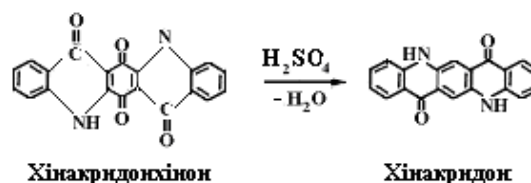
3.1. Синтез хінондіантранілової кислоти взаємодією двох молекул антранілової кислоти з *n*-бензохіноном у присутності водного розчину метанолу, окислювача – хлорату натрію і каталізатору (V_2O_5):



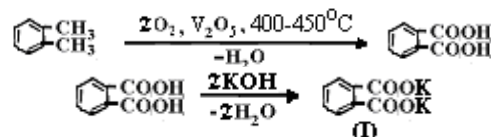
3.2. Циклізація 2,5-біс(о-карбоксиналіно)-1,4-бензохінону у хінакридонхінон здійснювали в концентрованій сульфатній кислоті при $110 \pm 10^\circ\text{C}$:



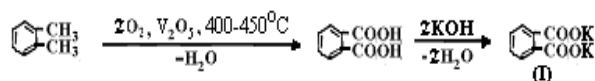
3.3. Отримання хінакридону відновленням хінакридонхінону цинком в 70%-ній сульфатній кислоті



Лінійний *транс*-хінакридон за вдосконаленою технологією був отриманий також із о-ксилолу, який є одним із компонентів коксового газу – відходу коксування кам'яного вугілля. Синтез починали з окислення о-ксилолу до фталевої кислоти та її дикалієвої солі з послідовною ізомеризацією у *n*-положення до терефталату калію:

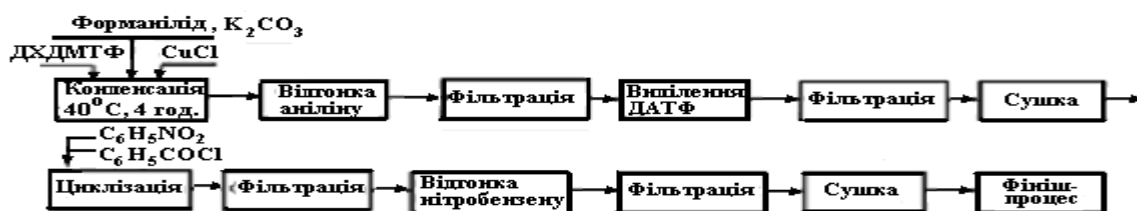
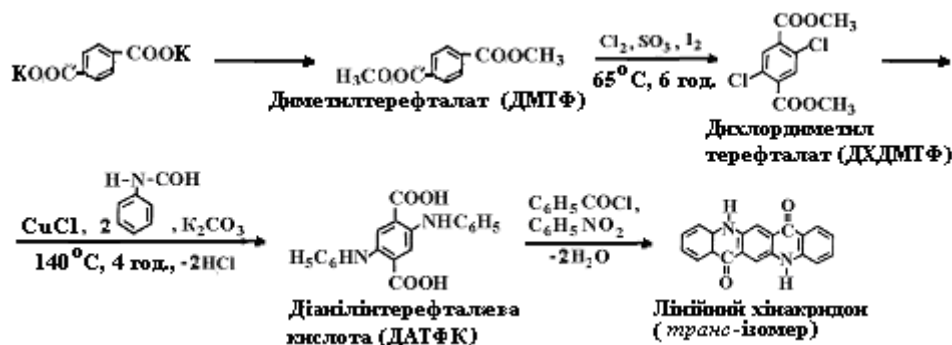


Окислення о-ксилолу до фталевої кислоти здійснювали в паровій фазі киснем повітря у присутності каталізатора V_2O_5 і далі отримують з неї дикалієву сіль за схемою:



Фталат калію (I) при високій температурі і тиску ($400-450^\circ\text{C}$, 0,5 МПа) в атмосфері вугільного ангідриду спочатку ізомеризується, тобто йде процес декарбоксилування, де від фталату калію відщеплюється молекула CO_2 , з виникненням карбаніону (II), який перегрупується в стійкіший карбаніон (III) і піддається карбоксилуванню з утворенням терефталату калію з виходом 95% [13, с. 221] (схема 1).

Схема 1



Таблиця 1

Фізико-хімічні показники γ -модифікації (I) в порівнянні з α -модифікацією (II) синтезованого *транс*-ізомеру лінійного хінакридону

Колір покриття		Стійкість до світла і світло-погоди, бал		Фарбувальна здатність, %		Покриваність, г/м ²		Дисперсність, мкм	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
рожевий	червоний	7	7-8	100	108,4	18,9	17,0	5-7	1-3

Використовуючи отриманий терефталат калію, приступають до синтезу лінійного *транс*-хінакридону (ЛХА) через такі технологічні стадії синтезу як метилування і хлорування з виходом диметилдихлортерефталату (ДХДМТФ) 50%, який далі піддається через ряд хімічних і технологічних перетворень, приведених нижче, до утворення *транс*-ізомеру лінійного хінакридону (схема 2).

Нижче показана блок-схема синтезу лінійного хінакридону, включаючи дві останні хімічні стадії, а також технологічні процеси отримання випускної форми (фініш-процес) (схема 3).

У загальному виді технологічна схема синтезу *транс*-ізомеру ЛХА складається із 18 стадій з матеріальним індексом 52 т/т і продуктивністю 7 кг/(м³·рік).

Випуск і реалізація хінакридонового пігменту неможливий без ідентифікації його поліморфних форм, тому вивчення питання ідентифікації ЛХА його кристалічних модифікацій є доцільним і важливим. Поліморфізмом називають здатність твердого тіла існувати в двох або декількох кристалічних структурах. Різні кристалічні структури одної і тієї ж речовини називаються поліморфними формами або модифікаціями. Перехід однієї модифікації в іншу називають поліморфним перетворенням. Кож-

на модифікація при незмінній хімічній формулі характеризується певними властивостями: кольором, термостабільністю, стійкістю до розчинників. Незначну розчинність, наявність поліморфізму і відмінності у властивостях модифікацій лінійного хінакридону зв'язують з утворенням між C=O- і NH-групами внутрішніх і міжмолекулярних водневих зв'язків. В процесі синтезу і сушки отримується α -модифікація ЛХА червоного кольору у вигляді аморфного грубодисперсного порошку з незадовільною фарбувальною здатністю і кольоровістю і з цих причин має обмежене застосування, в основному, у високотемпературному колорюванні пластмас.

Тому синтезовану α -модифікацію *транс*-ізомеру ЛХА в умовах робіт [10, 12] переводили у β - і γ -модифікаціях. Нижче приведені у β - і γ -модифікаціях показники споживчих властивостей, наприклад γ -модифікації, в порівнянні з α -модифікацією (табл. 1), яка в спеціальній випускній формі рекомендується для виробництва лакофарбових композицій для фарбування авто- і сільськогосподарської техніки, а також для світлостійких фасадних фарб.

Випуск пігменту в тій або іншій модифікації для промисловості неможливий без їх ідентифікації, тому відмінності α - і γ - і β -модифікацій *транс*-ізомеру ЛХА були досліджені методами колористичного, рентгенографічного, спектрофотометричного і гранулометричного обстеження часточок без розгляду способів їх фазових переходів.

Рентгенографічний аналіз здійснений за допомогою дифрактометра ДРОН-2,0 на відфільтрованому мідному K_{α} -випромінюванні при швидкості обертання зразків $2^{\circ}/\text{хв}$.

За колористичними показниками дві кристалічні модифікації *транс*-ізомеру ЛХА мають суттєві відмінності: α -модифікація червоного кольору з синюватим відтінком, γ - і β -модифікації рожевого і

червоно-фіолетового кольору відповідно. γ -і β -Модифікації мають підвищену фарбувальну здатність, що видно із спектрів відбиття нафарбовань (рис. 1а).

На рис. 2 приведені електронні мікрофотографії зразків мікрочасточок ЛХА в γ -модифікації і на їх основі спектри відбиття стандартних рівнів інтенсивності, з яких розраховані координати кольору, кольоровості і домінуючі довжини хвиль, $\lambda_{\text{дом.}}$ (нм). Результати розрахунків зразків стандартних інтенсивностей *транс*-ізомеру ЛХА в γ -модифікації приведені в табл. 2

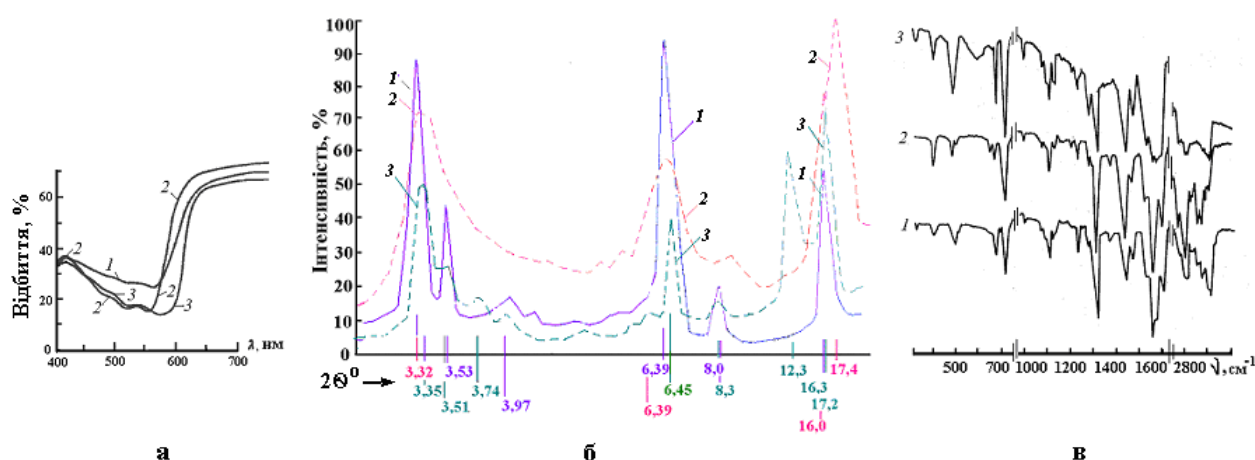


Рис. 1. Спектри відбиття (а), рентгенограм (б), ІЧ-спектри (в) *транс*-ізомеру лінійного хінакрідону (ЛХА): 1 – α -модифікація, 2 – γ -модифікація, 3 – β -модифікація; $2\theta^{\circ}$ – кут Брега на рентгенограми

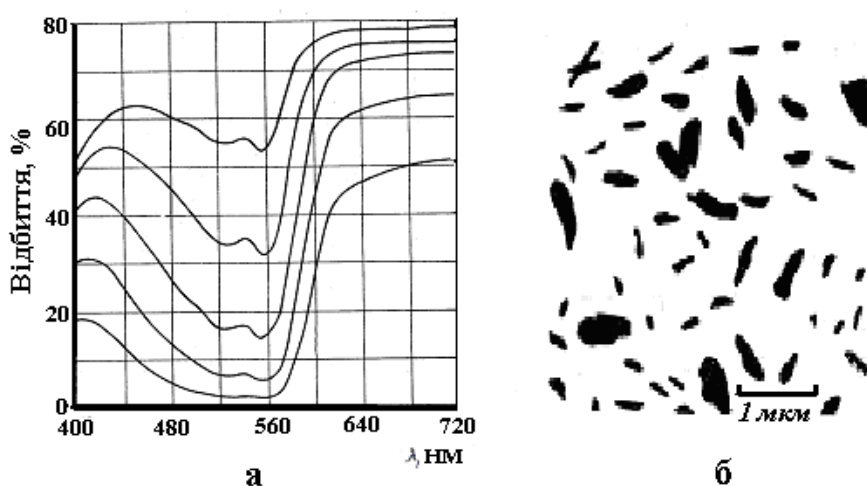


Рис. 2. Спектри відбиття стандартних рівнів інтенсивності: 1 – 1:1; 2 – 1:3; 3 – 1:9; 4 – 1:25; 5 – 1:200 (а); електронні мікрофотографії мікрочасточок (б) зразків ЛХА в γ -модифікації

Таблиця 2

Колористичні характеристики нафарбовань стандартних інтенсивностей зразків транс-ізомеру ЛХА в γ -модифікації					
	1	2	3	4	5
Рівень	1/1	1/3	1/9	1/25	1/200
Розбілювання	1:13,3	1:43,3	1:151,5	1:555,6	1:10000
X	20,21	31,47	44,11	55,98	71,90
Y	10,74	18,59	30,21	45,67	68,92
Z	11,52	24,19	41,39	59,23	78,28
x	0,4758	0,4238	0,3812	0,3180	0,3282
y	0,2529	0,2504	0,2611	0,2839	0,3144
$\lambda_{\text{дом.}}$ (нм)	595,6	498,0	500,0	501,7	643,9

Примітка: X, Y, Z – координати кольору; x, y – координати кольоровості; $\lambda_{\text{дом.}}$ (нм) – домінуюча довжина хвилі.

Рентгенограми зразків α -, γ - і β -модифікацій транс-ізомеру ЛХА представлені на рис. 1б, з якого видно, що модифікації суттєво розрізняються по кристалічній структурі. Так, в зразку α -модифікації властива аморфізація (зменшення інтенсивності і розширення рефлексів на рентгенограмі, згладжена сфероїдальна форма агломерованих часточок), наслідком чого є незадовільні споживчі властивості забарвленої поверхні. На рентгенограмі γ -модифікації спостерігається висока інтенсивність відбитих рефлексів при відповідних кутах Брега $2\theta^\circ$.

Разом зі зміною рентгенограм відбувається зміна рефлексів на ІЧ-спектрах β - і γ -модифікацій зразків ЛХА порівняно з розташуванням рефлексів на ІЧ-спектрі початкової α -модифікації при однакових режимах їх записування (рис. 1в), з колористичними і спектральними методами аналізу ідентифіковані його кристалічні α -, γ - і β -модифікації. Порівнюючи ІЧ-спектри, бачимо істотні зміни в розташуваннях і зсувах смуг поглинання у зразках різних модифікацій.

Таким чином, рентгенографічний фазовий і дисперсійний аналіз транс-ізомеру ЛХА в сукупності з колористичними і спектральними методами аналізу дають чітку ідентифікацію кристалічних модифікацій зразків цього пігменту. Це є важливим для виробничих умов синтезу випускних форм різних модифікацій лінійного хінакридону.

Висновки

1. Приведені результати дослідження процесу синтезу ЛХА з *o*-ксилолу, виділеного з коксового газу після коксування кам'яного вугілля.

2. За допомогою рентгенографічного фазового і дисперсійного аналізу транс-ізомеру ЛХА в сукупності з колористичними і спектральними методами аналізу ідентифіковані його кристалічні α -, γ - і β -модифікації.

Література

1. Лаптев Н.Г., Богословский Б.М. Химия красителей. М.: Химия, 1970. – 424 с.
2. Бородин В.Ф. Химия красителей/ Бородин В.Ф. – М.:Химия, 1981. – 248 с.

3. Венкатараман К. Химия синтетических красителей/ Венкатараман К. – Л.: Химия, 1977. – Т-5. 432 с.
4. Нагаи Е. Обзор и перспективы развития химии хинакридонов / Е. Нагаи, Х. Ниси пер с японского Г.Т. Привалова // Сенрё то якухин. – 1968. – Т.13, № 3. – С. 81-108.
5. Linke G. Uber die Kristallstruktur der Chinacridone / G. Linke // Farbe und Lack. – 1969. – Bd. 75, № 11 – S. 1066-1067.
6. Linke G. Untersuchungen zur Morphologie von unsubstituierten linearen trans-Chinacridonkristallen der Gamma-Phase / G Linke // Farbe und Lack. – 1972. – Bd. 78, № 6. – S. 505-510.
7. Jones F. The Thermal Stability of Linear Transguinacridone Pigments / F. Jones, N. Okil, D. Patterson // JSDC. – 1975. – № 11. – P. 361-366.
8. Frank H. Vachym Sublimation and Crystallography of Quinacridones / H. Frank, Chung and Pichard W. Scott. // J. Appl. Cryst. – 1971. – V. 4. – P. 506-511.
9. А.с. 1368320 СССР, МКИ С09В 67/48. Способ получения кристаллической модификации органических пигментов / Заявка № 3979248/23; заявл. 25.11.85; опубл. 23.01.88. Бюл. № 3, 1988.
10. А.с. 1455690 СССР, МКИ С09В 5/62, 67/48. Способ получения β -модификации хинакридонового пигмента / Заявка № 4071390; заявл. 27.05.86; опубл. 01.10.88. Бюл. №7, 1988.
11. А.с. 1521747 СССР, МКИ С09В 67/00. Способ получения пигментов в кристаллической модификации / Заявка № 4126151; заявл. 24.06.86; опубл. 15.10.89. Бюл. №42, 1970.
12. А.с. 1654317 СССР, МКИ С09В 5/62, 67/48. Способ получения γ -модификации хинакридонового пигмента. Бюл. №21, 1991.
13. Эфрос Л.С., Горелик М.В. Химия и технология промежуточных продуктов / Л.С. Эфрос, М.В. Горелик – Л.: Химия, 1979. – 544 с.

References

1. Laptev N. G., Theological B. M. Chemistry of dyes. M.: Chemistry. – 1970. – 424 p.
2. Borodkin, V. F. Chemistry of dyes/ Borodkin, V. F. – M.:Chemistry, 1981. – 248 p.
3. Venkataraman K. Chemistry of synthetic dyes/ Venkataraman, K. – L.: Khimiya, 1977. – Т-5. 432 p.
4. Nagai E. Overview and prospects of development of the chemistry of Chinacridones / E. Nagai, H. Nishi translated

- from Japanese G. T. Privalov // Senri yakuhin. – 1968. – Vol. 13, No. 3. – S. 81-108.
5. Linke G. Uber die Kristallstruktur der Chinacridone / G. Linke // Farbe und Lack. – 1969. – Bd. 75, No. 11 – S. 1066-1067.
 6. Linke G. Untersuchungen zur Morphologie von unsubstituierten linearen trans-Chinacridonkristallen der Gamma-Phase / G Linke // Farbe und Lack. – 1972. – Bd. 78, No. 6. – S. 505-510.
 7. Jones F. The Thermal Stability of Linear Transquinacridone Pigments / F. Jones, N. Okil, D. Patterson // JSDC. – 1975. – No. 11. – P. 361-366.
 8. Frank H. Vachym Sublimation and Crystallography of Quinacridones / Frank H. Chung and W. Scott Pichard. // J. Appl. Cryst. – 1971. – V. 4. – P. 506-511.
 9. A. S. 1368320 USSR, MKI C09B 67/48. A method of producing a crystalline modification of organic pigments / Application No. 3979248/23; Appl. 25.11.85; publ. 23.01.88. Bull. No. 3, 1988.
 10. A. S. 1455690 USSR, MKI C09B 5/62, 67/48. A method of producing β -modification hingedeaeg pigment Application No. 4071390; Appl. 27.05.86; publ. 01.10.88. Bull. No. 7, 1988.
 11. A. S. 1521747 USSR, MKI C09B 67/00. A method of producing pigments in the crystalline modification / Application No. 4126151; Appl. 24.06.86; publ. 15.10.89. Bull. No. 42, 1970.
 12. A. S. 1654317 USSR, MKI C09B 5/62, 67/48. A method of producing γ -modification Chinacridone pigment. Bull. No. 21, 1991.
 13. Efros, L. S., Gorelik, M. V. Chemistry and technology of intermediates / L. S. Efros, M. V. Gorelik – L.: Chemistry, 1979. – 544 p.

Шапкин В.П., Мороз А.В. Синтез линейного хинакридона из аценафтена коксовой смолы, его физико-химические и колористические свойства

Приведены результаты исследования процесса синтеза линейного хинакридона (ЛХА) из аценафтена, выделенного из коксовой смолы после коксования каменного угля, и его выпускных форм. На примере синтезированного ЛХА получены образцы кристаллических модификаций, из которых γ -модификация идентифицирована с помощью рентгенографического и дисперсионного анализа в совокупности с колористическим и спектрофотометрическим методами анализа. Исследованы свойства синтезированного пигмента розового С хинакридонового в лакокрасочной промышленности.

Ключевые слова: синтез, линейный хинакридон, аценафтен, пигмент, модификации, анализ, свойства.

Shapkin V.P., Moroz A.V. Synthesis of linear CHINACRIDONE with the coke acenaphthene resin the physico-chemical and coloristic properties.

The results of the study of the process of synthesis of linear Chinacridone (LHA) with acenaphthene isolated from coke oven tar after coking of coal, and its outlet forms. For example, synthesized LHA samples of crystalline modifications, of which γ -modification is identified using radiographic analysis and analysis of variance in conjunction with the colour and spectrophotometric methods of analysis. We investigated the properties of synthesized pink pigment Chinacridone in the paint industry.

Key words: synthesis, linear quinacridone, acenaphten, pigment, modification, analysis, properties.

Шапкін Володимир Петрович, к.х.н., доцент кафедри хімічних і фармацевтичних технологій, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Рубіжне). 93009 м. Рубіжне Луганська обл., вул. Володимирська, д. 2, кв. 17. Тел. 066-558-01-48
Мороз Олексій Валерійович, к.т.н., асистент кафедри екології, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. Ст. Даля (м. Рубіжне). 93012 м. Рубіжне Луганська обл., пр. Московський, д. 23, кв. 2. Тел. 095-340-89-67.

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

Стаття подана 10.04.2017

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 62

ANALYSIS OF MODERN MONITORING METHODS OF EQUIPMENT AT PETROCHEMICAL PLANTS IN THE PROCESS OF OPERATION

Karmanov N. I., Baturin A.I., Ivanov V.G.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ОБЛАДНАННЯ НАФТОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Карманов М.І., Батурин О.І., Іванов В.Г.

The article analyzes modern monitoring methods of equipment at petrochemical plants in the process of operation. The article suggests general requirements for designing of control devices and particularly primary converters for measuring parameters of a magnetic field.

Key words: control, monitoring, method, parameter, technological conditions.

1. Introduction. In current economic conditions, one of the main ways to increase profitability of industries with a continuous production cycle is the reduction of costs for the operation of technological equipment and elimination consequences of accidents.

One of the main features of continuous industrial equipment operation of environmentally unsafe industries is cyclical works, destruction under the influence of medium and parameters of technological process. Also hidden technological defects have a significant impact on integrity of equipment.

Hazardous fatigue fractures and various defects of corrosive nature are formed in metalwork as a result of long-term operation of petrochemical production equipment and various adverse factors. In the overwhelming majority of cases statistic data show that the causes of defects in equipment are operating parameters and operating conditions.

The operation of modern petrochemical equipment is characterized by wide range of operating areas, which depend on technological processes of production: operating pressure, operating temperature, operating medium.

Under the influence of loads a number of deformations occur: metalwork is strongly deformed,

welds are destroyed in welded structures, cavities and coarse cracks are formed, liquation inclusions of foreign material are appeared and etc. As a result of imperfections in the manufacturing technology or operation under difficult conditions various defects such as affecting the integrity of or homogeneity of the material, deviation from a given chemical composition, a structure or specified sizes, changing their shapes (configuration) are appeared.

The problem of detection defects always remains relevant. It requires new methods, approaches to control monitoring and the development of new devices and measuring equipment.

The vast majority of industrial metalwork of petrochemical equipment is made of ferromagnetic material - domestically and foreign manufactured steel, for example, a large number of these materials are the basis of reactor designs and installations.

Thus, carbon steel and cast iron occupy a considerable part of specific quantity of metal in the equipment design and their range is very significant. Also it should be noted, that the thickness of the applied equipment also varies within wide limits from 2.5 until 650 mm, which in turn requires the development of appropriate methods and instrumentation. Almost all of the alloying additives are magnetic materials, which gives the opportunity to use control of their magnetic field.

2. Analysis of monitoring methods and instruments for its implementation. The basis of existing methods of diagnostics and monitoring of industrial equipment is the study of the physical properties of materials under the influence of X-rays,

infrared, ultraviolet and gamma rays, radio waves, ultrasonic vibrations, magnetic and electrostatic fields, etc.

There are a very large number of techniques used in analysis. It can be very useful to classify the measurement process according to a variety of criteria: visual method, x-ray testing, gamma-testing, radio-testing, infrared testing, magnetic particle testing, eddy current testing, thermoelectric testing, velocimeter method, tribo-electrical testing, electrostatic testing, ultrasonic testing, resonance method, impedance method, free vibration method, cupellation testing [1].

Thus, after comparing the methods we can say that each has its own advantages and disadvantages and can be used only for a specific type and size of defects and a limited list of materials. Some methods have particular sensitivity within the specified limits. The other number methods are used for detecting defects only on surfaces or operating at a certain depth, control only heated products, compare structure of material or require additional equipment and methods of protection (e.g. biological protection with gamma-testing) and others. One common drawback of all methods is the relatively low degree of automation of a primary sensor, percentage of its controlling surface and level of flexibility and mobility.

Both methods and instruments have significant differences and therefore cannot be used as universal. In the same way they are not effective for specific measurements and accurate enough to get the result. According to the characteristics and parameters instruments can be divided into portable and stationary, single mode and multi-mode, multi-parameter, single and multi-channel, single-frequency and multi-frequency.

The other can vary by different output modes and information storage, bandwidth, the ability to work with a PC or other devices, standard laboratory equipment, the duration of the battery life and reliability.

Most flaw detectors are not suitable for monitoring measurements and require two or more operators. During inspection the sensors in most cases are held by operator and such conditions lead to increased measurement errors and defined as a secure method of work.

Summing up analyzed methods and flaw detectors, which are used to control production, we should define generalized characteristic of them:

- Structurally, the instruments are a set or complex;
- The remote sensors are not universal, as a rule, are made to the size and shape of the diagnosed equipment, in most cases, they are awkward;
- Most sensors are not fixed and held by the operator that has a significant impact on the accuracy of measurements;
- Significant impact on the work of most types of sensors has an external electrostatic and magnetic fields.

For a more complete and accurate technical inspection of equipment it is necessary to apply the maximum reliable integrated non-destructive testing methods.

In particular, for identifying dangerous emerging and developing defects of different nature can be effectively used one of magnetic methods listed in Figure 1. According to the adopted classification [2], this allows to record wave elastic stresses that occur as a result of internal restructuring of the local dynamic material of construction.

The most effective way to solve this problem is by magnetic method of nondestructive testing.

The first main advantage of this method is that the result of research is given almost instantly.

Secondly, when it is carried out, the process equipment does not need to be decommissioned.

Thirdly, among existing non-destructive methods of control, the magnetic method is not only one of the most universally used to control the structure and mechanical properties of objects from ferromagnetic materials, but also the most high-performance and provides enough necessary measurement accuracy and maximum coverage of the structure.

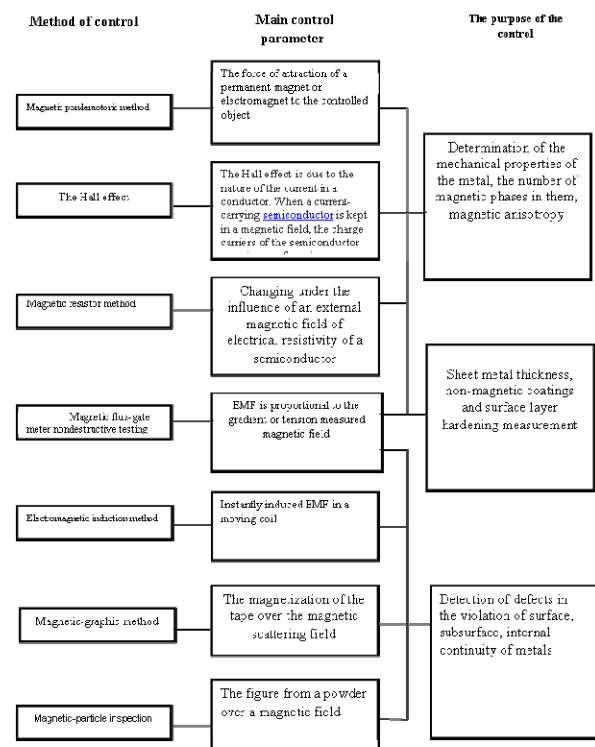


Fig. 1. Classification of magnetic control methods

The fourth feature is that the magnetic method of monitoring allows you to reduce the cost of research, since there are no costs for the manufacture and testing of prototypes. This is especially true for industrial equipment of large volumes due to the increased labor intensity and duration of the manufacturing process of control samples for mechanical testing and metallographic research.

One of the main parameters by which one can judge structural changes and control development process, along with others, is the coercive force H_c . Due

to the fact that under the influence of technological factors, H_c in the zone of elastic deformation of the material gradually changes according to certain dependencies directly related to the peculiarity of the proceeding technological process. And when the defect appears and develops, the value of H_c is not relevant, because parameters and dynamics of defect development are paramount, which is controlled by the magnitude of the scattering field.

It is possible to determine in advance the appearance of the defect zones in equipment by the actual change in the magnetic properties of the walls of the ferromagnetic material during using a stationary magnetic sensor with magnetically sensitive elements. This method of investigation can determine the most striking areas of equipment during the process, it makes it possible, due to the dynamics of changes in the parameters of the process, to "correct" the foci of destruction of metal and prolong its controlled operation.

Therefore, when monitoring would be ensured through continuous monitoring and dispersion of magnetic field controlled by region on the current object. Therefore, the control unit must be securely installed on a stationary object control, if necessary, should move across the surface of an object on the specified path, and at regular intervals to record and give necessary information in the right form in any way by a specified distance.

One of the features of monitoring the equipment of industrial facilities is control in areas that are difficult to access and areas where "non-dangerous" local defects have been identified during maintenance, but which allow the operator to continue to operate this equipment on condition of constant monitoring. In order to accurately link the results of monitoring all problem areas of the equipment material, it is necessary move sensors along a given route in their own motion, with reference to the path or by the established reference beacons.

The modern classification of magnetic methods of control and analysis of the equipment allow us to draw a conclusion that devices and methods for monitoring the integrity of the walls of industrial equipment conducted with the help of matrix magnetic sensitive elements are not exist nowadays. It is necessary to establish general requirements for the design of control devices and especially the system of primary transducers for measuring magnetic field. Thus, the design of the sensor must have primary converters and function of dividing the electromagnetic field in the extent and area of the converter. It should suppress influence on original signal converter changes the electromagnetic field, not typical for defects due to constructive field, which contains matrix magnetic sensitive elements.

5. Conclusion. Based on the analysis of the possibility of using existing magnetically sensitive elements for operation in industrial facility monitoring systems, we come to the conclusion that basic requirements for such converters, their power supplies

and schemes for preliminary processing of the output signal must be developed. Converters should be determined by a number of indicators:

- high sensitivity detection of subsurface defects at low values of operating voltages and currents;
- high temporal and thermal stability;
- high level of transformation (easy connecting to a group of-matrix);
- high noise immunity;
- the reliability of the information obtained;
- accuracy and durability;
- the relative simplicity of design;
- minimum weight parameters;
- a simple and convenient way of installing and fixing;
- possibility to install on any form the surface of the object;
- possibility to install on any material controlled object;
- possibility of independent installation without any preliminary preparation of the surface of an object;
- possibility of installation on outdoor and indoor platforms;
- easy maintenance mode;
- transmission of information in any way (wired or wireless);
- transmission of information in the specified temporary mode;
- possibility to adjust the conversion function of matrix magnetic sensitive elements;
- stabilization of parameters of matrix magnetic sensitive elements whiles their long-term exploitation;
- low cost and price.

References

1. Nondestructive testing: Handbook: In 7 tons / Under total. Ed. VVKlyuev. T. 7: Kn.2: Vibrodiagnostics. / F.Ya. Balitsky, A .B. Barkov, H.A. Barkova and others. Moscow: Mechanical Engineering. - 2005. 829c. : ill. .
2. Kostyukov VN Monitoring of production safety. - Moscow: Mechanical engineering. -, 2002 - 224 p. Yl. and functioning of the system / SY Egorov [et al.] // Inform. technology in design and pr-ve. - 2010. - № 1. - S. 33-39

Література

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 7: Кн.2: Вибродиагностика. / Ф.Я. Балицкий, А .В . Барков, Н.А. Баркова и др. Москва: Машиностроение. - 2005. 829с.: ил. .
2. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства. — Москва: Машиностроение. —, 2002 — 224 с. ил.

Карманов М.І., Батурин О.І., Іванов В.Г. Аналіз сучасних методів моніторингу обладнання нафтохімічних виробництв в процесі експлуатації.

У статті проведено аналіз сучасних методів моніторингу обладнання нафтохімічних виробництв в процесі експлуатації. Зроблено висновок на основі відповідних фактичних результатів. Запропоновано загальні вимоги до конструкції пристроїв контролю і перш за все до системи

первинних перетворювачів для вимірювання параметрів магнітного поля

Ключові слова: контроль, моніторинг, метод, параметр, технологічні умови.

Карманов М.И., Батурин А.И., Иванов В.Г. Анализ современных методов мониторинга оборудования нефтехимических производств в процессе эксплуатации.

В статье проведен анализ современных методов мониторингу оборудования нефтехимических производств в процессе эксплуатации. Сделан вывод на основе соответствующих фактических результатов. Предложены общие требования к конструкции устройств контроля и прежде всего к системе первичных преобразователей для измерения магнитного поля

Ключевые слова: контроль, мониторинг, метод, параметр, технологические условия.

Карманов Микола Іванович, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Сєверодонецький хіміко-механічний технікум Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля

Батурін Олександр Іванович, старший викладач кафедри програмування та математика Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля

Іванов Віталій Геннадійович, канд. техн. наук, доцент кафедри програмування та математика Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля

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

Стаття подана 12.04.2017

УДК 620.193

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АНОДНИХ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ ШЛЯХОМ ПОДОЛАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ БАР'ЄРІВ

Архипов О. Г., Усов Д. І., Карпюк Л. В., Галабурда Н. І.

IMPROVING EFFICIENCY OF THE ANODE EARTHING SWITCHES BY OVERCOMING OF ELECTROCHEMICAL BARRIERS

Arhypov O. G., Usov D. I., Karpyuk L. V., Galaburda N. I.

Захист промислового обладнання від корозії є однією з найбільш актуальних задач промисловості і науки. Катодний захист газо- і нафтопроводів - один з поширених і дієвих методів протикорозійного захисту. Пошук нових підходів щодо підвищення ефективності роботи станцій катодного захисту і зменшення споживання електроенергії катодними установками ведеться за декількома напрямками. В запропонованій роботі розглянуто питання зменшення електричного опору анодного заземлювача в системі метал аноду-коксова засипка-грунт шляхом активізації корозійних процесів на аноді.

Ключові слова: станція катодного захисту, анодний заземлювач, електрохімічна корозія, метал.

Вступ. Україна має одну з найбільш розгалужених систем газопроводів в Європі. Для підтримки її в належному стані використовується ряд технічних і організаційних заходів. Враховуючи агресивність складових середовища всередині труби і вплив зовнішнього середовища в сукупності з механічними навантаженнями, доведено, що корозія труб є найпоширенішою причиною пошкоджень і аварій. З метою зменшення швидкості коррозійних процесів використовуються активні і пасивні методи захисту. Зважаючи на те, що коррозійні процеси визначаються великою кількістю чинників, доцільно для захисту від корозії використовувати електрохімічний метод захисту.

Викладення основного матеріалу. На цей час найбільш ефективним і поширеним є захист газопроводів катодною поляризацією. Електрохімічний захист обов'язково доповнюється пасивним захистом зовнішньої поверхні труб шляхом нанесення ізоляційного покриття. При катодному захисті труби відіграють роль катоду (мають від'ємний потенціал), а анодний заземлювач під'єднується до додатного потенціалу. За рахунок цього в процесі експлуатації корозійні процеси на катоді гальмуються, а на аноді пришвидшуються. З часом анод втрачає масу і частково розчиняється. Для виготовлення анодів використовуються як метали, так і неметалеві

матеріали (графіт, феросилід, титан тощо). Хоча швидкість розчинення сталевих анодів вище ніж у неметалевих, їх використання може бути вигідним з економічних причин, бо для їх виготовлення береться переважно металевий брут: експлуатовані труби, швелери, двотаври тощо.

Складові типової установки катодного захисту [1,2,3] показані на рис. 1.

За умови правильної експлуатації установки катодного захисту корозійні процеси на газопроводі зводяться до мінімуму, що забезпечує експлуатацію газотранспортної системи протягом тривалого часу.

Практика експлуатації довела, що однією з проблем, що виникає з часом, є поступове збільшення електричного опору між анодним заземлювачем і ґрунтом. Це змушує ставити додатково нові анодні заземлювачі, які підключаються окремо або паралельно до вже працюючих, якщо ті неповністю використали свій ресурс.

У випадку, що описується нижче, досліджувалися анодні заземлювачі, виготовлені з труб, які тривалий час були в експлуатації в складі газопроводу (біля 20 років). Труби Ду159 виготовлені зі сталі 20, довжина – 20 метрів, закладання вертикальне. В результаті проведених досліджень анодних заземлювачів, що були в експлуатації від 1 до 20 років було встановлено, що суттєвих змін механічних характеристик не відбулося [4]. Металографічні дослідження показали, що у труб анодів після 10 років експлуатації відмічається певне розкладання перліту. Не виявлено і значних корозійних пошкоджень зовнішньої і внутрішньої поверхонь анодів. Наприклад, за 20 років експлуатації анодами глибина корозії назовні труби складає до 1мм, а на внутрішній поверхні до 0,7 мм. Таким чином, анодні заземлювачі за своїм фізичним станом могли б і далі експлуатуватися в якості анодів в складі станцій катодного захисту. Але проведені заміри електричного опору між ґрунтом і анодними заземлювачами показали його зростання від 2 до 20-40 Ом.

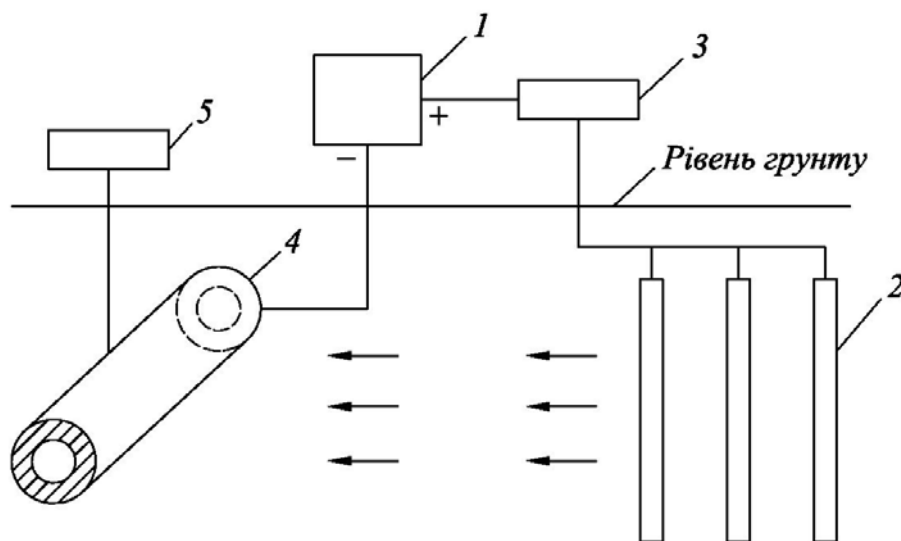
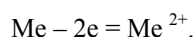


Рис. 1. Принципова схема установки катодного захисту:
1 – катодна станція, 2 – анодні заземлювачі, 3 – з'єднувальний пункт,
4 – газопровід, 5 – контрольно-вимірювальний пункт

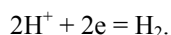
Отже, експлуатуючі організації вимушені закладати додаткові анодні заземлювачі. Такі операції досить трудомісткі і потребують:

- великої кількості організаційних заходів;
- буріння технологічних свердловин під глибинні анодні заземлювачі або копка котлованів під закладання підповерхневих анодних заземлювачів;
- перевезення великої кількості матеріалів (коксового дріб'язку, кабельних з'єднуючих ліній тощо.);
- перевезення персоналу для ремонту анодних заземлювачів;
- використання землерійної техніки для закладання з'єднуючих кабельних ліній тощо.

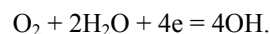
Враховуючи задовільний стан металу анодів нами було запропоновано замість установки нових заземлювачів поліпшити роботу вже діючих. Для цього необхідно порушати бар'єри в системі анод-кокс-кокс-ґрунт, інтенсифікувавши корозійні процеси на аноді. Як відомо [5], процеси, що забезпечують протікання електрохімічної корозії, описуються наступним рівнянням:



На аноді протікає реакція окиснення, а на катоді відбувається відновлення компонентів середовища. Як правило, у водних електролітах окисниками виступають іони гідрогену H^+ (корозія з водневою деполяризацією) або розчинений у воді кисень O_2 (корозія з кисневою деполяризацією). У першому випадку під час катодного процесу виділяється водень:



У другому утворюються чотири гідроксид – іони:



Переважаюча більшість ґрунтів, де досліджувались анодні заземлювачі, мають змішаний тип ґрунту (чорнозем з глиною, глина з крейдою) з досить глибоким заляганням ґрунтових вод. Сам район відноситься до таких, що мають малу кількість опадів в весняно-літній період. Для досягнення поставленої мети було запропоновано розташувати біля анодів хімічно активні речовини (рис. 2).



Рис. 2. Закладка мішків з хімічно-активними речовинами біля анодів

Вони були упаковані в мішки з бейлінгу або поліпропілену і закопані на глибину більшу за величину промерзання ґрунту в даній місцевості (≥ 2 м). В якості донорів іонів були використані кухонна сіль (NaCl), технічна сіль, аміачна селітри і продукти зі складом: Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO_3^{2-} .

Враховуючи, що корозійні електрохімічні процеси протікають в середовищі рідких електролітів, був виготовлений анодний заземлювач з періодично розташованими по висоті отворами (рис. 3).

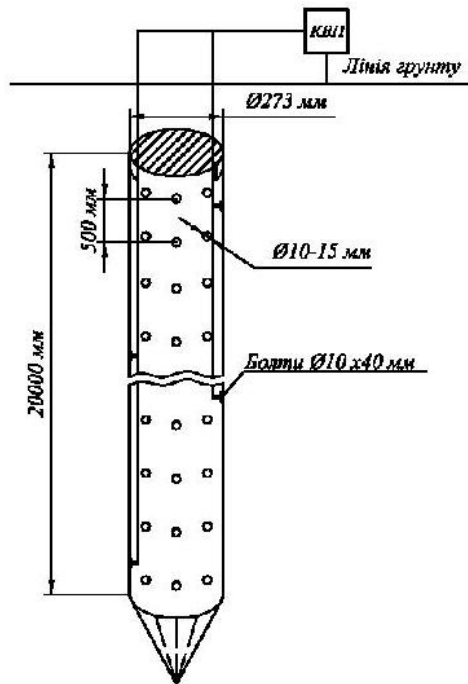


Рис. 3. Конструкція аноду з отворами

Така конструкція дозволяє в літній період вести заливку водою, або технічним розчином внутрішньої частини заземлювача на повну його довжину.

Ми сподіваємось, що запропоновані заходи дозволять добитись поставленої мети – активізувати роботу існуючих анодів без збільшення на них потенціалу і закладання нових заземлювачів. Закладка мішків відбулась в осінній період до дощового періоду на різних за характером ґрунтах. Перед тим були виміряні електричні опори в системі метал аноду-коксова засипка – ґрунт. Коливання ґрунтових вод і зволоження опадами восени і навесні, на нашу думку, дозволить інтенсифікувати руйнування бар'єрів в анодній зоні. Спостереження за роботою катодних станцій в наступний літній період дозволять отримати відповіді на названі задачі.

Висновки. Подовження терміну експлуатації і підтримання експлуатаційних характеристик анодних заземлювачів шляхом зменшення електричної опірності в системі метал аноду-коксова засипка-ґрунт дозволяє:

– відкинути необхідність улаштування нових анодних заземлень (копання котлованів, буріння но-

вих свердловин, установка додаткових або нових анодних заземлювачів, їх обслуговування);

– усунути необхідність збільшення величини потужності на катодних станціях;

– поліпшити економічні показники при експлуатації систем катодного захисту.

Література

1. Защита от коррозии подземных сооружений и промышленных предприятий / Б. Г. Дубровский, С. А. Волотковский, В. Я. Заблудовский / - Киев: Техника 1979 – 240с.
2. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів / В. В. Розгонюк, Ю. П. Пушков, Ю. О. Кузьменко, В. А. Шишківський / - Київ: Росток, 2000. – 284с.
3. Довідник працівника газотранспортного підприємства / В. В. Розгонюк, А. А. Руднік, В. М. Коломєєв і ін. / - Київ: Росток, 2001. – 1090с.
4. Експлуатаційна деградація трубної сталі анодів заземлення / О. Г. Архипов, Д. О. Ковальов, Д. І. Усов, О. В. Любимова-Зінченко, Т. П. Венгранюк // Фіз.- хім. механіка матеріалів. – 2016, №2. – с. 87 - 91.
5. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг / О. Г. Архипов, В. А. Борисенко, М. С. Хома, О. В. Любимова-Зінченко / - Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Далі, 2016. – 204с.

References

1. Zashchita ot korrozii podzemnykh sooruzhenii i promyshlennykh predpriyatii / B. G. Dubrovskii, S. A. Volotkovskii, V. YA. Zabudovskii / - Kiev: Tehnika 1979 – 240s.
2. Tehnichna ekspluatatsiya sistem zahistu vid pidzemnoi korozii magistral'nykh gazoprovodiv / V. V. Rozgonyuk, YU. P. Puzh-kov, YU. O. Kuz'menko, V. A. SHishkiv'skii / - Kiiv: Rostok, 2000. – 284s.
3. Dovidnik pracivnika gazotransportnogo pidpriemstva / V. V. Rozgonyuk, A. A. Rudnik, V. M. Kolomeev i in. / - Kiiv: Ro-stok. 2001. – 1090s.
4. Ekspluatatsijna degradatsiya trubnoi stali anodiv zazemlennya / O. G. Arhypov, D. O. Koval'ov, D. I. Usov, O. V. Lyubi-mova-Zinchenko, T. P. Vengranyuk // Fiz.- him. mehanika materialiv. – 2016, № 2. – s. 87 - 91.
5. Degradatsiya stalej v agresivnykh seredovishchah, zalizhkovii resurs obladnannya i korozijnii monitoring / O. G. Arhypov, V. A. Borisenko, M. S. Homa, O. V. Lyubimova-Zinchenko / - Lugans'k: Vud-vo SNU im. V. Dallya, 2016. – 204s.

Архипов А. Г., Усов Д. И., Карпюк Л. В., Галабурда Н. И. Повышение эффективности работы анодных заземлителей путем преодоления электрохимических барьеров.

Защита промышленного оборудования от коррозии есть одной из наиболее актуальных задач промышленности и науки. Катодная защита газо- и нефтепроводов - один из распространенных и действенных методов противокоррозионной защиты. Поиск новых подходов относительно повышения эффективности работы станций катодной защиты и уменьшение потребления электроэнергии катодными установками ведется по нескольким направлениям. В представленной работе рассмотрен во-

прос уменьшения электрического сопротивления анодного заземлителя в системе металл анода-коксовая засыпка-грунт путем активизации коррозионных процессов на аноде.

Ключевые слова: станция катодной защиты, анодный заземлитель, электрохимическая коррозия, металл.

Arhypov O. G., Usov D. I. Karpyuk L. V., Galaburda N. I. Improving efficiency of the anode earthing switches by overcoming of electrochemical barriers.

Protection against of the corrosion industrial equipment is one of the most actual tasks of the industry and the science. Gas and oil pipelines cathodic defense is one of the most common and effective methods of the corrosion protection. The search of new approaches for improving the efficiency of the cathodic protection stations and electricity consumption decreasing of the cathode units is carried out by several directions. In the presented work the issue reducing the electrical resistance of anode grounding in the metal anode system the coke oven-backfill-ground by stepping up corrosion processes at the anode is considered.

Key words: cathodic protection station, anodic earthing, electrochemical corrosion, metal.

Архипов Олександр Геннадійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля
Усов Дмитро Ігорович, начальник ПКЗ Сєверодонецького 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 09.04.2017

УДК 331.45, 614.8:631, 621.396.6

РОЗРОБКА СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Биковський А. І., Романченко Ю. А., Шведчикова І. О.

DEVELOPMENT OF MODERN MATERIALS WITH HIGH PROTECTION LEVEL FROM ELECTROMAGNETIC RADIATION

Bykovsky A. I., Romanchenko Ju. A., Shvedchykova I. O.

У статті висвітлено питання захисту обслуговуючого персоналу від дії електромагнітних випромінювань шляхом зменшення їх інтенсивності. Наведено результати досліджень розроблених високоефективних електромагнітоізолюючих шаруватих екранів, виготовлених із вітчизняних матеріалів.

Ключові слова: *магнітоізолюючі матеріали, електромагнітоізолюючий шар, магнітоізол, коефіцієнт відбиття випромінювання, дифракція.*

Вступ. Широкий розвиток електронних систем та телекомунікацій призвів до серйозних проблем, пов'язаних з електромагнітним забрудненням. Тому актуальним завданням є розроблення ефективних засобів захисту організму людини від негативного впливу електромагнітного випромінювання. Теоретичними та клінічними дослідженнями встановлено шкідливий вплив електромагнітних випромінювань на організм людини, який може привести до погіршення координації руху, послаблення гостроти зору, ураження серцево-судинної та нервової систем, руйнації клітин тощо. Під впливом електромагнітного випромінювання відбуваються різноманітні біохімічні зрушення. Тому особливого значення набувають питання зменшення негативної дії різних проявів електромагнітного випромінювання [1].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Одним з найбільш поширених методів захисту від електромагнітного випромінювання є екранування. Для його здійснення застосовуються екрани різної конфігурації, виготовлені з міді, сталі, вуглеводневих волокон, полімерів, полімерних композиційних матеріалів тощо. Окрім того, значні захисні властивості також мають будівельні матеріали [2, 3].

В роботі [4] запропонований підхід до дослідження і розробки поглинаючих матеріалів на основі пінополістиролу (EPS) з додаванням графіту,

що має таку особливість: поглинаючі властивості матеріалу практично не залежать від кута падіння електромагнітної хвилі. Запропонований підхід дозволив створити матеріал з найкращими коефіцієнтами відбиття і поглинання в широкому діапазоні кутів падіння електромагнітної хвилі в нижній частині частотного діапазону.

Для захисту від електромагнітного випромінювання, що генерується працюючими електричними і електронними пристроями, розроблені і досліджені екрануючі матеріали на основі тканих матеріалів, покритих високопровідними шарами [5, 6].

Для ізотропного екранування в роботі [6] запропоновано використовувати зразки на основі мідного дроту і поліамідних ниток, виготовлених за допомогою електронного ткацького верстата. Результати досліджень в діапазоні від 2 ГГц до 20 ГГц [5] показали, що тканини з провідними покриттями мають певні переваги в порівнянні з тканинами з вбудованими металізованими нитками. У той же час екрануючі властивості в низькочастотному діапазоні (20 кГц – 50 кГц) для всіх досліджених провідних тканин ідентичні, незважаючи на тип провідної добавки.

В роботі [7] розглядаються сучасні дослідження в області проектування і характеристики композитів на основі полімер / вуглець в якості екрануючих матеріалів електромагнітного поля. Розглянуто комбінації вуглецевих наповнювачів з іншими компонентами, такими як металеві наночастинки або провідні полімери, визначено ефективність композитів/пристроїв для поглинання і/або відбиття електромагнітного випромінювання.

Аналіз літературних джерел щодо захисту від дії електромагнітних випромінювань показує, що найбільшу протидію проходженню електромагнітної енергії забезпечують металеві екрани. Способи

зниження рівня електромагнітних випромінювань, які діють на людину, розробляються в напрямі використання зовнішніх екранів. Електромагнітне випромінювання з поверхні та через поверхню екрана може бути частково приховано за допомогою різноманітного покриття у вигляді плівок, металевих сіток тощо.

У всіх сіткових захисних матеріалах ефективність екранування не зменшується зі збільшенням інтенсивності випромінювання, а деякі частоти електромагнітних випромінювань діють на клітини організму людини тільки при малих інтенсивностях або октавних частотах. Низькочастотні поля при значному опромінюванні можуть привести до розладу різних фізіологічних процесів.

Таким чином, потребують подальших досліджень поглинальні матеріали, які відповідають вимогам максимального поглинання електромагнітних хвиль в широкому частотному діапазоні при мінімальному відбитті.

Мета роботи. Розроблення шаруватих електромагнітоізолюючих екранів, виготовлених із вітчизняних матеріалів, та дослідження їх характеристик.

Для вирішення цієї проблеми необхідно проведення наукових досліджень та конструктивно-технологічних рішень із використанням різних якісно нових складових композицій.

Матеріали та результати досліджень. Електромагнітні хвилі виникають при прискореному русі електричних зарядів. Це взаємопов'язані процеси від зміни електричних і магнітних полів. Наскрізне поглинання електромагнітної енергії обумовлене проникненням електромагнітних хвиль через будь-який матеріал, що відтворює кратність захисту магнітних випромінювань. Найбільше наскрізне затухання мають суцільні металеві екрани. Проте принципового значення товщина матеріала не має, тому використовують переважно тонку металеву фольгу. Основним принципом зменшення дії електромагнітної енергії, яка проникає через матеріали екрана, являється наскрізне та дифракційне проникнення та затухання [8].

Величина наскрізного дифракційного проникнення та затухання залежить від орієнтації електромагнітних хвиль, а вектор електромагнітної складової по відношенню до напрямку електропроводів та площини сіток залежить від частоти випромінювання та характеристики сітки.

Захист людини від дії електромагнітного випромінювання, в основу якого закладено принцип поглинання електромагнітних хвиль, застосовується при створенні аналогів вільного простору при антенних навантаженнях. Екрануючі матеріали повинні відповідати вимогам максимального поглинання електромагнітних хвиль в широкому частотному діапазоні при мінімальному відбитті та відсутності шкідливих випромінювань.

Був розроблений екран магнітопоглинальний "МАГНІТОП" [9], який має шарову конструкцію.

На рис. 1 представлений загальний вигляд екрана магнітопоглинального "МАГНІТОП". Екран магнітопоглинальний має тонке листове оцинковане залізо 1, графітову суміш 2, яка містить порошок 3, вуглецеву тканину 4, сітку із скло- або базальтових волокон 5.

Екран магнітопоглинальний працює таким чином: на поверхні, яка відтворює електромагнітну хвилю, закріплюють запропонований екран магнітопоглинальний. Електромагнітні хвилі заданих частот подають під прямим кутом на поверхню оцинкованого заліза, графіту, де проходить відбивання значної частини цього поля. При цьому в організованій структурі матеріалу відбувається багаторазове внутрішнє відбивання та поглинання шарами графітової суміші, алюмінієвого порошку, вуглецевої тканини та діелектричною сіткою із склонилок або базальтових.

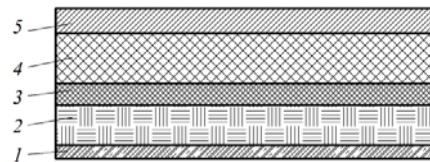


Рис. 1. Загальний вигляд екрана магнітопоглинального "МАГНІТОП" [9]

Були розроблені та досліджені багатошарові та технологічні за виготовленням конструкції МАГНІТОІЗОЛ-1 та МАГНІТОІЗОЛ-2 з високим рівнем захисту від електромагнітного випромінювання [10]. Магнітоізолюючий шаровий матеріал МАГНІТОІЗОЛ-1 включає базальтов'язальну тканину, яка просочена полімерною сумішшю, виготовленою із компонентів дисперсії ПВА – 35-40%, порошку кристалічного графіту – 50-55%, вермикуліту – 10-5%; вуглецеву тканину; склотканину або базальтову тканину. Шари закріплюють на клейовій основі.

Магнітоізолюючий шаровий матеріал МАГНІТОІЗОЛ-2 включає базальтов'язальну тканину, просочену полімерною сумішшю, виготовленою із компонентів акрилового клею – 35-40%, порошку кристалічного графіту – 50-55%, вермикуліту – 8-10%; вуглецеву тканину; лавсанову тканину, алюмінієву фольгу. Шари закріплюють на клейовій основі. Наприклад, на епоксидному клеї.

Результати експериментальних досліджень дії електромагнітних хвиль на поверхні матеріалів МАГНІТОІЗОЛ-1 та МАГНІТОІЗОЛ-2 приведені в табл.

На основі даних досліджень було відтворено залежності змін коефіцієнта відбиття від частоти коливань електромагнітних хвиль, які приведені на рис. 2. Крива 1 відтворює характер зміни коефіцієнта відбиття для матеріалу МАГНІТОІЗОЛ-1 та крива 2 відповідно для матеріалу МАГНІТОІЗОЛ-2. Як видно із проведених

досліджень коефіцієнт відбиття монотонно збільшується від частоти коливань.

Таблиця

**Характеристика властивостей
магнітоізолюючих матеріалів**

Коефіцієнт відбиття при частоті, МГц	Найменування матеріалу	
	МАГНІТОІЗОЛ-1	МАГНІТОІЗОЛ-2
50	0,60	0,60
100	0,65	0,70
500	0,80	0,85
1000	0,95	1,00
1500	0,90	0,95
2000	0,95	0,97
2500	0,90	0,95
3000	0,97	1,00
3500	1,00	1,05
4000	1,11	1,15

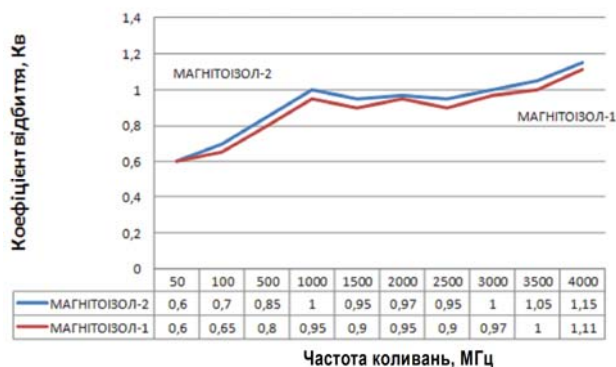


Рис. 2. Залежність коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль (K_v) від частоти коливань (МГц)

Прийнятливо-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак матеріалів і технічним результатом полягає у створенні умов для одночасних процесів багаторазового внутрішнього відбивання, дифракції і інтерференції електромагнітних хвиль в організованій структурі матеріалу і за рахунок цього практично повного поглинання їх енергії, тобто самих електромагнітних хвиль. Енергія електромагнітних хвиль перетворюється в теплову, яка завдяки високій теплопровідності елементарних волокон, контакту між ними, розсіюється по всьому матеріалу. Наведений в волокнах струм (за рахунок зміни потужності самої хвилі) легко нейтралізується всією масою матеріалу і особливо полімерною складовою матеріалу волокна. При сприйманні потужних електромагнітних хвиль вбирач їх може періодично (чи постійно) заземлятися.

Організована структура магнітоізолюючих шарових матеріалів при проходженні електромагнітних хвиль полягає в регулярному використанні базальтової тканини з графітовим наповнювачем. Завдяки цьому одне й теж елементарне волокно по чергові займає положення то на поверхні нитки (тканини), або в її центрі, як і в нижній її (по відношенню до поверхні тканини)

частини. При цьому, в організованій структурі матеріалу, розвиненій за рахунок використання для формування вуглецевої складової та базальтової тканини, яка включає графітову суміш, відтворюється їх багаторазове внутрішнє відбивання, дифракція, інтерференція і поглинання їх енергії в об'ємі матеріалу. Енергія електромагнітних хвиль, що поглинається, перетворюється в теплову енергію, яка ефективно розсіюється по поверхні матеріалу в першу чергу, завдяки високій теплопровідності безперервно зв'язаних вуглецевих ниток та організованим контактам між базальтовими нитками тканини. Потужність відбитої хвилі, яка вимірюється за допомогою приймальної антени, значно менша, ніж падаючої. Коефіцієнт відбиття обчислюється як відношення потужностей падаючої і відбитої хвилі.

Захист від електромагнітного випромінювання здійснюється шляхом розміщення магнітоізолюючого шарового матеріалу МАГНІТОІЗОЛ-1 і МАГНІТОІЗОЛ-2 між оператором і джерелом випромінювання.

Висновки.

Таким чином, розроблені та досліджені матеріали забезпечують високий рівень захисту людини від негативного впливу електромагнітного випромінювання. Матеріали технологічні за виготовленням і забезпечують значне збільшення ефекту захисту від негативного впливу на організм людини біологічно шкідливих випромінювань, що веде до зменшення професійних захворювань та травматизму.

Л и т е р а т у р а

- Евдокимова, В. А. Контроль електромагнітного излучения в производственной рабочей зоне и на судах [Текст] / В. А. Евдокимова, В. А. Маслов, О. Н. Товстокопый, В. В. Подобед // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – №2 (9). – С. 97-101.
- Гупало, О. С. Радиационная безопасность применяемых строительных материалов [Текст] / О. С. Гупало, А. С. Беликов, В. И. Денисенко, В. А. Шаломов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2008. – Вып. 46. – С.21-26.
- Островский, О. С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн [Текст] / О. С. Островский, Е. Н. Одаренко, А. А. Шматко // Физическая инженерия поверхности. – 2003. – Том 1, №2. – 161-173.
- Семенец, В.В. Разработка материала для защиты медицинского персонала от воздействия излучения [Текст] / В. В. Семенец, Т. Е. Стыченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 2(5). – С. 30-37.
- Rubežienė, V. Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives [Text] / V. Rubežienė, Ju. Baltušnikaitė, S. Varnaitė-Žuravliova, A. Sankauskaitė, A. Abraitienė, Jo. Matuzas // Journal of Electrostatics. – 2015. – Vol. 75. – P. 90-98.
- Chen, H. C. Fabrication of conductive woven fabric and analysis of electromagnetic shielding via measurement and

- empirical equation [Text] / H.C. Chen, K.C. Lee, J.H. Lin, M. Koch // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 184. – P. 124-130.
7. Thomassin, J. Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials [Text] / J. Thomassin, C. Jérôme, T. Pardoën, C. Bailly, I. Huynen, C. Detrembleur // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2013. – Vol. 74. – P. 211-232.
 8. Ключев, В. В. Испытательная техника. Справочник [Текст] / В. В. Ключев. – М.: Машиностроение, 1982.
 9. Патент на корисну модель № 85014, Україна, Н01В 17/64 (2006.01). Екран магнітопоглинальний "Магнітоп" / Биковський А. І., Толок О. В., Чувашов Ю. М., Гаврилюк М. С., Бужанко М. М., Мальгота О. А.; заявл. 18.04.13; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21. – 5 с.
 10. Патент на корисну модель № 85012, Україна, МПК (2013.01). Магнітоізолюючий шаровий матеріал "Магнітоізол" / Биковський А. І., Чувашов Ю. М., Настєвич В. П., Божко В. І., Ященко О. М.; заявл. 18.04.13; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21. – 5 с.

References

1. Evdokimova, V. A. Kontrol' jelektromagnitnogo izlucheniya v proizvodstvennoj rabochej zone i na sudah [Tekst] / V. A. Evdokimova, V. A. Maslov, O. N. Tovstokoryj, V. V. Podobeda // Naukovij visnik Hersons'koї derzhavnoї mors'koї akademii. – 2013. – №2 (9). – S. 97-101.
2. Gupalo, O. S. Radiacionnaja bezopasnost' primenjaemyh stroitel'nyh materialov [Tekst] / O. S. Gupalo, A. S. Belikov, V. I. Denisenko, V. A. Shalomov // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. – 2008. – Vyp. 46. – S.21-26.
3. Островский, О. С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн [Текст] / О. С. Островский, Е. Н. Одаренко, А. А. Шматко // Физическая инженерия поверхности. – 2003. – Том 1, №2. – 161-173.
4. Semenec, V.V. Razrabotka materiala dlja zashhity medicinskogo personala ot vozdeystviya izlucheniya [Tekst] / V. V. Semenec, T. E. Stycenko // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2016. – № 2(5). – S. 30-37.
5. Rubežienė, V. Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives [Text] / V. Rubežienė, Ju. Baltušnikaitė, S. Varnaitė-Žuravliova, A. Sankauskaitė, A. Abraitienė, Jo. Matusas // Journal of Electrostatics. – 2015. – Vol. 75. – P. 90-98.
6. Chen, H. C. Fabrication of conductive woven fabric and analysis of electromagnetic shielding via measurement and empirical equation [Text] / H.C. Chen, K.C. Lee, J.H. Lin, M. Koch // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 184. – P. 124-130.
7. Thomassin, J. Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials [Text] / J. Thomassin, C. Jérôme, T. Pardoën, C. Bailly, I. Huynen, C. Detrembleur // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2013. – Vol. 74. – P. 211-232.
8. Kljuev, V. V. Ispytatel'naja tehnika. Spravochnik [Tekst] / V. V. Kljuev. – М.: Mashinostroenie, 1982.
9. Patent na korysnu model' № 85014, Ukraїna, N01V 17/64 (2006.01). Ekrany magnitopoglynal'nyj "Magnitop" / Bykovs'kyj A. I., Tolok O. V., Chuvashov Ju. M.,

- Gavryljuk M. S., Bujanko M. M., Mal'gota O. A.; zavavl. 18.04.13; opubl. 11.11.13, Bjul. № 21. – 5 s.
10. Patent na korysnu model' № 85012, Ukraїna, MPK (2013.01). Magnitoizoljujuchyj sharovyj material "Magnitoizol" / Bykovs'kyj A. I., Chuvashov Ju. M., Nastjevyh V. P., Bozhko V. I., Jashhenko O. M.; zavavl. 18.04.13; opubl. 11.11.13, Bjul. № 21. – 5 s.

Биковський А.І., Подобед І.М., Романченко Ю.А., Шведчикова І.А. Розробка сучасних матеріалів з високим рівнем захисту від електромагнітного излучення

В статті освещены вопросы защиты обслуживающего персонала от действия электромагнитных излучений путем снижения их интенсивности. Приведены результаты исследований разработанных высокоэффективных электромагнитоизолирующих послойных экранов, изготовленных из отечественных материалов.

Ключевые слова: магнитоизолирующие материалы, электромагнитоизолирующий слой, магнитоизол, коэффициент отражения излучения, дифракция.

Bykovsky A. I., Podobjed I. M., Romanchenko Ju. A., Shvedchykova I. O. Development of modern materials with high protection level from electromagnetic radiation

Problems of service staff protection from electromagnetic radiation influence by intensity reducing described in the article. Magneto absorbing screen "MAGNETOP" with multi-layer construction is developed. Multilayered and manufacturability constructions MAGNITOIZOL-1 and MAGNITOIZOL-2 with high level of protection from electromagnetic radiation were developed and investigated. The results of experimental researches by influence of electromagnetic waves on surface of developed high-efficiency electromagnetically insulating layered screens made from available materials are presented. Dependence of reflection coefficient changes from electromagnetic waves frequency based on research data was constructed. The conducted studies have shown that reflection coefficient increases monotonically from frequency. It is established that, developed and studied materials provide a high level of human protection from the negative influence of electromagnetic radiation.

Keywords: magneticisalating materials, elektromagneticisalating layer, mahnitoizol, reflectance radiation, diffraction.

Биковський Анатолій Іванович – к.т.н., ДП «Інститут машин і систем» (м. Київ).

Романченко Юлія Андріївна – асистент кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля (м. Северодонецьк).

Шведчикова Ірина Олексіївна – д.т.н., професор, завідувач кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля (м. Северодонецьк). ishved@i.ua

Рецензент: д.т.н., професор **Горбунов М.І.**

Стаття подана 1.02.2017

УДК 510.21:378.147

ПРОБЛЕМА КОНЕЧНОГО И БЕСКОНЕЧНОГО В ПРЕПОДАВАНИИ МАТЕМАТИКИ**Бродский А.Л.****THE PROBLEM OF FINITE AND INFINITE IN THE TEACHING OF MATHEMATICS****Brodsky A.L.**

В статье анализируются некоторые аспекты проблемы конечного и бесконечного в математике. Дано краткое описание методических проблем преподавания математики в средней и высшей школах. Приведено доказательство, что математика способствует формированию абстрактного мышления у школьников и студентов. Наличие в математике проблем философского характера обязывает усилить философскую подготовку преподавателей математики, а также обучить их адаптировать изложение материала под разные уровни подготовки слушателей.

Ключевые слова: математика, философия, бесконечное, случайность.

1. Введение

Математика – специфический способ теоретического описания действительности, область знаний, имеющая свой особый статус в системе наук.

Абстрактный характер объектов математики, неопровержимость её доказательств еще тысячи лет назад привлекали внимание философов.

Основным философским вопросом математики является вопрос об отношении математических понятий, аксиом теорий, правил к реальному миру. Ответ на этот вопрос определяет и решение других философских вопросов внутри самой математики. Отсутствие полной и общепринятой философской разрешимости этих проблем, наличие нескольких конкурирующих теорий обоснования математики (структурализм, конструктивизм и т.п.) не должно препятствовать построению логически непротиворечивого и доступного математического образования.

Особенно важна такая доступность для обязательного школьного курса математики, а также для курсов математической подготовки специалистов-нематематиков.

2. Цель работы — рассмотрение в изложенном ракурсе проблемы конечного и бесконечного в математике, в том числе в методиках её преподавания.

Некоторые аспекты этой проблемы имеются в работах древнегреческих ученых (“Ахилл и черепаха” у Зенона). В средние века наблюдаем исследование понятия *бесконечность*, в частности выделены отдельно “потенциальная бесконечность” — как некий результат неограниченно повторяющейся процедуры, и “актуальная бесконечность” — как нечто противоположное по содержанию конечному и уже реализованное на данный момент. Появление в математике исчисления бесконечно малых (инфинитезималь) вновь привлекло математиков и философов к проблеме конечного и бесконечного. Несмотря на прекрасные практические результаты, гениальное открытие Лейбница и Ньютона не было признано многими учеными.

Однако, диалектика развития науки и образования через несколько веков сделали теорию бесконечно малых (и её продолжения) основой современного математического анализа.

Этапы (блоки) математического образования в основном повторяют в динамике этапы развития самой математики. Так в начальной школе к абстрактному понятию “число” приходят постепенно в процессе решения конкретных задач с конечным числом предметов или людей. Таким образом, реализуется вполне доступная для понимания концепция реализма, где первичным является некоторое количество реальных объектов, а вторичным — соответствующее математическое описание (модель). Несколько позже (7кл.) впервые появляется упоминание о бесконечности (процедура продолжения параллельных прямых). С точки зрения соответствующей классификации, речь идет о *потенциальной бесконечности*. Такой же является и множество всех натуральных чисел N (9кл.), где алгоритм $n \rightarrow n + 1$ обеспечивает для *любого* натурального числа вычисление следующего.

Однако, рассмотрение множества всех действительных чисел R уже является примером *актуальной бесконечности*. Интересно, что соответствующий геометрический образ — числовая пря-

мая даже в изображении отрезка не теряет характеристики актуальной бесконечности, поскольку *любой* отрезок уже содержит бесконечное множество точек. Парадоксы теории множеств не рассматриваются в школьной математической программе. В своей практической работе математики-преподаватели средней (и высшей) школы игнорируют утверждения о несуществовании актуальной бесконечности, подкрепленные доказательствами с опорой на классическую логику и “здравый смысл”. Дело в том, что упомянутые “логика” и “смысл” действительно являются надежными инструментами человеческой практики. Но это практика работы с *конечными* множествами объектов, предметов, событий и т.п. Поэтому, с точки зрения математики выглядит достаточно наивным, например, высказывание “если множество бесконечно, то к нему нельзя добавить элемент”.

Математики рассматривают важное понятие — *мощность* бесконечного множества (аналог *количества* элементов конечного множества). Между множествами одинаковой мощности можно установить взаимно-однозначное соответствие — *эквивалентность*. Таким образом, например отрезок $[0,1]$ эквивалентен отрезку $[0,2]$, функции $y = 2x$ и $x = \frac{y}{2}$ для прямого и обратного соответствия.

Именно такие результаты, озвученные как “часть равна целому” и противоречат “здравому смыслу”.

В дисциплине “Высшая математика” неоднократно встречаются противоречия и взаимодействия конечного и бесконечного. Так, в разделе “Введение в математический анализ” изучается понятие бесконечно малой величины. Противоречивость данного понятия в том, что переменная величина (последовательность) в процессе своего изменения может стать по модулю меньше *любого* заранее заданного положительного числа. Таким образом потенциальная бесконечность *количества значений* этой величины реализуется в конкретный результат — число ноль. Бесконечно малые величины являются, в свою очередь, надежным основанием таких понятий как “предел функции”, “определенный интеграл”, “сумма ряда”.

Раздел “Теория вероятностей” занимает особое положение в силу специфики предмета и метода. Событие называется *случайным*, если оно может произойти в результате испытания (эксперимента). Если событие не может произойти в таких условиях, его называют *невозможным*. *Вероятность* понимается как количественная характеристика (мера) возможности появления случайного события. Соответственно, для невозможного события его вероятность равна нулю. Однако, обратное утверждение может быть неверным. *Случайной величиной* называется переменная величина, которая в результате испытания принимает одно из своих возможных значений. Если такие значения изолированы — величина называется дискретной; если *целиком* заполняют не-

который конечный или бесконечный интервал — *непрерывной*.

Рассмотрим некоторую случайную величину X с интервалом возможных значений $[a, b]$. Несложно доказать, что вероятность следующего события $A: X \in [a, b]$ равна 1 (такие события называются достоверными). По условию *весь* интервал состоит из значений случайной величины X , т.е. возможна *любая* реализация $X = x^*$, $x^* \in [a, b]$, т.е. вероятность этого события положительна. Однако доказывается противоположный результат: $P(B^*: X = x^*) = 0$. Противоречие связано с *бесконечным* числом точек отрезка $[a, b]$ по которому “размазана” общая вероятность, равная 1 так, что каждой точке “достается” исчезающе малая (нулевая) вероятность. Данная проблема снимается *запретом* на вопрос о вероятности попадания случайной величины X в данную точку. Корректным объявляется вопрос о вероятности попадания X в интервал $[\alpha, \beta]$ с $[a, b]$; такая вероятность *всегда* будет положительной.

Выводы. Математика является основным, базовым предметом для развития у школьников и студентов способностей к абстрактному мышлению, моделированию реальных практических задач. Наличие внутри самой математики ряда проблем философского характера не должно влиять на качество математического образования. Одним из условий обеспечения этого качества можно считать достаточную философскую подготовку преподавателей школ и ВУЗов; их умение адаптировать изложение соответствующих разделов математики к возрасту и уровню подготовки школьников и студентов.

Л и т е р а т у р а

1. Катасонов В.Н. Бесконечность // Новая философская энциклопедия -М., Мысль, 2010, -Т. 1-281с.
2. Беляев Е.А., Перминов В.Я. Философские и методологические проблемы математики, МГУ, 1981.-214с.
3. Грасиан Э. Открытие без границ. Бесконечность в математике -М., Де Агостини, 2014-144с. (Мир математики Т. 18)
4. Антология философии математики.- М., Добросвет, 2002, 420с.

R e f e r e n c e s

1. Katasonov V.N. Beskonechnost // Novaya filosofskaya entsiklopediya -M., Myisl, 2010, -T. 1-281s.
2. Belyaev E.A., Perminov V.Ya. Filosofskie i metodologicheskie problemyi matematiki, MGU, 1981.-214s.
3. Grasian E. Otkryitie bez granits. Beskonechnost v matematike -M., De Agostini, 2014-144s. (Mir matematiki T. 18)
4. Antologiya filosofii matematiki.- M., Dobrosvet, 2002, 420s.

Бродський О.Л. Проблема кінцевого і нескінченного в викладанні математики

У статті аналізуються деякі аспекти проблеми кінцевого і нескінченного в математиці. Дано короткий опис методичних проблем викладання математики в середній та вищій школах. Наведено докази, що математика сприяє формуванню абстрактного мислення у школярів і студентів. Наявність в математиці проблем філософського характеру зобов'язує посилити філософську підготовку викладачів математики, а також навчити їх адаптувати виклад матеріалу під різні рівні підготовки слухачів.

Ключові слова: математика, філософія, нескінченне, випадковість.

Brodsky A.L. The problem of finite and infinite in the teaching of mathematics

In the article, some aspects of the problem of finite and infinite in mathematics are analyzed. The aim of the work is to consider, in the foregoing perspective, the problem of finite and infinite in mathematics, including in the methods of its teaching. In the discipline of "Higher Mathematics" there are repeatedly contradictions and interactions of the finite and the

infinite. Mathematicians consider an important concept - the power of an infinite set (an analog of the number of elements of a finite set). Between sets of the same cardinality one can establish a one-to-one correspondence-equivalence. It is shown that mathematics contributes to the formation of abstract thinking in schoolchildren and students. The presence in mathematics of problems of a philosophical nature obliges to strengthen the philosophical preparation of mathematics teachers, and to teach them to adapt the presentation of the material to different levels of training of listeners.

Keywords: mathematics, philosophy, infinite, randomness.

Бродський Олександр Львович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 93400, Луганська обл., м. Сєвєродонецьк, вул. Донецька, 41, лабораторний корпус

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

Стаття подана 30.03.2017

УДК 656.51-7:656.007:629.4.015

**КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ РУХУ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ
НА ВІЗКАХ З ЦЕНТРАЛЬНИМ І БУКСОВИМ РЕСОРНИМ ПІДВІШУВАННЯМ****Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю., Шевчук П.А.****COMPUTER MODELS OF DYNAMICS OF FLAT CARS WITH
THE BOGIES WITH CENTRAL AND AXLE-BOX SPRING SUSPENSION****Domin Iurii, Cherniak Ganna, Shevchuk Pavlo**

В статті розглядаються конструкційні особливості стандартних візків вантажних вагонів колії 1520 мм і 1435 мм. Представлено розроблення комп'ютерних моделей динаміки руху вагонів-платформ на візках моделі 18-100 та типу Y25 з метою подальшого порівняльного дослідження їх динамічних якостей, показників безпеки руху та впливу на колію.

Ключові слова: візки вантажних вагонів, технічні характеристики, вагон-платформа, динаміка руху, комп'ютерне моделювання.

Вступ. За прогностичними оцінками у найближчій перспективі передбачається нарощування обсягів перевезень вантажів за комбінованими схемами. Для задоволення однієї з основних умов конкурентоспроможності контейнерних перевезень за швидкістю просування поїздів комбінованого транспорту не нижче 1000 км за добу, необхідні швидкісні візки з конструкційною швидкістю 140 км/год з поліпшеними динамічними якостями і зниженим впливом на колію з тим, щоб поїзди комбінованого транспорту мали допуск на лінії, які передбачаються переважно для пасажирських перевезень.

Продуктивність комбінованих перевезень значною мірою визначається технічними характеристиками рухомого складу [1]. У свою чергу динаміко-експлуатаційні властивості вантажних вагонів суттєво залежать від параметрів і конструкційного виконання ходових частин – візків. Тому для збільшення вантажообігу та зменшення негативного впливу на верхню будову колії значна увага має приділятися вдосконаленню ходових частин рухомого складу.

Вантажні вагони колії 1435 мм переважно обладнуються візками типу Y25 зі звареною рамою на буксовому підвішуванні, що дозволяє реалізувати швидкості руху поїздів до 120 км/год [2]. Натомість стандартні візки моделі 18-100 колії 1520 мм мають центральне підвішування [2, 3]. Хоча в технічній

документації цих візків задекларовано конструкційну швидкість 120 км/год, за умов безпеки руху швидкості руху вантажних поїздів обмежені 80 км/год. Крім того, на низькому рівні знаходяться характеристики віброзахисту і показники взаємодії вагонів з верхньою будовою колії. Тому візки цього типу не придатні для обладнання рухомого складу комбінованого транспорту.

Отже проблема вибору ходових частин для забезпечення швидкісних інтермодальних та інтероперабельних перевезень є гостро актуальною. Вирішення цієї проблеми пропонується здійснювати покроково. Перш за все, щоб визначитись з напрямком подальших кроків, необхідно провести порівняльні дослідження динамічних якостей і впливу на колійну інфраструктуру вагонів на візках з центральним і буксовим ресорним підвішуванням. Це завдання пропонується розв'язати шляхом використання комп'ютерних технологій. Досвід численних досліджень, заснований на комп'ютерному моделюванні динаміки руху рейкових екіпажів, показує, що можливості, які надаються засобами моделювання, дозволяють користувачам максимально оперативно і з високим ступенем достовірності аналізувати проблеми, що виникають на практиці [4, 5, 6].

Мета статті полягає в аналізі техніко-експлуатаційних властивостей стандартних візків вантажних вагонів і у побудові комп'ютерних моделей для порівняльних досліджень динаміки руху вагонів-платформ на візках з центральним і буксовим підвішуванням.

Об'єкти моделювання. За базовий об'єкт моделювання прийнято вагон-платформа моделі 13-7024 для перевезень універсальних крупнотоннажних контейнерів на візках моделі 18-100. Для порівняльних досліджень розглядається варіант обладнання платформи візками типу Y25 адаптованих до експлуатації на залізницях колії 1520 мм

(Y25mod). Основні технічні характеристики цих візків наведено в таблиці.

Таблиця

Технічні характеристики вантажних візків

Показники та їх розмірність	Тип візка	
	Модель 18-100	Y25mod
Маса візка, кг	4800	4990
База візка, м	1,85	1,80
Жорсткість ресорних комплектів візка, МН/м	8,85	4,13 – при навантаженні $\leq 61,92$ кН/вісь, 8,61 – при навантаженні $> 61,92$ кН/вісь
Статичний прогин ресорного підвищення в порожньому/завантаженому стані, мм	8/48	20/66
Висота над рівнем головок рейок, мм	801	900
Максимальне осьове навантаження, кН	235	230
Відстань між центрами ковзунів, мм	1524	1700
Діаметр суцільнокатаного колеса, мм	950	950
Тип гальма	колодковий однібічний	колодковий двобічний

Візки моделі 18-100 мають складену роз'ємну раму з трьох литих елементів (надресорна балка і дві бокові рами, що жорстко спираються на букси), пружинний ресорний комплект з клиновим фрикційним гасителем коливань, плоский під'ятник і жорсткі бокові ковзуни [3]. Конструкційна схема ходових частин вантажних вагонів заснована на принципі переважного використання технічних рішень зв'язків несучих елементів у вигляді вузлів сухого тертя. Оскільки розглянуті пари сухого тертя – відкритого типу, то на процеси в зоні фрикційного контакту мають значний вплив зовнішні умови, що змінюються – вологість, температура, запиленість. Внаслідок цих обставин спостерігається значна розбіжність значень коефіцієнта тертя ковзання, що призводить до нестабільності і невідповідності характеристик ресорного підвищення в порожньому і завантаженому стані вагона. Через велику невіднесену масу (близько 90% загальної маси візка) вагони на візках моделі 18-100 спричиняють розлад колійної інфраструктури.

Інший принциповий недолік візків цього типу полягає в невідповідності його конструкційної схеми і параметрів вимогам стійкості руху вагонів. Проблема нестійкості вантажних вагонів полягає в тому, що при порівняно низьких швидкостях руху виявляється схильність візків до самозбудження незатухаючих горизонтальних коливань [2]. Схильність вантажних вагонів до інтенсивного виляння,

внаслідок чого знижуються показники безпеки руху, і різко підвищується рівень динамічної навантаженості ходових частин, призводить до високих витрат на ремонт колісних пар, п'ятникових вузлів, ресорного підвищення, бокових ковзунів і елементів кузова.

Візки типу Y25 мають суцільнозварну раму, буксове ресорне підвищення з білінійною силовою характеристикою (для режимів порожній-навантажений) і фрикційними гасителями коливань системи Lepoig, сферичний під'ятник зі зносостійкого прокладкою та бічні безазорні пружні ковзуни. Ковзуни такого типу постійно сприймають частину навантаження від кузова вагона та обумовлюють сили тертя при взаємних поворотах в плані кузова і візка, що призводить до утворення пари сил з моментом, який протидіє коливанням виляння візка.

Вагон-платформа моделі 13-7024.

Комп'ютерну модель динаміки руху платформи з візками моделі 18-100 розроблено за допомогою програмного комплексу UM [7]. Модель побудована з використанням підходу системи багатьох тіл, у відповідності з яким механічна система представляється набором твердих тіл, пов'язаних за допомогою шарнірних і силових елементів. Ця модель включає, по-перше, фрикційні клинові гасителі в якості окремих тіл, що мають по 6 степенів вільності кожне і знаходяться у контактній взаємодії з боковими рамами і надресорними балками, по-друге, використовує детальний опис контактної взаємодії в буксовому й п'ятниковому вузлах. Дерево підсистем цієї моделі представлено на рисунку 1.

Повна модель динаміки вагона містить 18 підсистем. Кузов вагона представляє тіло «Body», візки – підсистеми «Bogie_m», де $m = 1, 2$ – номер візка. На нижньому рівні розміщені підсистеми колісних пар «WSB_n» та підсистеми клинів «Wedge_k», де $n = 1-4$ – це номер колісної пари, $k = 1-8$ – це номер клина. Підсистема колісної пари «WSB_n» об'єднує стандартну підсистему колісної пари з двома твердими тілами, що відображають буксові вузли.

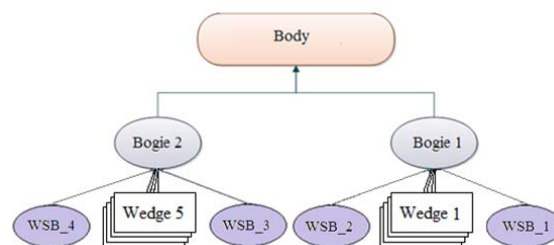


Рис. 1. Структура дерева підсистем динамічної моделі вагона-платформи на візках моделі 18-100

Кузовну частину платформи (рис. 2) характеризують наступні інерційні параметри: маса кузова m_{body} і центральні моменти інерції ix_{body} , iy_{body} , iz_{body} щодо поздовжньої, поперечної й вертикальної осей відповідно.

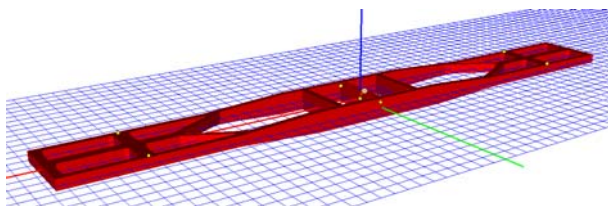


Рис. 2. Графічний образ кузова вагона-платформи

Модель динаміки вантажного вагона має використовуватися як для порожнього, так і навантаженого станів, що обумовлює необхідність зміни значень певних параметри моделі в автоматичному режимі. Для забезпечення цього застосовано ознаку *key*, зі значенням *key* = 0 – в разі моделювання порожнього стану і *key* = 1 – завантаженого стану. На підставі ознаки *key* інерційні параметри тіла «Body», зокрема, маса m_{body} і центральні моменти інерції ix_{body} , iy_{body} , iz_{body} відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей, обчислюються за формулами:

$$\begin{aligned} m_{body} &= m_{platf} + key \cdot m_{cargo}, \\ ix_{body} &= (1-key) \cdot ix_{platf} + key \cdot ix_{platf_cargo}, \\ iy_{body} &= (1-key) \cdot iy_{platf} + key \cdot iy_{platf_cargo}, \\ iz_{body} &= (1-key) \cdot iz_{platf} + key \cdot iz_{platf_cargo}, \end{aligned} \quad (1)$$

де m_{platf} – маса кузова платформи без вантажу;

m_{cargo} – маса вантажу;

ix_{platf} , iy_{platf} , iz_{platf} – центральні моменти інерції кузова порожньої платформи відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей відповідно;

ix_{platf_cargo} , iy_{platf_cargo} , iz_{platf_cargo} – центральні моменти інерції кузова завантаженої платформи відносно поздовжньої, поперечної та вертикальної осей відповідно.

Крім того, при зміні стану завантаженості вагона в моделі в автоматичному режимі змінюється значення відстані в вертикальному напрямку hc від початку локальної системи координат платформи (на рівні автозчепів) до її центру мас за виразом:

$$hc = (1-key) \cdot hc_{platf} + key \cdot hc_{platf_cargo}, \quad (2)$$

де hc_{platf} і hc_{platf_cargo} – це вертикальні відстані від початку локальної системи координат платформи до її центра мас в порожньому й навантаженому станах.

Також в залежності від стану завантаження вагона змінюється значення відстані в вертикальному напрямку h_{body} від базової системи координат СК0, що розміщена на рівні головок рейок, до початку локальної системи координат тіла «Body» як:

$$h_{body} = h_{body0} - key \cdot dzst, \quad (3)$$

де h_{body0} – це відповідна відстань в порожньому стані;

$dzst$ – різниця між статичними прогинами підвішування вагона в навантаженому і порожньому станах.

Підсистема візка включає 2 підсистеми «WSB_n», 4 підсистеми клинів і 3 твердих тіла (надресорна балка та 2 бокові рами). Побудована таким чином підсистема візка містить 15 тіл, має 58 степенів вільності, та включає 44 силових елементи, серед яких 6 лінійних пружних і 38 контактних. Графічний вигляд підсистеми візка «Bogie_1» показано на рисунку 3.

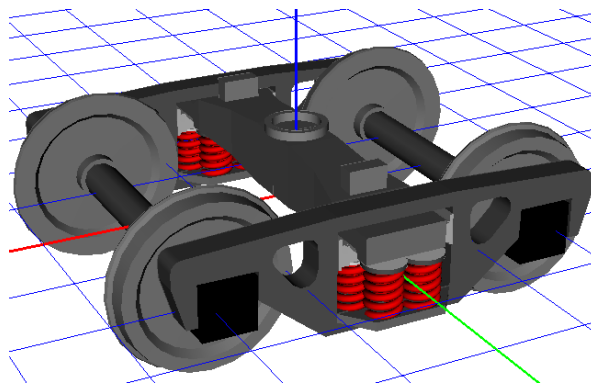


Рис. 3. Підсистема «Bogie_1»

Розроблена повна комп'ютерна модель динаміки руху вагона-платформи на візках типу 18-100 включає 18 підсистем, 31 тверде тіло й має 122 степені вільності. До неї входить 12 лінійних пружних і 86 контактних силових елементів.

Вагон-платформа на візках типу Y25mod.

Динамічну модель вагона-платформи на візках типу Y25mod побудовано за методикою, застосованою при моделюванні динаміки руху вагона-платформи моделі 13-7024. Структура дерева підсистем цієї моделі представлена на рисунку 4. Кожна підсистема – це об'єднання вкладених підсистем і/або твердих тіл, зв'язаних шарнірними й силовими елементами.

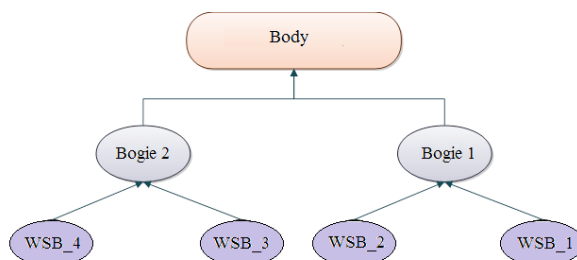


Рис. 4. Структура дерева підсистем динамічної моделі вагона-платформи на візках типу Y25mod

Основні інерційні, геометричні та пружнодисипативні характеристики розробленої моделі задані за допомогою ідентифікаторів, що забезпечує можливість їх змінювання під час проведення обчислювального експерименту й визначення раціональних параметрів. Для візуалізації динамічних проце-

сів в модель імпортовані 3D-моделі окремих елементів конструкції вагона, зокрема, кузова платформи, рами візка типу Y25, корпусів букс, утримувачів пружин та штовхачів, які побудовані за допомогою пакету SolidWorks [8].

Повна модель динаміки вагона на візках типу Y25mod містить 10 підсистем. Нижній рівень представляють 4 підсистеми колісних пар «WSB_n», де $n=1-4$ – це номер колісної пари, кожна з яких об'єднує стандартну підсистему колісної пари з двома твердими тілами, що відображають буксові вузли. Підсистема візка «Bogie_m», де $m=1,2$ – номер візка, включає дві підсистеми «WSB_n», $n=1, 2$ – для першого візка, $n=3, 4$ – для другого візків, а також дев'ять твердих тіл: раму візка, 4 утримувача пружин і 4 штовхача.

При відображенні пружинних комплектів підвішування візка Y25 в моделі застосовано силові елементи двох типів: лінійні – для представлення зовнішніх пружин, з коефіцієнтами жорсткості k_{xex} , k_{yex} , k_{zex} в поздовжньому, поперечному і вертикальному напрямках, та біполярні – для представлення внутрішніх пружин, з білінійною силовою характеристикою, яка забезпечує відсутність сили на першій ділянці, коли прогин не перевищує значення δ_0 , і зростання сили пропорційно прогину на другій ділянці з коефіцієнтом жорсткості k_{zin} . Слід зауважити, що половина зовнішніх пружин розміщена між буксовими вузлами і рамою візка, тоді як інша половина – між буксовими вузлами і утримувачами пружин, всі внутрішні пружини розміщені між буксовими вузлами і рамою візка.

Навантаження, що припадають на одну дворядну пружину в порожньому P_e і навантаженому P_l станах, обчислюються як:

$$\begin{aligned} P_e &= g \cdot (m_{platf} + 2 \cdot m_{frame}) / 16, \\ P_l &= g \cdot (m_{platf} + m_{cargo} + 2 \cdot m_{frame}) / 16, \end{aligned} \quad (4)$$

де m_{frame} – маса рами візка, g – прискорення вільного падіння.

Значення вертикальної сили P_δ , яку створює зовнішня пружина при прогині δ_0 , дорівнює $P_\delta = k_{zex} \cdot \delta_0$. Отже прогини підвішування вагона в порожньому dst_e і навантаженому dst_l станах становлять:

$$dst_l = \delta_0 + (P_l - P_e) / (k_{zex} + k_{zin}). \quad (5)$$

Сили, що утворюють фрикційні гасителі коливань типу Lepoir, залежать від сил натискання на бокові поверхні буксових вузлів. Вони пов'язані з поздовжніми складовими сил, які обумовлені похилим підвішуванням сержок до утримувачів пружин. Статичні поздовжні складові сили в порожньому N_e і навантаженому N_l станах обчислюються як:

$$\begin{aligned} N_e &= k_{zex} \cdot dst_e \cdot \operatorname{tg}(\alpha), \\ N_l &= k_{zex} \cdot dst_l \cdot \operatorname{tg}(\alpha), \end{aligned} \quad (6)$$

де α – кут нахилу підвішування сержок до вертикальної осі.

Побудована таким чином підсистема візка містить 17 тіл, має 50 степенів вільності та включає 42 силових елементів, серед яких 4 шарнірні, 12 контактних і 2 типу комбінованого тертя (для представлення дії пружних ковзунів). Графічний вигляд підсистеми візка «Bogie_1» показано на рисунку 5.

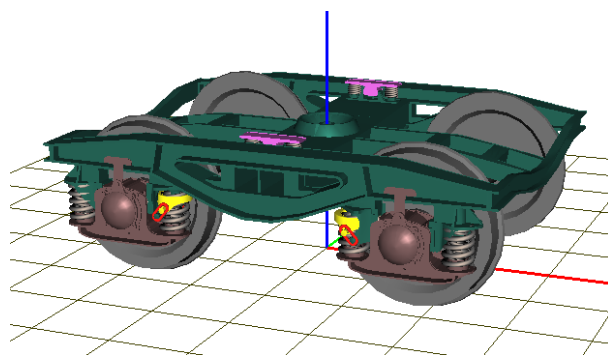


Рис. 5. Графічний вигляд підсистеми візка «Bogie_1»

Повна модель динаміки містить 2 підсистеми візків «Bogie_1» і «Bogie_2» та одне тверде тіло «Body», яке представляє кузов вантажного вагона, а саме, платформу. З метою моделювання вагона при двох станах завантаженості параметри тіла «Body» визначаються за виразами (1), (2), (3). Різниця dst між статичними прогинами підвішування вагона в навантаженому і порожньому станах обчислюється на підставі величин з виразів (5).

Розроблена повна комп'ютерна модель динаміки руху вагона-платформи на візках типу Y25mod включає 10 підсистем, 35 твердих тіл й має 106 степенів вільності. До неї входить 94 силових елемента: 8 шарнірних, 32 біполярних, 16 лінійних пружин, 34 контактних та 4 спеціальних типу комбінованого тертя.

Висновки. З порівнянь конструкційних схем і параметрів візків моделі 18-100 і типу Y25 встановлено, що останні вирізняються зменшеною невіднесеною масою, наявністю буксового ресорного підвішування зі зниженою жорсткістю в порожньому стані вагона і стабільними параметрами демпфірування коливань, а також має раму зварного типу, беззасорні пружні бокові ковзуни і гальмо з двостороннім натисканням на колеса колодкового секційного типу.

Для порівняльних досліджень динамічних показників безпеки руху і силової дії на колію вагонів-платформ моделі 13-7024 на візках моделі 18-100 і типу Y25 розроблені відповідні комп'ютерні моделі з використанням підходу системи зв'язаних твердих тіл (MBS). Обидві моделі дозволяють проводити моделювання динаміки вантажного вагона як в по-

рожному, так і навантаженому станах без додаткових налаштувань.

Література

1. Демин Ю.В. Железнодорожная техника комбинированного транспорта / Ю.В. Демин // Залізничний транспорт України. – 2011. – №6. – С. 9-12.
2. Дьомін Ю.В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення) / Ю.В. Дьомін. – К.: Юнікон-Прес, 2001. – 342 с.
3. Вагоны: Конструкция, теория и расчет / Под ред. Л.А.Шадур. – 3-е изд. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.
4. Демин Ю.В. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог / Ю.В. Демин, Р.Ю. Черняк, П.А. Шевчук // Залізничний транспорт України. – 2007. – №4. – С.3-8.
5. Tomaszewski Tomasz. Symulacje komputerowe dynamiki pojazdow szynowych. – Problemy kolejnictwa, zeszyt 139. – Warszawa, 2004. – S.68-92.
6. Дьомін Ю.В. Комп'ютерне моделювання динаміки рейкових транспортних засобів / Ю.В. Дьомін, О.П. Заховайко, Г.Ю. Черняк, П.А. Шевчук // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – 2014. – С. 94-98.
7. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / A. Sladkowski (Ed.). Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13-58.
8. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks 2006/2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А.А. Алямовский. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.

References

1. Domin Iu.V. Railway technics of combined transport / Iu.V. Domin // Railway transport of Ukraine. – 2011. – №6. – P. 9-12.
2. Domin Iu.V. Railway technics of international transport systems (freight transportation). – K.: Iunikon-Pres, 2001. – 342 p.
3. Cars: Design, theory and calculation / Edited by L. A. Shadur. – Third edition. – M.: Transport, 1980. – 439 p.
4. Domin Iu.V. Mathematical modeling and dynamics of the railway rolling stock / Iu.V. Domin, R.Iu. Domin, A.Iu. Cheniak // Railway transport of Ukraine. – 2007. – №4. – P.3-8.
5. Tomaszewski Tomasz. Symulacje komputerowe dynamiki pojazdow szynowych. – Problemy kolejnictwa, zeszyt 139. – Warszawa, 2004. – S.68-92.
6. Domin Iu.V. Computer simulation of the dynamics of the railway vehicles / Iu.V. Domin, O.P. Zakhovaiko, A.Iu. Cherniak, P.A. Shevchuk // Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic University". Mechanical Engineering Series. – 2014. – P. 94-98.

7. Pogorelov D.Yu. Simulation of Rail Vehicle Dynamics with Universal Mechanism Software / A. Sladkowski (Ed.). Rail vehicle dynamics and associated problems. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. – P. 13-58.
8. Alyamovskii A., 2007. SolidWorks / COSMOSWorks 2006/2007. Engineering analysis by the finite elements method. Moscow: DМК, 784 p.

Демин Ю.В., Черняк А.Ю., Шевчук П.А. Комп'ютерні моделі динаміки руху вагонів-платформ на тележках з центральним і буксовим ресорним підвішанням

В статті розглядаються конструктивні особливості стандартних тележок грузових вагонів колії 1520 мм і 1435 мм. Представлені розробки комп'ютерних моделей динаміки руху вагонів-платформ на тележках моделі 18-100 і типу Y25 з метою подальшого порівняльного дослідження їх динамічних характеристик, показателів безпеки руху і впливу на шлях.

Ключові слова: тележки грузових вагонів, технічні характеристики, вагон-платформа, динаміка руху, комп'ютерне моделювання.

Domin Iu., Cherniak G., Shevchuk P. Computer models of dynamics of flat cars with the bogies with central and axle-box spring suspension

The article considers design features of standard bogies of freight cars for 15200 mm and 1435 mm track. The development of computer models of dynamics of flat cars with 18-100 and Y25-type bogies was covered in the article for further comparative study of their dynamic parameters of safety in operation and impact on the track.

Key words: bogies of freight cars, technical characteristics, flat car, dynamics of motion, computer simulation.

Дьомін Ю.В. – д.т.н., професор, професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту, підйомних та транспортних систем ЧНУ ім. В.Даля, e-mail: domin1520.1435mm@gmail.com

Черняк Г.Ю. – к.т.н., ст.н.с., доцент, старший науковий співробітник кафедри залізничного, автомобільного транспорту, підйомних та транспортних систем ЧНУ ім. В.Даля, e-mail: anchernyak1520mm@gmail.com

Шевчук П.А. – аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту, підйомних та транспортних систем ЧНУ ім. В.Даля, e-mail: shevchuk1520mm@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.04.2017

УДК 656.073.28

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА МОРСКОГО РЕГИОНА ВОСТОЧНОЙ УКРАИНЫ

Зинченко С.Г.

TRANSPORT SYSTEM OF EAST UKRAINE SEA REGION

Zinchenko S.

В статье рассмотрена транспортно-технологическая система (ТТС) морского региона Восточной Украины. Раскрыто понятие инфраструктуры порта и рассмотрены факторы, влияющие на эффективность ее работы. Разработана экономико-математическая модель сравнительной оценки эффективности использования ТТС морского порта. Выделены основные факторы построения эффективной ТТС морского порта региона Восточной Украины.

Ключевые слова: транспорт, система, схема, порт, логистика, грузы, эффективность, регион, взаимосвязи.

Введение. Транспортно-технологическая система (ТТС) морского порта представляет собой интермодальный узел, функционирующий с целью обеспечения распределения и обработки потоков грузов. Основными грузами для Восточного региона всегда были металл, уголь, глина, зерно, генеральные грузы, контейнеры и другие [1].

В современных условиях развития экономики Украины транспорт является наиболее развивающейся отраслью, связывая между собой ее регионы, а также обеспечивая грузопотоки экспорта, импорта и транзита, что требует системного подхода к организации его работы и особенно актуально для Восточного региона Украины [2].

Постановка проблемы. Мариупольский порт выгодно расположен в узле транспортных коридоров, в центре самого большого промышленно-аграрного района на востоке Украины [3]. Поэтому такое количество транспортных потоков потребует переработки и анализа в кратчайшие сроки больших объемов информации о грузах, объектах транспорта, технологических и других специфических характеристиках обработки грузов.

Для успешного решения задачи точного и своевременного обмена информацией между всеми участниками транспортного процесса Восточного региона Украины предлагается создать на базе крупнейшего в регионе – Мариупольского порта ло-

гистический региональный центр (ЛРЦ), работа которого может базироваться на описании [4].

Экономико-математическая модель задачи организации движения грузов в ТТС региона Восточной Украины может быть записана в виде поиска значений дискретных переменных – интенсивности завоза грузов x_i^r , при которых в динамической постановке минимизируется величина целевой функции природно-энергетических ресурсов во взаимосвязи по видам транспорта (авто, ж/д, морской и т. д.) [5].

Анализ последних исследований и публикаций. В работах Хлопецкой Л.Ф. [1], Берестового М.О. [2], Войнаренко М.П. [4], Сергеева В.И. [5], Киркина А.П. [6] рассматривалось взаимодействие объектов ТТС порта в технологическом процессе грузопереработки. Однако пути улучшения работы ТТС морских портов необходимо рассматривать в разрезе как логистического, так и технического обеспечения. В статье актуализированы понятия развития технологических процессов.

Цель статьи. В работе рассмотрена ТТС морского порта как фактор для повышения эффективности работы инфраструктуры региона Восточной Украины.

Результаты исследований. Схема грузопотоков, связей участников транспортного процесса с портами, морские каналы в Мариупольском транспортном регионе Украины представлена на рис. 1.

На данной схеме представлены взаимосвязи всех предприятий региона. Отдельно выделены: перевозки железнодорожным транспортом (через ж/д станцию «Сартана»); автотранспортом (внешние и внутренние транспортные связи региона через морской порт); морские каналы, связывающие морские и речные порты региона по Азовскому морю; а также выделен аэропорт.

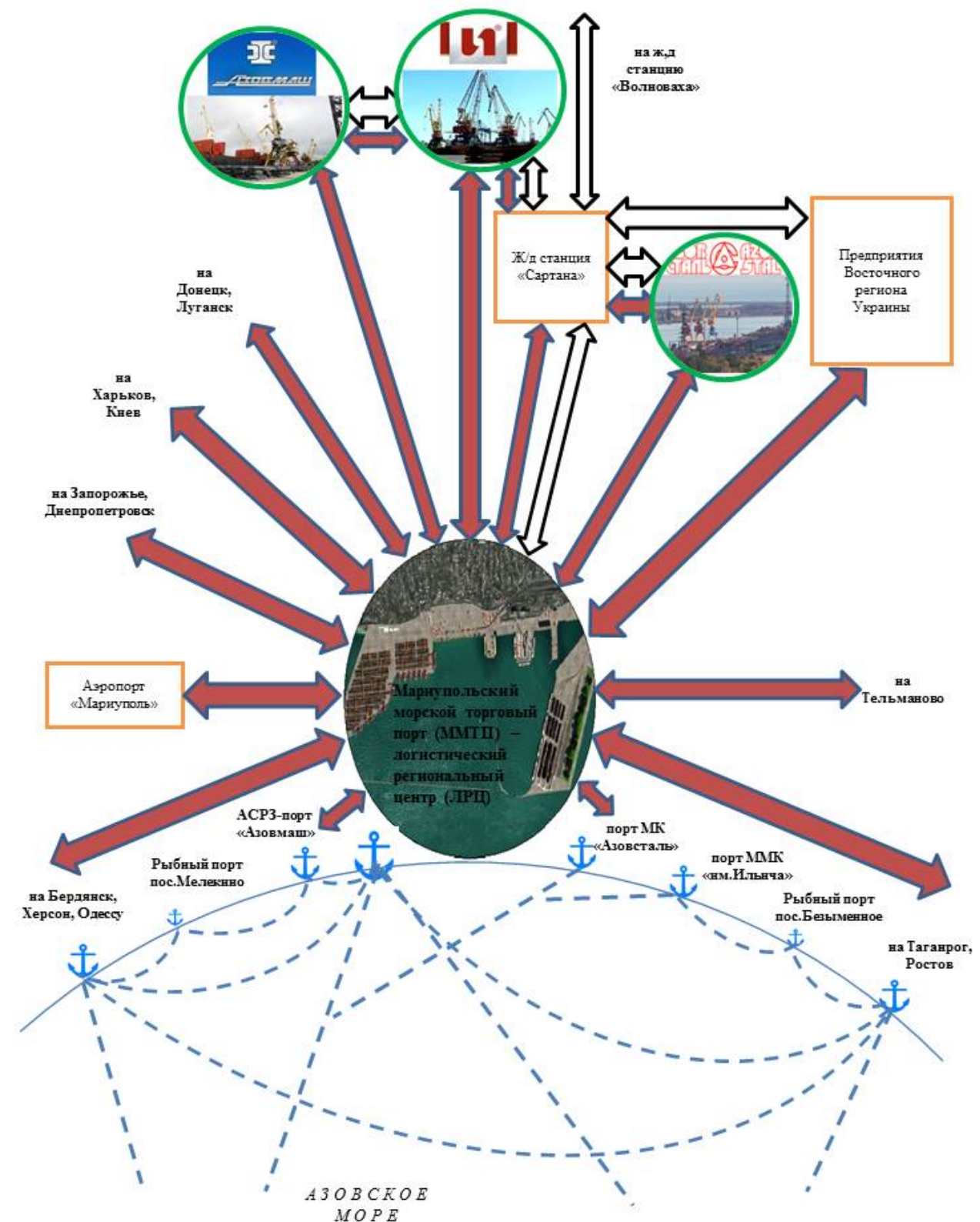


Рис. 1. Схема грузопотоков, взаимосвязи портов и морских каналов в Мариупольском транспортном регионе Восточной Украины

Зная интегральные затраты $G_{инт.м}^r$ и затраты на перевозку потребителю груза k -го вида, определяется оптимальный план работы ТТС порта и устанавливаются рациональные связи в ней. При этом должны быть соблюдены условия обязательного удовлетворения как совокупного спроса в регионе, так и по каждому потребителю продукции. Ограничениями являются установленные лимиты ресурсов при минимизации производственно-транспортных затрат.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} G_{инт.м}^r x_i^r \rightarrow \min, \quad (1)$$

и выполняются условия полного спроса на грузоперевозки объектами R_i

$$\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^{R_i} a_{ik}^{rt} x_i^r \geq b_k^t \quad (k = 1, 2, \dots, l; t = 1, 2, \dots, T), \quad (2)$$

где a_{ik}^{rt} – объем грузоперевозок груза r -го вида на R -м объекте по i -му варианту развития в t -м периоде;

$G_{инт.м}^r$ – интегральные затраты на перевозку грузов за плановый период;

b_k^t – заданный общий объем грузоперевозок груза r за время t .

Все объекты ТТС порта должны в совокупности перегрузить не меньше заданного объема каждого вида груза за плановый период [5].

$$\sum_{i=1}^l \sum_{r=1}^{R_i} \sum_{j=1}^m a_{ik}^{rt} \gamma_{fk}^t x_i^r \geq P_f^t \quad (f = 1, 2, \dots, F; t = 1, 2, \dots, T), \quad (3)$$

где P_f^t – общий объем использования объекта f -го вида, выделяемого ТТС порта в t -м году;

γ_{fk}^t – норма затрат для объекта f для перевозки r -го груза за период t .

Ограничения по ресурсам (лимиты по объектам ТТС порта за период)

$$\sum_{r=1}^{R_i} x_i^r \leq 1, \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_i^r = 0 \text{ или } 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, R_i), \quad (4)$$

Получаем дискретную постановку задачи, т.е. когда в план завоза либо включается объект ТТС, либо данный объект в план не входит. Дополнительно вводится условие неотрицательности переменных $x_i^r \geq 0$, и в случае необходимости в определенный момент времени ограничивается интенсивность грузовых работ на отдельных объектах.

На рисунке 2 представлена структурная схема ТТС морского региона Восточной Украины, состо-

ящая из нескольких уровней – подсистем управления и связывающая основные ее элементы.



Рис. 2. Структурная схема ТТС морского региона

Топология зарождения, развития и взаимосвязи логистических потоков в ТТС порта представлена на рис. 3. Выделены отдельные виды потоков, которые на макроуровне связывают ТТС порта с производителями и потребителями.

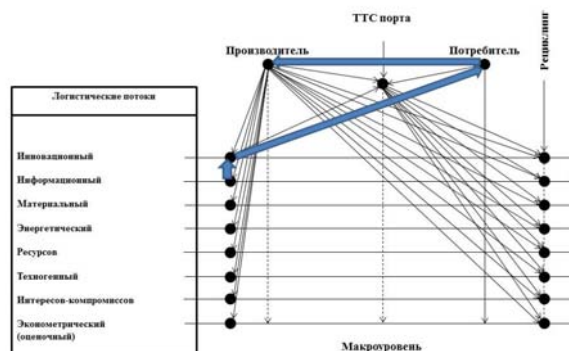


Рис. 3. Топология зарождения, развития и взаимосвязи логистических потоков в ТТС морского порта

Условные обозначения:

→ информационные потоки; → товарные потоки

Управление сложными системами, с наличием активных элементов невозможно без участия человека, потому что при любом изменении ситуации множество из допущений, заложенных в ЭВМ требуют корректировки. Поэтому лицо, принимающее решение (ЛПР) Z_{VLP} является основой модели принятия решений ТТС порта – логистического центра $U_{VE} = Z_{VLP}(U)$.

Тогда, задача поиска технологических решений дополняется элементами преимуществ эксперта [6]:

$$Z_{VLP}: N \times R \times C_i \rightarrow Z_{VLP}: 3_i \times V_i \times K_S \times P^M \times F^V \times G' \times D \rightarrow Y_{VLP}, \quad (5)$$

где C_i – множество целей решения задачи;

3_i – постановка задач, на основании принятых целей решения задачи;

N – множество состояний ТТС порта;
 R – множество имеющихся ресурсов;
 V_t – множество допустимых альтернативных вариантов, изменяющихся во времени t , в зависимости от множества имеющихся ресурсов;
 K_S – множество критериев выбора;
 P^M – множество методов измерения преимуществ;
 F^V – отображение множества допустимых альтернатив во множестве критериальных оценок;
 G' – система преимуществ эксперта;
 D – решающее правило, что отражает систему преимуществ;
 Y – множество решений поставленной задачи.

Таким образом, предложенная модель идеально иллюстрирует и описывает на уровне региона взаимоотношения по схеме «производитель-порт-потребитель» с использованием различных видов транспорта во взаимосвязи всей инфраструктуры.

Вывод. В качестве основного метода исследования целостной ТТС порта, предлагается логистический анализ и обобщение – решение 3-х этапной производственной динамической задачи на минимум затрат. Предложенная экономико-математическая модель является достаточно универсальной и позволяет комплексно исследовать проблематику синтеза процессов и объектов в логистических потоках морских портов.

Поэтому развитие ТТС морского порта – крупнейшего регионального ЛРЦ, приводит к необходимости проведения дальнейших исследований взаимосвязей транспортных, материальных, информационных и другие логистических потоков Восточного региона Украины.

Л и т е р а т у р а

1. Берестовой А. М., Зинченко С. Г., Хлопецкая Л. Ф. Проблемы эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях его развития // Судовождение: Сб. науч. трудов / НУ ОМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016. – С. 175-182.
2. Зинченко С.Г., Берестовой М.О. Развитие транспортно-технологической системы Мариупольского морского порта // Прикладна наука і сучасні інноваційні технології для розвитку морського транспорту: матеріали всеукраїнської конференції 26 травня 2016. – Маріуполь: АМІ НУ «ОМА», 2016. – С. 83-88.
3. Ресурс <http://www.marport.net/>
4. М. П. Войнаренко, С. Г. Зинченко, С. М. Злепко, О. О. Тарута // Інноваційні стратегії управління підприємством за умов глобалізації: Монографія / за наук. ред. проф. М. П. Войнаренка. – Хмельницький: ХНУ, 2011. – 174 с.
5. А. И. Семенов, В. И. Сергеев // Логистика. Основы теории: Учебник для вузов. – СПб.: Издательство «Союз», 2001. – 544 с.
6. Киркин А.П. Совершенствование технологии нерегулярных промышленных грузопотоков с использованием методов виртуального предприятия. – Автореф. дис. к. т. н. – Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, Луганск, 2007. – 18 с.

R e f e r e n c e s

1. Berestovoy A., Zinchenko S., Khlopetskaya L. Problems of maintenance and repair facilities seaport transport-technological system in terms of its development // Navigation: Collection of scientific papers / NU OMA, Release 26. – Odessa: «IzdatInform», 2016. – P. 175-182.
2. Zinchenko S., Берестовой М. Development of transport-technological system of Mariupol sea port // Applied science and advanced innovative technologies for the development of maritime transport: Ukrainian conference materials May, 26, 2016. – Mariupol: AMI HU «OMA», 2016. – P. 83-88.
3. Resource <http://www.marport.net/>
4. М. Voynarenko, S. Zinchenko, S. Zlepko, A. Taruta // Innovative management strategies now in the conditions of globalization: Monography / Edited by scientific prof. M. Voynarenko. – Khmelnytsky: HNU, 2011. – 174 p.
5. A. Semenenko, V. Sergeev // Logistics. Basic theory: Textbook for high schools. – Sankt-Petersburg: "Union" Publisher, 2001. – 544 p.
6. Kirkin A. Improving the technology of industrial irregular freight traffic using the virtual enterprise methods. – thesis abstract on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences – East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, Lugansk, 2007. – 18 p.

Зінченко С.Г. Транспортна система морського регіону Східної України.

В статті розглянуто транспортно-технологічну систему (ТТС) морського регіону Східної України. Розкрито поняття інфраструктури порту і розглянуто фактори, що впливають на ефективність її роботи. Розроблено економіко-математичну модель порівняльної оцінки ефективності використання ТТС морського порту. Виділені основні фактори побудови ефективної ТТС морського порту регіону Східної України.

Ключові слова: транспорт, система, схема, порт, логістика, вантажі, ефективність, регіон, взаємозв'язки.

Zinchenko S. Transport system of East Ukraine sea region. Technological process of work of seaport includes a number of operation, connected with loading, unloading and service of courts, reception and sending freights. Information processing is the cornerstone of process of management of material streams. Thus, technological process can be presented in the form of a turn of information streams. Economic efficiency of work infrastructure of port depends on the speed of processing of courts. Timely actions of management thanks to optimum transport of information streams provide acceleration of an internal turn of information and documents and, respectively, minimizing of unproductive outages of technology and to increase of goods turnover of port.

The article deals with transport-technological system (TTS) Maritime region of eastern Ukraine. Opened the concept of port infrastructure and consider the factors that influence the effectiveness of its work. The economic-mathematical model of comparative assessment of the effectiveness of the use of the port TTS. The basic factors of building an effective TTS seaport region in eastern Ukraine.

Keywords: transport, system, scheme, port, logistics, freight, efficiency, region, relationship.

Зінченко С.Г. – начальник відділу системи управління якістю ДП «ММТП», e-mail: s74@mai.ru.

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

Стаття подана 20.03.2017

УДК 665.7.032.56:662.763

ПАРОВА КОНВЕРСІЯ ГАЗОВОГО ВУГІЛЛЯ В РОЗПЛАВІ В СТАЦІОНАРНОМУ ТА ПРОТОЧНОМУ РЕЖИМІ

Зубцов Є. І., Тарасов В. Ю., Бродський О. Л., Кравченко І. В.

STEAM CONVERSION OF GASEOUS COAL IN THE MELT IN STATIONARY AND FLOW MODE

Zubtsov Y. I., Tarasov V. Y., Brodskiy O. L., Kravchenko I. V.

Представлено дослідження процесу парової конверсії газового вугілля в розплаві теплоносія в стаціонарному і проточному режимі. Показано, що синтез-газ, одержуваний паровою конверсією газового вугілля в стаціонарному режимі характеризується співвідношенням водню до оксидів вуглецю, що перевищує стехіометричне в 2,6-3,4 рази і нижчою теплою згоряння 10 МДж/м³. При організації процесу в проточному режимі в синтез-газі співвідношення цільових компонентів близько до стехіометричного, нижча теплота згоряння 13 МДж/м³. Встановлено вплив технологічних параметрів: витрати окисника, висоти барботажу, концентрації мінеральних компонентів золи і вуглецю в розплаві, на склад одержуваного синтез-газу.

Ключові слова: газове вугілля, конверсія, синтез-газ, співвідношення, калорійність, розплав, режим

Вступ. У найближчій перспективі переробка твердих горючих копалин повинна стати для України основним джерелом сировини і енергії для хімічної промисловості та енергетичного комплексу країни. Поряд з діючими виробництвами напівкоксування і коксування твердих горючих копалин необхідні розвиток і промислова реалізація процесів гідрогенізації і газифікації з метою отримання рідких (синтетичного рідкого палива) і газових (синтез-газ, газі відновники, енергетичний газ) продуктів. При цьому Україні слід орієнтуватися на вітчизняні розробки, які мали широке поширення, навіть, в промисловому масштабі до середини ХХ століття, проте, їх рентабельність різко знизилася з розвитком нафтовидобувної та газової промисловості. Тому в зв'язку з мінливою кон'юктурою світових цін на нафту, продукти нафтопереробки і природний газ отримання рідких вуглеводнів і синтез-газу з вугілля набуває актуального значення, особливо для України. У даній статті розглянуто дослідження

парової газифікації газового вугілля в розплаві теплоносія.

Мета роботи – визначення кінетичних залежностей для ефективної технології переробки вітчизняного вугілля в синтез-газ. Для вирішення поставленої мети пропонується організація процесу конверсії в розплаві рідкого високотемпературного теплоносія.

Викладення основних матеріалів. В даний час на великих енергоблоках ТЕС України в якості сировини використовуються антрацити. При цьому значні запаси бурого, газового та інших видів вугілля не знаходять промислового застосування. У даній статті розглядається процес газифікації газового вугілля водою з метою отримання синтез-газу з різним співвідношенням $H_2/(CO+CO_2)$ для хімічних синтезів або енергетичного газу з високою калорійністю. Серія досліджень конверсії вугілля різного ступеня зрілості і вмісту мінеральних компонентів в стаціонарному режимі показала, що отриманий синтез-газ характеризується значним вмістом водню і співвідношенням $H_2/(CO+CO_2)$ рівним 2,6-3,3, при стехіометричному значенні рівному одиниці [1], причому таке співвідношення не залежить від складу та типу вугілля, що переробляється. В роботі [2] встановлено, що при проведенні процесу парової конверсії вугілля в сольовому розплаві хлориду натрію має місце хімічна взаємодія води – окисника процесу конверсії з хлоридом натрію, що призводить до підвищеного вмісту водню в продуктах реакції. У даній роботі продовжені дослідження впливу керуючих параметрів, на склад одержуваного синтез-газу як в стаціонарному режимі, так і проточному.

Результати досліджень. Проведені дослідження конверсії вуглецевого залишку газового вугілля в стаціонарному режимі з різною витратою окисника – води (таблиця 1), за

методикою представленої в роботі [1]. Використовувалося газове вугілля фракцією менше 0,3 мм, наступного складу в % ваг.: вологість – 5,9; леткі речовини – 41,3; зольність – 7,2; склад горючої маси: С – 81,0; Н – 5,7; N – 2,0; О – 11,0; S – 0,3. Умови експерименту: температура 1253 К, початкова висота розплаву 110 мм, глибина точки вводу води 55 мм, концентрація вугілля в розплаві 0,078 г_с/г_р, робочий об'єм розплаву ~100 мл.

За співвідношенням $H_2/(CO+CO_2)$ отримані результати, аналогічні представленим в роботі [1]. Значення становить 2,6-3,4, що значно вище стехіометричного і пояснюється термічною деструкцією води та побічною взаємодією води з хлоридом натрію [2]. Показано, що зі збільшенням витрати води в 22 рази висота розплаву над точкою введення збільшується до 2-х разів. Відзначено, що при витраті окислювача 0,02 л/год відбувається різке збільшення виходу газових продуктів конверсії і зниження ступеня перетворення води, що свідчить про зміну гідродинамічного режиму в реакційній зоні. Таким чином, встановлена межа для даного реакційного об'єму розплаву (рядок 4 табл. 1), нижче якої процес здійснюється в бульбашковому режимі барботажу, а вище - режим переходить в струменевий. Зі збільшенням витрати води, в складі одержуваного синтез-газу, спостерігаються такі зміни: кількість водню і діоксиду вуглецю збільшується, а монооксиду вуглецю знижується,

вміст метану залишається незначним. Це пояснюється збільшенням кількості води, що не прореагувала і проходженню реакції «водяного газу»: $H_2O + CO \rightarrow CO_2 + H_2$, яка визначає рівноважний склад продуктів конверсії. Максимальне значення нижчої теплоти згоряння синтез-газу становить 10,7 МДж/м³. Результати дослідження конверсії вугілля в стаціонарному режимі показали можливість повної переробки робочої маси вугілля в розплаві хлориду натрію. Однак, при такій організації процесу стехіометричне співвідношення водню до оксидів вуглецю в отриманому синтез-газі не досягається і становить 2,6-3,3.

Проведені дослідження конверсії газового вугілля в проточному режимі при безперервному подаванні реагентів в розплав (таблиця 2), за методикою, описаною в роботі [3]. Суміш газового вугілля (фракція менше 0,3 мм) і води вводилася контрольованим потоком азоту в розплав NaCl. Цим проточний режим відрізняється від стаціонарного режиму конверсії, в якому вугілля попередньо вводилося в розплав з великим надлишком. У даній серії дослідів регулювалося співвідношення води і вугілля, що подаються, проточний режим здійснений за сировиною і газовими продуктами реакції.

Таблиця 1

Конверсія газового вугілля в стаціонарному режимі

№	Витрата води	Час контакту	Висота барботажу	Склад синтез-газу					H ₂ /CO	H ₂ +2CH ₄ CO+2CO ₂	Вихід синтез- газу	Q _{н.зг.} *	X _{H₂O} *
				H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	CO+CO ₂					
				об. %									
	л/год	с	мм								л/год	МДж/м ³	%
1	0,0030	0,317	116,9	71,1	20,6	0,6	5,7	26,3	3,5	2,3	4,5	10,7	93,5
2	0,0066	0,306	119,1	72,0	19,4	0,3	8,3	27,7	3,7	2,0	9,7	10,3	86,3
3	0,0090	0,301	127,4	74,0	17,5	0,4	8,1	25,9	4,2	2,2	12,0	10,3	79,8
4	0,0200	0,294	131,6	76,6	14,3	0,3	8,8	23,1	5,4	2,4	23,7	10,2	72,8
5	0,0270	0,286	142,3	77,0	12,2	0,3	10,5	22,7	6,3	2,3	27,0	10,0	62,1
6	0,0660	0,272	165,0	76,4	9,5	0,2	13,8	23,3	8,0	2,1	37,0	9,5	37,6

* – нижча теплота згоряння;

** – ступінь перетворення води, розрахована за воднем.

Таблиця 2

Конверсія газового вугілля в проточному режимі

№	Вит- рата води	Час		H ₂ O/C	Склад синтез-газу				H ₂ /CO	$\frac{H_2+2CH_4}{CO+2CO_2}$	Вихід синтез- газу	X _C	X _{H2O} **	Q* _{н.зг}
		кон- такту	від- бору		H ₂	CO	CH ₄	CO ₂						
	г/мін	с	мол. %	об. %										
1	0,15	0,32	60	1,24	40,9	34,1	10,8	14,2	1,2	1,00	2437	80,5	65,9	13,0
300			43,0		30,5	10,2	16,3	1,4	1,00	2400	76,5	65,9	12,5	
600			48,1		30,3	9,8	11,8	1,6	1,26	2437	70,7	71,4	12,9	
4	0,33	0,28	60	2,70	46,3	32,9	7,3	13,5	1,4	1,02	2546	76,4	29,7	12,0
600			48,9		33,3	8,1	9,7	1,5	1,24	2738	78,2	34,1	12,7	
6	0,45	0,27	60	3,77	44,5	28,5	7,5	19,5	1,6	0,88	3021	93,7	25,6	11,4
7	1.10	0.26	60	9.22	47,2	23.8	6.9	22.1	2.0	0.90	3251	95.9	11.5	10.8

* – нижча теплота згоряння;

** – ступінь перетворення води, розрахована за воднем;

*** – ступінь перетворення вуглецю горючої маси газового вугілля.

В результаті отримано синтез-газ з більшим вмістом метану і максимальним значенням нижчої теплоти згоряння $13,0 \text{ МДж/м}^3$, в розрахунку на безазотний синтез-газ, що вище, ніж у відомих промислових технологій, Lurgi, Koppers-Totzek, Техасо, Winkler калорійність становить $9,2\text{--}10,6 \text{ МДж/м}^3$ [4]. При проведенні експериментів з попередньо дегазованим газовим вугіллям теплота згоряння синтез-газу склала $10,7 \text{ МДж/м}^3$ (табл. 1), що свідчить про внесок летких компонентів в процес конверсії вугілля. Як зазначалося раніше [1] основними газовими продуктами піролізу газового вугілля є водень до 70 об. %, метан і його гомологи більше 20 об. %.

Аналіз зміни складу цільових продуктів в часі представлений на рисунку 1. Використано дані, отримані при постійній витраті води $0,15 \text{ г/хв}$.

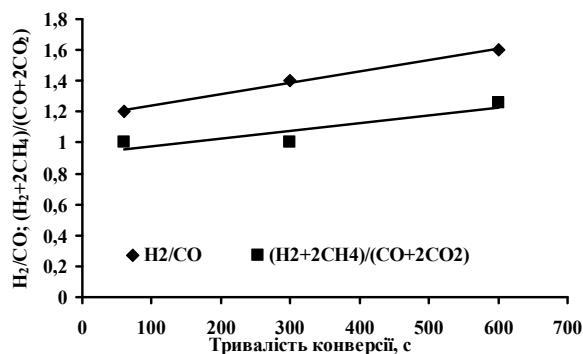


Рис. 1. Зміна відношення H_2/CO і $(H_2+2CH_4)/(CO+2CO_2)$ в продуктах конверсії газового вугілля в часі (витрата води $0,15 \text{ г/хв}$)

Відзначено, що і в проточному режимі спостерігається зміна складу продуктів реакції від часу відбору проби. При тривалості експерименту до 5 хвилин, співвідношення водню до оксидів вуглецю дорівнює стехіометричному. Високий відсоток діоксиду вуглецю визначається відносно низькою температурою експериментів і встановлюється рівновагою реакції водяного газу [5]. Із збільшенням часу проведення експерименту збільшується вміст водню в продуктах реакції, а кількість оксидів вуглецю знижується. Таким чином, зі збільшенням тривалості конверсії газового вугілля в проточному режимі понад 5 хвилин, помітний вплив на склад одержуваного синтез-газу надають конкуруючі процеси, які мають місце при організації процесу в стаціонарному режимі. Це пов'язано з проявом дифузійних гальмувань, накопиченням мінеральних компонентів золи вугілля і залишкового вуглецю в розплаві. Незважаючи на те, що вода подавалася із незначним надлишком при глибині точки введення в розплав 55 мм , залишок вуглецю становить $2,2 - 22,2\%$ в початковий момент процесу, до 5 хвилин. Високе співвідношення водню до оксидів вуглецю характерно для процесів конверсії «солоного вугілля» [6], в мінеральній частині яких наявна значна кількість легкоплавких компонентів (оксидів та хлоридів лужних металів). Представлені

результати показали можливість отримання синтез-газу з співвідношенням водню до оксидів вуглецю близьким до стехіометричного, при організації процесу парової конверсії в проточному режимі і тривалістю процесу до 5 хвилин. Зі збільшенням часу конверсії вугілля помітний вплив на склад продуктів роблять побічні процеси взаємодії окисника - води з компонентами мінеральної частини вугілля [7], які накопичуються в розплаві, і сольовим розплавом хлориду натрію. Ці процеси сприяють збільшенню вмісту водню і зниженню - оксидів вуглецю. Можливість управління складом одержуваного синтез-газу при паровій конверсії газового вугілля в розплаві важливо при його використанні для хімічних синтезів. Наприклад, з синтез-газу, що отримують конверсією газових та рідких вуглеводнів або вугілля, для синтезу аміаку потрібен тільки водень, метанолу - співвідношення H_2/CO складає $2/1$, оцтової та мурашиної кислот - потрібен монооксид вуглецю, а для отримання какаміду - діоксид вуглецю.

Для реалізації технології парової конверсії вугілля в розплаві важливо, що проточний режим дозволяє знизити вплив побічних реакцій сировини з мінеральними компонентами золи і розплавом на склад продуктів реакції, отримати близьке до стехіометричного відношення H_2/CO і $(H_2+2CH_4)/(CO+2CO_2)$. Безумовний інтерес представляє вплив відношення H_2O/C в сировині на склад синтез-газу (рисунок 2). Використано дані, отримані при відборі проби в 1-у хвилину. Перші точки отримані при невеликому мольному надлишку води рівному $1,24$ в порівнянні із стехіометричною кількістю. При більш пізньому часу відбору ступінь конверсії вугілля та води істотно менше 100% (табл. 2). Зі збільшенням кількості води в сировинному потоці відношення водню до оксидів вуглецю залишається практично постійним, а водню до монооксиду вуглецю зростає, що пов'язано з проходженням реакції «водяного газу», яка встановлює рівновагу в газових продуктах реакції конверсії.

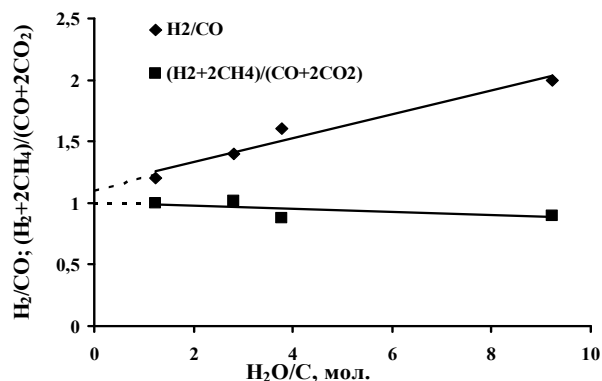


Рис. 2. Зміна відношення H_2/CO і $\Sigma H/\Sigma CO_x$ в продуктах реакції конверсії газового вугілля від відношення H_2O/C при тривалості дослідження 60 с

В даній технології швидкість реакції конверсії визначається концентрацією сировини (вуглецю та окисника – води). Математична обробка експериментальних даних дозволила отримати рівняння, яке описує швидкість конверсії газового вугілля в проточному режимі при співвідношенні $C_C/C_{H_2O} \geq 1$, з похибкою ± 7 :

$$W_C = k_0 \cdot C_{H_2O}^m \cdot e^{\frac{-E_A}{R \cdot T}},$$

де $k_0 = 1,9 \cdot 10^3$, $E_A = 100$ кДж/моль для співвідношення $C_C/C_{H_2O} \geq 1$.

Таким чином, для отримання синтез-газу з відношенням компонентів близьким до стехіометричного, в проточному режимі руху реагентів, необхідно оптимізувати час контакту, з мінімізацією співвідношення H_2O/C , і відведення вугілля, що не прореагувало. Дотримання цих умов необхідно для енергозабезпечення процесу конверсії і визначається висотою барботажного шару розплаву.

Висновки:

– встановлено, що процес конверсії газового вугілля в розплаві хлориду натрію у стаціонарному режимі характеризується значним вкладом конкуруючого процесу взаємодії окисника – води з розплавом, що призводить до збільшення співвідношення водню до оксидів вуглецю в отриманому синтез-газі (дорівнює 2,6-3,4) у порівнянні із стехіометричним;

– визначено, що в проточному режимі спостерігається значне зменшення впливу побічного процесу взаємодії окисника з розплавом на газові продукти реакції, співвідношення водню до оксидів вуглецю в синтез-газі близько одиниці, що дорівнює стехіометричному значенню, при тривалості експерименту до 5 хвилин;

– показано, що при стаціонарному режимі отриманий синтез-газ характеризується нижчою теплотою згоряння 10 МДж/м^3 , а при проточному режимі – $12-13 \text{ МДж/м}^3$, що свідчить про значний вклад летких компонентів вугілля;

– встановлено, що зміна керуючих параметрів, таких як, витрата окисника, висота барботажу, тривалість конверсії, концентрація мінеральних компонентів та вуглецю в розплаві, дає змогу отримувати синтез-газ різного складу, що важливо при його використанні для хімічних синтезів.

Література

1. Зубцов Е. И. Технология синтез-газа из угля в расплаве. Влияние зольности и летучих компонентов угля / Е. И. Зубцов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, – 2013. - № 14 (203). - С. 69 – 73.
2. Зубцов Е. И. Технология синтез-газа из угля в расплаве. Влияние теплоносителя / Е. И. Зубцов //

Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, – 2014. - № 9 (216). - С. 83 – 87.

3. Зубцов Е. И. Влияние технологических параметров на состав продуктов конверсии соленого угля в расплаве / Е. И. Зубцов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, – 2015. - № 3 (220). - С. 49 – 54
4. Братичак М. М. Хімія та технологія переробки вугілля / М. М. Братичак, С. В. Пиш'єв, М. І. Рудкевич. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 272 с. – ISBN 966-8450-14-0.
5. Технологія зв'язаного азоту : [Підруч.] / [Л. Товажнянський, О. Лобойко, Г. Гринь та ін.]; [під ред. О. Я. Лобойко]. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 536 с. – ISBN 978-966-384-070-3.
6. Шендрик Т. Г. Соленые угли / Т. Г. Шендрик, В. И. Саранчук. – Донецк: Східний видавничий дім, 2003. – 296 с.
7. Газификация соленых углей. Термодинамический анализ / М. А. Гликин, Е. И. Зубцов, И. М. Гликina, [та ін.] // Хімічна промисловість України. – 2008. – № 1. – С. 12–22.

References

1. Zubtsov Ye. I. Tekhnologiya sintez-gaza iz uglya v rasplave. Vliyanie zol'nosti i letuchikh komponentov uglya / Ye. I. Zubtsov // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, – 2013. - № 14 (203). - С. 69 – 73.
2. Zubtsov Ye. I. Tekhnologiya sintez-gaza iz uglya v rasplave. Vliyanie teplotonositya / Ye. I. Zubtsov // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, – 2014. - № 9 (216). - С. 83 – 87.
3. Zubtsov Ye. I. Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov na sostav produktov konversii solenogo uglya v rasplave / Ye. I. Zubtsov // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, – 2015. - № 3 (220). - С. 49 – 54.
4. Bratichak M. M. Himiya ta tehnologiya pererobki vugillja / M. M. Bratichak, S. V. Pish'ev, M. I. Rudkevich. – L'viv: Beskid Bit, 2006. – 272 s. – ISBN 966-8450-14-0.
5. Tekhnologiya zv'yazano azotu : [Pidruch.] / [L. Tovazhnyanskyy, O. Loboiko, H. Hryn ta in.]; [pid red. O. YA. Loboiko]. – Kharkiv: NTU «KHPi», 2007. – 536 s. – ISBN 978-966-384-070-3
6. Shendrik T. G. Solenye ugli / T. G. Shendrik, V. I. Saranchuk. – Doneck: Shidnij vidavnichij dim, 2003. – 296 s.
7. Gazifikacija solenih uglej. Termodinamicheskij analiz / M. A. Glikin, E. I. Zubcov, I. M. Glikina, [ta in.] // Himichna promislovist' Ukraini. – 2008. – № 1. – С. 12–22.

Зубцов Е. И., Тарасов В. Ю., Бродский А. Л., Кравченко И. В. Паровая конверсия газового угля в расплаве в стационарном и проточном режиме

Представлено исследование процесса паровой конверсии газового угля в расплаве теплоносителя в стационарном и проточном режиме. Показано, что синтез-газ, получаемый паровой конверсией газового угля в стационарном режиме характеризуется соотношением водорода к оксидам углерода в 2,6-3,4 раза превышающем стехиометрическое и нижней теплотой сгорания 10 МДж/м^3 . При организации процесса в проточном режиме в синтез-газе соотношение целевых компонентов близко к

стехиометрическому, низшая теплота сгорания 13 МДж/м³. Установлено влияние технологических параметров: расхода окислителя, высоты барботажа, концентрации минеральных компонентов золы и углерода в расплаве, на состав получаемого синтез-газа.

Газовый уголь, конверсия, синтез-газ, соотношение, калорийность, расплав, режим

Zubtsov Y. I., Tarasov V. Y., Brodskiy O. L., Kravchenko I. V. Steam conversion of gaseous coal in the melt in stationary and flow mode

A study of the gas coal steam conversion process in the melt in a stationary and flow-through mode is presented. It is shown that the syngas produced by steam conversion of gas coal in a stationary mode is characterized by a ratio of hydrogen to carbon oxides of 2,6-3,4 times higher than the stoichiometric and lower heat of combustion of 10 MJ / m³. When the process is organized in flow mode in syngas, the ratio of the target components is close to the stoichiometric ratio, the lowest heat of combustion is 13 MJ / m³. The effect of technological parameters: oxidizer consumption, bubbling height, concentration of mineral components of ash and carbon in the melt, on the composition of the synthesis gas obtained is established.

Key words: Gas coal, conversion, syngas, ratio, caloric content, melt, regime

Зубцов Євген Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 93400, Луганська обл., м. Северодонецьк, вул. Донецька, 41, лабораторний корпус, mining_07@mail.ua

Тарасов Вадим Юрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 93400, Луганська обл., м. Северодонецьк, вул. Донецька, 41, лабораторний корпус

Бродський Олександр Львович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 93400, Луганська обл., м. Северодонецьк, вул. Донецька, 41, лабораторний корпус

Кравченко Інна Василівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 93400, Луганська обл., м. Северодонецьк, вул. Донецька, 41, лабораторний корпус,

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

Стаття подана 31.03.2015

УДК 629.4.027.2

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІКИ ТА МІЦНОСТІ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ КОНСТРУКТИВНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ

Кара С. В.

IMPROVEMENT OF INDICATORS OF DYNAMICS AND STRENGTH OF FREIGHT CARS BOGIES BY CONSTRUCTIVE CHANGES

Kara S.

У статті розглянуто питання перспективних ходових частин для вантажних вагонів нового покоління, розроблено доповнення до існуючої класифікації візків, а саме запропоновано впровадження таких типів підвішування: комбіноване буксове підвішування з пружною рамою, комбіноване центральне підвішування з пружною рамою, пружна рама, багатоступінчасте комбіноване: буксове і центральне підвішування з пружною рамою, багатоступінчасте комбіноване: буксове і центральне, коліскове підвішування з пружною рамою, пружна надресорна балка. Проаналізовано основні причини недостатньої міцності бокових рам, та представлено результати експериментальних досліджень автора. Представлено результати теоретичних досліджень засобами моделювання руху вагона в програмному комплексі «Універсальний механізм» по визначенню впливу першого ступеня ресорного підвішування в візках типу 18-100 на енергоефективність (опір руху) і встановлена розрахункова величина зниження опору руху. Підготовлено концепт принципово нової конструкції візка вантажного вагона для швидкісного руху, який засновано на принципово нових технічних рішеннях з пружно-дисипативних несучими елементами, а також розроблена концепція модернізації візків типу 18-100 та аналогів шляхом впровадження буксового підвішування на колії 1520 мм.

Ключові слова: візок вантажного вагону, рама, ресорне підвішування, міцність, динаміка, енергоефективність, класифікація візків.

Вступ. Проблема недосконалості ходової частини вагонів, особливо в вантажному русі на залізницях світу широко описана вченими різних країн світу, в тому числі автором статті в попередніх публікаціях [1 - 3]. Найбільш гострою проблема є для вантажних вагонів колії 1520 мм, де найбільш поширеною ходовою частиною є морально застарілий візок (сімейство візків) типу 18-100, термін служби яких становить 40...42 роки (в Україні термін служби візків типу 18-100 для вагонів колійного господарства, випущених з 1975 р. по 01.02.1984 р., становить 42 роки).

Актуальним двоєдиним завданням на сьогоднішній день є розробка нових проривних технологій у вагонобудуванні, а саме створення оригінальних конструкцій і застосування нових матеріалів в ходової частини вантажних вагонів з метою підвищення швидкостей руху, зниження необресорених мас, зниження рівня впливу на колію, підвищення енергоефективності рухомого складу, а також створення способів модернізації існуючих візків для поліпшення їх техніко-економічних характеристик. Дана задача вирішується на міжнародному рівні, в тому числі в рамках програми «Горизонт 2020».

Основна частина

1. Дослідження перспективних конструкцій візків вантажних вагонів

Загальноприйняті класифікації візків вантажних вагонів припускають 4 основні види організації ресорного підвішування, як показано на рис. 1: буксове підвішування (а), центральне (б), двоступеневе: буксове і центральне коліскове (в); двоступеневе: буксове і центральне безколіскове (г).

Інноваційні технології проектування модулів несучих і пружних елементів засновані на оригінальних конструкторських рішеннях і нових матеріалах. Наприклад створені автором технічні рішення [4 - 5], новий візок пасажирського вагона "efWING" з використанням CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) мають в своїй конструкції пружно-дисипативний несучий елемент - аналог бічної рами. Такий конструктивний підхід не входить в рамки існуючої класифікації, тому класифікація візків за видами ресорного підвішування автором розширена більш гнучкими типовими схемами. Автором проводяться теоретичні і експериментальні дослідження ряду нових принципових схем з використанням пружних (пружно-дисипативних) несучих елементів, представлених на рис. 2: комбіноване буксове підвішування з пружною рамою (а), комбіноване

центральне підвішування з пружною рамою (б), пружна рама (в), багатоступінчате комбіноване: боуксове і центральне підвішування з пружною рамою (г), багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне коліскове підвішування з пружною рамою (д), пружна надресорна балка (е). Візок "efWING" при такій класифікації може бути віднесено до багатоступінчатого комбінованого з буксовим і центральним підвішуванням з пружною рамою.

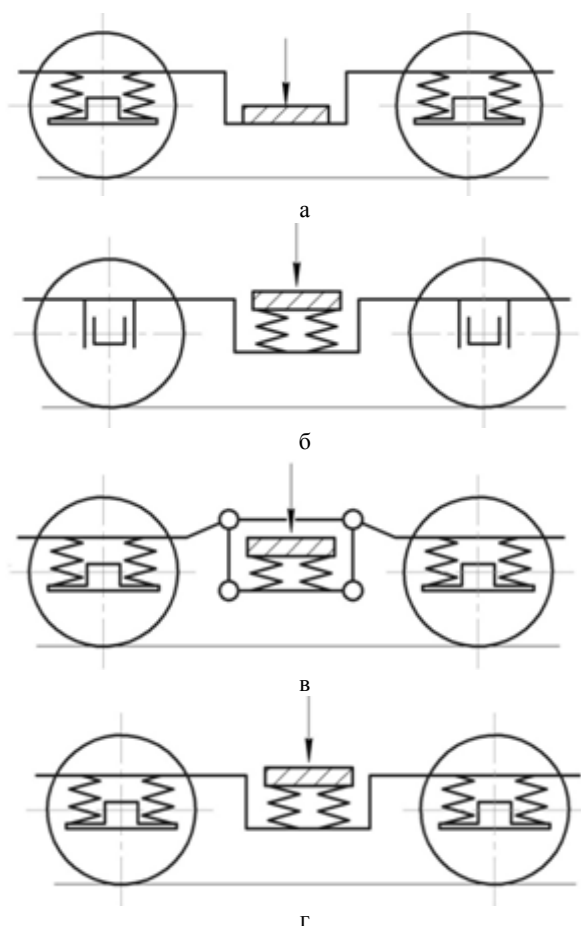


Рис. 1. Види ресорного підвішування вагонів:
а – буксове підвішування, б – центральне,
в – двоступеневе: буксове і центральне коліскове;
г – двоступеневе: буксове і центральне безколіскове

Автором ведеться розробка конструкцій візків з використанням пружно-дисипативних елементів, в якості основного такого компонента як приклад пропонується застосування листових ресор. На рис. 3 – 5 показано схеми візків вагонів, які розроблено у співавторстві з автором. Перший варіант (рис. 3) містить бічну раму 1, виконану у вигляді листових ресор 2, закріплених хомутом 3 посередині, і установлену з можливістю переміщення у вертикальному, поздовжньому і поперечному напрямках, що спирається на букси 4 колісних пар 5 через центральне підвішування 6, на якому розташована надресорна балка 7, на яку через під'ятник спирається кузов вагона (на кресленні не показаний), буксове ресорного підвішування 8 та гальмового обладнання 14;

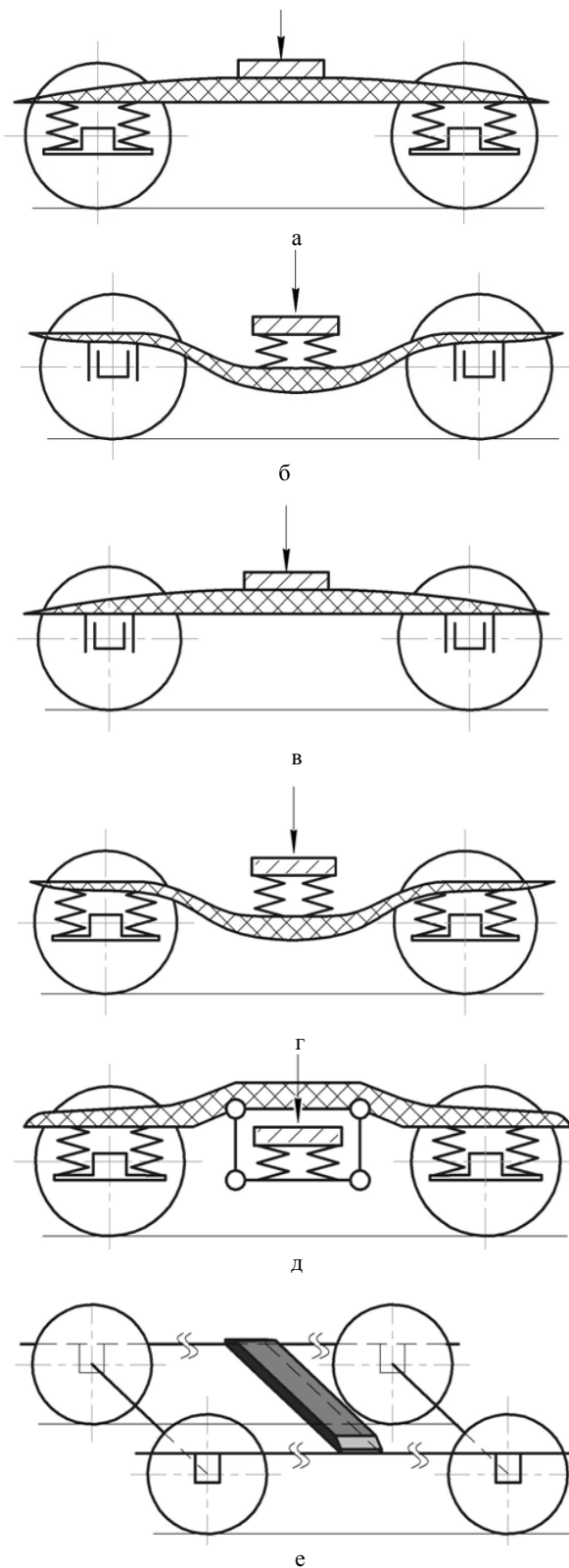


Рис. 2. Перспективні види ресорного підвішування вагонів:
комбіноване буксове підвішування з пружною рамою (а), комбіноване центральне підвішування з пружною рамою (б), пружна рама (в), багатоступінчате комбіноване: боуксове і центральне підвішування з пружною рамою (г), багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне коліскове підвішування з пружною рамою (д), пружна надресорна балка (е)

центральне підвішування 6 шарнірно підвішене до бічної рами 1; буксове ресорне підвішування 8, включає в себе однорядні пружини 9, що спираються на корпус букси 4 і через рамку 10 пов'язані з додатковим комплектом однорядних пружин 11, що спираються на бічну раму 1 зверху, і листову ресору 12, закріплену хомутом 13 на піддоні центрального підвішування 6, а краями - з можливістю переміщення на буксах 4 колісних пар 5 [4]. На рис. 4 показано інший варіант візка, що складається з рами 1, виконаної у вигляді листових ресор 2, закріплених хомутом 3 посередині, що опирається на букси 4 колісних пар 5 через центральне ресорне підвішування 6, що складається із двох еліптичних ресор системи Галахова (або ін.) 7, на яких розташована надресорна балка (на схемі не показана) та через підп'ятник опирається кузов вагона (також не показаний), покладених на штампований підресорний зв'язок 8, що спирається на підп'ятні балки 9, підвішені шарнірно до рами 1, буксове ресорне підвішування 10, що містить однорядні пружини 11, що спираються на корпус букси 4, гальмового обладнання 12, виконаного із двостороннім натисканням. При цьому вузли обпирання 13 однорядних пружин 11 буксового ресорного підвішування 10 закріплені на листових ресорах 2, а центральне ресорне підвішування 6 кріпиться хомутом 14 до листової ресори. [5].

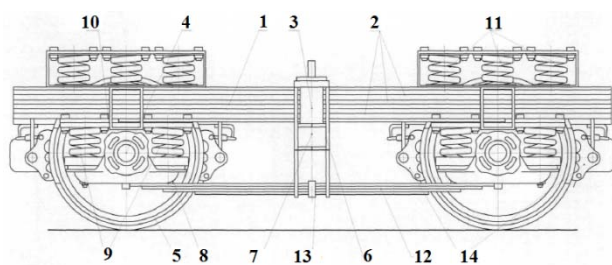


Рис. 3. Розроблена схема візка з пружно-дисипативними елементами [4]

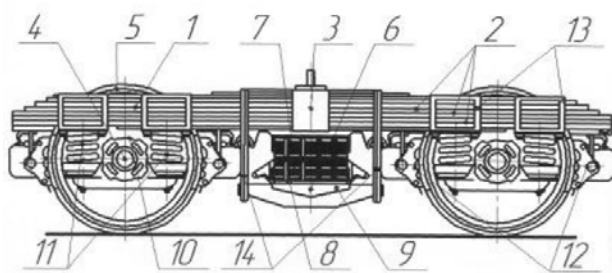


Рис. 4. Розроблена схема візка з пружно-дисипативними елементами [5]

2. Дослідження резервів вдосконалення існуючих візків вантажних вагонів.

До основних недоліків візків типу 18-100 та аналогів в першу чергу відносяться незадовільні показники динаміки та міцності [1 – 3].

Аналіз досліджень і публікацій показав, що в останні роки проведено значну кількість науко-дослідних робіт з проблеми зламів бічних рам в зо-

нах радіусних переходів R55. Виходячи з опрацьованих робіт автором виділено основні гіпотези причини руйнувань:

1) Високі повздовжні сили від букс, що діють на зовнішні щелепи бічних рам при ударах після скатування з сортувальних гірок. Згідно [6] величина повздовжньої сили може досягати 100 кН на одну щелепу.

В рамках даної гіпотези за участю автора проведено експериментальне дослідження напружень в зоні радіусного переходу R55 бокової рами візка 18-100 при ударних випробуваннях (випробування проведено на базі філії «ДВРЗ» ПАТ «Укрзалізниця» в період 23.06.2017 – 28.07.2017, у якості досліджуваних вагонів використано зерновози моделі 19-752) – рис. 5 а), б). Встановлено, що максимальні напруження в зоні R55 бокової рами при ударі на швидкості 15 км/год становлять 80 МПа.



а



б

Рис. 5. Ударні випробування: місця наклеювання тензорезисторів (а); загальний вигляд дослідного вагону (б)

2) Високі діючі моменти сил на зону буксового отвору внаслідок забігання бічних рам, які в свою чергу мають велике значення через незадовільний технічний стан візків (та колії). Дана гіпотеза була представлена компанією «Амстед-Рейл» (Протокол ПАТ «Укрзалізниця» ЦЦТех №5/26).

3) Дефекти матеріалу [7]. Частою причиною зламів рам є ливарні чи інші дефекти в матеріалі, які пов'язані з порушенням технології виготовлення та недосконалістю методів дефектоскопії.

4) Зміна конструкції, яка полягає у переході до 18-100 типу 4 з квадратним профілем в небезпечній зоні замість двотаврового. Така гіпотеза описується різними науковцями, але на даний час немає чіткого наукового обґрунтування.

Автором висувається 5-та гіпотеза, яка є поєднанням 1-ї та 2-ї, а саме: найбільші напруження в бокових рамах можливі при ударних навантаженнях поєднаних з перекосами колісних пар. Еквівалентне розрахункове напруження при такому навантаженні досягає 200 МПа.

Актуальним завданням є покращення показників динаміки візків. В рамках дослідницьких робіт автором розроблено прототип візка вантажного вагону на основі 18-100 з використанням буксового ступеню ресорного підвішування, як показано на рис. 6, де 1 – надресорна балка, 2 – центральне підвішування, 3 – фрикційні елементи, 4 – бокова рама, 5 – колісні пари, 6 – підбуксова струнка, 7 – букса (адаптер), 8 – подовжені елементи букс, що проходять крізь під буксову струнку, 9 – пружні елементи буксового ступеню підвішування (пружины, ресори).

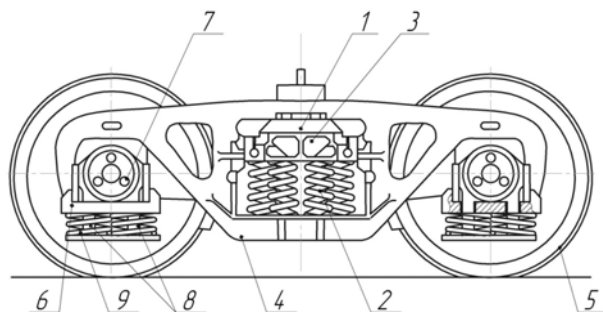


Рис. 6. Візок з буксовим ступенем ресорного підвішування

У даній частині статті розглядаються результати моделювання динаміки вантажного вагону, а саме розрахунок опору руху для кожного з восьми коліс в умовних одиницях. Моделювання проводилося в програмному комплексі «Універсальний механізм 6.0.0» на прямому ділянці доріг без кривих та відхилень, нерівномірність шляхів, сформованих на основі даних вагонів-колес вимірювачів ПАТ «Укрзалізниця», швидкості для моделювання - 30, 60 і 90 км/год. Моделювання проводилося для одиночного вагону, оснащеного візками типу 18-100 (без буксової ступені підвішування) в нормальному технічному стані (далі існуючий вагон) і для вагону, оснащеного візками типу 18-100 з прогином буксового ступеню – 40 мм (далі вагон з двома ступенями підвішування). Час моделювання – 23 с. Для значень протидії руху прийняті наступні позначення: 1L – колесо першої по ходу руху колісної пари, лівого колеса, 2L – колесо другої по ходу руху колісної пари, лівого колеса та ін. 1R – колесо першої по ходу руху колісної пари, правого колеса та ін.

На рис. 7 – 9 показані результати моделювання опору руху кожного колеса існуючого вагону при швидкостях 30, 60 і 90 км/ч. В таблиці 1 зведено середні значення опору руху існуючого вагону.

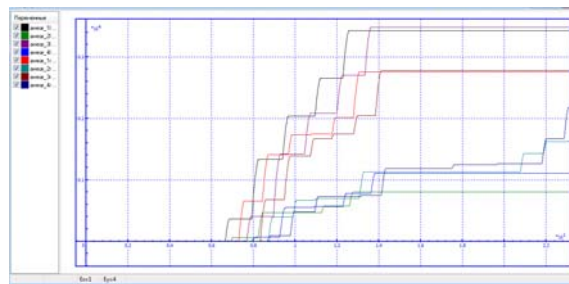


Рис. 7. Опір руху кожного колеса існуючого вагону при швидкості $V = 30$ км/год

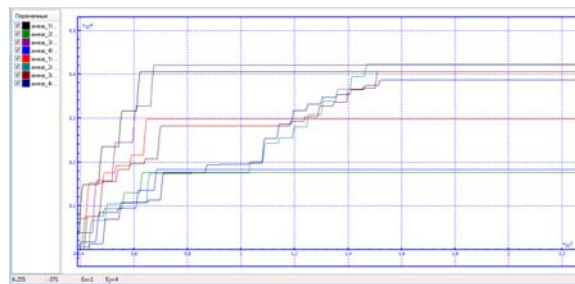


Рис. 8. Опір руху кожного колеса існуючого вагону при швидкості $V = 60$ км/год

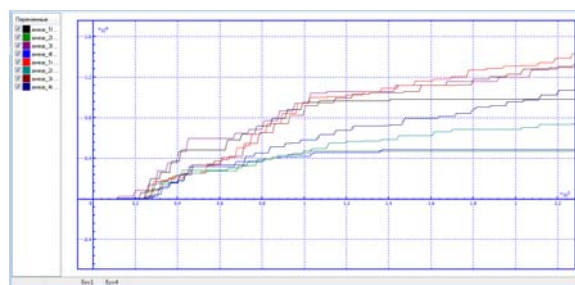


Рис. 9. Опір руху кожного колеса існуючого вагону при швидкості $V = 90$ км/год

Аналогічно проведено моделювання для вагону з двома ступенями підвішування. Порівняння результатів представлено у вигляді діаграмами (рис. 10).

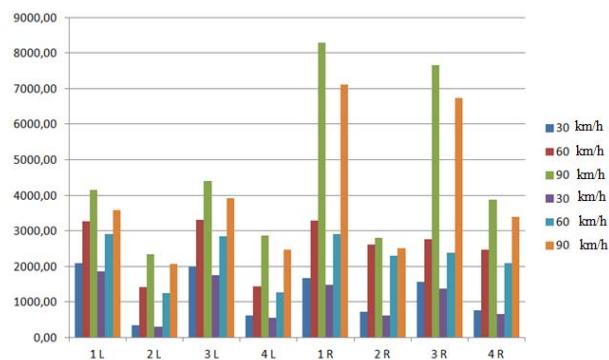


Рис. 10. Гістограма значень середнього значення опору руху існуючого вагону (синій, червоний і зелений кольори) і вагону з двома ступенями підвішування (фіолетовий, блакитний і помаранчевий кольори) при швидкостях 30...90 км/год

Як видно з рис. 10 зниження опору руху навантаженого вагона з використанням буксового ступеня ресорного підвищення зі статичним прогином 40 мм становить в середньому 11 - 15% ($13 \pm 2\%$).

Висновки

1. Трихелементні візки типу 18-100 та аналоги не відповідають новітнім вимогам щодо показників динаміки та міцності. Актуальним двоєдиним завданням на сьогоднішній день є розробка нових проривних технологій, а саме створення оригінальних конструкцій ходової частини вантажних вагонів з метою підвищення швидкостей руху, зниження необресорених мас, зниження рівня впливу на колію, підвищення енергоефективності рухомого складу, а також створення способів модернізації існуючих візків для поліпшення їх техніко-економічних характеристик.

2. Загальноприйнятій класифікації візків вантажних вагонів мають бути доповнені перспективними видами організації ресорного підвищення. Автором розроблено наступні типи для доповнення класифікації: комбіноване буксове підвищення з пружною рамою, комбіноване центральне підвищення з пружною рамою, пружна рама, багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне підвищення з пружною рамою, багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне коліскове підвищення з пружною рамою, пружна надресорна балка.

3. У якості пружно-дисипативної несучої рами візка вантажного вагону ефективно використовувати листові ресори.

4. До основних причин зламів бокових рам типу 18-100 в зоні радіусного переходу R55 відносяться: високі повздовжні сили від букс, що діють на зовнішні щелепи бічних рам при ударах після скаткування з сортувальних гірок; високі діючі моменти сил на зону буксового отвору внаслідок забігання бокових рам; дефекти матеріалу; недосконалі конструкції бокової рами та перекося колісних пар при повздовжніх ударних навантаженнях.

5. За результатами комп'ютерного моделювання зниження опору руху навантаженого вагона з використанням буксового ступеня ресорного підвищення зі статичним прогином 40 мм становить $13 \pm 2\%$.

Література

1. Горбунов Н.И. К вопросу создания тележки грузового вагона / Н.И. Горбунов, С.Д. Мокроусов, Е.С. Ноженко, Е.А. Кравченко, С.В. Кара // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля 2013, №18 (207) – С. 91-97.
2. Горбунов М.І. Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення міцності візка вантажного вагона / Горбунов М.І., Ноженко О.С., Кара С.В. та ін. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Во-

лодимира Даля № 1 (218) Ч. 1. Вид-во СНУ ім. В. Даля м. Сєверодонецьк, 2015 – С. 200 – 203.

3. Горбунов М. І. Перспективні напрями підвищення міцності бокових рам візків вантажних вагонів / М. І. Горбунов, С. В. Кара О. С. Ноженко, А. Д. Анофрієв // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 26- 27. К.: ДЕТУТ, 2015 – С. 148 – 154.
4. Деклараційний патент України на корисну модель № 114020 Візок вагона / Горбунов М. І.; Герліці Ю.; Лак Т.; Ноженко О.С.; Кара С.В.; Хаусер В.; Кравченко К.О.; Просвірова О.В. - 27.02.2017, бюл. № 4.
5. Деклараційний патент України на корисну модель № 117942 Візок вагона / Горбунов М. І.; Герліці Ю.; Лак Т.; Ноженко О.С.; Кравченко К.О.; Кара С.В.; Ноженко В.С.; Просвірова О.В. - 10.07.2017, бюл. № 13.
6. Сенько В.И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, М.И. Пастухов, С.В. Макеев, И.Ф. Пастухов //Вестник ГГТУ им. П.П.Сухого. – №4, 2010. – С. 13-18.
7. Огневой. В.Я. Фрактографические особенности разрушения литых боковых рам тележек грузовых вагонов / В.Я. Огневой // Ползуновский альманах. – 2011. – №4. – С. 36-41.

References

1. Horbunov N.Y. the question of the creation of a freight wagon / N.Y. Horbunov, S.D. Mokrousov, E.S. Nozhenko, E.A. Kravchenko, S.V. Kara // Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia 2013, №18 (207) – S. 91-97.
2. Horbunov M.I. Rationale technical solutions to improve the strength of freight wagon bogie / Horbunov M.I., Nozhenko O.S., Kara S.V. ta in. // Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia № 1 (218) Ch. 1. Vyd-vo SNU im. V. Dalia m. Sievierodonetsk, 2015 – S. 200 – 203.
3. Horbunov M. I. Perspective directions of increase strength side frame freight car bogies / M. I. Horbunov, S. V. Kara O. S. Nozhenko, A. D. Anofriev // Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriiia «Transportni systemy i tekhnolohii». – Vyp. 26- 27. K.: DETUT, 2015 – S. 148 – 154.
4. Deklaratsiinyi patent Ukrainy na korysnu model № 114020 Bogie of the wagon / Horbunov M. I.; Herlitsi Iu.; Lak T.; 27.02.2017. № 4.
5. Deklaratsiinyi patent Ukrainy na korysnu model № 117942 Bogie of the wagon / Horbunov M. I.; Herlitsi Iu.; Lak T.; Nozhenko O.S.; Kravchenko K.O.; Kara S.V.; Nozhenko V.S.; Prosvirova O.V. - 10.07.2017, biul. № 13.
6. Senko V.Y. Analysis of the causes of damage and the possibility of extending the life of the side frames of freight wagons / V.Y. Senko, M.Y. Pastukhov, S.V. Makeev, Y.F. Pastukhov //Vestnyk NHTU ym. P.P.Sukhoho. – №4, 2010. – S. 13-18.
7. Ohnevoi. V.Ia. Fractography especially fracture cast side frames freight car bogies / V.Ia. Ohnevoi // Polzunovskiy almanakh. – 2011. – №4. – S. 36-41.

Кара С.В. Улучшения показателей динамики и прочности ходовой части грузовых вагонов путем конструктивного совершенствования

В статье рассмотрены вопросы перспективных ходовых частей для грузовых вагонов нового поколения, разработано дополнение к существующей классификации тележек, а именно предложено внедрение таких типов подвешивания: комбинированное буксовое подвешивание с упругой рамой, комбинированное центральное подвешивание с упругой рамой, упругая рама, многоступенчатое комбинированное: буксовое и центральное подвешивание с упругой рамой, многоступенчатое комбинированное: буксовое и центральное, люльчатое подвешивание с упругой рамой, упругая наддресорная балка. Проанализированы основные проблемы недостаточной прочности боковых рам, и представлены результаты экспериментальных исследований автора. Представлены результаты теоретических исследований средствами моделирования движения вагона в программном комплексе «Универсальный механизм» по определению влияния первой степени рессорного подвешивания в тележках типа 18-100 на энергоэффективность (сопротивление движению) и установлена расчетная величина снижения сопротивления движению. Подготовлено концепт принципиально новой конструкции тележки грузового вагона для скоростного движения, основанный на принципиально новых технических решениях с упруго-диссипативными несущими элементами, а также разработана концепция модернизации тележек типа 18-100 и аналогов путем внедрения буксового подвешивания на жд пути 1520 мм.

Ключевые слова: тележка грузового вагона, рама, рессорное подвешивание, прочность, динамика, энергоэффективность, классификация тележек.

Kara S. Improvement of indicators of dynamics and strength of freight cars bogies by constructive changes

The article deals with the issues of perspective moving parts for the new generation of freight wagons, an addition to the existing classification of bogies was developed, namely, the introduction of such types of suspensions was proposed: a combined box hanging with an elastic frame, a combined central hanging with an elastic frame, an elastic frame, a multi-stage combined: central hanging with elastic frame, multi-stage combined: box and central, hollow suspension with elastic frame, elastic on dressing beam. The main problems of insufficient strength of lateral frames are analyzed, and the results of experimental studies of the author are presented. The results of theoretical investigations by means of modeling of the carriage movement in the software complex "Universal Mechanism" on the definition of the effect of the first stage of spring suspension in 18-100 type trucks on energy efficiency (resistance to motion) are presented, and the calculated value of reduction of resistance to motion is established. The conception of a fundamentally new construction of a truck for high-speed traffic was prepared, based on fundamentally new technical solutions with elastic-dissipative carrier elements, as well as a concept for the modernization of 18-100 and analogue carts by introducing a boom suspension on a 1520 mm track.

Key words: freight truck bogie, frame, spring suspension, strength, dynamics, energy efficiency, classification of bogies.

Кара Сергій Віталійович – аспірант каф. ЗАТ та ПТМ CHV ім. В. Даля, e-mail: Kara_SV@i.ua, тел. +38(066)4455778.

Рецензент: д.т.н., проф., **Горбунов М.І.**

Стаття подана 31.03.2017.

УДК 66.09

МЕТОДИ ТА ВІДХОДИ ПРОЦЕСІВ ВОДОПІДГОТОВКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Корчуганова О.М., Чумак В.О., Пригородов П.В., Канарова К.І.

THE METHODS AND WASTES OF THE INDUSTRIAL WATER TREATMENTS PROCESSES

Korchuganova O.M., Chumak V.O., Prygorodov P.V., Kanarova K.I.

В статті представлені матеріали досліджень стану утворення та накопичення відходів водопідготовки промислових підприємств Лисичансько-Рубіжанського регіону. Відмічено, що основним джерелом утворення відходів є стадія вапнування-коагуляції, відходи переважно складаються з карбонату кальцію зі значними домішками залишків коагулянтів та органічних речовин. Накопичені відходи потребують утилізації, а також вибору та розробки її ефективних методів. Одним з перспективних методів є одержання з відходів солей кальцію та коагулянтів.

Ключові слова: водопідготовка, осадження, пом'якшення, відходи, вапнування, коагуляція, карбонат кальцію.

Вступ. Промислова вода обробляється для запобігання утворення накипу, протидії корозії і біобростанню, а також для підвищення ефективності та продовження терміну служби та зменшення витрат на ремонт і заміну обладнання [1]. Найчастіше в промисловості вода застосовується за наступними призначеннями:

- котельна вода (одержання пари і гарячої води котлів);
- охолоджуюча вода, що циркулює через системи зворотного водопостачання;
- в випарних конденсаторах і випарних охолоджувачах;
- охолоджуюча вода для кондиціонування повітря.

Методи водопідготовки повинні вибиратися при зіставленні складу вихідної води і її якості, що регламентується нормативними документами або вимогами до води певного призначення. Найчастіше ефективний результат досягається поетапним здійсненням кількох методів. Отже, важливими є як вибір власне методів обробки води, так і їх послідовність [2]. В залежності від якості вхідної води підприємства найчастіше обирають реагентні або безреагентні методи. Серед таких, що користуються найбільшою популярністю – вапнування з одночасною коагуля-

цією, різноманітні іонообмінні методи, електродіаліз, зворотний осмос, термічні методи, тощо. Наявність, в процесі реалізації водопідготовчих методів утворюються відходи. Так, в ході експлуатації водопідготовчих установок ТЕС, на стадії реагентної водопідготовки утворюються шламові води в кількості 5-20 % витрат вихідної води, які зазвичай містять кальцій карбонат, гідроксиди магнію, заліза та алюмінію а також органічні речовини. Якщо у водопідготовчих установках задіяні іонообмінні процеси до шламових вод додаються відпрацьовані регенераційні розчини, які містять солі сульфатної або хлоридної кислот. Якщо в схемі задіяні електродіаліз або зворотний осмос утворюються рідкі концентровані відходи [3].

Як правило, вихідна вода містить колоїдні органічні домішки, і процес вапнування поєднують з процесом коагуляції – дозуванням в воду сульфату заліза або алюмінію. Процес вапнування і коагуляції води ведеться в освітлювачах – апаратах зі зваженим шаром, через який знизу-вгору проходить вихідна підігріта вода, яка реагує з коагулянтном і вапном. Традиційним обладнанням при використанні цього технологічного процесу крім освітлювачів є ще і шламонакопичувачі, куди з нижньої частини освітлювачів подають «шламову» воду, а після відстоювання, використовують освітлену воду у виробництві. В якості накопичувачів використовують сплановані площадки глибиною не менше 2 м, які заповнюють до межі, потім, зневоднений природним способом осад вивозять на задалегідь обрану територію (якщо така є).

Метою статті є з'ясування стану утворення та накопичення відходів на промислових підприємствах Лисичансько-Рубіжанського регіону.

Основні матеріали дослідження. У 2010 році Северодонецьке об'єднання «Азот» оголошувало тендер на переробку шламу декарбонізації річкової води. Необхідність такого роду робіт виникла через

наповнення шламонакопичувача. На момент оголошення тендеру він містив ~ 300 тис.т шламу. Основний компонент – карбонат кальцію; домішки – залізо, алюміній, органічна складова і т.д. Проблемою виявилася низька ефективність зневоднення шламу і неможливість його транспортування на полігон зберігання промислових відходів. З огляду на те, що шламонакопичувач – основне технологічне обладнання, існував ризик зупинки виробництва через проблеми водопідготовчого циклу.

Подібні проблеми можливі на будь-якому промисловому підприємстві, більшість яких в Луганській області почало функціонувати в 50-60 рр. Крім цього існують численні ТЕЦ зі схожою ситуацією.

В Лисичансько-Рубіжанському регіоні представлені два великих теплоенергетичних підприємства – Северодонецька ТЕЦ та ТЕЦ «Лінік», у яких схожі схеми водопідготовки.

На Лисичанському НПЗ (ПРАТ «Лисичанська нафтова інвестиційна компанія») для використання в технологічних цілях поверхнева вода вимагає попередньої обробки (передочистки), для вирішення цього завдання застосовують реагентні методи обробки води – содовапнювання з коагуляцією. Реагентні методи обробки води на водопідготовчій установці (ВПУ) засновані на реакціях, в результаті яких утворюються важкорозчинні сполуки CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ та інші, що видаляються з води у вигляді осаду (шламу). Процес проводять в освітлювачах. Якість вихідної води, що надходить на ВПУ з річки Сіверський Донець, середнє за 2013 ÷ 2014 роки, приведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Якість вихідної води, що надходить на ВПУ з річки Сіверський Донець, середнє за 2013 ÷ 2014 роки

Показники	Од. вимір.	Значення
рН		8,4
Жорсткість загальна	мг-екв/дм ³	10,1
Масова концентрація хлоридів	мг/дм ³	163,2
Лужність загальна	мг-екв/дм ³	5,4
Масова концентрація силікатної кислоти	мкг/дм ³	4688
Масова концентрація сульфатів	мг/дм ³	312
Жорсткість по кальцію	мг-екв/дм ³	7,4
Жорсткість по магнію	мг-екв/дм ³	2,8
Масова концентрація нафтопродуктів	мг/дм ³	0,1
Окиснюваність	мгО ₂ /дм ³	2,0
Масова концентрація розчинних солей (сухого залишку)	мг/дм ³	730,1
Масова концентрація зважених речовин	мг/дм ³	10,1
Вміст сполук заліза	мкг/дм ³	404,24

Принципова схема водопідготовчої установи на Лисичанському НПЗ наведена на рис. 1. Обробку води проводять методом осадження з подальшою фільтрацією на механічних фільтрах і двоступінчастим натрій-катионуванням.

При роботі освітлювача важкорозчинні сполуки через шламоприймальні вікна надходять до шламоушільнювача разом з водою. У шламоушільнювачу вода звільняється від шламу. Шлам осідає в конусній частині шламоушільнювача, ущільнюється (частково зневоднюється) під впливом верхніх його

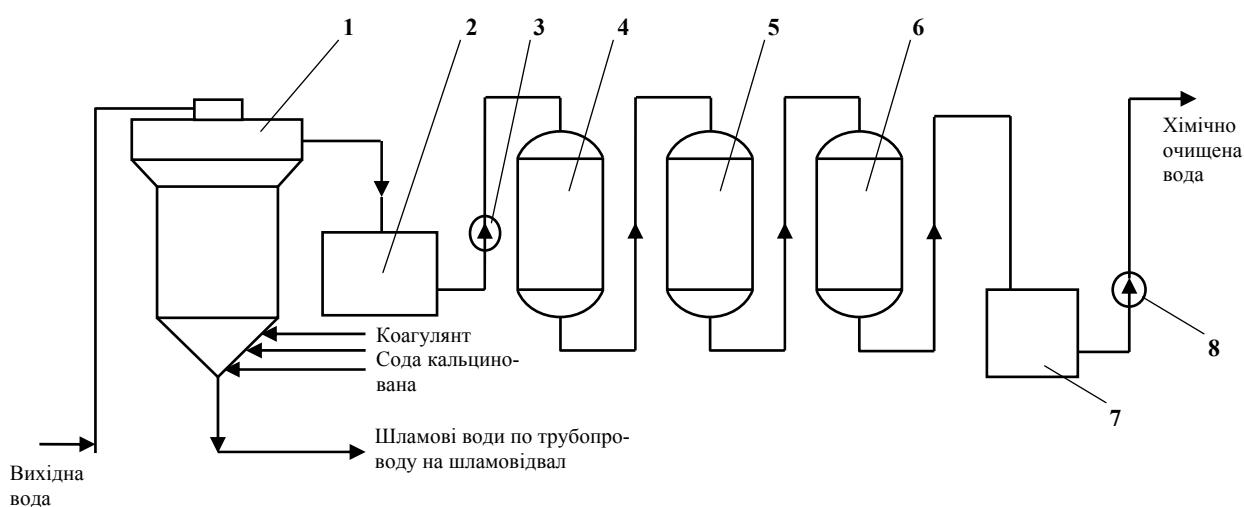


Рис. 1. Принципова схема водопідготовчої установи на Лисичанському НПЗ:

- 1 – освітлювач; 2 – бак вапняно-коагульованої води; 3 – насос вапняно-коагульованої води;
4 – механічний фільтр; 5 – натрій-катионітовий фільтр I ступеня; 6 – натрій-катионітовий фільтр II ступеня;
7 – бак хімічно очищеної води; 8 – насос хімічно очищеної води

шарів і видаляється при безперервній і періодичній продувках до шламового приймку. Далі шлам гідротранспортується по трубопроводу до шламовідвалу. Шламовідвал був збудований і введений у експлуатацію в 1977 році. Станом на початок 2017 року оціночна кількість шламу в перерахунку на суху речовину складає приблизно 110 тис. тонни.

Схема водопідготовки Северодонецької ТЕЦ дещо відрізняється від вищеописаної і представлена на рис. 2, трохи відрізняється і склад вихідної води.

Вихідна вода, яку споживає Северодонецька ТЕЦ, має наступний хімічний склад, який наведено в таблиці 2.

Таблиця 2
Якість вихідної води, що надходить на Северодонецьку ТЕЦ

Показники	Од. вимір.	Значення
Жорсткість загальна	мг-екв/дм ³	6,32
Масова концентрація хлоридів	мг-екв/дм ³	1,96
Лужність загальна	мг-екв/дм ³	4,7
Масова концентрація сульфатів	мг-екв/дм ³	2,1
Жорсткість по кальцію	мг-екв/дм ³	4,61
Жорсткість по магнію	мг-екв/дм ³	1,71
Вміст сполук заліза	мкг/дм ³	9,0
Вміст натрію	мг-екв/дм ³	2,45

Насосами сирій води вода прокачується через підігрівачі сирій води, підігріваючись до 40 °С та подається на хімоводоочищення.

На хімоводоочищенні від основного трубопроводу вихідної води по двох окремих трубопроводах вода подається до освітлювачів. Після обробки у освітлювачах вода зливається у бак освітленої води, звідки відбирається насосами освітленої води та прокачується через механічні Na-катіонітові фільтри першої та другої ступені послідовно, далі подається у бак хімічноочищеної води.

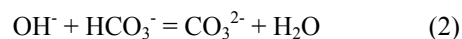
З баку хімічно очищеної води вода забирається насосами хімічно-очищеної води та подається на підпитку теплосіті.

Під час вапнування відбуваються наступні процеси.

Перш за все з води видаляється вільна вуглекислота CO₂, утворюючи складно розчинні сполуки, що випадають у осад:



Так як вапно гідратоване у воді, що обробляється, підвищується концентрація Ca²⁺ та OH⁻. Підвищення концентрації OH⁻ призводить до зміни вуглекислотної рівноваги, що призводить до переходу бікарбонатів (HCO₃⁻) у карбонати (CO₃²⁻).



Карбонати (CO₃²⁻) утворюють з іонами кальцію (Ca²⁺), що знаходяться у воді, карбонат кальцію (CaCO₃), що випадає у осад.

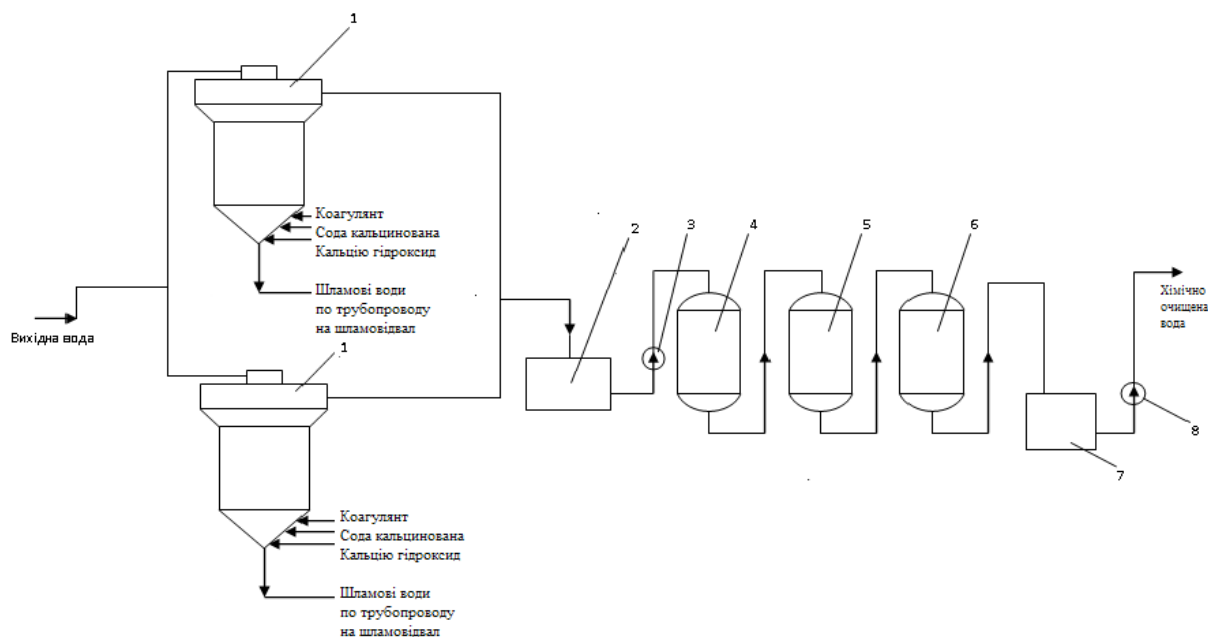
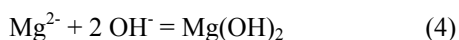


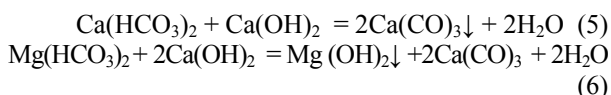
Рис. 2. Принципова схема водопідготовчої установки на Северодонецькій ТЕЦ:

1 – освітлювачі; 2 – бак освітленої води; 3 – насос освітленої води; 4 – механічний фільтр; 5 – натрій-катіонітовий фільтр I ступені; 6 – натрій-катіонітовий фільтр II ступені; 7 – бак хімічно очищеної води; 8 – насос хімічно очищеної води

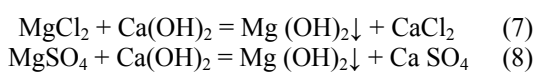
Іони магнію (Mg^{2-}) взаємодіють з гідроксильними іонами (OH^-), утворюють осад у вигляді складно розчинного гідрату окису магнію $Mg(OH)_2$.



У молекулярній формі реакції, що протікають при вапнуванні, можна виразити наступними рівняннями:



Разом з цим протікають наступні реакції:



Карбонат кальцію, що утворюється у процесі вапнування води та гідрат окису магнію випадають у вигляді осаду.

Отже, зважаючи на механізми утворення осадів, завдяки процесам реагентної обробки води шлами, що скидаються в шламовідвали мають схожий хімічний склад. Було проведено хімічний аналіз відходів водопідготовки ПрАТ «ЛИНІК» та Сєверодонецької ТЕЦ. Використовувалися комплексометричні методи аналізів [4], результати представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Хімічний склад відходів водопідготовки

ПАТ «ЛИНІК»				
Компонент	$CaCO_3 + Ca(OH)_2$	$Mg(OH)_2$	$Fe(OH)_3$	SiO_2
%, мас.	77,5	20,5	1,2	0,8
Сєверодонецька ТЕЦ				
Компонент	$CaCO_3 + Ca(OH)_2$	$Mg(OH)_2$	$Fe(OH)_3$	інше
%, мас.	63,5	8,3	5,0	23,2

Окрім основних водопідготовчих відходів – шламів, на наступних стадіях утворюються рідкі відходи, склад та природа яких залежить від типу обраного методу доочищення води.

Очищення води методом зворотного осмосу дозволяє отримати найбільш чисту воду, що застосовується у замкнутих циклах промислових об'єктів: для живлення котлів високого тиску, виробництва напівпровідникових матеріалів. Зворотний осмос можна також з успіхом застосовувати для концентрування стічних вод, при чому очищену від забруднень воду можна повертати у промисловий цикл, а концентрат утилізувати.

Електромембранні процеси знімають багато питань, що пов'язані з використанням традиційних методів очистки і дозволяють створювати автоматизовані замкнуті цикли виробництва. Значне місце на практиці водоочистки а особливо опріснення води займає електродіаліз. Опріснення за допомогою еле-

ктродіалізного методу може бути доведено до будь якого необхідного вмісту солей у залежності від потреб, окрім того процес протікає без зміни фазової рівноваги.

Деякий час на ПрАТ «ЛИНІК» працював електродіалізатор. Він представляв собою багатокамерний апарат, що складався з горизонтальних камер, заповнених полівінілхлоридними мембранами, типу МА-40 та МК-40 та електродів. Максимальна концентрація розсолу складала 25 г/л, у камері знесолення концентрація знесолу досягала слідових концентрацій солі. Установка працювала у циркуляційному режимі. Встановлено, що вище солевміст і жорсткість, тим більше повинна бути ступінь рециркуляції. Кислий конденсат з системи оборотного водопостачання проходив фільтр попереднього очищення від солей жорсткості та іонів заліза, так як мембрани забиваються відкладеннями. Температура вище 55 °С небажана, ця температура наближена до межі термостійкості мембран. Визначено, що постійне збільшення опору зумовлювалося накопленням осаду, що складався з $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $Fe(OH)_3$. Зважаючи на ці та інші складнощі експлуатації установки, електродіалізатор було замінено на іонообмінну установку, схожу на ту, що функціонує на Сєверодонецькій ТЕЦ.

Відходи іонообмінних установок – це відпрацьовані розчини регенерації смоли, які мають такі характеристики: рН 2,0-8,5, концентрації хлорид-іонів ~ 4600 мг/дм³, сульфат-іонів – 7000 мг/дм³, сухого залишку - 10000 мг/дм³, азоту амонійного - 7,0 мг/дм³. Кількість відходів ~235 м³ на 1000 м³ хімічно очищеної води.

Висновки. Отже, утворені відходи водопідготовки заповнюють шламонакопчувачі і потребують утилізації.

Напрямок утилізації залежить від досить великої кількості факторів, як то:

- умови зберігання опадів;
- можливість поховання опадів на полігонах промислових відходів;
- хімічний і гранулометричний склад опадів;
- затребуваність продуктів утилізації на промислового підприємстві.

З огляду на, що Україна має в своєму розпорядженні надлишкові потужності з виробництва вапняку, опади декарбонізації навряд чи будуть затребувані промисловістю будівельних матеріалів в якості вторинної сировини, тому в даному випадку мова йде тільки лише про ефективну утилізації останніх.

Можливі наступні напрямки утилізації осадів:

1) рециклінг, а саме отримання вапна, потім вапняного молока, тобто повторне використання в водопідготовці (можлива реалізації частини вапна як товарного продукту);

2) отримання будматеріалів (реалізація на заводі будівельних матеріалів демпінговими цінами, організація при підприємстві цеху з отримання будматеріалів (газобетону, гіпсової штукатурки і т.д.);

3) отримання карбонату кальцію для промислового використання (напр. наповнювача для полімерів, пігменту);

4) використання у виробництві мінеральних добрив і т.д.

Л і т е р а т у р а

1. Беликов С. Е. Водоподготовка / Сергей Евгеньевич Беликов. – Москва: Акватерм, 2007. – 240 с.
2. Industrial water treatment procedure//Public work technical bulletin. №420-49-05. 1998. pp 153
3. Копылов А. С. Водоподготовка в энергетике: / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков. – Москва: МЭИ, 2006. – 309 с.
4. Шарло Г. Методы аналитической химии / Г. Шарло. – Москва: Химия, 1969. – 1206 с.

R e f e r e n c e s

1. Belykov S. E. Vodopodhotovka / S. E. Belykov. – Moskva: Akvaterm, 2007. – 240 s.
2. Industrial water treatment procedure//Public work technical bulletin. №420-49-05. 1998. pp 153
3. Kopylov A. S. Vodopodhotovka v enerhetyke: / A. S. Kopylov, V. M. Lavyhyn, V. F. Ochkov. – Moskva: MEY, 2006. – 309 s.
4. Sharlo H. Metody analytycheskoi khymyy / H. Sharlo. – Moskva: Khymyia, 1969. – 1206 s.

Корчуганова Е.Н., Чумак В.А., Пригородов П.В., Канарова К.И. Методы и отходы процессов водоподготовки промышленных предприятий.

В статье представлены материалы исследований состояния образования и накопления отходов водоподготовки промышленных предприятий Лисичанско-Рубежанского региона. Отмечено, что основным источником образования отходов является стадия известкования-коагуляции, отходы преимущественно состоят из карбоната кальция со значительными примесями остат-

ков коагулянтов и органических веществ. Накопленные отходы требуют утилизации, а также выбора и разработки ее эффективных методов. Одним из перспективных методов является получение из отходов солей кальция и коагулянтов.

Ключевые слова: водоподготовка, осаждение, умягчение, отходы, известкование, коагуляция, карбонат кальция.

O.M. Korchuganova, V.O. Chumak, P.V. Prygorodov, K.I. Kanarova The Methods And Wastes of the Industrial Water Treatments Processes.

The article presents research materials on studying of formation and deposition of industrial water treatment processes' wastes of factories of Lysychansk-Rubizhnoe region. It is noted that the main source of waste is lime-softening combined with coagulation stage. The waste mainly composed of calcium carbonate with significant residual impurities coagulants and organic substances. Accumulated wastes need utilization and the selection and development of effective methods of utilization. One of the promising methods is to obtain calcium salts and coagulants from wastes.

Keywords: water treatment process, precipitation, softening, waste, lime, coagulation, calcium carbonate.

Корчуганова О.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, e-mail: olena.korch@gmail.com

Чумак В.О. - асистент кафедри хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля.

Пригородов П.В. – провідний фахівець відділу планування та управління ефективністю ПРАТ «ЛИНІК», e-mail: prygorodov@gmail.com

Канарова К.І. - аспірант кафедри хімії та охорони праці Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, e-mail: kristenkanarova@gmail.com

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

Стаття подана 5.04.2017

УДК 614.89:331.45

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА СПАСАТЕЛЕЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ

Костенко Т.В.

IMPACT ASSESSMENT OF SOLAR RADIATION ON RESCUERS WORKING IN THE OPEN AREA

Kostenko T.

В статье уравнение баланса тепловой нагрузки на организм спасателя дополнено компонентами, обусловленными воздействием прямых и отраженных солнечных лучей, полученными на основании анализа источников энергетической обстановки при тушении пожаров на открытой местности. Теоретически обоснованы выражения для расчета экстремальных уровней прямых и отраженных солнечных лучей, действующих на спасателей. Эти данные необходимы для оперативной оценки влияния солнечной радиации на личный состав подразделений службы чрезвычайных ситуаций и принятия решения об использовании средств защиты от теплового воздействия.

Ключевые слова: тепловые потоки, солнечная энергия, спасатель, теплозащитные средства

Введение. Тушение пожаров на нефтехранилищах, лесных массивах, транспортных средствах, таких как железнодорожные и автомобильные цистерны, конвейеры, в угольных разрезах проводят на открытой местности. Среди видов травматизма личного состава при ликвидации такого рода пожаров, часты тепловые поражения, а именно ожоги, перегрев организма, потеря сознания, тепловые удары, а иногда – летальные исходы. В настоящее время в нормативных документах отсутствуют рекомендации по учету влияния солнечной энергии на оперативный состав спасательных подразделений. Хотя солнечное излучение оказывает сильное негативное воздействие даже на людей просто находящихся на открытой местности, ухудшая функционирование центральной нервной, сердечно-сосудистой и других систем организма. Поэтому совершенствование нормативных документов в части выработки решения по установлению режима работы и применению средств индивидуальной и групповой защиты личного состава от действия тепла является актуальной задачей. Основой для выбора путей повышения защиты спасателей, по мнению авторов, является раскрытие механизма внешней тепловой нагрузки на

спасателя при тушении пожаров на открытой местности.

В настоящее время известны фундаментальные исследования влияния тепла на организм горноспасателя при тушении подземных пожаров выполненные в НПО «Респиратор» Минтопэнерго Украины [1]. Рассмотрены такие аспекты как влияние внешнего нагрева как действие горячего воздуха (конвективное нагревание), учтено влияние сравнительно небольших в подземных условиях лучевых потоков. Однако, указано, что применение разработанных нормативных и программных средств оценки теплового влияния возможно при отсутствии источников интенсивного излучения.

В большинстве работ, посвященных исследованию внешней тепловой нагрузки на пожарных, учитывают только действие прямых тепловых лучей от очага горения. Это приводит к занижению результатов, недооценке влияния конвективного нагрева и отраженных лучей.

Обобщая информацию, можно сделать вывод, что известные методики не учитывают в полной мере все виды теплового воздействия на спасателя в процессе тушения пожара на открытой местности. В этих условиях действуют параллельно три основных вида внешнего теплового воздействия, а именно: прямые потоки тепловых лучей (радиация) от основных источников излучения (пожар и Солнце), обдувающие тела струями горячих газов (конвекция), теплопередача при прикосновении к нагретым твердым предметам (кондукция) [2].

В строительных нормах [3] приведены данные о средней и максимальной величине суммарной (прямой и рассеянной) солнечной энергии (табл.1). Однако руководствоваться ими можно только в тех случаях, когда отсутствуют прямые тепловые лучи от пожара, например при тушении торфяников. В противном случае необходимо дополнительно учи-

тивать прямые и отраженные тепловые потоки генерируемые очагом горения.

Таблица 1
Количество суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации ($Вт \cdot м^{-2}$), падающей на различно ориентированные поверхности в июне при безоблачном небе [3]

Поверхности и их ориентация по странам света	Обозначение	Географическая широта, град			
		40	45	50	55
Горизонтальная	$q_{ср}$	345,4	344	344	343
	$q_{макс}$	945,5	900	883	785
Вертикальная (южная)	$q_{ср}$	79	101	122	139,5
	$q_{макс}$	309	273	448	512
Вертикальная (восточная и западная)	$q_{ср}$	151	160	169	177
	$q_{макс}$	652	655	675	686
Вертикальная (северная)	$q_{ср}$	54,6	58	60,5	65
	$q_{макс}$	207	211	221	238

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что величина солнечной радиации существенно зависит от ориентации облучаемой площадки. Наибольший уровень солнечной энергии поступает на горизонтальные участки, а также ориентированные в направлении восток-запад вертикальные. Облучение фигуры спасателя также происходит неравномерно из-за движения человека и перемещения светила по небосводу.

Ликвидация большинства чрезвычайных ситуаций происходит в условиях дефицита времени на ее ликвидацию, а также информации об аварийной обстановке. После прибытия на объект руководителям тушения пожара, как правило, известны основные параметры очага горения, такие как вид горящих материалов, размеры фронта пламени, климатические условия, а именно, температура воздуха, его влажность, направление и скорость ветра, облачность и другие. Исходя из этих сведений, с учетом располагаемых сил и средств, руководители должны оценить обстановку, определить величину негативных факторов воздействия пожара на спасателей, и выработать не только тактику воздействия на очаг горения, но и меры безопасности личного состава.

Целью работы является обоснование основ оперативного учета комплекса внешних термодинамических факторов для выбора средств и способов противотепловой защиты спасателей при тушении пожаров на открытой местности.

Изложение основного материала. Как известно, основным источником теплового излучения является место, где происходят окислительные реакции – фронт горения. Тепловые лучи, попадая на твердую или жидкую поверхность и частично поглощаясь ею, передают молекулам вещества часть своей энергии, заставляя их интенсивно колебаться, нагреваясь при этом. Остальная энергия отражается от поверхностей, рассеиваясь в пространстве. Действующие нормативные документы позволяют объ-

ективно оценить величину тепловой радиации очага горения.

Еще один источник нагрева – солнечная радиация. Ее действие на спасателя подобно действию пожарного излучения. Она существенно зависит от климатических факторов, однако, в ясную погоду действие пожара и Солнца может оказаться соизмеримым. Действие обоих источников независимо, поэтому при исследовании их действия применим принцип суперпозиции.

На спасателя действуют как прямые, так и отраженные лучи, что следует учитывать при определении допустимого времени пребывания его в зоне теплового поражения.

Таким образом, внешняя тепловая нагрузка (Q_{wt}) на поверхность тела или теплозащитного устройства, используемого спасателями при тушении пожаров, складывается из следующих основных составляющих (рис. 1):

- прямые тепловые потоки от пожара (Q_{fd}) и Солнца (Q_{sd}), действие которых имеет векторную направленность;
- отраженные ($Q_{fr} + Q_{sr}$) от грунта и стенок лучевые потоки, имеющие зеркальный и диффузный характер.
- конвективные потоки нагретых газов (Q_k), обусловленные нагревом поверхности или ветрового переноса горячих продуктов горения;
- кондуктивный (Q_c) нагрев от соприкосновения с нагретыми поверхностями, искрами или пламенем.

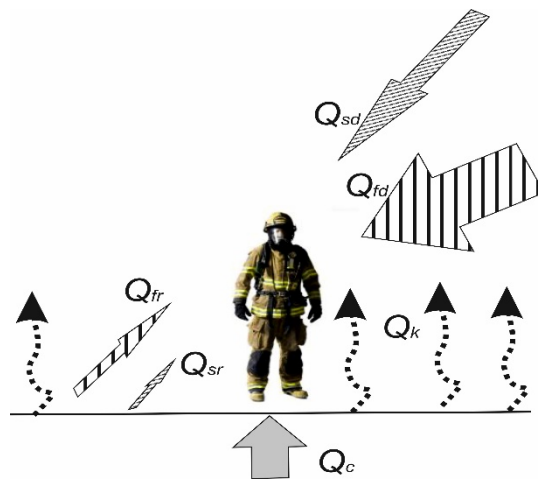


Рис. 1. Схема воздействия на спасателя внешних тепловых потоков: прямые лучи от фронта горения (Q_{fd}) и солнца (Q_{sd}); отраженные – пожарные (Q_{fr}) и солнечные (Q_{sr}); конвективные (Q_k); кондуктивные (Q_c)

Следует отметить, что кроме внешней, присутствует внутренняя тепловая нагрузка обусловленная: тепловыделением при работе мышц человека (Q_{mb}) и функционированием регенеративной дыхательной системы (Q_{ar}). Факторы, определяющие вырабатываемую организмом спасателя внутреннюю теплогенерацию, являются управляемыми путем выбора режимов работы спасателей, диспозицией

подразделений, применением средств механизации и другими способами. Поэтому воздействие внешних факторов является преобладающим, объективно обусловленным и труднорегулируемым.

Общее количество поступающей и генерируемой в системе «человек – теплозащитная одежда – внешняя среда» (ЧТС) теплоты можно выразить уравнением [4]:

$$(Q_{wt}) = Q_{sd} + Q_{fd} + Q_{fr} + Q_{sr} + Q_{\kappa} + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_c \quad (1)$$

Фундаментальные, требующие применения специальной аппаратуры, значительного числа экспериментов и участвующих в них испытуемых, исследования внутренней тепловой нагрузки выполнены в НПО «Респиратор» [1] и воспроизводить их для определения величин (Q_{mb} и Q_{ar}) нет необходимости. В данной работе имеет место попытка определить закономерности воздействия на спасателей солнечных прямых (Q_{sd}) и отраженных (Q_{sr}) потоков тепла.

Величина солнечной радиации является весьма нестабильной в силу влияния значительного числа климатических динамично меняющихся факторов, она зависит от высоты светила над горизонтом, облачности, а также запыленности и задымленности воздуха. В течение суток величина солнечной радиации может существенно изменяться, отсутствовать ночью и достигать максимума в середине дня. Поэтому имеет смысл оценить возможную экстремальную тепловую нагрузку на организм от влияния солнечных лучей, и целесообразность ее учета при планировании оперативных действия при тушении пожаров на открытой местности.

Солнечная энергия, дошедшая до атмосферы Земли в виде лучей Солнца $q_{sdo}=1367, \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ [5], носит название прямой солнечной радиации, она частично рассеивается молекулами воздуха и взвешенными в нем частичками, некоторая часть отра-

жается облаками. Рассеивание заметно ослабляет дошедшую до поверхности земли солнечную радиацию $q_{sd}=k_{ocл} \cdot q_{sdo}$. Влияние водяных паров и особенно пылевых частиц ослабляет радиацию примерно на 15%. В больших городах и пустынных областях, где запыленность воздуха наибольшая, рассеивание ослабляет силу солнечных лучей еще на 30...45%. Соответственно суммарный коэффициент ослабления солнечного лучевого потока может изменяться в диапазоне:

$$0,85 > k_{ocл} > 0,47. \quad (2)$$

Величина солнечной радиации q_{sd} также существенно зависит от угла падения лучей на поверхность Земли. При отвесном их падении, когда угол между вектором луча и нормалью к поверхности равен 0° , она максимальна и составляет около 100%, при увеличении этого угла до 90° происходит ее уменьшение до 25% и менее (рис.2).

Определение высоты Солнца над горизонтом не представляет труда в современных условиях, когда в интернете имеются «Астрономические калькуляторы» [6], в которых входными данными являются дата, время суток, а также географические координаты. Некоторые варианты калькуляторов предлагают использовать базу координат городов (название ближайшего города) и время суток. Результатом расчета в любых устройствах является значение в градусах азимута и угла высоты светила над горизонтом.

В зависимости от параметров падения лучей изменяется не только количество лучей, но также и их качество. В период, когда Солнце находится в зените, на ультрафиолетовые лучи приходится 4%, на видимые - 44% и инфракрасные - 52%. При положении Солнца у горизонта ультрафиолетовых лучей совсем нет, видимых 28%, а инфракрасных 72%.

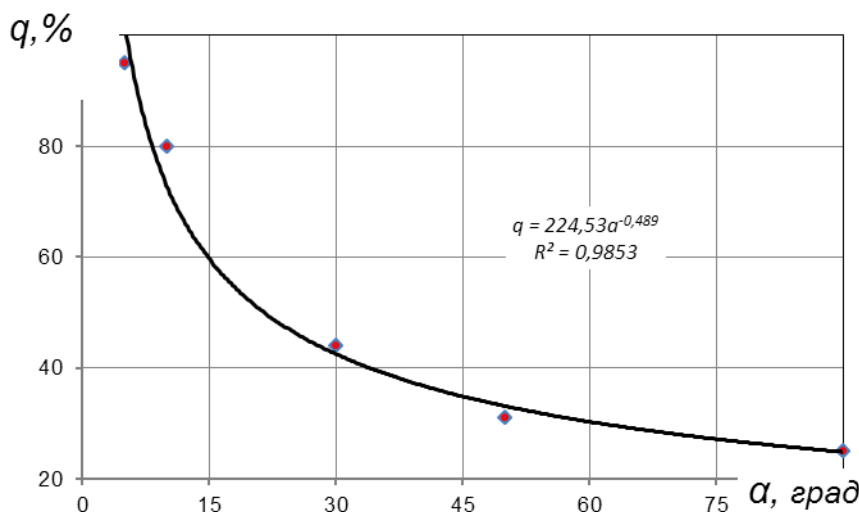


Рис. 2. Ослабление солнечной радиации (%) при различных углах (α) между вектором луча и нормалью к поверхности

Нагревающей способностью обладают инфракрасные лучи, составляющие, в среднем, около 62% потока. Ослабление нагрева прямой солнечной энергией определяется не только углом α , но и спектральными характеристиками. Ориентировочно коэффициент спектрального изменения потока (k_{cu}) можно принять в виде:

$$k_{cu} = 0,72 - 0,0022 \alpha \quad (3)$$

Таким образом, неблагоприятный прогноз тепловой нагрузки от действия прямых солнечных лучей можно представить, как поступающий от Солнца поток, ослабленный атмосферой, имеющий усредненную долю нагревающего спектра, и зависящий от расположения светила относительно поверхности. Выражение для его расчета можно представить в следующем виде:

$$q_{sd} = 1367 \cdot k_{ocл} \cdot k_{cu} \cdot q = 1367 (0,47 \dots 0,85) \times (0,72 - 0,0022 \alpha) \cdot 2,24 \cdot \alpha^{-0,489}, \text{ Вт м}^{-2} \quad (4)$$

Ориентировочный расчет показывает, что в ясную безветренную погоду нагрев прямыми солнечными лучами, падающими под углом $40 \dots 50^\circ$, может составлять $q_{sd} = 150 \dots 270 \text{ Вт м}^{-2}$, что, за вычетом отраженной энергии, примерно соответствует данным табл.1 для горизонтальных поверхностей. Такая величина является весомой добавкой в общий тепловой баланс спасателя (см. (1)), ее следует обязательно учитывать для планирования продолжительности аварийных работ в зонах нагревающего микроклимата.

При тушении пожара без использования средств защиты от тепла, солнечный нагрев следует учитывать даже в относительно благоприятных условиях. Учитывая неравномерность освещения фигуры, а также движение спасателя в процессе выполнения оперативных действий, максимальную величину $Q_{sd} + Q_{rd}$ предлагается определять как произведение площади поверхности человеческого тела на среднеарифметический по столбцу табл.1 для соответствующей географической широты значение q_{cp} . Этот показатель позволяет принять меры по снижению утомляемости личного состава и повышению эффективности работы спасателей путем обливания водой, обеспечения прохладным витаминным питьем, более частыми сменами при выполнении особенно напряженных операций и т.д.

Отношение величины солнечной радиации, отраженной данной поверхностью, к величине потока лучистой энергии, падающей на эту поверхность, называется альбедо. Альбедо для площадей выражается в процентах (табл.2), целесообразно использовать коэффициент отражения (k_o) в долях, характеризующий отражательную способность данной поверхности.

Альбедо зависит от характера поверхности (свойства почвы, наличия снега, растительности, воды и т.д.) и от величины угла падения лучей Солнца

на поверхность Земли. Примеры альбедо из табл.2 относятся к тем случаям, когда высота Солнца над горизонтом равна 45° (наиболее распространенная ситуация). При уменьшении же этого угла отражающая способность увеличивается [7].

Таблица 2

Альбедо и коэффициент отражения различных поверхностей

Поверхность	Альбедо, %	k_o
Снег свежий	85	0,85
Песок	30	0,3
Лес	10...18	0,1...0,18*
Трава зеленая	26	0,26*
Трава сухая	19	0,19*
Вода	2...5	0,02...0,07**
Бархат черный	0,5	0,005
Алюминий	80...90	0,8...0,9

* - условно принято тождественным альбедо

** - зависит от угла падения света

Так, например, при высоте Солнца $\alpha = 90^\circ$ вода отражает только 2%, при 50° - 4%, при 20° - 12%, при 5° - 35...70% (в зависимости от состояния водной поверхности) (рис.3). Это свойство водной поверхности следует учитывать, так как позиция, с которой осуществляют тушение пожара, часто покрыта слоем воды или распадающейся пены, которая отражает подобно снегу.

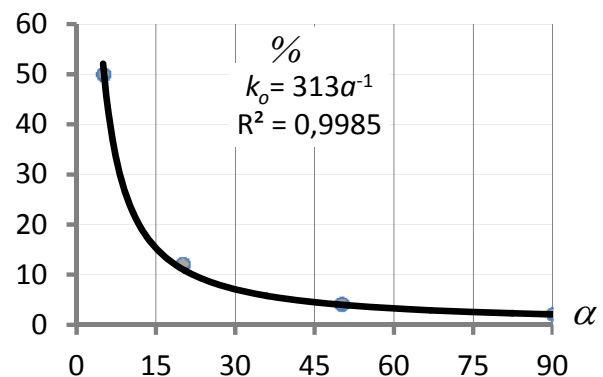


Рис. 3. Отражательная способность водной поверхности (%) в зависимости от угла (α) между вектором лучей и нормалью к поверхности

Суммарный прямой, и отраженный, тепловой поток солнечной энергии можно оценить из выражения:

$$q_{ss} = q_{sd} + q_{sr} = q_{sd}(1 + k_o) \quad (5)$$

Как следует из выражения (3), на некоторых поверхностях (снег, пена, вода, металл), на спасателей может воздействовать тепловой поток в 1,5...1,8 раз больший, чем прямой солнечный из-за наличия отраженных лучей. Плотность потока отраженных от площадки лучей обратно пропорциональна квадрату расстояния до облучаемого объекта, поэтому основное их воздействие сказывается на близко рас-

положенные части тела. Наиболее уязвимыми местами являются голени и ступни ног.

Остальная, поглощенная поверхностью, часть солнечных лучей расходуется на ее разогрев и формирование, в дальнейшем, конвективных воздушных потоков.

Известно, что Земля, получая солнечную энергию, нагревается и сама становится источником излучения тепла в мировое пространство. Однако лучи, испускаемые поверхностью, качественно отличаются от солнечных лучей. Земля излучает лишь длинноволновые ($\lambda = 8...14\mu$) невидимые инфракрасные (тепловые) лучи. Энергия, излучаемая земной поверхностью, называется *земной радиацией*. Следует отметить, что величина земной радиации, в отличие от солнечной, не зависит от времени суток, а определяется величиной нагрева поверхности. Она существенно зависит от продолжительности прогрева поверхности пожаром и Солнцем. В том случае, когда рассматривается совместное действие Солнца и пожара, максимальная земная радиация определяется как результат нагрева поверхности этими двумя источниками энергии:

$$q_{sr}^1 = C \cdot \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \quad (6)$$

где q_{sr}^1 - количество излученной с поверхности энергии, $МДж \cdot м^{-2} \cdot ч^{-1}$; C - коэффициент излучения тела, $МДж \cdot м^{-2} \cdot ч^{-1} \cdot K^{-4}$; F - площадь облученной поверхности, $м^2$; T_s - температура поверхности, K .

Оценить температуру T_s можно, непосредственным измерением, или используя предложенное А.М. Шкловером [8] выражение:

$$T_s = T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_{om}}, \quad (7)$$

где T_n - температура наружного воздуха, K ; α_{om} - коэффициент теплоотдачи поверхности, $МДж \cdot м^{-2} \cdot ч^{-1}$; ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью; q_{sd} , q_{fd} - количество прямой, соответственно, солнечной и пожарной радиации, $МДж \cdot м^{-2} \cdot ч^{-1}$.

Следует отметить, что температура нагретой поверхности T_s определяет не только уровень излучения, но и величину кондуктивного нагрева стоп спасателя Q_c (см.рис.1).

После подстановки выражения (7) в (6) оно примет следующий вид:

$$Q_{sr}^1 = 100^{-4} \cdot C \cdot F \cdot \left[T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_{om}} \right]^4, \quad МДж \cdot ч^{-1} \quad (8)$$

Анализ выражения (8) показал, что характерные для большинства реальных пожаров условия определяют пренебрежительно малую величину вторичного излучения q_{sr}^1 . При этом поверхность

может нагреваться до $100^\circ C$ и более, что определяет необходимость защиты спасателей от поражения теплопереносом кондуктивного характера.

Напрашивается практический вывод о том, что для снижения уровня отраженного облучения пожарных следует искусственно уменьшать значение коэффициента отражения поверхности, достичь этого можно, например, посыпая места расположения спасателей песком и орошая его водой (см. табл.2). В этом случае существенная часть лучевой энергии будет поглощаться, уменьшая отражение, а затем расходоваться на фазовые превращения влаги и приводить к сокращению конвективного нагрева воздуха.

Выводы. На основании анализа источников энергетической обстановки при тушении пожаров на открытой местности уравнение баланса тепловой нагрузки на организм спасателя дополнено компонентами, обусловленными воздействием прямых и отраженных солнечных лучей. При ясной погоде уровень воздействия Солнца на пожарного может быть сопоставим с лучевой нагрузкой от очага горения.

Теоретически обоснованы выражения для расчета экстремальных уровней прямых и отраженных действующих на спасателей солнечных лучей. Они пригодны для оперативной оценки влияния солнечной радиации на личный состав подразделений службы чрезвычайных ситуаций и принятия решения об использовании средств защиты от тепла.

В отличие от солнечной, земная радиация не зависит напрямую от времени суток, ее уровень зависит от продолжительности и уровня суммарной, пожарного и солнечного лучевого воздействия на грунт. Она определяет величину конвективного прогрева воздуха, а также угрозу теплового поражения при контакте с горячими поверхностями.

Развитие механизма воздействия обстановки в районе пожара на человеческий организм открывает перспективу управления внешними факторами для обеспечения безопасности спасателей и повышения эффективности ведения оперативных действий.

Л и т е р а т у р а

1. Клименко Ю.В. Воздействие лучистого потока на человека при тушении подземного пожара / Ю.В. Клименко, И.Ф. Марийчук // Науковий вісник НГА України.- Дніпропетровськ, 2002.- №1.- С.46-49.
2. Костенко Т.В. Можливості захисту рятувальників від теплового впливу / Т.В. Костенко // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім.Героїв Чорнобиля, 2015. – №20, с.53-60.
3. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010.- [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
4. Zhurbinskiy D.A., Kostenko T.V., Kostenko V.K. Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops/Metallurgical and Mining Industry No.9 — 2016, Pp. 20 – 26.

5. Николайкин Н.И. Экология / Н.И.Николайкин, Н.Е.Николайкина, О.П.Мелехова / учебник 3-е изд., стереотип. - М.: 2004. - 624 с.
6. <http://planetcalc.ru/318/?license=1>
7. Половинкин А.А. Основы общего землеведения: Учебник для педагогических институтов. — М.: Учпедгиз, 1958, —556 с.
8. Шкловер А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях / Шкловер А.М. — М.: Энергоиздат, 1961, -350с.

References

1. Klimenko, Yu.V., Mariychuk, I.F, (2002), "The impact of the radiant flux per person to extinguish underground fire" ["Vozdeystvie luchistogo potoka na cheloveka pri tushenii podzemnogo požara"], Naukovyy visnyk NHA Ukrainy, No.1, pp.46-49.
2. Kostenko, T.V. (2015), "Possibilities of protection rescuers from thermal effects" ["Mozhlyvosti zakhystu ryatuvальnykh vid teplovoho vplyvu"], "Fire safety: theory and practice": scientific research journal, No. 20, pp. 53-60
3. Budivel'na klimatolohiya: DSTU-N B V.1.1-27: 2010.— [Data vvedennya 2011-11-01]. / Minrehionbud Ukrainy. — K.: Ukrarkhbudinform, 2011. — 123 p.
4. Zhurbinskiy D.A., Kostenko T.V., Kostenko V.K. (2016), Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops/Metallurgical and Mining Industry No.9, Pp. 20 – 26.
5. .Nikolaykin N.I, Nikolaykina N.E., Melehova O.P. (2004) "Ecology" Textbook 3rd ed., "Stereotip" — Moscow, 624 p.
6. <http://planetcalc.ru/318/?license=1>
7. Polovinkin A.A. (1958), "Fundamentals of General Geography" ["Osnovyi obshchego zemlevedeniya"] Textbook for Pedagogical Institutes, Moscow, 556 p.
8. Shklover A.M. (1961), "Heat transfer at periodic thermal influences" ["Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdeystviyakh"] "Energoizdat" - Moscow - - 350p.

Костенко Т.В., Оцінка впливу сонячної радіації на рятувальників, що діють на відкритій місцевості

В статті рівняння балансу теплового навантаження на організм рятувальника доповнено компонентами, які обумовлені впливом прямих та відбитих сонячних променів, що отримані на підставі аналізу джерел енергетичної обстановки під час гасіння пожеж на відкритій місцевості. Теоретично обґрунтовано вираз для розрахунку екстремальних рівнів прямих та відбитих сонячних променів, що впливають на рятувальників. Ці дані необхідні для оперативної оцінки впливу сонячної радіації на особовий склад підрозділів служби з надзвичайних ситуацій та для прийняття рішень про використання засобів захисту від теплового впливу.

Ключові слова: теплові потоки, сонячна енергія, рятувальник, теплозахисні засоби

Kostenko T. Impact assessment of solar radiation on rescuers working in the open area

In the article balance equation for the heat load on the rescuers body updated with components caused by direct and reflected sun rays that based on analysis of the energy sources of the situation for extinguishing fires in open areas. Established that in clear weather the level of sun exposure to rescuers can be comparable with the radiation dose from the combustion chamber. Theoretical justification of the expressions for calculating extreme levels of direct and reflected sun rays acting on rescuers. These data are necessary for the rapid assessment of the impact of solar radiation on the personnel departments emergency service and decision-making on the use of thermal protection. Mechanism development of the impact of situation in the fire area for human body opens the prospect of managing external factors to ensure the safety of rescuers and increasing the effectiveness of operational activities

Keywords: heat flow, solar radiation, rescuer, thermal protection

Костенко Т.В. — к.т.н., доцент кафедры автоматических систем безопасности и электроустановок Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, tatiana.kostenko@gmail.com

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

Стаття подана 8.04.2017

УДК [574.3:58.01/.07] (477)

**ДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕЛЕНИХ
НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ШВИДКОЇ ІНВАЗІЇ ОМЕЛИ БІЛОЇ (*VISCUM ALBUM* L.)****Рибалка І. О.****TO THE ISSUE OF PROVIDE THE ECOLOGICAL SAFETY OF GREEN PLANTATIONS
UNDER THE RAPID INVASION OF THE WHITE MISTLETOE (*VISCUM ALBUM* L.)****Rybalka I. O.**

Досліджено фактори довкілля, які сприяють швидкому розповсюдженню омели білої (*Viscum album* L.) з метою підвищення рівня екологічної безпеки зелених насаджень. Дослідження проведено на території м. Харків (Україна). Ділянки, на яких проводили натурні спостереження, знаходились у північній, північно-східній, центральній, західній і південно-східній частинах міста. Для встановлення кількості кущів омели в кожній окремій дискретній групі застосовували оригінальну методику. З застосуванням методів багатовимірної статистики встановлено, що щільність омели позитивно корелює із частками семи видів її дерев-живителів: верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої, що дає вагомий підставу мінімізувати використання цих видів у озелененні. Отримані результати доцільно враховувати під час реконструкції об'єктів зеленого господарства у містах Східного Лісостепу України.

Ключові слова: омела біла, міський ландшафт, аналіз головних компонент, фактори поширення.

1. Вступ. У наш час у зв'язку з розширенням сфери життєдіяльності людини екологічна обстановка у населених пунктах країни, пов'язана з забрудненням повітря, значно погіршилася [21], що призвело до підвищення рівня захворюваності органів дихання в усіх вікових групах населення. У покращенні становища, що склалося, важлива роль має належати зеленим насадженням. Відповідний добір деревних і чагарникових рослин під час озеленення вулиць, парків і скверів може суттєво покращити умови праці і відпочинку людей. Однак сьогодні потрібно визнати, що до цього часу більшість населених пунктів України озеленюються без будь-якої наукової основи. І якщо інфекційні хвороби деревних рослин певною мірою вивчені, то про вищих квіткових напівпаразитів відомо дуже мало. Це стосується і омели білої (*Viscum album* L.) [6], яка паразитує на багатьох видах листопадних дерев [11].

Вважається, що ця рослина спричиняє суттєве зниження енергії росту дерев-живителів, втрату декоративності та врожайності деревних культур, а також є причиною зниження довговічності насаджень: призводить до часткової або суцільної суховерхості та поступового усихання дерев.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні публікації у популярній і науковій літературі свідчать [7, 8, 10, 13, 15], що на сьогодні омела біла вже вважається справжнім екологічним лихом для насаджень багатьох міст України: Києва, Івано-Франківська, Харкова, Полтави, Білої Церкви, Черкаса, Умані тощо. Єдиним заходом боротьби з омелою в умовах міста залишається механічне видалення уражених нею гілок або повне видалення дерева при дуже сильному ураженні. При інтенсивному розповсюдженні омели догляд за міськими насадженнями стає все більш витратним.

Дослідження, проведені в Чеській Республіці на території Ледницького парку, дозволили визначити фактори, які впливають на поширення омели білої на рівні дерева. До них відносяться: діаметр дерева на висоті грудей (ДВН), вік, висота, ширина, площа проекції і обсяг крони тощо [23]. Подібні дослідження були проведені в Ірані, в лісопарку р. Нур [25].

Численні дослідження у різних країнах світу присвячені визначенню видів деревних рослин, на яких може паразитувати омела біла. Зведений список дерев-живителів омели налічує 411 видів, при цьому в Європі вона виявлена на 384 видах, із яких 190 видів – це інтродуценти. Так, у Польщі омела біла зафіксована на 194 видах дерев, у Хорватії – на 52, у Словенії – на 25, у Чеській Республіці – на 53, у Словаччині – на 35, у Швейцарії – на 17, у Нідерландах – на 12. У межах вторинного ареалу поширення рослини, у США, омела біла зафіксована на 22 видах дерев. Вона зустрічається на представниках родин *Tilia* spp., *Aser* spp., *Populus* spp.,

Salix spp., *Betula* spp., *Pyrus* spp., *Malus* spp., *Quercus* spp., *Sorbus* spp. тощо [27]. Якою мірою ця рослина-напівпаразит віддає перевагу тій чи іншій породі дерев у складі насаджень, невідомо.

У Бельгії зроблено спробу оцінити вплив фрагментації ландшафтів на генетичну структуру популяції омели білої. Для аналізу були обрані два регіони, в яких порівняно недавно почали спостерігатися зміни в лісовій зоні. Чітких закономірностей щодо чутливості генетичної структури популяції до зростання фрагментації місць проживання вчені не виявили, але в цілому аналіз головних компонент показав, що ізолювані популяції омели мали більш високі рівні інбридингу [28]. Деякими дослідниками встановлено, що омела біла розповсюджується у ландшафті плямами [27]. Тобто в цілому фактори, які впливають на розповсюдження омели білої на рівні ландшафту, є недостатньо дослідженими. Можна припустити, що до них належать вік насаджень і щільність вулично-дорожньої мережі, але цю гіпотезу необхідно перевірити.

Визначення факторів довкілля, які сприяють швидкому розповсюдженню омели білої у ландшафті, а також видів дерев, які є найбільш уразливими до впливу цієї рослини, матиме істотне практичне значення для проведення заходів щодо регуляції її чисельності.

Мета даного дослідження – оцінювання впливу факторів довкілля на поширення омели білої в урбанізованих ландшафтах для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень (на прикладі м. Харків).

3. Матеріали и результаты исследования.

Дослідження проведено на території м. Харків. За ландшафтным районуванням вона відноситься до Харківської схилово-височинної області Середньоруської лісостепової провінції Східноєвропейської рівнинної ландшафтною країни і розташована на південному заході Середнь-Руської височини. Клімат помірний, із середньорічною кількістю опадів 500–570 мм і середніми температурами січня – -8°C , липня – понад 20°C . Основні генетичні типи ґрунтів – чорноземи (які утворилися на лесах різного механічного складу) і сірі опідзолені лісові ґрунти, які на території міста зазнали істотної антропогенної трансформації [14].

Ділянки ($N = 15$), на яких проводили дослідження (2006–2010 рр., грудень 2016 р, січень 2017 р.), знаходилися в північній (1 ділянка), північно-східній (6 ділянок), центральній (6 ділянок), західній (1 ділянка) та південно-східній (1 ділянка) частинах м. Харків, рис. 1.

Ділянки представляють собою геометричні квадрати площею 40 га, які вибиралися по карті в межах міського сельбищного ландшафту.

У польових дослідженнях визначали чисельність омели білої, переважаючий вік деревних рослин (табл. 1) у насадженнях, відстань між деревами.

Натурні спостереження за омелою проведено за оригінальною методикою. Всі кущі омели на окремому дереві з одним головним стовбуром або на дереві з декількома головними стовбурами, які за вжи-

ваними в лісівництві критеріями вважаються окремими деревами, або на кількох деревах, які утворюють групу (тобто щонайменш два дерева, відстань між якими є меншою за діаметр крони кожного із них) вважалися "дискретною групою". Для відображення кількості кущів омели в кожній окремій дискретній групі застосовували шкалу чисельності: для кількості кущів від 1 до 5 індекс чисельності становив "1"; для 6–10 – "2"; 11–20 – "3"; 21–40 – "4"; 41–80 – "5", 81–160 – "6", 161–320 – "7", 321–640 – "8".

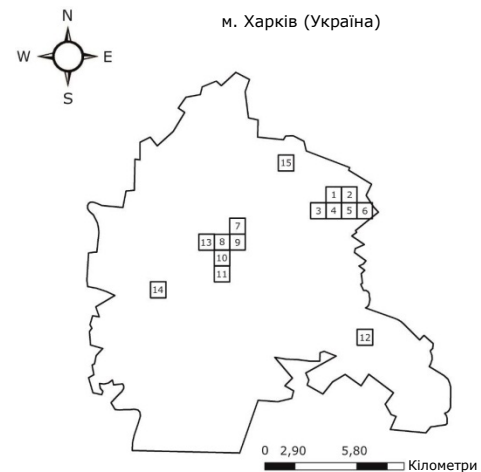


Рис. 1. Розміщення досліджуваних ділянок на території м. Харків

Таблиця 1

Класифікація деревних рослин за віком

№	Вік	Тип деревостану
1	від 1 до 20 років	молоді
2	від 21 до 40 років	жердняк
3	від 41 до 60 років	середньовікові
4	від 61 до 80 років	приспіваючі
5	від 81 до 100 років	спілі
6	більш ніж 100 років	перестійні

Для аналізу ландшафтних характеристик у межах досліджуваних ділянок були використані супутникові знімки земної поверхні (джерело – мережева вкладка *Google Maps*, програмне забезпечення – *SAS.Планета 100120*), які були просторово прив'язані в геоінформаційній системі (ГІС) *ArcGIS Desktop 10.1*. У ході роботи для кожного досліджуваного квадрата було створено цифрову модель ландшафту. Для цього в середовищі ГІС-додатку створювали набір тематичних шарів із певним набором просторових об'єктів: будівель, насаджень (однорідні колекції географічних об'єктів були представлені у вигляді полігонів); вулично-дорожньої мережі (просторові об'єкти були представлені у вигляді ліній), рис. 2. За допомогою ГІС для кожного досліджуваного квадрата були визначені такі параметри (ознаки або змінні), як сумарна площа забудови і насаджень, сумарна довжина вулично-дорожньої мережі, кількість окремих фрагментів (або сегментів) насаджень.

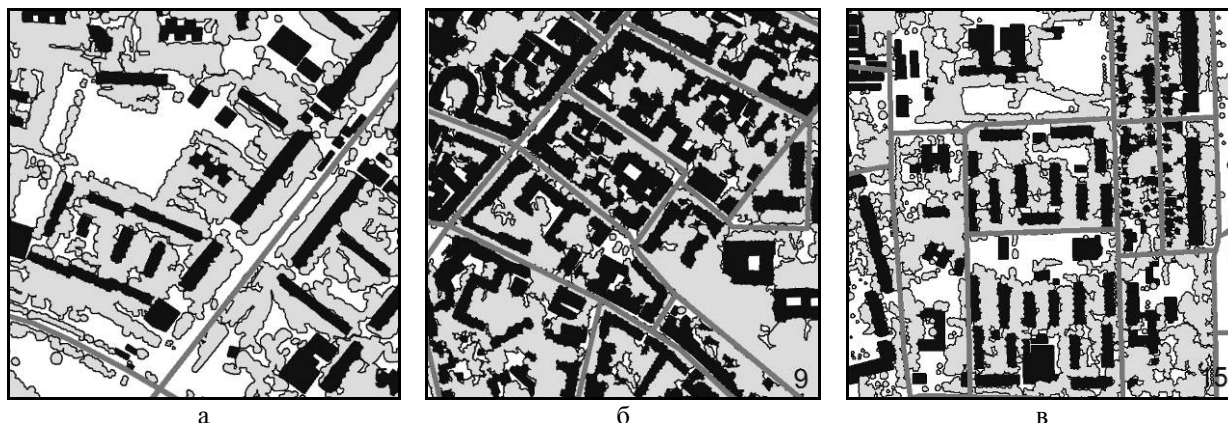


Рис. 2. Приклад відмінності досліджуваних ділянок у різних частинах м. Харків:
а – квадрат № 5, район Північна Салтівка; б – квадрат № 9, центральна частина міста; в – квадрат № 15, район Олексіївка

За результатами натурних спостережень за оме-лю для кожної досліджуваної ділянки визначали загальну кількість кущів рослини із застосуванням індексу чисельності за формулою середнього геоме-тричного. Далі розраховували показники щільності кущів омели (кущ./км²). Після цього визначали част-тку кожного виду дерев-живителів омели, які були виявлені у насадженнях. За результатами дослі-дження насаджень визначали середню відстань між деревами. На підставі даних, отриманих за допомо-гою ГІС, розраховували показники "Частка забудо-ви", "Частка насаджень", "Плямистість насаджень" (відношення сумарного периметра насаджень до площі квадрата), "Щільність вулично-дорожньої ме-режі, м/км²". При встановленні переважаючого віку дерев у насадженнях у межах 15 квадратів брали до уваги експертні оцінки, представлені у відповідних літературних джерелах [5].

Враховуючи, що за даними польових спостере-жень за оме-лю у період із вересня 2006 р. по кві-тень 2010 р. в межах квадратів № 7–№ 11 і № 13 (центральна частина міста) таксономічна приналеж-ність для кленів, тополь та ясенів була визначена до роду, а в межах квадрату № 12 (південно-східна час-тина міста) – таксономічна приналежність була ви-значена до роду для тополь, у грудні 2016 року та у січні 2017 року було проведено додаткове дослі-дження, яке дозволило скоригувати вибіркові дані за 2006–2010 рр. Для цього в межах ділянок № 7–№ 11, № 13 і № 12 було сформовано випадкові вибірки де-рев-живителів омели із застосуванням маршрутного методу досліджень. При зборі фіксувались усі дере-ва-живителі омели, які траплялися на маршруті у смузі 100 м завширшки. Для кожного дерева-живителя було визначено вид, індекс чисельності омели та популяційно-демографічний коефіцієнт. За даними маршрутного обліку було визначено частоти кожного виду дерев-живителів омели у зібраній ви-бірці. Перш ніж скоригувати дані спостережень за 2006–2010 рр., дані маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. та 2017 р. були перевірені на достовірність, тобто частоти, розраховані для

представників родів клен, тополя та ясен за даними маршрутного обліку, не повинні були достовірно ві-дрізнятися від тих частот, які були по них розрахо-вані за даними спостережень у 2006–2010 рр. Нуль-гіпотезу (тобто припущення, що різниця між гене-ральними параметрами порівнюваних груп рівна нулю і що відмінності, які спостерігаються між ви-бірковими характеристиками, носять не системати-чний, а виключно випадковий характер) було пере-вірено з застосуванням t-критерію Стюдента [12].

Вибір оптимальних методів багатомірного статистичного аналізу статистичного комплексу. Поряд із відносно простими способами порівняння однієї вибірки з іншою в даному дослідженні вини-кло більш складне завдання, що полягало у порів-нянні одночасно декількох вибірок, які об'єднувалися в єдиний статистичний комплекс: якщо проаналізувати досліджувані ознаки ("Щіль-ність омели білої (кущ./км²)", "Щільність дискрет-них омели білої (1/км²)", "Частка забудови", "Частка насаджень" тощо) окремо, ми не побачимо того спі-льного, що їх об'єднує. Охопити всю картину разом дозволяють багатовимірні методи статистики, нада-ючи для цього деякі додаткові можливості.

Так, кожен досліджуваний об'єкт через значен-ня виміряних у нього ознак можна представити у вигляді точки в багатовимірному просторі. Кожна ознака є в цьому просторі окремою координатною віссю, ортогональною всім іншим. Усі об'єкти утво-рюють в цьому просторі деяку "хмару". Координа-тами точок є значення ознак [3].

У публікації [3] відзначено, що до класичних методів багатовимірної статистичної аналізу від-носиться (1) дискримінантний аналіз, (2) множинна регресія, (3) канонічний аналіз і (4) метод головних компонент. Дискримінантний аналіз і множинна ре-гресія використовують такі лінійні перетворення простору, які змінюють відстані між об'єктами в хо-ді обробки і, відповідно, спотворюють змістовний сенс отриманих результатів. Залишаючись бездо-ганно правильними з математичної точки зору, ці методи разом із розрахованою ними достовірністю

не зовсім адекватні тій реальності, для вивчення якої призначені. Канонічний кореляційний аналіз (запропонував Гарольд Хотеллінг) у загальному вигляді не знайшов свого застосування через труднощі в інтерпретації (іноді канонічним називається дискримінантний аналіз Фішера, який є окремим випадком канонічного аналізу Хотеллінга, а іноді – зовсім інші методи).

Метод головних компонент (МГК) у наш час застосовується найбільш широко з усіх багатовимірних методів і має на їхньому фоні ряд переваг. Зокрема він не вимагає перевірки вихідних даних на нормальність. У літературі було знайдено приклади засновування цього підходу для вирішення задач екології. Прикладом використання цього підходу є дослідження морського фітопланктону, спрямовані на виявлення спільної дії різних факторів середовища на якісний і кількісний склад фітопланктону, які було проведено в прибережній частині південної Каліфорнії, в районі узбережжя північно-західної Африки та у Севастопольській бухті. Аналогічні дослідження також було проведено і для прісноводних водойм. У дослідженнях весняного цвітіння діатомових водоростей з урахуванням характеристик фізіологічного стану (фотосинтезу, дихання і швидкості поділу клітин) компонентний аналіз дозволив виявити функціональну роль окремих популяцій водоростей на різних стадіях цвітіння. МГК було застосовано при вивченні впливу деяких абіотичних факторів на рівень первинної продукції в районах Саргасового моря. Із застосуванням МГК були оброблені дані щорічної гідрохімічної зйомки в Каспійському морі. Також аналіз головних компонент широко використовують при визначенні ступеня забруднення водойм. Тобто МГК дозволяє об'єднати різномірні відомості в єдину цілісну систему [16].

Тому функціональну залежність між щільністю омели і набором ландшафтних характеристик визначали за допомогою аналізу головних компонент (прикладний комп'ютерний пакет *Statistica 10.0*).

Аналіз головних компонент (вважається як одним із самостійних варіантів, так і одним із методів факторного аналізу) виконує задачу скорочення розмірності набору змінних із мінімальною втратою вихідної інформації. Так, він дозволяє розділити масив змінних на невелике число груп, які називаються компонентами. В одну компоненту (інтерпретується як причина спільної мінливості декількох вихідних змінних) об'єднуються декілька змінних, які тісно корелюють між собою і не корелюють або слабо корелюють із іншими змінними, що утворюють інші компоненти. У результаті компонентного аналізу із несистематизованого масиву даних (кореляційна або коваріаційна матриця) отримуємо декілька макрозмінних – узагальнених комбінацій вихідних ознак. Таким чином, застосування цього методу аналізу дозволяє отримати сукупність некорельованих (ортогональних) інтегральних змінних (або компонент).

З геометричної точки перша головна компонента F_1 визначає такий напрямок у площині вихідних ознак, за яким сукупність об'єктів (точок) має найбільший розкид (дисперсію). Друга головна компонента F_2 будується з таким розрахунком, щоб її напрямок був ортогонально направлений до F_1 і вона пояснювала якомога більшу частину залишкової дисперсії і т. д. до r -ої головної компоненти F_r . Так як виділення головних компонент відбувається в низхідному порядку з точки зору пояснюваної ними дисперсії, то ознаки, що входять у першу головну компоненту, роблять максимальний вплив на диференціацію досліджуваних об'єктів [17, 22].

У багатьох посібниках, підручниках і статистичних довідниках викладено теоретичні основи і алгоритм проведення аналізу за МГК. Класична схема проведення аналізу передбачає (1) стандартизацію вихідних даних (застосовується, якщо досліджувані ознаки мають різні одиниці вимірювання), (2) побудову кореляційної матриці ознак, (3) розрахунок власних чисел (*eigenvalues*) і власних векторів (*eigenvectors*) кореляційної матриці, а також (4) визначення коефіцієнтів кореляції ознак із головними компонентами, що дає змогу проаналізувати отриману структуру факторів і зробити відповідні висновки [3, 9].

Спосіб обробки даних, застосований в аналізі за МГК – "*Raw Data*" ("неопрацьовані дані"), спосіб обробки пропущених значень – "*Casewise*" (тобто у таблиці вихідних даних ігноруються усі рядки, в яких є хоча б одне пропущене значення).

Максимально можливе число факторів m , яке може бути виділене в аналізі при заданому числі ознак p , визначалося нерівністю [3, 17]:

$$(p + m) < (p - m)^2. \quad (1)$$

Факторна модель вважається досить вдалою, якщо число уже знайдених компонент не більше, ніж:

$$F_n = \frac{m}{2} \quad (2)$$

де m – максимально можлива кількість факторів, а дисперсія, яку вони пояснюють, становить не менш ніж 70 %, при цьому наступна компонента дає вклад у сумарну дисперсію не більш ніж 5 %. Так, якщо в розподілі об'єктів у вихідному просторі ознак існує сенс, при втраті 20–30% загальної мінливості ми втрачаємо його в мінімально можливій мірі, причому, швидше за все, втратили не стільки інформацію, скільки "шум", неминуче присутній в реальних даних через дію малозначущих або випадкових причин.

На підготовчому етапі роботи вихідні дані були відцентровані. З геометричної точки зору це означає перенос початку координат у «центр ваги хмари» – точку із середнім значенням усіх ознак, яка називається центроїдом [3] (при цьому вихідні ознаки

отримала нові позначення: « x_1 » – « x'_1 », « x_2 » – « x'_2 » і т. д.).

4. Експериментальна частина. Перша досліджувана вибірка представляла собою дані польових спостережень за омелою у період із вересня 2006 р. по квітень 2010 р. (загальна кількість виявлених дерев-живителів омели $N = 1095$), друга – дані маршрутного обліку дерев-живителів омели, зібрані у 2016 р. ($N = 107$), третя – дані маршрутного обліку дерев-живителів омели, зібрані у 2017 р. ($N = 40$). Результати визначення частот для трьох видів дерев (клен, тополя, ясен), таксономічна приналежність яких була визначена до роду (квадрати № 7–№ 11 і № 13) представлено у табл. 2, у ній же відображено результати перевірки даних маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. на достовірність. Із таблиці 2 зрозуміло, що різниця між частотами, розрахованими для представників родів клен, тополя та ясен за даними спостережень у 2006–2010 рр. та за даними маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. не є статистично достовірною, це дозволяє уточнити зібрані раніше дані.

Результати визначення частоти дерев-живителів омели з таксономічною приналежністю до роду *Populus* за даними маршрутного спостереження в межах ділянки № 12 представлено у табл. 3, у ній же відображено результати перевірки даних маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2017 р. на достовірність. Із таблиці 3 зрозуміло, що різниця між частотами, розрахованими для дерев-живителів омели за даними спостережень у 2006–2010 рр. та за даними маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2017 р. не є статистично достовірною, що дозволяє уточнити зібрані раніше дані на ділянці № 12.

За даними натурних спостережень у межах 15 досліджуваних ділянок омела біла була виявлена на 20 видах дерев: березі повислій (0,4 % від загальної кількості вражених омелою дерев), груші звичайній (0,1 %), вербі білій (0,4 %), каштані кінським (0,4 %), клені гостролистім (29,8 %), клені сріблястім (11,3 %), клені ясенелистім (0,5 %), липі європейській (0,5 %), липі серцелистій (1,8 %), осиці (3,6 %), робінії несправжньоакацієвій (4,6 %), горобині звичайній (1,6 %), тополі бальзамічній (8,2 %), тополі білій (0,2 %); тополі пірамідальній (гібридах) (0,6 %), тополі чорній (19,6 %), яблуні домашній (0,3 %), ясені американським (15,1 %), ясені високім (0,5 %), тополі Болле (0,8 %).

Досліджувана за МГК вибірка складалася з 15 об'єктів (квадратів), для кожного з яких було визначено значення 29 ознак: x_1 – щільність омели білої, куц./км²; x_2 – кількість дискретних груп омели, 1/км²; x_3 – середня відстань між деревами, м; x_4 – частка забудови; x_5 – кількість окремих сегментів насаджень; x_6 – частка зелених насаджень; x_7 – плямистість насаджень; x_8 – щільність вулично-дорожньої мережі, м/км²; x_9 – переважаючий вік дерев у насадженнях, р.; x_{10} – частка берези повислої від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{11} – частка груші звичайної від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{12} – частка верби білої від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{13} – частка каштану кінського від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{14} – частка клену гостролистого від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{15} – частка клену сріблястого від загальної кількості вражених омелою дерев і т. д. (перелік включає усі види дерев-живителів, які було виявлено на ділянках, у тій послідовності, в якій їх наведено вище).

Таблиця 2

Результати статистичного аналізу дерев-живителів омели, таксономічна приналежність яких була визначена до роду на ділянках № 7–№ 11 і № 13

Родова назва деревної рослини	Вибірка, №	Об'єм вибірки	Частка деревних рослин	Помилка різниці між частками, s_{dp}	Достовірність різниці між даними польових спостережень за дерева-живителями омели	
					$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Клен	1	126	0,239	0,083	1,18	1,96
	2	36	0,336			
Тополя	1	202	0,383	0,092	0,91	1,96
	2	32	0,299			
Ясен	1	153	0,290	0,085	0,55	1,96
	2	36	0,336			

Таблиця 3

Результати статистичного аналізу дерев-живителів омели, таксономічна приналежність яких була визначена до роду на ділянці № 12

Родова назва деревної рослини	Вибірка, №	Об'єм вибірки	Частка деревних рослин	Помилка різниці між частками, s_{dp}	Достовірність різниці між даними польових спостережень за дерева-живителями омели	
					$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Тополя	1	147	0,368	0,127	0,26	1,96
	3	16	0,400			

Таблиця 4

Статистичні характеристики головних компонент

№	Власні значення	Частка загальної дисперсії, %	Кумулятивне власне значення	Кумулятивна дисперсія, %
1	11,131	38,382	11,131	38,382
2	5,833	20,114	16,964	58,496
3	5,316	18,332	22,280	76,828
4	2,008	6,925	24,289	83,754
5	1,398	4,820	25,686	88,574
6	1,385	4,777	27,072	93,351

Аналіз за методом головних компонент. На першому етапі аналізу по вихідним даним було побудовано матрицю кореляцій вимірюваних ознак. Для значимих відмінностей від нуля з $\alpha = 5\%$ коефіцієнти кореляції за абсолютною величиною повинні перевищувати 0,51 [12]. Беручи до уваги мету даного дослідження, розглянемо змінні, з якими корелює щільність омели білої, для яких коефіцієнти кореляції задовольняють такій властивості. Це виявилися 13 ознак: x'_2 (характеризує щільність дискретних груп омели), x'_8 , x'_9 (характеризують ландшафтні особливості), x'_{12} – x'_{17} , x'_{20} , x'_{22} , x'_{25} , x'_{26} , x'_{28} (характеризують дерев-живителів омели). Проаналізуємо отримані кореляції за допомогою методу головних компонент.

Визначення головних компонент здійснювалося по кореляційній матриці ознак, власні значення якої виявилися рівними 11,131, 5,833, 5,316, 2,008, 1,398, 1,385, 0,670, 0,483, 0,343, 0,231, 0,113, 0,066, 0,017 і 0,006.

Для визначення розмірності факторного простору був застосований критерій Кайзера: число компонент (факторів або осей) дорівнює числу власних чисел, які мають значення більше "1". Таким чином, доцільно розглянути перші шість головних компонентів, які спільно пояснювали 93,35 % загальної дисперсії, таблиця 4 (нерівність (1) у такому разі виконується).

Далі було визначено перші шість власних векторів досліджуваної кореляційної матриці та коефіцієнти кореляції ознак (факторні координати, або навантаження) із головними компонентами. Факторні навантаження є аналогами парних коефіцієнтів кореляції. Вони характеризують міру взаємозв'язку між відповідними ознаками та факторами: чим більшою є абсолютна величина факторного навантаження, тим сильніший зв'язок між ознакою і фактором, тим більший внесок ознаки в фактор і тим більше цей показник зумовлює дію відповідного фактору. Особлива цінність отриманих факторних координат полягає в тому, що вони дозволяють визначити структуру головних компонент. Проаналізуємо отриману структуру факторів.

Перша виділена вісь F_1 є найбільш вагомою і пояснює 38,38 % загальної дисперсії. Вона має високі коефіцієнти кореляції (від 0,7 до 1) з ознаками 1, 2, 12–17, 20, 22, 25 і 26. Ці ознаки легко

розбиваються на 2 групи показників: ознаки 1 і 2 характеризують поширеність омели білої у ландшафті, ознаки 12–17, 20, 22, 25 і 26 – дерев-живителів рослини. Друга виділена вісь F_2 пояснює 20,11 % загальної дисперсії і має високі коефіцієнти кореляції з ознаками 4, 6 (характеризують частку забудови і насаджень відповідно) і 29 (характеризує частку тополі Болле від загальної кількості уражених омелою дерев). Третя виділена вісь F_3 пояснює 18,33 % загальної дисперсії і має високий коефіцієнт кореляції з ознакою 5 (або кількістю окремих сегментів насаджень), 11, 18 і 19 (які характеризують дерев-живителів омели). Четверта виділена вісь F_4 пояснює 6,93 % загальної дисперсії і має високий коефіцієнт кореляції з ознакою 23 або часткою тополя білої від загальної кількості уражених омелою дерев. Для решти двох осей, які було виділено в аналізі, високих кореляцій з досліджуваними ознаками виявлено не було.

Результати перевірки факторної моделі на вдалість (2): при $m = 6$, $F_n = 3$, при цьому перші три головні компоненти пояснюють 76,83 % дисперсії, а наступна компонента дає вклад у сумарну загальну дисперсію в 6,93 %. Це вказує на те, що дана факторна модель є задовільною.

Зупинимось детальніше на першій осі, яка враховує показник "Щільність омели білої, куш./км²", а тому є найбільш цікавою. На основі значень факторних координат і знаків цих кореляцій її можна суб'єктивно позначити як "Параметри ландшафту, які тісно пов'язані зі щільністю омели білої".

На рис. 3 представлено графік факторних координат для першої та другої виділених осей. Оскільки поточний аналіз заснований на кореляціях, максимальне значення координати не може перевищувати 1,0. Крім того, квадрати всіх факторних координат для всіх змінних (тобто квадрати кореляцій між змінною та всіма факторами) не можуть перевищувати значення 1,0. Таким чином, всі факторні координати потрапляють в одиничну окружність, виведену на графіку. Дане коло є візуальним індикатором того, наскільки добре кожна змінна відтворюється поточним набором факторів.

Так як змінні x'_1 , x'_2 , x'_{12} – x'_{17} , x'_{20} , x'_{22} , x'_{25} і x'_{26} розміщені досить близько до лінії одиничного кола, можна зробити висновок, що в системі знайдених координат вони відтворені досить добре.

На основі аналізу можна зробити висновок, що на фоні інших дерев-живителів, чисельність омели білої в ландшафті особливо тісно пов'язана з десятьма видами деревних рослин: верба біла, каштан кінський, клени гостролистий, сріблястий та ясенелистий, липа європейська, робінія несправжньоакацієва, тополі бальзамічна і чорна, яблуня домашня.

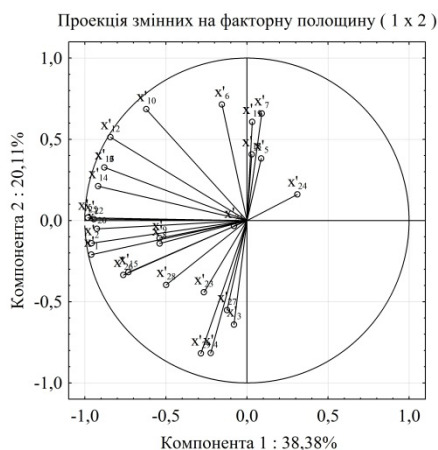


Рис. 3. Графік факторних координат

Представники кожного із зазначених видів деревних рослин мають свою специфічну архітектуру і щільність крони, твердість деревини тощо. У той же час, отримані результати можна пояснити наступним чином. Верба біла є одним із видів, який досить часто зустрічається в прирічкових насадженнях, що виконують роль природного біокоридору для омелюхів, які, в свою чергу, є основним агентом розповсюдження омели білої в антропогенних ландшафтах регіону. Так, окрім ягід омели білої птахи цього виду можуть живитися плодами горобини (*Sorbus* spp.), глоду (*Crataegus* spp.), шипшини (*Rosa* spp.), а також яблунь (*Malus* spp.), що в деякій мірі пояснює взаємозв'язки між омелою і яблунею на рівні ландшафту.

Тісна кореляція між щільністю омели білої і часткою тополі чорної від загальної кількості вражених омелою дерев узгоджується з результатами досліджень, опублікованих у [4, 6]. Так, після обстеження типових біотопів м. Луцьк В. В. Іванців та ін. [6] виявили значну кількість омели білої у Парку культури та відпочинку імені Лесі Українки. При цьому найвищий ступінь ураження напівпаразитом спостерігався у тополі чорній, яка вступила в сенільну фазу розвитку. Аналогічно дослідження особливостей ураження тополі у насадженнях м. Біла Церква [2] та його околицях [4] омелою білою також показали, що від впливу омели білої потерпає тополя чорна, яка досягає зрілої фази розвитку. Це можна пояснити тим, що тополя чорна, досягаючи зрілого та старого етапів розвитку, займає в насадженнях перший ярус,

а тому досить помітна для численних птахів, які зупиняючись на дереві, сприяють поширенню омели. Так, за літературними даними [19], дерево може сягати 35 м заввишки та має потужну шатроподібну (або наметоподібну) крону.

Тополя бальзамічна та робінія несправжньоакацієва, аналогічно до тополі чорної, належать до великорозмірних деревних рослин. При цьому тополя бальзамічна може вирости до 25–30 м заввишки [18], набуваючи широкояйцевидної малогіллястої крони [20], а робінія несправжньоакацієва – до 20–35 м заввишки, набуваючи ажурної, розкидистої, широкоциліндричної крони [1]. Тісний взаємозв'язок між щільністю омели білої і часткою клена сріблястого від загальної кількості вражених омелою дерев узгоджується з результатами польських [26] та американських [24] дослідників, а тісні кореляції між омелою та кленом гостролистим не суперечать результатам, опублікованим вітчизняними дослідниками у статті [7].

Дуже нечасто омела трапляється на 3 видах дерев: каштані кінському, клені ясенелистим і липі європейській (зазначені види дерев-живителів були виявлені лише на одному із 15 досліджуваних квадратів), тобто на фоні інших видів дерев-живителів ці види є найменш уразливими до впливу омели білої.

У цілому за результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень в умовах стрімкої інвазії омели білої доцільно мінімізувати використання в озелененні населених пунктів Східного Лісостепу України верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополі бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої.

5. Висновки. Із заснуванням методів багатовимірної статистики визначено фактори довкілля, які сприяють поширенню омели на рівні ландшафту. Так, для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень в умовах стрімкої інвазії омели білої слід мінімізувати використання в озелененні верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополі бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку комплексних екологічно обґрунтованих рекомендацій щодо управління популяцією омели білої в урбоекосистемах.

Отримані результати доцільно враховувати при створенні та реконструкції об'єктів зеленого господарства м. Харків.

6. Подяки. Автор висловлює подяку Ю. І. Вергелесу за безцінну допомогу у вигляді консультацій і практичних рекомендацій по збору і систематизації зібраного в ході досліджень матеріалу.

Л и т е р а т у р а

- Белая акация или робиния ложноакациевая, как правильно? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bestgardener.ru/flower/bel_akaciia.shtml.
- Василенко І. Д. Боротьба з омелою на деревах тополі у зеленій зоні Білої Церкви / І. Д. Василенко, Л. М. Філіпова, Я. Д. Фучило // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – № 23(12). – С. 31–38.
- Ефимов В. М. Многомерный анализ биологических данных : учебное пособие / В. М. Ефимов В. Ю. Ковалева. – Санкт-Петербург : Rizo-печать, 2008. – 87 с.
- Житово А. В. Стан ползахисних смуг в агроландшафтах півдня Київщини / А. В. Житово // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – № 26(1). – С. 12–18.
- История и архитектура Харькова. Основные этапы развития города. Формирование городской структуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kharkov.ua/culture/1.html>.
- Іванців В. В. Екологічні чинники погіршення стану деревних насаджень міста Луцька / В. В. Іванців, О. Я. Іванців // Природа Західного Полісся та прилеглих територій : Зб. наук. праць – 2013. – № 10. – С. 94–100.
- Левон Ф. М. Створення зелених насаджень в умовах урбанізованого середовища: вимоги, лімітуючі чинники, шляхи оптимізації / Ф. М. Левон // Науковий вісник Державного лісотехнічного університету України. – 2003. – № 13(5). – С. 157–162.
- Лисенко М. Зелені насадження в урбанізованому середовищі міста Івано-Франківська / М. Лисенко // Вісник Прикарпатського національного університету імені В. Стефаника. Сер. «Біологія». – 2007. – № 7. – С. 236–240.
- Никитин А. Я. Анализ и прогноз временных рядов в экологических наблюдениях и экспериментах : учебно-методическое пособие / А. Я. Никитин, И. А. Сосунова. – Иркутск : Иркутский государственный педагогический университет, 2003 – 88 с.
- Нікітенко Л. Омела дерева замела [Електронний ресурс] / Л. Нікітенко // Україна молода – щоденна інформаційно-політична газета. – 2004. – № 89. – Режим доступу: <http://www.umoloda.kiev.ua/number/181/116/6274/>.
- Определитель высших растений Украины / [Д. Н. Доброчаева, М. И. Котов, Ю. Н. Прокудин и др.] – Киев : Наукова думка, 1987. – 548 с.
- Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. – Москва : Наука, 1982. – 287 с.
- Радова В. Поширення омели в Умані вивчатиме спеціальна комісія [Електронний ресурс] / В. Радова // Умань інфо – інформаційний сайт м. Умань. – 2013. – Режим доступу: <http://uman.info.ua/news/poshyrennya-omely-v-umani-vyvchatyme-spetsialna-komisiya--3011>.
- Рибалка І. О. Вплив омели білої (*Viscum album* L.) на динаміку радіального приросту клена сріблястого (*Acer saccharinum* L.) в Лісостеповій зоні України / І. О. Рибалка, Ю. І. Вергелес, І. М. Коваль // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – № 22(15). – С. 57–63.
- Роговський С. В. Вікові дерева в зелених насадженнях Білої Церкви та їх роль у формуванні сучасного образу міста / С. В. Роговський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – № 24 (5). – С. 46–51.
- Рузова А. И. Использование метода главных компонент в экологии морского фитопланктона (обзор) / А. И. Рузова, Д. К. Крупаткина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/21614-Ispolzovanie_metoda_glavnykh_k/1.html.
- Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере / О. Д. Сорокин. – Новосибирск : Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 223 с.
- Тополь бальзамический – *Populus balsamifera* L. <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/68.htm>.
- Тополь чёрный, или осокорь – *Populus nigra* L. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/71.htm>.
- Тополя бальзамічна (*Populus balsamifera*) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fitoapteka.org/herbs-t/2251-populus-balsamifera>.
- Фірсова А. А. Вплив забрудненої атмосфери на здоров'я людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf>.
- Шевчук І. Б. Моделі компонентного та факторного аналізу розвитку системи дитячого оздоровлення в Україні / І. Б. Шевчук // Міжнародний науково-виробничий журнал "Сталий розвиток економіки". – Хмельницький. – 2013. – № 3(20). – С. 12–17.
- Baltazár T. Modelling of the distribution of european mistletoe (*Viscum album*) with dependence on local factors in the Castle Park in Lednice / T. Baltazár, M. Pejcha, I. Varga // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2015. – Vol. 63(5). – P. 1441–1452.
- Hawksworth F. G. Spread of European mistletoe (*Viscum album*) in California, U.S.A. / F. G. Hawksworth, R. F. Scharpf // European Journal of Plant Pathology. – 1986. – Vol. 16. – P. 1–5.
- Kartoolinejad D. The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees / D. Kartoolinejad, S. M. Hosseini, S. K. Mirnia, M. Akbarinia, F. Shayanmehr // International Journal of Environmental Research. – 2007. – Vol. 1. – P. 143–149.
- Kolodziejek J. Distribution, frequency and host patterns of European mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland / J. Kolodziejek, J. Patykowski, R. Kolodziejek // Biologia. – 2013. – Vol. 68. – P. 55–64.
- Zuber D. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. / D. Zuber // Flora. – 2004. – Vol. 199. – P. 181–203.
- Stanton S. A comparison of the population genetic structure of parasitic *Viscum album* from two landscapes differing in degree of fragmentation / S. Stanton, O. Honnay, H. Jacquemyn, I. Roldan-Ruiz // Plant Systematics and Evolution. – 2009. – Vol. 281. – P. 161–169.

References

- Belaja akacija ili robinija lozhnoakacievaja, kak pravil'no? [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.bestgardener.ru/flower/bel_akaciia.shtml.
- Vasylenko I. D. Borotba z omeloiu na derevakh topoli u zelenii zoni Biloi Tserkvy / I. D. Vasylenko, L. M. Filipova, Ya. D. Fuchylo // Naukovy visnyk NLTU Ukrainy. – 2013. – № 23(12). – S. 31–38.

3. Efimov V. M. Mnogomernyj analiz biologicheskikh dannyh : uchebnoe posobie / V. M. Efimov V. Ju. Kovaleva. – Sankt-Peterburg : Rizo-pechat', 2008. – 87 s.
4. Zhytovo A. V. Stan polezakhysnykh smuh v ahrolandshaftakh pivdnia Kyivshchyny / A. V. Zhytovo // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2016. – № 26(1). – S. 12–18.
5. Istorija i arhitektura Har'kova. Osnovnye jetapy razvitija goroda. Formirovanie gorodskoj struktury [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.kharkov.ua/culture/1.html>.
6. Ivantsiv V. V. Ekologichni chynnyky pohirshennia stanu derevnykh nasa-dzhen mista Lutska / V. V. Ivantsiv, O. Ya. Ivantsiv // Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylyhlykh terytorii : Zb. nauk. prats – 2013. – № 10. – S. 94–100.
7. Levon F. M. Stvorennia zelenykh nasadzhzen v umovakh urbanizovanoho seredovyshcha: vymohy, limituiuchy chynnyky, shliakhy optymizatsii / F. M. Levon // Naukovyi visnyk Derzhavnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy. – 2003. – № 13(5). – S. 157–162.
8. Lysenko M. Zeleni nasadzhennia v urbanizovanomu seredovyshchi mista Ivano-Frankivska / M. Lysenko // Visnyk Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Stefanyka. Ser. «Biologhiia». – 2007. – № 7. – S. 236–240.
9. Nikitin A. Ja. Analiz i prognoz vremennykh rjadov v jekologicheskikh nabljudenijah i jeksperimentah : uchebno-metodicheskoe posobie / A. Ja. Nikitin, I. A. Sosunova. – Irkutsk : Irkutskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, 2003 – 88 s.
10. Nikitenko L. Omela dereva zamela [Elektronnyi resurs] / L. Nikitenko // Ukraina moloda – shchodenna informatsiino-politychna hazeta. – 2004. – № 89. – Rezhym dostupa: <http://www.umoloda.kiev.ua/number/181/116/6274/>.
11. Opredelitel' vysshih rastenij Ukrainy / [D. N. Dobrochaeva, M. I. Kotov, Ju. N. Prokudin i dr.] – Kiev : Naukova dumka, 1987. – 548 s.
12. Pesenko Ju. A. Principy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovanijah / Ju. A. Pesenko. – Moskva : Nauka, 1982. – 287 s.
13. Radova V. Poshyrennia omely v Umani vyvchatyme spetsialna komisiia [Elektronnyi resurs] / V. Radova // Uman info – informatsiinyi sait m. Uman. – 2013. – Rezhym dostupa: <http://uman.info/ua/news/poshyrennya-omely-v-umani-vyvchatyme-spetsialna-komisiya--3011>.
14. Rybalka I. O. Vplyv omely biloi (*Viscum album* L.) na dynamiku radialnoho pryrostu klena sribliastoho (*Acer saccharinum* L.) v Lisostepovii zoni Ukrainy / I. O. Rybalka, Yu. I. Verheles, I. M. Koval // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2012. – № 22(15). – S. 57–63.
15. Rohovskyi S. V. Vikovi dereva v zelenykh nasadzhenniakh Biloi Tserkvy ta yikh rol u formuvanni suchasnogo obrazu mista / S. V. Rohovskyi // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2014. – № 24 (5). – S. 46–51.
16. Ruzova A. I. Ispolzovanie metoda glavnykh komponent v jekologii morskogo fitoplanktona (obzor) [Elektronnyi resurs] / A. I. Ruzova, D. K. Krupatkina. – Rezhim dostupa: http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/21614-Ispolzovanie_metoda_glavnykh_k/1.html.
17. Sorokin O. D. Prikladnaja statistika na komp'jutere / O. D. Sorokin. – Novosibirsk : Institut pochvovedeniia i agrohimii, 2008. – 223 s.
18. Topolia balzamichna (*Populus balsamifera*) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupa: <http://fitoapteka.org/herbs-t/2251-populus-balsamifera>
19. Topol' bal'zamicheskij – *Populus balsamifera* L. <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/68.htm>.
20. Topol' chjornyj, ili osokor' — *Populus nigra* L. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/71.htm>.
21. Firsova A. A. Vplyv zabrudnenoj atmosfery na zdorovia liudyny [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupa: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf>.
22. Shevchuk I. B. Modeli komponentnoho ta faktornoho analizu rozvytku systemy dytiachoho ozdorovlennia v Ukraini / I. B. Shevchuk // Mizhnarodnyi naukovovyrobnychiy zhurnal "Stalyi rozvytok ekonomiky". – Khmelnytskyi. – 2013. – № 3(20). – S. 12–17.
23. Baltazar T. Modelling of the distribution of european mistletoe (*Viscum album*) with dependence on local factors in the Castle Park in Lednice / T. Baltazar, M. Pejcha, I. Varga // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2015. – Vol. 63(5). – P. 1441–1452.
24. Hawksworth F. G. Spread of European mistletoe (*Viscum album*) in California, U.S.A. / F. G. Hawksworth, R. F. Scharpf // European Journal of Plant Pathology. – 1986. – Vol. 16. – P. 1–5.
25. Kartoolinejad D. The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees / D. Kartoolinejad, S. M. Hosseini, S. K. Mirnia, M. Akbarinia, F. Shayanmehr // International Journal of Environmental Research. – 2007. – Vol. 1. – P. 143–149.
26. Kolodziejek J. Distribution, frequency and host patterns of European mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland / J. Kolodziejek, J. Patykowski, R. Kolodziejek // Biologia. – 2013. – Vol. 68. – P. 55–64.
27. Zuber D. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. / D. Zuber // Flora. – 2004. – Vol. 199. – P. 181–203.
28. Stanton S. A comparison of the population genetic structure of parasitic *Viscum album* from two landscapes differing in degree of fragmentation / S. Stanton, O. Honnay, H. Jacquemyn, I. Roldan-Ruiz // Plant Systematics and Evolution. – 2009. – Vol. 281. – P. 161–169.

Рыбалка И.А. К проблеме обеспечения экологической безопасности зеленых насаждений в условиях быстрой инвазии омелы белой (*VISCUM ALBUM* L.)

Исследованы факторы окружающей среды, которые способствуют быстрому распространению омелы белой (*Viscum album* L.) с целью повышения уровня экологической безопасности зеленых насаждений. Исследование проведено на территории г. Харьков (Украина). Участки, на которых проводили натурные наблюдения, находились в северной, северо-восточной, центральной, западной и юго-восточной частях города. Для установления количества кустов омелы в каждой отдельной дискретной группе применяли оригинальную методику. С применением методов многомерной статистики установлено, что плотность омелы положительно коррелирует с долями семи видов ее деревьев-хозяев: ивы белой, кленов остролистного и серебристого, робинии ложноакациевой, тополя

бальзамического и черного, а также яблони домашней, что дает веское основание минимизировать использование этих видов в озеленении. Полученные результаты целесообразно учитывать при реконструкции объектов зеленого хозяйства в городах Восточной Лесостепи Украины.

Ключевые слова: омела белая, городской ландшафт, анализ главных компонент, факторы распространения.

Rybalka I.O. To the issue of provide the ecological safety of green plantations under the rapid invasion of the white mistletoe (*VISCUM ALBUM* L.)

Environmental factors that contribute to the rapid spread of the White Mistletoe (*Viscum album* L.) have been investigated for increase in the level of the ecological safety of green plantations. The White Mistletoe is an evergreen hemiparasitic dwarf shrub with persistent haustoria. A dwarf's diameter may reach up to 90 (100) cm, and the lifespan – over 40 years. The Mistletoe is known to cause deterioration of tree health (i.e. trees infested by the White Mistletoe show increased defoliation and dieback, reduced growth and productivity) as well as aesthetic appearance. A number of fruit-eating birds such as the Waxwing and the Mistle Thrush disperse this dwarf shrub. Mistletoe «seeds» survive the passage through the digestive tract of birds unharmed and are released with the faeces. Modern distribution range of the White Mistletoe in Europe extends from 10° W to 80° E and from about 35° S to 60° N. The limiting factor for the northern and eastern distribution of mistletoe is mean annual temperature. Nowadays due to global climate change the range of the White Mistletoe's distribution is expanding both northward by latitude and upward by altitude in mountain areas. In many cities of Ukraine the White Mistletoe has been a common and widely distributed species.

The aim of the study was to determine relationship between the White Mistletoe density and environmental factors in urban landscapes to provide the ecological safety of green plantations.

Field survey were carried out in the city of Kharkiv (Ukraine). Sample plots were located within north, northeast, central, west and southeast parts of the city. We used semi-quantitative indexes as a proxy of the White Mistletoe abundance at individual infested tree as follows: "1" was assigned for the range of the Mistletoe individual dwarves

from 1 to 5, "2" – from 6 to 10, "3" – from 11 to 20, "4" – from 21 to 40, etc. For determination of the White Mistletoe populations' age structure we established 3 age classes determined visually. When the White Mistletoe did not produce fruits and its diameter was from 0 to 25 cm, the plant was considered as «juvenile», for the plants with flowers or fruits and diameter from 25 to 50 cm the «generative» age class was assigned, and the shrubs with diameters over 51 cm were considered as "senile". Depending on the actual age structure of local populations their population trends ("stable", "growing", "declining") were established. The principal component analysis was conducted in order to determine relationships between The White Mistletoe density and landscape characteristics.

With the use of principal component analysis environmental variables which influence rapid spread of the White Mistletoe on the level of landscape were evaluated. The White Mistletoe depending prevailing shares of the White Mistletoe hosts: White Willow, Norway Maple, Silver Maple, Robinia Pseudoacacia, Balsamic Poplar and Black Poplar and Garden Apple. Research results should be considered when developing and reconstructing gardening in cities Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

Further research should be directed to the developing of environmentally sound recommendations on the White Mistletoe population management in urban ecosystems. Acknowledgements.

Acknowledgements. The author is grateful to Yu. Vergeles for invaluable assistance in consultations and practical recommendations on the collection and systematization of research material and participation in some field observations.

Keywords: the White Mistletoe, urban landscape, principal component analysis, factors of dissemination.

Рибалка Інна Олександрівна – асистент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. Inna.Rybalka@gmail.com

Рецензент: д.т.н., професор **Горбунов М.І.**

Стаття подана 13.02.2017

УДК 66.07: 66.097.38

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЗЛА ОЧИСТКИ И ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРА НИТРАТА НИКЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Суворин А. В., Ожередова М. А., Доценко А. Д.

IMPROVEMENT OF CLEANING AND FILTRATION UNIT OF THE NICKEL NITRATE SOLUTION IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF SPENT CATALYSTS UTILIZATION

Suvorin A. V., Ozheredova M. A., Docenko A. D.

В статье приведены результаты усовершенствования узла очистки и фильтрации раствора нитрата никеля в технологической схеме утилизации отработанных катализаторов.

Представлена рекомендуемая технологическая схема очистки раствора нитрата никеля от примесей Fe^{3+} и SO_4^{2-} .

Показано, что использование установки позволит сократить расход греющего пара, время химического осаждения примесей и фильтрации раствора, использовать фильтр только в производстве, что приведет к сокращению расхода промывной воды для регенерации фильтровальной перегородки.

Ключевые слова: совместная утилизация, схема, фильтрация, раствор нитрата никеля, отработанные катализаторы.

1. Введение. Проблема переработки отработанных катализаторов для Украины в связи с отсутствием собственной сырьевой базы весьма актуальна, но связана с большими энергетическими и материальными затратами. Одним из перспективных методов получения катализаторного сырья является совмещение процессов утилизации отработанных катализаторов и отходящих нитрозных газов.

Производство никелевых катализаторов сопровождается образованием растворов, содержащих Ni^{2+} в количестве от 0,01 до 120 г/л [1]. Кроме этого эти растворы, загрязнены примесями, как правило, ионами Fe^{3+} , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , что затрудняет их утилизацию. В этой связи рассмотрена возможность применения разработанного нами метода для очистки и дальнейшей утилизации этих растворов.

2. Изложение основных материалов. На ООО НПК «АЛВИГО-КС» при извлечении ионов никеля

(II) из отработанных никельсодержащих катализаторов нанесенного и смешанного типов образуются растворы $Ni(NO_3)_2$. Результаты анализа этих растворов, полученных при экстракции никеля из отработанных катализаторов в условиях совмещенного хемосорбционно-экстракционного процесса, приведены в таблице 1. Для сравнения в таблице приведен усредненный состав реальных промывных вод, которые образуются после промывки изделий в процессах электрохимического никелирования, а также расчетные составы промывных вод, которые могут образовываться в результате водной промывки шламов после извлечения никеля из отработанных катализаторов с помощью серной или соляной кислот.

Приведенные результаты показывают, что концентрации примесей в указанных растворах имеют близкие численные значения.

Для очистки этих растворов от примесей, для осаждения Fe^{3+} рекомендовано в соответствии с [2] использовать карбамид. Это позволяет получать раствор нитрата никеля, свободный от примесей Na^+ и K^+ , но вызывает необходимость расходования в среднем 8500 ккал греющего пара с абсолютным давлением 3 атм на 1 м³ очищаемого раствора.

При проведении опытно-промышленных испытаний на стадии фильтрации использовали фильтр (тип ФДМ-32-830н) с поверхностью фильтрации $F = 32 \text{ м}^2$, который характеризуется высокой степенью и скоростью фильтрации $3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Однако, его непосредственно используют при приготовлении катализатора СТК. Это вызывает необходимость регенерации фильтровальной перегородки после фильтрации каждой порции раствора нитрата никеля, с целью предотвращения смешения компонентов фильтрата и осадка.

Таблица 1

Результаты химического анализа растворов нитрата никеля

Происхождение раствора	Состав, г/л					Cl ⁻
	Ni ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	SO ₄ ²⁻	
1. После экстракции Ni ²⁺ из катализаторов	48,2±112	0,12±0,51	0,01±18	0,01±8,9	0,01±0,2	следы
2. После промывки носителя и шлама	0,02±0,22	0,001±0,004	до 0,01	до 0,02	следы	следы
3. Промывная вода после никелирования изделий в сульфатном растворе	0,04±0,06	0,001±0,0015	следы	следы	0,06±0,096	следы
4. Промывная вода после никелирования изделий в хлоридном растворе	0,045±0,07	0,002±0,003	следы	следы	следы	0,025±0,045

Таблица 2

Свойства суспензий

№ суспензии по табл. 1	Давление, атм	Скорость фильтрации, м ³ /(м ² · ч)	Сопротивление слоя осадка, м ⁻²	pH осадения
1 с осаджением только примесей	1	3,1±4,2	6,13·10 ¹⁴	3,5±4
2	1	3,4±4,9	5,83·10 ¹⁴	8÷9
3	1	3,6±5,15	5,74·10 ¹⁴	9÷10
4	1	3,5±5,2	5,74·10 ¹⁴	9÷10

Необходимость сокращения энергетических затрат на нагрев растворов и необходимость замены фильтра послужила основанием для проведения исследований условий осаждения и фильтрации суспензий, которые получают при очистке раствора нитрата никеля от ионов никеля (II) и примесей.

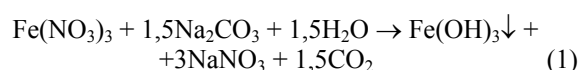
Осаждение Ni²⁺ и примесей проводили насыщенным раствором технической соды при температуре 20÷30°C по методике, изложенной в [3]. Осаждение сульфат-иона в виде малорастворимого соединения BaSO₄ проводили после осаждения гидроксидов железа (III) и алюминия (III) добавлением в раствор расчетных количеств насыщенного при 30°C раствора гидроксида бария. Фильтруемость полученных суспензий исследовали на установке и по методике, изложенным в [4]. В качестве фильтровальной перегородки использовался иглопробивной войлок по АРТ. 93-45-6. Основные результаты приведены в таблице 2.

Приведенные данные показывают, что полученные суспензии имеют близкие значения скорости фильтрации (1÷5,2 м³/(м² · ч)) при давлении 1 атм. Наименьшее значение сопротивления слоя осадка имеют суспензии № 3, 4, наибольшее – суспензия № 1.

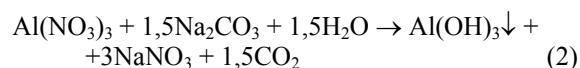
Близость численных значений скорости фильтрации и сопротивлений слоя осадка позволяют рекомендовать разработанные методику и конструкцию фильтра [5, 6] для разделения суспензий, полученных при осаждении примесей Fe³⁺, Ca²⁺, Al³⁺ и SO₄²⁻ из растворов нитрата никеля (II) при осаждении ионов никеля (II) в виде его гидроксикарбоната из низкоконтентрированных растворов.

На основании результатов проведенных экспериментов рекомендуется внести следующие изменения в технологическую схему (рис. 1).

Раствор нитрата никеля, полученный после извлечения никеля из отработанных механически высокопрочных и малопрочных никельсодержащих катализаторов, подается в реактор-осадитель 1. Включают циркуляционный насос 2 для циркуляции раствора нитрата никеля через фильтр мешочного типа 4 и емкость фильтра 3. При температуре 25÷30°C в реактор дозируют раствор карбоната натрия до pH = 3,5÷4,0 для осаждения Fe³⁺ по реакции (1):



Вместе с примесями железа (III) из раствора осаждается Al(OH)₃ по реакции (2):



Затем в реактор дозируют через мерник 8 приготовленный в реакторе-растворителе 7 насыщенный при 30÷50°C раствор Ba(OH)₂ для осаждения SO₄²⁻:



Полноту осаждения примесей определяют аналитически и при необходимости доочистки вводят дополнительно раствор Ba(OH)₂ и (или) раствор карбоната натрия.

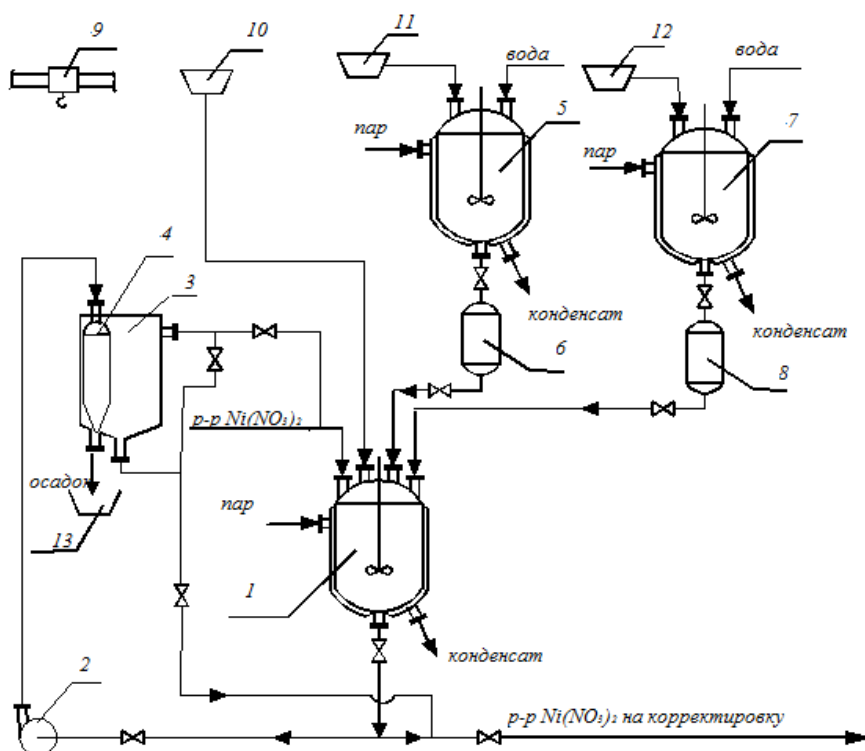
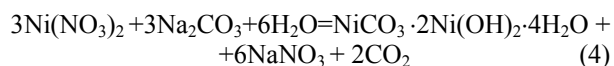


Рис. 1. Рекомендуемая технологическая схема очистки раствора нитрата никеля от примесей Fe^{3+} и SO_4^{2-} .
Существующее оборудование: 1 – реактор-осадитель; 2 – центробежный насос; 5 – емкость для приготовления раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$; 6, 8 – мерники; 7 – емкость для приготовления раствора Na_2CO_3 ; 9 – электроталь; 10 – 13 – контейнер Вводимое оборудование: 3 – корпус фильтра; 4 – фильтр мешочного типа

При очистке промывных вод, полученных при регенерации носителя и содержащих 0,02-0,22 г/л Ni^{2+} протекает реакция (4):



Очитка осуществляется аналогично описанию приведенному ранее. Полученный осадок гидроксикарбоната никеля (II) может быть использован при приготовлении катализаторов.

Образовавшаяся суспензия проходит через фильтр 4, осадок остается в полости фильтра, а очищенный раствор нитрата никеля попадает в корпус фильтра 3 и через верхнее переливное устройство или нижний слив подается на корректировку и далее в производство свежих катализаторов. Во время фильтрации фильтр полностью погружен в слой раствора нитрата никеля. Осадок, содержащий в пересчете на сухое вещество (% масс.): 66÷70 $\text{Fe}(\text{OH})_3$; 8,5÷9,5 BaSO_4 ; $\text{NiO} + \text{Al}(\text{OH})_3$ до 25, собирается в фильтре 4 и периодически выгружается в контейнеры 13. Осветленный раствор $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, содержащий SO_4^{2-} не более 0,003 % масс. и Fe^{3+} не более 0,005 % масс. попадает в корпус фильтра 3 и самотеком через верхнее переливное устройство или нижний сливной штуцер подается на корректировку и

последующие операции производства свежего катализатора.

Принципиальная конструкция фильтра представлена на рис. 2.

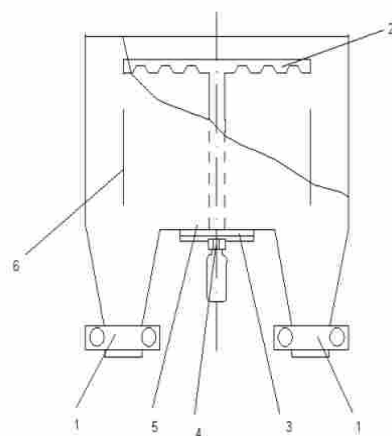


Рис. 2. Принципиальная конструкция фильтра:
1 – зажим, 2 – распределитель суспензии, 3 – шайбы, 4 – гайка, 5 – прокладка из эластичного материала

Фильтровальную перегородку рекомендовано [7] выполнить из иглопробивного войлока в соответствии с АРТ. 93-45-6 и поместить ее в сварной каркас шириной 0,3 м, выполненный из

нержавеющего прутка (диаметром 3 мм) для предупреждения раздувания фильтра; поверхность фильтрации ($S_{\text{фильтра}}$) – 6 м². Фильтр помещается в свободный полый реактор (без крышки) рабочим объемом 4,5÷5 м³. Фильтрующий элемент (рис. 2), выполнен в форме усеченного книзу мешка, сужение которого в нижней части заканчивается двумя рукавами, на которых установлены зажимы 1. Для герметичности соединения, рукава фильтра заканчиваются резиновыми кольцами, а к днищу корпуса ванны приварены две бигельных крышки. Внутри фильтра расположен распределитель суспензии 2, соединенный с насосом через патрубок. Соединение насоса и фильтровального мешка герметизировано шайбами 3, прокладками 5 из эластичного материала между шайбами и гайкой 4. В качестве материала для фильтрующего элемента рекомендован иглопробивной синтетический войлок. Для предотвращения раздутия фильтра, которое уменьшает полезный объем ванны от внутреннего давления воды, его противоположные стенки могут быть стянуты между собой заклепками или болтами с гайками либо прошиты по вертикали в несколько рядов.

Схема фильтровальной установки представлена на рис. 3.

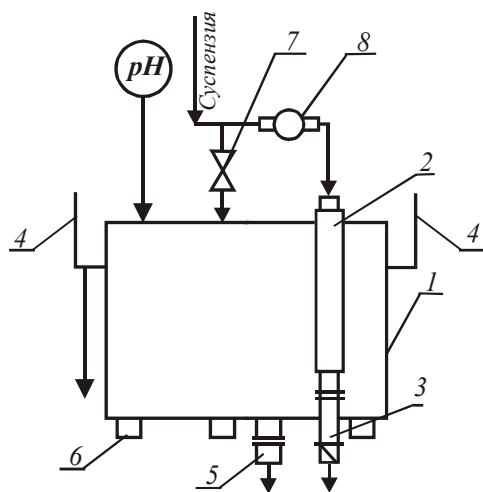


Рис. 3. Схема установки:

- 1 – корпус; 2 – фильтр; 3 – затвор; 4 – перелив;
5 – сливной штуцер; 6 – опора; 7 – байпасный вентиль;
8 – датчик давления

Процесс фильтрации рекомендуется проводить до достижения давления в нагнетательном патрубке фильтра на уровне 0,5 МПа (механическая прочность на разрыв ($P_{\text{разр}}$) для иглопробивного войлока составляет 1 МПа). Сопротивление фильтрации ($R_{\text{фильтрации}}$) для осадков принимаем по наибольшему значению из табл. 2: $5,83 \cdot 10^{14}$ м⁻², а его плотность ($\rho_{\text{осадка}}$) при влажности $\approx 80\%$ масс – на уровне 2360 кг/м³. При суммарном наибольшем содержании ($C_{\text{осадка}}$) взвешенных частиц гидрооксида железа (III), сульфата бария и гидроксида алюминия в растворе нитрата никеля после осаждения примесей 1,86 г/л (суспензии 2 - 4),

объем раствора, который может быть профильтрован в данных условиях, составит:

$$V_{p-ra} = \frac{S_{\phi-ra} \cdot \rho_{осадка}}{C_{осадка}} \cdot \left(\frac{\frac{\Delta P}{W_{\text{фил-ции}} \cdot \mu} - R_{\phi.пер.}}{r_0} \right) =$$

$$= \frac{6 \cdot 2360}{0,086} \cdot \left(\frac{\frac{10^5}{0,0015 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} - 2,5 \cdot 10^7}{5,83 \cdot 10^{14}} \right) \approx 100 \text{ м}^3$$

$S_{\phi-ra}$ - площадь фильтровальной перегородки, м²;

$\rho_{ос}$ - плотность осадка гидроксикарбоната никеля (II), $\rho_{ос} = 2360$ кг/м³;

$C_{осадка} = 0,086$ кг/м³;

ΔP - разность давлений на фильтровальной перегородке, $\Delta P = 5 \cdot 10^5$ Па;

$W_{\text{фильтрации}}$ - скорость фильтрации,

$$W_{\text{фильтрации}} = 5,2 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} = 0,0015 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}};$$

μ - вязкость маточного раствора, в условиях испытаний принято $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$;

$R_{\phi.л.}$ - сопротивление фильтровальной перегородки, м⁻¹, $R_{\phi.л.} = 2,5 \cdot 10^7$ м⁻¹;

r_0 - удельное объемное сопротивление никельсодержащего осадка, $r_0 = 5,74 \cdot 10^{14}$ м⁻².

Для суспензии № 1 (табл. 2) количество профильтрованного раствора при $\rho_{ос} = 3084$ кг/м³, $C_{осадка} = 0,86$ кг/м³ и всех прочих равных условиях составит ≈ 14 м³.

Наибольший объем раствора нитрата никеля, 13 м³, может быть получен при экстракции никеля из механически высокопрочных катализаторов, наименьший - 3 м³ - при экстракции никеля из механических малопрочных катализаторов в хемосорберах-экстракторах. Следовательно, очистка фильтра от осадка может быть осуществлена не менее, чем после проведения 30 операций экстракции никеля из механически малопрочных катализаторов с последующим осаждением примесей и после каждой операции из механически высокопрочных катализаторов. Исходя из данных табл. 2 средняя скорость фильтрации составляет 4,3 м³/(м² · ч), время фильтрации может быть сокращено в 4,3/3,3 = 1,3 раза.

Осадок, получаемый при фильтрации растворов, может быть использован как компонент глазури в керамической промышленности [8].

Получаемый раствор, например $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ может быть использован в производстве свежих катализаторов, в т. ч. каталитически стабилизированного окисления горючих газов [9].

Преимуществом такого варианта очистки раствора нитрата никеля от примесей Fe^{3+} и SO_4^{2-} является сокращение времени химического осаждения примесей и фильтрации раствора в $\approx 1,3$ раза при сохранении степени фильтрации и сокращение энергетических затрат на нагрев раствора нитрата никеля на 8500 ккал пара с абсолютным давлением 3 атм на 1 м³ нагреваемого раствора нитрата никеля. Кроме того, такая замена позволит использовать существующий фильтр ФДМ-32-830п только в производстве катализатора СТК.

Выводы. Предложено усовершенствование узла осаждения примесей и фильтрации раствора нитрата никеля (II), полученного при извлечении ионов никеля (II) из отработанных никельсодержащих катализаторов. Показано, что использование установки позволит сократить расход греющего пара в среднем на 8500 ккал на 1 м³ очищаемого раствора, сократить время химического осаждения примесей и фильтрации раствора в 1,3 раза, использовать фильтр только в производстве, что приведет к сокращению расхода промывной воды для регенерации фильтровальной перегородки.

Л и т е р а т у р а

- Бикова С.П. Дослідження складу і властивостей стічних вод виробництва каталізаторів / С.П. Бикова, О.В. Суворін, Н.С. Мельничук // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2005. - № 31 - С. 139-142.
- Ожередова М.А. Утилизация отходов гальванического производства и отработанных катализаторов / М.А. Ожередова, А.В. Суворин // Збірник наукових праць СХУ: Науковці-підприємствам, установам регіону. - Луганск. - 2004 - С. 262.
- Ожередова М.А. Никельсодержащие промывные воды. Влияние добавок и природы осадителя на степень очистки / М.А. Ожередова, А.В. Суворин // Хімічна промисловість України. - Київ: АТ "ВНДІХІМПРОЕКТ", 2005.-№ 3.- С. 41-43.
- Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий / В.А. Жужиков. - М.: Химия, 1980. - 400 с.
- Пат. № 2091504 Российская Федерация, МКИ С23/ 86, 37/01 Ванна промывки / Суворин В.А., Суворин А.В.; заявители и патентообладатели Суворин В.А., Суворин А.В. - № ; заявл. 18.12.91; опубл. 27.09.97 бюл. № 27.
- Пат. 7878 Україна, МПК⁷ С23G3/0. Ванна промивання і знешкодження промивних вод / [Тюльпін О.Д., Крошкіна О.Г., Ожередова М.А., Суворін О.В., Тюльпін Д.О., Чумак В.О.]; заявник та власник патенту Інститут техніки безпеки хімічних виробництв - № 20041209975; заявл. 06.12.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.
- Ожередова М.А. Установка обезвреживания никельсодержащих промывных вод / М.А. Ожередова, А.В. Суворин, А.Д. Тюльпін // Экологические и ресурсосбережение.- Київ: Інститут газу НАН України, 2006.- № 5.- С. 72 - 74.
- А.с. 1761734 СССР, МКИ С 04 В 41/86. Состав для получения глазурированного покрытия на керамической плитке / [Суворин В.А., Светиков А.А., Руденко В.Д., Калинин В.Ф., Мельникова В.И. (СССР)]. - № 4899533; заявл. 15.05.92; опубл. 15.09.92, Бюл. № 34.
- Федчурова О.В. Исследование пропитки и прокали минерально-волокнутого носителя в производстве катализатора / О.В. Федчурова, Ю.И. Агафонов, А.Н. Попович, А.В. Суворин // Технологія – 2013: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., ч. 1.- Северодонецк: СТИ СНУ ім. В. Даля, 2013.- С. 133 - 134.

References

- Bikova S.P. Doslidzhennja skladu i vlasivostej stichnih vod virobnicva katalizatoriv / S.P. Bikova, O.V. Suvorin, N.S. Mel'nicuk // Naukovij visnik budivnictva. - Harkiv: HDTUBA, HOTV ABU, 2005. - № 31 - S. 139-142.
- Ozheredova M.A. Utilizacija othodov gal'vanicheskogo proizvodstva i otrabotannyh katalizatorov / M.A. Ozheredova, A.V. Suvorin // Zbirnik naukovih prac' SNU: Naukovci-pidpriemstvam, ustanovam regionu. - Lugansk. - 2004 - S. 262.
- Ozheredova M.A. Nikel'soderzhashhie promyvnye vody. Vlijanie dobavok i prirody osaditelja na stepen' ochistki / M.A. Ozheredova, A.V. Suvorin // Himichna promislovist' Ukraini. - Kiiv: AT "VNDIHIMPROEKT", 2005.-№ 3.- S. 41-43.
- Zhuzhikov V.A. Fil'trovanie. Teorija i praktika razdelenija suspenzij / V.A. Zhuzhikov. - M.: Himija, 1980. - 400 s.
- Pat. № 2091504 Rossijskaja Federacija, MKI S23/ 86, 37/01 Vanna promyvki / Suvorin V.A., Suvorin A.V.; zjaviteli i patentoobladateli Suvorin V.A., Suvorin A.V. - № ; zjavl. 18.12.91; opubl. 27.09.97 bjul. № 27.
- Pat. 7878 Ukraïna, MPK⁷ S23G3/0. Vanna promivannja i zneshkodzhennja promivnih vod / [Tjul'pinov O.D., Kroshkina O.G., Ozheredova M.A., Suvorin O.V., Tjul'pinov D.O., Chumak V.O.]; zjavnika ta vlasnika patentu Institut tehniki bezpeki himichnih virobniectv - № 20041209975; zjavl. 06.12.2004; opubl. 15.07.2005, Bju-l. № 7.
- Ozheredova M.A. Ustanovka obezvrezhivannja nikel'soderzhashhih promyvnyh vod / M.A. Ozheredova, A.V. Suvorin, A.D. Tjul'pinov // Jekotehnologii i resursosberezhenie.- Kiiv: Institut gazu NAN Ukraïni, 2006.- № 5.- S. 72 - 74.
- A.s. 1761734 SSSR, MKI S 04 V 41/86. Sostav dlja poluchennija glazurovannogo pokrytija na keramicheskoi plitke / [Suvorin V.A., Svetikov A.A., Rudenko V.D., Kalinenko V.F., Mel'nikova V.I. (SSSR)]. - № 4899533; zjavl. 15.05.92; opubl. 15.09.92, Bjul. № 34.
- Fedchurova O.V. Issledovanie propitki i prokaliki mineral'no-voloknistogo nositelya v proizvodstve katalizatora / O.V. Fedchurova, YU.I. Agafonova, A.N. Popovich, A.V. Suvorin // Tekhnologiya – 2013: materiali mizhnar. nauk.-tekhn. konf., ch. 1.- Severodonec'k: STI SNU im. V. Dalia, 2013.- S. 133 - 134.

Суворін О. В., Ожередова М. А., Доценко А.Д.
Вдосконалення вузла очистки і фільтрації розчину нітрату нікелю у технологічній схемі утилізації відпрацьованих каталізаторів

У статті наведені результати удосконалення вузла очищення і фільтрації розчину нітрату нікелю в технологічній схемі утилізації відпрацьованих каталізаторів.

Представлена рекомендована технологічна схема очищення розчину нітрату нікелю від домішок Fe^{3+} і SO_4^{2-} .

Показано, що використання установки дозволить скоротити витрату пари, що гріє, час хімічного осадження домішок і фільтрації розчину, використовувати фільтр тільки в виробництві, що призведе до скорочення витрат промивної води для регенерації фільтрувальної перегородки.

Ключові слова: спільна утилізація, схема, фільтрація, розчин нітрату нікелю, відпрацьовані каталізатори.

Suvorin A. V., Ozheredova M. A., Docenko A. D.
Improvement of cleaning and filtration unit of the nickel nitrate solution in the technological scheme spent catalysts utilization

In the article presented the results of the improvement of the cleaning and filtration unit of the nickel nitrate solution in the technological scheme of spent catalysts utilization.

The recommended technological scheme for cleaning a solution of nickel nitrate from impurities Fe^{3+} and SO_4^{2-} is presented.

It is shown that the use of the unit will reduce the consumption of heating steam, the time of chemical precipitation of impurities and filtration of the solution, use the filter only in production, which will result in a reduction in the flow rate of the washing water for regenerating the filter wall.

Keywords: combined utilization, scheme, filtration, nickel nitrate solution, spent catalysts.

Суворін Олександр Вікторович – д.т.н., професор, завідувач кафедри хімічної інженерії і екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. tnre.sti.2014@gmail.com

Ожередова Марина Анатоліївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри хімічної інженерії і екології, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. ozheredovama@ukr.net

Доценко Анатолій Дмитрович – старший викладач кафедри програмування та математики, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

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

Стаття подана 14.03.2017

УДК 629.4.02.001.76

ПОЛІПШЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ ДИНАМІЧНИМ ЗУСИЛЛЯМ

Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю.

IMPROVING THE BEARING ABILITY OF HOPPER WAGON FOR GRAIN TRANSPORTATION WITH THE PURPOSE OF RESISTANCE INCREASE BY DYNAMIC EFFORTS

Fomin O., Prokopenko P., Gorbunov M. Sapronova S.

В статті виконаний аналіз сучасного стану парку вагонів-хоперів для перевезення зерна в Україні. Результати аналізу показують, що вагони-хопери для перевезення зерна майже вичерпали свій ресурс. У зв'язку з чим запропонована модернізація, яка дозволить продовжити термін служби вагон-зерновоза та підвищить опір динамічним зусиллям, що діють на раму кузова вагона. Проте впровадження запропонованої модернізації обґрунтувало необхідність проведення відповідних дослідних робіт. Зазначені роботи включали дослідження місць і причин виникнення тріщин, а їх результат став основою запропонованої модернізації рами вагона.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-зерновоз, несучі системи, модернізація, опір динамічним зусиллям, ресурсо збереження.

Актуальність та постановка проблеми. В 2017 році заплановано зібрати зернових культур 80 млн. т. При цьому виникає необхідність їх транспортування від складів до пунктів перевалки [1,2].

При перевезеннях залізницями для цього застосовують вагони-хопери для перевезення зерна (вагони-зерновози).

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку зерновозів. Середній вік зерновозів в Україні становить 27,4 року, що на 2,8 року (на 12%) більше середнього значення по країнах СНД і Балтії. Також необхідно відзначити, що 69% українських зерновозів експлуатуються понад 27 років при нормативному терміні експлуатації 30 років. Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації вагонів-хоперів критичних для перевезення зерна з вичерпаним терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування.

Аналіз даних показує, що в Україні вагони-хопери для перевезення зерна в основному представлені вагонами інвентарного парку моделі 19-752 (рисунком 1).



Рис. 1. Вагон-хопер моделі 19-752

Укрзалізниця має 11485 інвентарних вагонів, з яких придатні до експлуатації всього 8650 вагонів. Ще 731 приватних зерновозів належать державному підприємству «Стрийський вагонобудівний завод», який входить в структуру Укрзалізниці. Середній вік зерновозів в Україні становить 27,4 року, що на 2,8 року (на 12%) більше середнього значення по країнах СНД і Балтії. Також необхідно відзначити, що 69% українських зерновозів експлуатуються понад 27 років при нормативному терміні експлуатації 30 років. Темпи списання зерновозів в Україні в найближчі роки будуть складати 1,5-2,0 тис. вагонів на рік.

За результатами виконаних досліджень технічного стану вагонів-хоперів критих встановлено, що оглянуті вагони моделі 19-752 у кількості більше 113 вагонів мають тріщини в районі з'єднання заднього упора автозчепного пристрою з рамою кузова вагона із загальною кількістю 1453 вагони оглянутих з 2016 року.

До того ж недостатнє фінансування на закупку нового рухомого складу гостро ставить питання про збереження в робочому стані існуючого парку вагонів.

Метою роботи є: висвітлення особливостей та результатів проведених науково-прикладних досліджень з конструктивної протидії виникненню тріщин в несучих системах вагонів-зерновозів моделі 19-752. При цьому викладено виявлені особливості розташування та виникнення тріщин. Наведено запропоновані технічні рішення з протидії цим тріщинам та результати математичного моделювання впровадження таких рішень.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- аналіз тріщин на конструкціях вагонів-хоперів для перевезення зерна;
- висунення теорії виникнення тріщин;
- пошук оптимального технічного рішення з протидії процесу виникнення тріщин, розробка відповідних проектних технічних рішень;
- комплексне дослідження ефективності запропонованого практичного рішення методики комп'ютерного моделювання;
- аналіз отриманих результатів.

Аналіз літературних джерел та визначення сучасного стану проблеми. На сьогоднішній день вченими та інженерами зроблений значний науково-технічний заділ з підвищення опору динамічним зусиллям конструкцій рухомого складу. Так в роботах [3, 4] запропоновані загальні принципи реалізації системного підходу при проектуванні вантажних вагонів. В них визначені діючі на вагон динамічні зусилля та загальні принципи конструктивної протидії ним. В працях [5, 6, 7, 8] розглянуті виникаючі в експлуатації динамічні навантаження, їх вплив на ходові якості та можливі наслідки в часі. При цьому

особлива увага приділяється модулем ходової частини рухомого складу. В працях [9, 10] автором розглянуті особливості перспективних профілів в несучій системі вантажних вагонів. Проте детально не розглянуто особливості підсилення несучих системи в рамках можливих модернізацій. Автори статей [11, 12] детально визначили причини, наслідки та варіанти протидії виникаючим динамічним зусиллям для вагонів платформ та вантажних вагонних візків. В результаті проведеного аналізу з'ясовано, що питання модернізації несучих систем зерновозів з метою підвищення опору динамічним зусиллям приділено недостатню увагу та відповідних конструктивно-технологічних рішень не запропоновано.

Викладення основного матеріалу. Під час проведення технічного діагностування вагонів-зерновозів моделі 19-752 визначилась тенденція виявлення однотипних тріщин в хребтових балках в районі клепаного з'єднання їх із задніми упорами (рис. 2).

Беручи до уваги одноманітність виявлених дефектів у вагонах-зерновозах моделі 19-752 та фактичний відсоток їх вибраковки, то можна прогнозувати, що у 2017 році загальна їх кількість буде становити близько 200 одиниць.

Спеціалізований критий вагон-хопер моделі 19-752 для перевезення зерна габариту 1-ВМ.

Вагон моделі 19-752 суцільнометалевий (рисунок 3), обладнаний пристроями бункерного типу з використанням гравітаційної властивості вантажу при вивантаженні самопливом. Рама 8, бокові 5 і торцеві 6 стіни, дах 1 утворюють кузов вагона.

Вагон має шість бункерів 11 по три з кожного боку з механізмами 12 для відкривання і закривання розвантажувальних люків.

Для полегшення висипання вантажу на бункерах передбачені пристрої 13 для постановки вібраторів. Вагон завантажують через чотири щільні завантажувальні люка 2, розташованих в даху кузова.

Люки закривають кришками (1690x660 мм) з гумовими ущільнювачами. Кожна кришка закривається двома пружними закидачками 3, які в закритому положенні заходять за захватні скоби, приварені до даху, і притискають кришку до горловини люка.

Для попередження самовільного виходу закидачок з захватних скоб кришки обладнані механізмом запирання.

Він являє собою вал 4, розташований уздовж кришок люків по всій довжині даху, з привареними до нього проти кожної захватної скоби секторами. Привід валу 7 розташований на торцевій стіні вагона. При повороті валу за годинниковою стрілкою його сектори закривають відкритий простір захватних скоб і виключають вихід закидачок 3 з-під них.

Для потрапляння на дах кузова на торцевій стороні і на рамі встановлені сходи 9. Перехідна площадка вагона забезпечена огороженням 10. Всі несучі елементи кузова виконані з низьколегової сталі 09Г2Д, а обшивка зі сталі 10ХНДП-2.

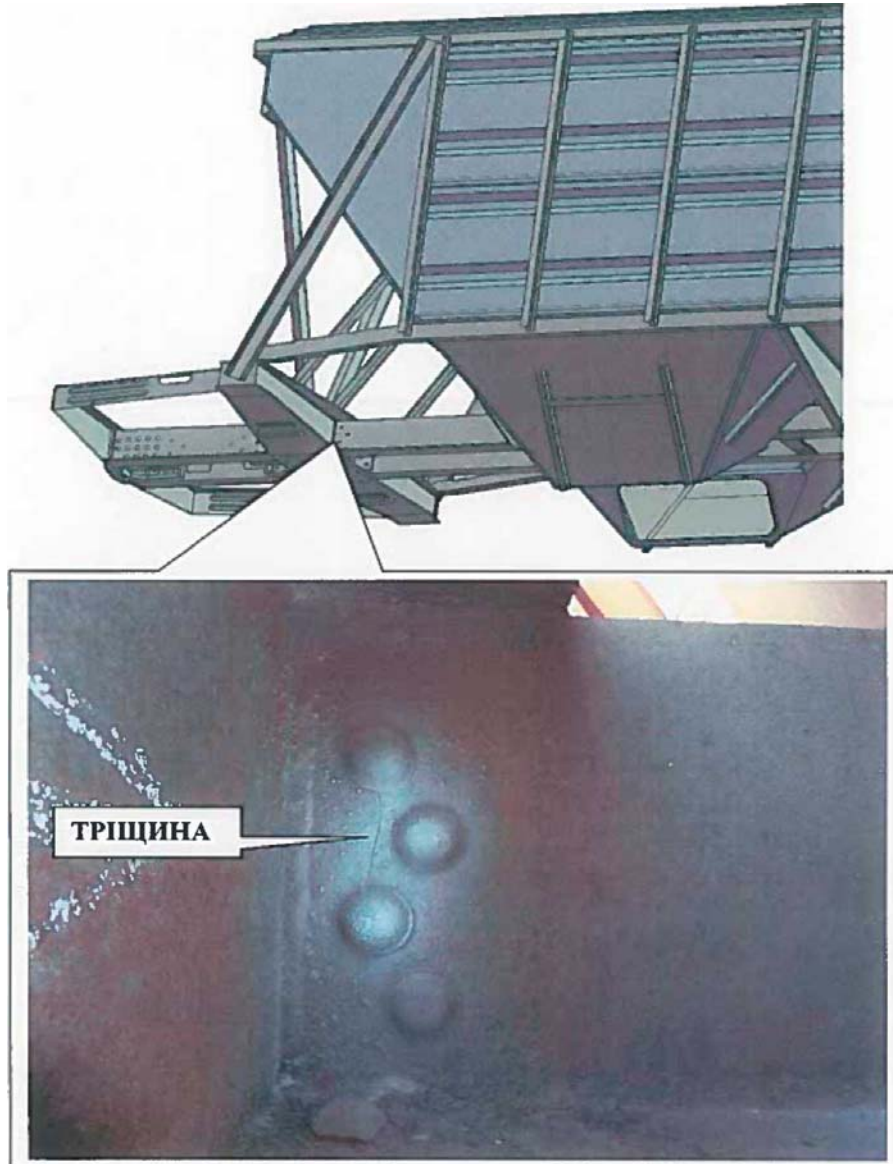


Рис. 2. Місце виникнення тріщини в хребтовій балці вагона-зерновоза моделі 19-752

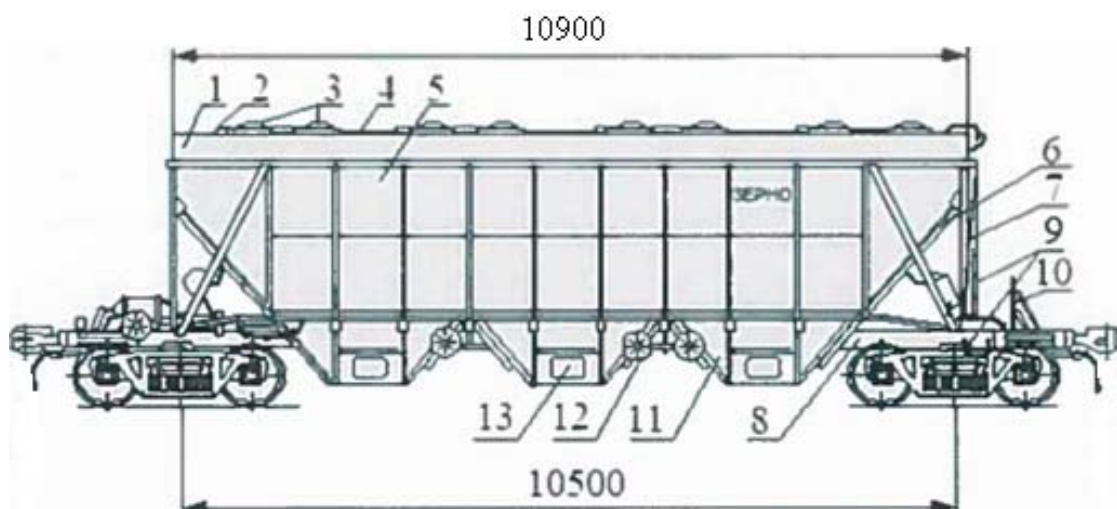


Рис. 3. Загальна будова вагона 19-752

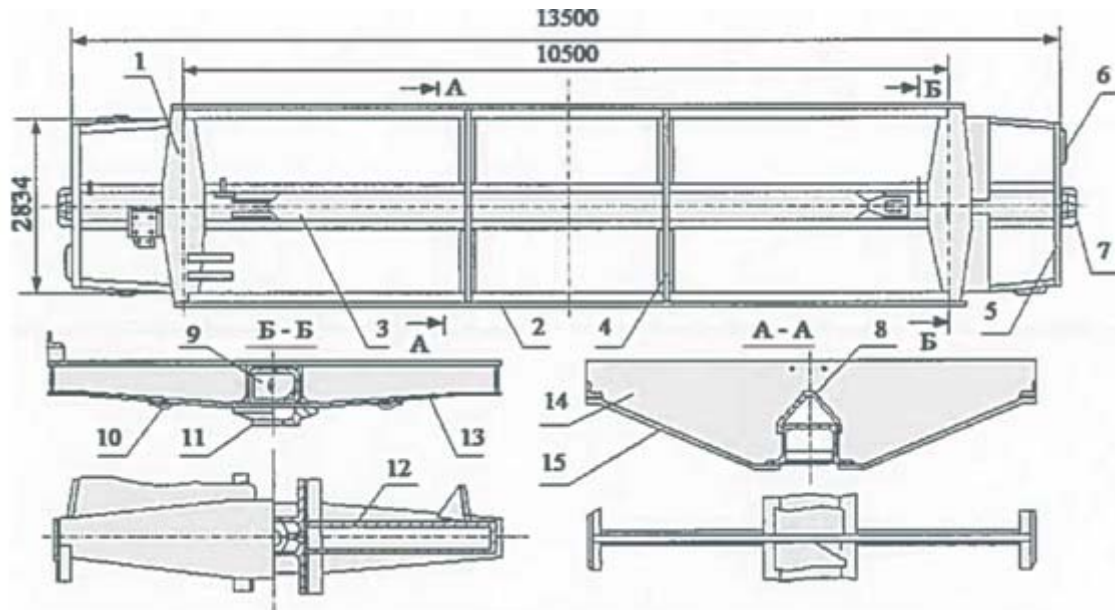


Рис. 4. Рама вагону

Рама (рисунок 4) складається з хребтової 3, двох бокових 2, двох кінцевих 5, двох шворневих і двох середніх 4 балок. Хребтова балка зварена з двох 2-образних профілів № 31, перекритих в середній частині коником 8 (4 мм) для кращого зсіпання вантажу.

В консольній частині хребтова балка посилена розеткою 7 і упорами автозчепу. Бокові балки виконані з кутового профілю 125x80x10 мм.

Кінцеві балки зварені з листів товщиною 4 мм та мають Г-подібну форму поперечного перерізу. Для безпечної роботи складача поїздів на кінцевий балці встановлені поручні 6.

Шворневі балки коробчастого перетину складаються з двох вертикальних 12 (6 мм) і двох горизонтальних 13 листів (10 мм). На нижньому горизонтальному листі балки укріплені ковзуни 10 і п'ятник 11.

Для забезпечення міцності опорного вузла і підвищення жорсткості з'єднання шворневої і хребтової балок між ними встановлена надп'ятникова корбока 9.

Середні поперечні балки складаються з вертикального 14 (6 мм) і нижнього нахилоного 15 (8 мм) листів.

Бокові стіни виконані з гофрованих металевих листів 6 товщиною 3 мм, підкріплених для жорсткості десятьма стойками 5, верхньою 4 і нижньою 7 обв'язками.

Стойки виготовлені з двотавра № 10, верхня обв'язка 4 - з гнутого спеціального профілю товщиною 6 мм, а нижня - з прокатного куточка 125x80x10 мм.

Для більшої жорсткості кожна стіна пов'язана з рамою двома похилими швелерами № 9, які зварені з листів товщиною 5 мм у формі усіченої піраміди та мають розвантажувальні кришки 10 люків з гумовими ущільнювачами. Кожні два протилежні бунке-

ра забезпечені одним важільним механізмом розвантаження з приводним штурвалом 8.

Механізм розвантаження забезпечує попарне відкривання і закривання кришок люків бункерів, а також дозволяє дозувати висипання зерна або припиняти вивантаження в будь-який момент часу.

Механізм складається з гвинтового приводу зі штурвалом, укріпленого на кронштейні, та системи шарнірно пов'язаних між собою важелів і тяг з розпірками, з'єднаними попарно з кришками розвантажувальних люків.

Закриття кришок забезпечується заходом осей розпірок за "мертву" точку, що оберігає кришки від мимовільного відкривання. Для більш повного вивантаження вагона передбачена можливість установки на бункерах вібраторів.

Торцеві стіни нахилені під кутом 55° до площини рами. Вони зварені з верхнього та нижнього листів товщиною 4 мм і двох бокових обв'язок кутового профілю 60x60x6 мм.

Руйнування в рамі кузова вагонів-зерновозів моделі 19-752 виникають в хребтовій балці в районі клепаного з'єднання її із заднім упором автозчепного пристрою.

Аналіз частоти непланових ремонтів вагонів-зерновозів

Для аналізу частоти непланових ремонтів зерновозів були проаналізовані дані щодо проведених непланових ремонтів за період з 01.01.2016р. по 30.04.2017р.. Так згідно довідки ГЮЦ УЗ 2078 за даний період непланові ремонти (ТОВ-1 та ТОВ-2) зерновозів парку ПАТ «Укрзалізниця», проводилися 20 597 вагонам, з них проведення ТОВ-1 складає 8 768 вагонів, ТОВ-2 - 11 829 вагонів. Станом на 01.05.2017, згідно з даними довідки ГЮЦ УЗ 2066, парк зерновозів ПАТ «Укрзалізниця» становить 11 649 вагонів, із середнім відсотком зносу 98,43%. Таким чином середня кількість непланових ремонтів,

що приходяться на 1 вагон загального парку зерновозів становить 1,77. Роки побудови зерновозів даного парку знаходяться в діапазоні 1976 - 1993 р.

Нормативний строк служби зерновозів становить 30 років, і враховуючи, що знос парку зерновозів сягає 98%, зерновозам із закінченим строком служби проводиться обстеження технічного стану для подовження їх строку служби і подальшої експлуатації на залізницях України. Під час проведених обстежень технічного стану за період з 01.01.2016 року по 30.04.2017 року були виявлені зерновози (загальна кількість 100 шт.), по яким були зафіксовані випадки типових тріщин несучих конструкцій.

Порівняння кількості непланових ремонтів зерновозів, по яким були виявлені типові тріщини під час технічного обстеження з зерновозами загального парку показало, що для зерновозів з дефектами не характерне збільшення непланових ремонтів під час експлуатації. По кількості непланових ремонтів в експлуатації вони проявляють себе на рівні зерново-

зів, по яким під час технічного обстеження не було зафіксовано дефектів несучих конструкцій.

Результати порівняння виконання непланових ремонтів на зерновозах з дефектами та на зерновозах загального парку ПАТ «Укрзалізниця» представлені в таблиці 1.

Таблиця 1
Порівняння кількості непланових ремонтів зерновозів з дефектами і загальним парком вагонів-зерновозів

Опис показника	Зерновози з дефектами	Зерновози загального парку ПАТ «УЗ»
Частота непланових ремонтів ТОВ-1 на 1 вагон	0,76	0,75
Частота непланових ремонтів ТОВ-2 на 1 вагон	0,77	1,01
Загальна частота непланових ремонтів на 1 вагон	1,53	1,77

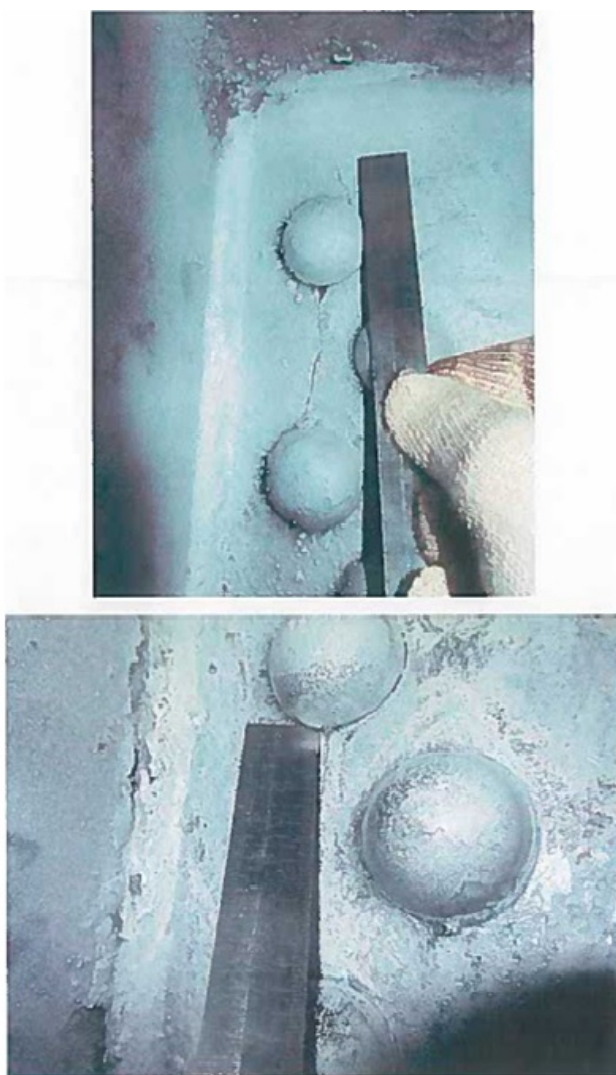


Рис. 5. Тріщина в хребтовій балці



Рис. 6. Тріщина в зварному шві який з'єднує хребтову балку з шворневою

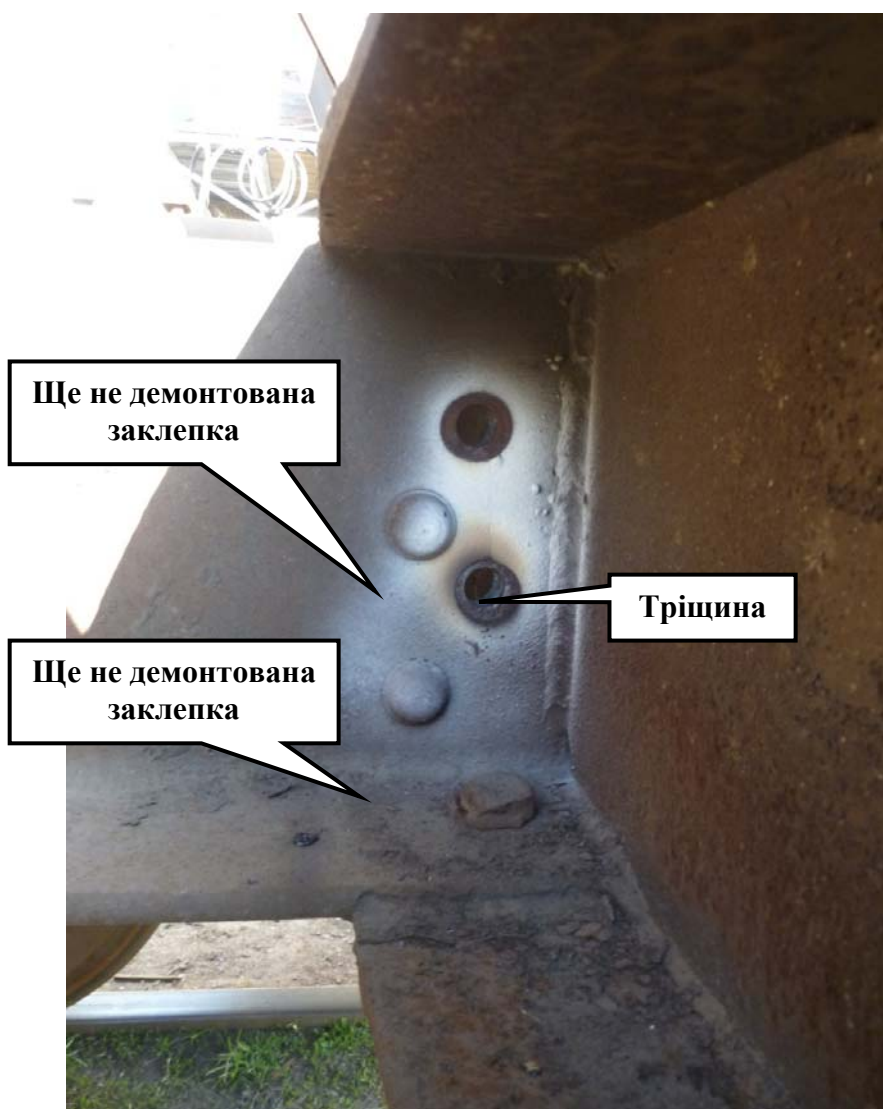


Рис. 7. Демонтаж заклепок

Дослідження місць виникнення тріщин на рамі вагона-зерновоза

В вагонному депо Херсон було проведено дослідження місць виникнення руйнувань рами кузова вагонів-зерновозів моделі 19-752 з застосування магнітопорошкового методу неруйнівного контролю.

Для проведення досліджень вагони-зерновози, які зазнали руйнувань рами кузова було виставлено на технологічні підставки, візки викочені та розібрані автозчепні пристрої.

По результатам контролю виявлено:

- тріщини в хребтових балках двох вагонів, що досліджувалися в районі клепаного з'єднання її із заднім упором (рисунок 5);

- ослаблення заклепок в місцях виникнення тріщини

- тріщини в зварних з'єднаннях нижнього листа шворневої балки з хребтовою балкою двох вагонів, що досліджувалися (рисунок 6);

- тріщину в задньому упорі одного із вагонів зі сторони поглинального апарату.

Модернізація полягає у наварюванні посилюючої планки в місце виникнення тріщин з поступовою зміною товщини а значить і жорсткості дозволила отримати найменші напруження.

Порядок модернізації:

1. Зрізати головки та демонтувати заклепки (4 шт.) в районі виникнення тріщини (Рис. 7). Головки заклепок зрізати з внутрішньої сторони хребтової балки, щоб виключити термічний вплив на хребтову балку в районі виникнення тріщини.

2. Виконати операції вказані в п. 1 з протилежної сторони, навіть у випадку відсутності тріщини.

3. Відрізати від заднього упора дві частини, як показано на рис. 8 та рис.9.



Рис. 8. Частина заднього упора, що відрізається



Рис. 9. Частини заднього упора, що відрізаються

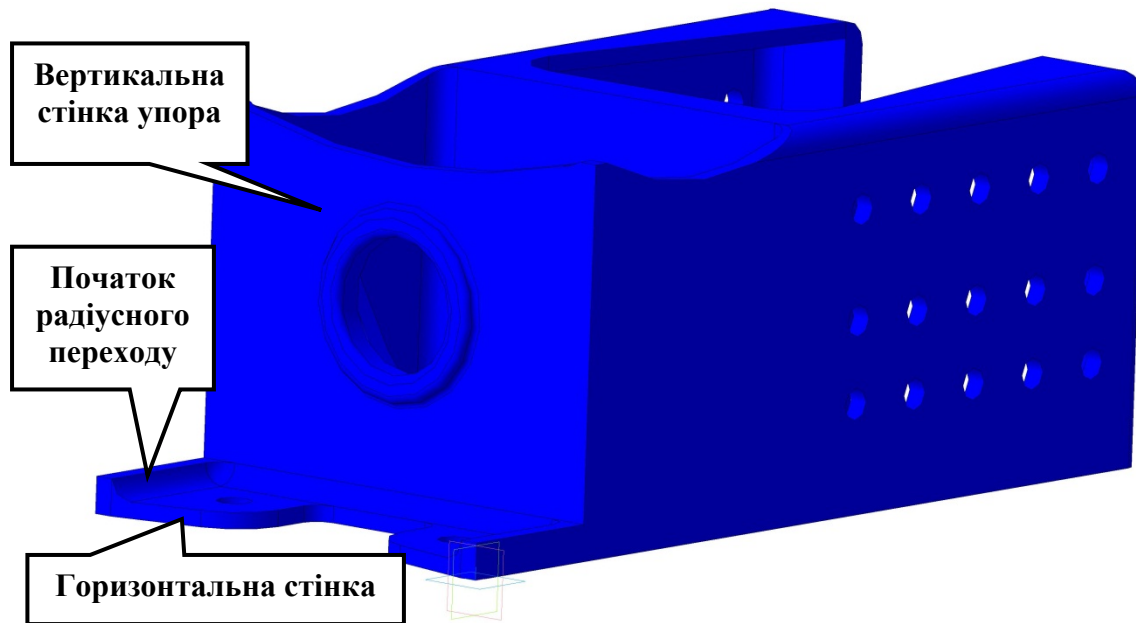


Рис. 10. Лінія різ у нижній частині

4. Частини відрізаються врівень з вертикальною стінкою упора, а внизу відрізаються до початку радіусного переходу на горизонтальну стінку упора (Рис. 10).

5. Розробити тріщину та усунути її зварюванням.

6. Зачистити зварний шов усунутої тріщини з внутрішньої сторони врівень з хребтовою балкою.

7. Виготовити деталь яка показана на Рис. 11. згідно кресленника Рис. 12.

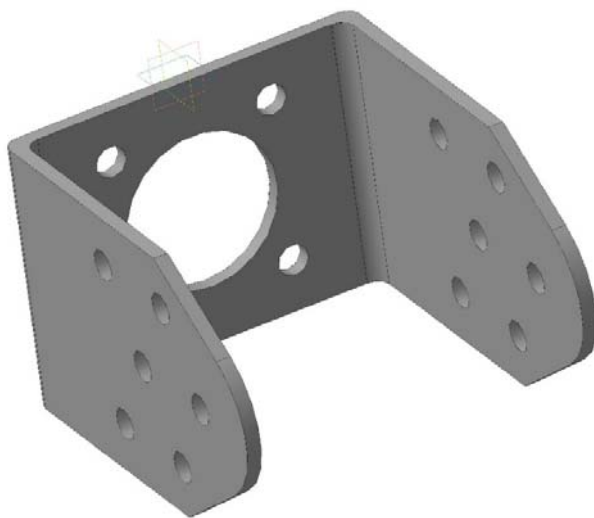


Рис. 11. Деталь яка виготовляється

8. Встановити виготовлену деталь на місце зрізаних частин упора (як показано на Рис. 13 та Рис. 14) та обварити. Деталь приварюється до хребтової балки по її контуру та через електрозаклепки (12 отв. Ø 30 мм), а до вертикального листа упора через отвори (4 отв. Ø 30 мм та 1 отв. Ø 150 мм).

Переваги:

1. Не потрібно обладнання для встановлення заклепок, що дозволяє виконувати ремонт в умовах депо.

2. Усунута тріщина зовні не закрита накладкою, що дозволяє періодично її контролювати під час експлуатації.

3. Доступ до тріщини, при її усуненні забезпечується з обох сторін, що дозволяє застосувати двостороннє зварювання.

4. Місце виникнення тріщини після проведення ремонту та модернізації розвантажується, що забезпечує запобігання виникнення повторних тріщин в цьому місці.

Недоліки:

Роботи виконуються з внутрішньої сторони хребтової балки, що ускладнює проведення ремонтних робіт.

Міцнісні розрахунки кінцевого варіанту.

Модернізації кузова вагона зерновоза проведено на основі побудованих розрахункових схем з додаванням залишкових напружень в розмірі 20% від границі текучості.

Так як в модернізації використовуються зварні з'єднання критичними будуть дотичні напруження, так як вважається що зварне з'єднання працює на зріз. Оцінювання міцності виконується шляхом порівнювання отриманих напружень допустимими дотичними напруженнями для режиму I $[t]=178$ МПа, а для режиму III $[t]=120$ МПа. Оцінювання можливого накопичення напружень виконується шляхом порівнювання отриманих напружень з границею витривалості за дотичними напруженнями при пульсуючому циклі $t_0=70$ МПа.

Модернізація за кінцевим варіантом відповідає вимогам міцності, найбільші напруження не перевищують границі витривалості за дотичними напруженнями для пульсуючого циклу $62,3 \text{ МПа} < [70 \text{ МПа}]$.

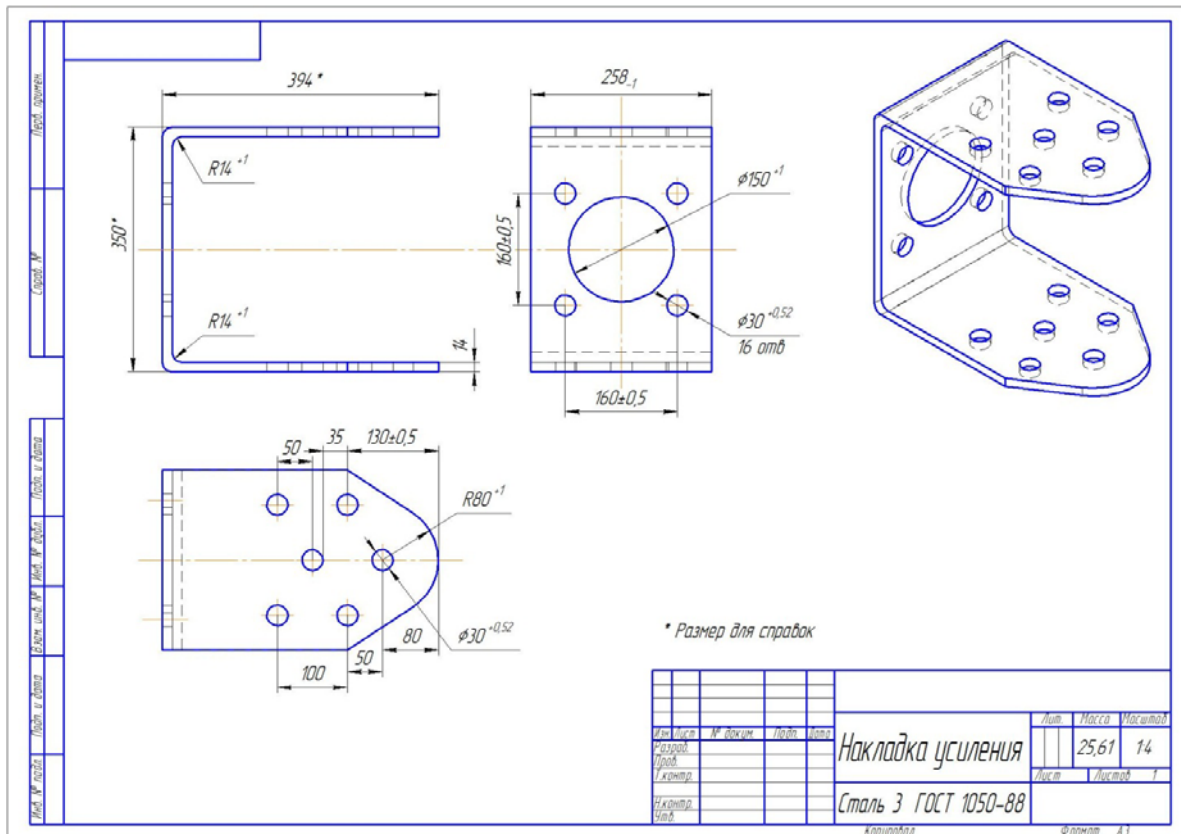


Рис. 12. Кресленник деталі

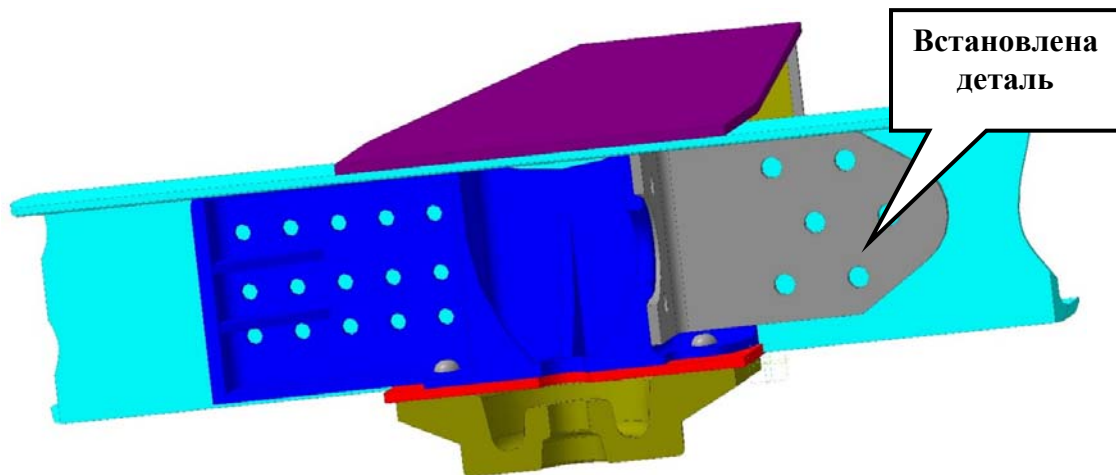


Рис. 13. Встановлення деталі на кузов вагона

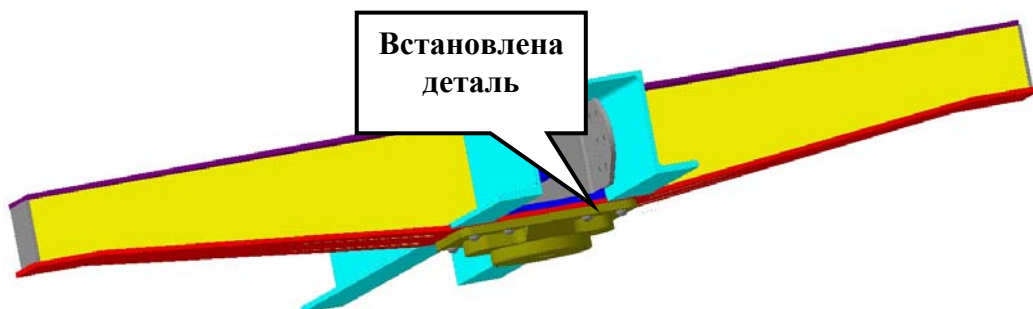


Рис. 14. Встановлення деталі на кузов вагона

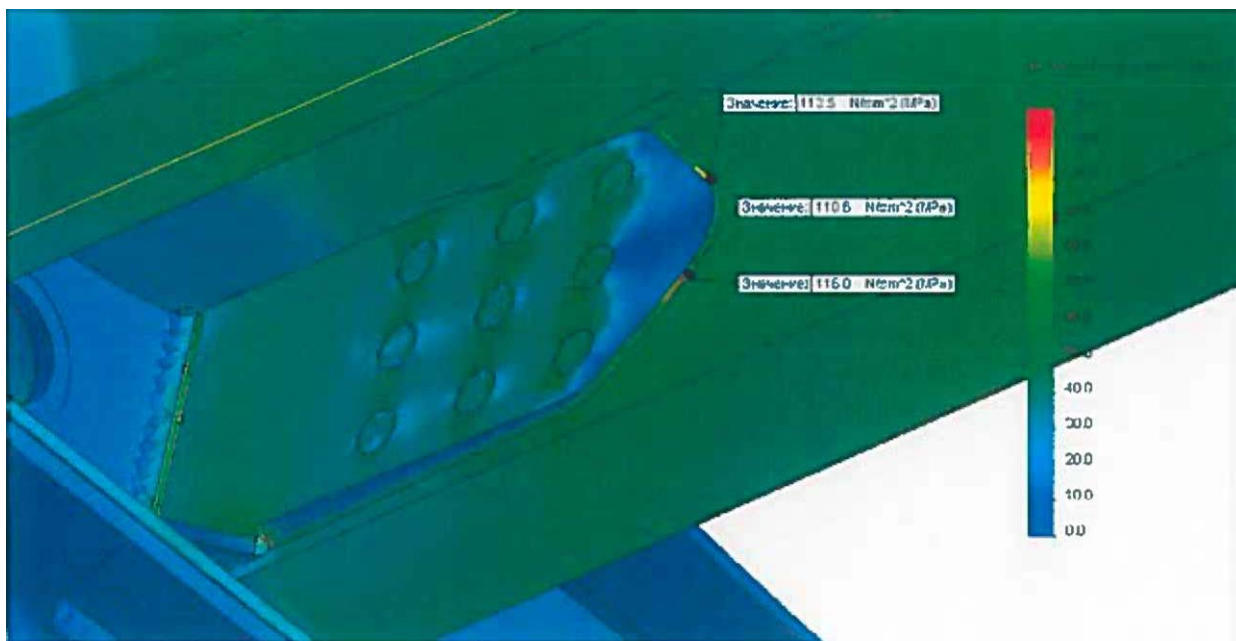


Рис. 15. Розподіл напружень кінцевого варіанту на хребтовій балці від поздовжніх сил. Режим III (розтягнення 1,0 МН)

Висновок. Руйнування в рамках кузовів вагонів-зерновозів моделі 19-752 виникають в хребтовій балці в районі клепаного з'єднання її із заднім упором автотягачного пристрою.

Найбільші навантаження (поздовжні) задній упор сприймає безпосередньо від корпусу поглинального апарата, які через клепане з'єднання передаються на хребтову балку. Саме від отворів в хребтовій балці під клепане з'єднання з задньою частиною заднього упору виникають тріщини.

За результатами розрахунку на міцність встановлено, що причинами виникнення втомних пошкоджень в зоні заклепкового з'єднання є різка зміна жорсткості в перетині хребтової балки. В режимах ривка та розтягування заклепкове з'єднання працює як однорізне з'єднання з накладкою. Крайні заклепки для такої розрахункової схеми сприймають великі нормальні напруження 152 МПа в нормованому режимі III. Границя витривалості за нормальними напруженнями при пульсуючому циклі $[\tau]=120$ МПа. В режимі I норм перебування вагонів діючі нормальні напруження складають 252 МПа і різниця в напруженні стає ще більш суттєвою.

Для заключного підтвердження запропонованої модернізації потрібно провести відповідні натурні випробування.

Література

- Butko, T. V. Formalization of the technology of arranging tactical group trains [Text] / T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, A. Kyman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – 3 (76). – P. 38-43.
- Panchenko, S. V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises [Text] / S. V. Panchenko,

- T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L. O. Parkhomenko // Науковий вісник НГУ. – 2016. – № 2. – P. 93-99.
- Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267-271.
- Кельріх, М.Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст] / М.Б. Кельріх, В.І.Мороз, О.В. Фомін // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2014. – № 2(210). – С. 94-103.
- Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation [Text] / Transport Problems // International Scientific Journal. – 2008. – V.3. – Is. 4. – P.2. – 47-57.
- M. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtaneč, K. Kravchenko, The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów. – 2016, pp. 114 – 126.
- Gorbunov N., Kravchenko E., Demin R., Nogenko O., Prosvirova O. Analysis of the constructive features of railway brakes and methods of improving the process of their functioning [Text] / N. Gorbunov, E. Kravchenko, R. Demin, O. Nogenko, O. Prosvirova // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, No. 5, Poland, pp. 98 - 102.
- Tartakovskiy E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems [Text] / E. Tartakovskiy, O. Gorobchenko, A. Antonovych // Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies. – 2016. – №. 5/ 3 (83). – P. 4-11. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80198.
- Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових

- елементів несучих систем напіввагонів/ О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146-153
10. Фомін, О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Текст]/ О.В. Фомін// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків. – 26'2012 С.29-33
 11. Lovska A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision [Text] / A. A. Lovska, A. Rybin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4 – 8.
 12. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie [Text] / S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka [et al.] // Transport. – 2015. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 88–92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565.
 13. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model [Text] / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015, № 1. – P.45-48.
 8. Tartakovskiy E., Gorobchenko O., & Antonovych A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies. 5(3 (83)), 4–11. doi: 10.15587/1729–4061.2016.80198.
 9. Fomin O. V. Analiz dotsilnosti zastosuvannya shestyhrannykh porozhnystykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv //Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – С. 146-153.
 10. Fomin, O.V. Rozrobka metodiki vprovadgennia riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnicznego universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26'2012 P.29-33
 11. Lovska A., Rybin A. (2015). The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 3, 4–8.
 12. Myamlin S., Lingaitis L. P., Dailydka S., Vaičiūnas G., Bogdevičius M., Bureika G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. Transport, 30 (1), 88–92.
 13. Fomin, O. (2015). Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 1, 45-48.
- ### References
1. Butko, T. V. Prokhorchenko A.V., Kyman A. (2015). Formalization of the technology of arranging tactical group trains. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (76), 38-43.
 2. Panchenko S.V., Butko T.V., Prokhorchenko A.V., & Parkhomenko L.O. (2016). Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. Naukovyi Visnyk NHU, 2, 93–99.
 3. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. - Lugansk: EUNU. Dal, 2013. - № 4 (193). - S. 267-271.
 4. Kelrikh, M. B., Structural-functional description of module design exterior modern universal gondola cars [Text]/ M.. Kelsh, Moroz V. I., Fomin A. // Scientific journal – Bulletin of East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl. – Lugansk: the DREAM im. Dal, 2014. – № 2(210). – S. 94-103.
 5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. Transport Problems // International Scientific Journal, 3(4), 47–57.
 6. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów, 114–126.
 7. N. Gorbunov, E. Kravchenko, R. Demin, O. Nogenko, O. Prosvirova. (2013). Analysis of the constructive features of railway brakes and methods of improving the process of their functioning. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, 13(5), Poland, 98–102.
- Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Горбунов Н.И. Сапронова С.Ю. Улучшение несущей способности вагонов-хопперов для перевезения зерна с целью повышения сопротивления динамическим усилиям.**
- В статье выполнен анализ современного состояния парка вагонов-хопперов для перевозки зерна в Украине. Результаты анализа показывают, что вагоны-хопперы для перевозки зерна почти исчерпали свой ресурс. В связи с чем предложенная модернизация, которая позволит продлить срок службы вагонов-зерновозов и повысит сопротивление динамическим усилиям действующих на раму кузова вагона. Однако внедрение предложенной модернизации обритувало необходимости проведения соответствующих исследовательских работ. Указанные работы включали исследование мест и причин возникновения трещин а их результат стал основой предложенной модернизации рамы вагона.*
- Ключевые слова:** транспортная механика, вагон-зерновоз, несущие системы, модернизация, сопротивление динамическим усилиям, ресурсо-сохранения.
- Fomin O.V., Prokopenko P. M., Gorbunov M.I. Sapronova S.U. Improving the bearing ability of hopper wagon for grain transportation with the purpose of resistanceincrease by dynamic efforts**
- The article analyzes the current state of the fleet of hoppers for the transportation of grain in Ukraine. The results of the analysis show that hopper cars for the transportation of grain have almost exhausted their resources. In connection with this, the proposed modernization, which will prolong the life of the grain carriage and increase the resistance to dynamic forces acting on the body frame of the car. However, the introduction of the proposed modernization substantiated the need for appropriate research work. The mentioned works*

included research of places and reasons of origin of cracks and their result became the basis of the proposed modernization of the frame of the car.

Key words: *transport mechanics, car-grain carrier, bearing systems, modernization, resistance to dynamic efforts, resource saving.*

Фомін О.В. – д.т.н., проф. кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ

Прокопенко П.М. – студент 2-го курсу освітньої кваліфікації магістр кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.

Горбунов М.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, СХУ ім. В. Даля, м. Северодонецьк.

Сапронова С.Ю. – д.т.н., проф. кафедри «Вагони та вагонне господарство» ДУІТ, м. Київ.

Рецензент д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 21.04.2017

УДК 621.645: 519.63

МЕХАТРОННА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПЛАВКОЮ ТИТАНУ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ПО ТЕМПЕРАТУРІ ТА ПО РІВНЮ РОЗПЛАВУ В КРИСТАЛІЗАТОРІ**Цибрій Ю.О.****MECHATRONIC CONTROL SYSTEM FOR TITANIUM MELTING WITH TEMPERATURE AND MELT LEVEL OF THE CRYSTALLIZER FEEDBACK****Tsybrii I.O.**

Порівняно ефективність алгоритмів керування траєкторією променя електронно-променевої гармати. Нестационарний тривимірний теплообмін в проміжній ємності моделювався за допомогою методу скінчених різниць. Показано, що стандартний алгоритм із зигзагоподібною траєкторією забезпечує рівномірний прогрів розплаву у випадку відсутності нерозплавленої шихти. Запропоновано алгоритм, який дозволяє ефективно прогрівати розплавлений метал незалежно від наявності чи відсутності нерозплавленої шихти. Впровадження запропонованого алгоритму в технологічний процес дозволяє суттєво підвищити ефективність плавки титану. Розроблено загальну мехатронну систему керування технологічним процесом виплавки титанових зливків для ЕПУ ТІСО-15М з використанням автоматичного керування зі зворотним зв'язком по температурі розплаву в проміжній ємності і по рівню розплаву в кристалізаторі.
Ключові слова: електронно-променева плавка, проміжна ємність, розподіл температур, титановий розплав, мехатронна система керування плавкою титану

Вступ. Розвиток сучасної техніки залежить від використання високоякісних металевих матеріалів, які володіють високими експлуатаційними фізико-хімічними властивостями, а саме високою питомою міцністю у широкому температурному діапазоні, хімічною стійкістю в агресивних середовищах та іншими спеціальними властивостями. До таких матеріалів відноситься титан та сплави на його основі [1, 2].

Постановка проблеми. На сьогодні в Україні титан отримують за допомогою вакуумно-дугової, електрошлакової, плазмової та електронно-променевої плавки (ЕПП). ЕПП вважається найбільш прогресивною технологією, оскільки титановий зливкок, отриманий таким методом, має найвищу ступінь очищення в порівнянні з іншими методами, за рахунок чого непотрібно виконувати переплав зливку багатократно, відсутні жорсткі ви-

моги до шихтового матеріалу по хімічному та фізичному складу; є можливість активного втручання в технологічний процес.

Однак в порівнянні з існуючими технологіями плавки ЕПП має недостатньо високу продуктивність та на сьогодні є однією з найбільш енергозатратних [3]. Процес ЕПП також суттєво залежить від впливу людського фактора. Так для виплавки зливку довжиною 1.5 м різними операторами розкид часу становить приблизно 50 хв (15% від тривалості процесу оплавлення шихти), що в свою чергу призводить до додаткових витрат електроенергії. Крім цього, при витягуванні зливку з кристалізатора на його поверхні утворюються різноманітні дефекти, для усунення яких зливкок додатково оброблюється з втратами до 10% маси [4].

Сучасний розвиток інформаційних технологій та комп'ютерних систем керування надає можливість підвищити ефективність виплавки титану на основі розробки мехатронної системи керування найбільш енерговитратної частини процесу ЕПП – оплавлення шихтового матеріалу в проміжній ємності (ПЄ) та витягування зливку з кристалізатора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальними проблемами технології ЕПП та моделюванням її процесів обігріву присвячені роботи вчених Б.Е. Патона, Н.П. Тригуба, С.В. Ахонина, Г.В. Жука, А.И. Сапка, С.В. Ладохіна, К. Вутової, С. Шиллера, та ін.. Проблемами автоматизації процесів обігріву розплаву в ПЄ займалися вчені В. О. Мушегян, В.А. Тутык, С. Лутцман, М.Ф. Цей.

Метою дослідження було підвищення ефективності керування процесом виготовлення титанових зливків, яке забезпечить зниження питомих енерговитрат, збільшить продуктивність виплавки, покращить якісні характеристики зливків шляхом розробки мехатронної системи управління ЕПП з використанням автоматичного керування зі зворот-

ним зв'язком по температурі розплаву в ПЄ і по рівню розплаву в кристалізаторі.

Результати досліджень. Зроблено допущення, що досліджувана область ПЄ V являє собою паралелепіпед з гранями A, B, C, F, E (рис. 1).

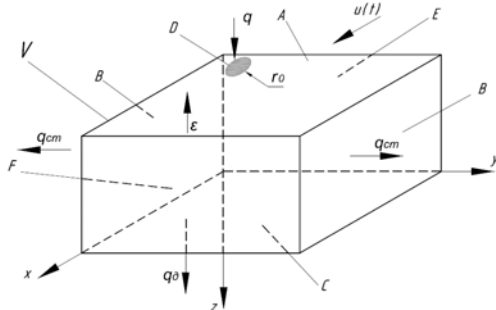


Рис. 1. Схема теплообміну в ПЄ

Виконуючи сумісне вирішення рівняння теплопровідності Фур'є та системи рівнянь гідродинаміки Нав'є-Стокса [5], приймаючи, що поле швидкостей течії однорідне, за винятком стінок та дна де течія відсутня, отримуємо рівняння тепломасообміну, враховуючи зміну швидкості течії титанового розплаву в заданому діапазоні:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} + u(t) \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \\ (x, y, z) \in V, 0 < t < t_m \\ u(t) = \{u_{min} \dots u_{max}\} \\ u|_B = 0 \\ u|_C = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де x, y, z – координати точки; t – змінна часу; t_m – тривалість моделювання; $u(t)$ – швидкість течії титанового розплаву вздовж осі x , яка змінюється в часі випадковим чином в діапазоні $\{u_{min} \dots u_{max}\}$; $u|_B$ та $u|_C$ – швидкість вздовж осі x на гранях B та дні C відповідно; T – температура розплаву; λ – коефіцієнт теплопровідності розплаву титану; c_p – питома ізобарна теплоємність розплаву титану; ρ – густина розплаву титану.

В початковий момент часу температура в області V дорівнює T_0 :

$$T|_{(x,y,z) \in V; t=0} = T_0. \quad (2)$$

Під час плавки в ПЄ через грань E подається розплавлений метал з температурою T_0 . Електронно-променева гармата (ЕПГ) обігріває поверхню T в

круговій області $D \in A$ з радіусом r_0 . Потужність теплового потоку променю в області D розподіляється згідно виразу $q = q_0 \cdot \exp(-kr^2)$, а в часі за заданим законом, $q = q(t, x, y)$, де q_0 – питома потужність теплового потоку в центрі області D , k – коефіцієнт зосередженості електронного променя; $r \in [0, r_0]$ – відстань від центру області D до точки на поверхні, яка розглядається. З поверхні A/D відбувається радіаційне випромінювання в навколишнє середовище з температурою T_{cep} ; через бокові грані B і через дно C відбувається охолодження з питомою потужністю q_{cm} і q_d відповідно. Описані граничні умови в математичній формі мають вигляд:

$$\begin{cases} -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{(x,y,z) \in D} = q_0 \cdot \exp(-kr^2), \\ q = q(t_m), \\ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{(x,y,z) \in A \setminus D} = \varepsilon \sigma \left(T^4 \Big|_{(x,y,z) \in A \setminus D} - T_{cep}^4 \right), \\ \begin{cases} \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{(x,y,z) \in C} = q_d, \\ \pm \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{(x,y,z) \in B} = q_{cm}, \end{cases} \\ T_{(x,y,z) \in E} = T_0, \\ \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{(x,y,z) \in F} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де σ – постійна Стефана-Больцмана; ε – ступінь чорноти розплаву титану.

Сформульовану теплову задачу було вирішено за допомогою програмного пакету MatLAB із застосуванням методу дробових кроків, що дозволило змінювати координати джерела нагріву та швидкість течії розплаву під час моделювання технологічного процесу [6, 7].

В подальшому для розробки алгоритму керування обігріву титанового розплаву в ПЄ ЕПУ ТІСО-15М моделювання проводилося в програмному пакеті MatLAB, оскільки даний пакет забезпечує можливість моделювання зі зміною координати джерела обігріву та течії розплаву безпосередньо в процесі розрахунку тепломасообміну, тобто він має можливість імітації зворотного зв'язку по температурі.

Аналіз чисельного розрахунку математичної моделі показав: що збільшення швидкості течії розплаву в ПЄ ЕПУ ТІСО-15М вище 0.003 м/с призводить до зниження температури в центральній області V і незначного підвищення температури розплаву в місцях його контакту зі стінками та дном ПЄ; зміна інтенсивності охолодження стінок та дна

V призводить до зниження температури розплаву в периферійній області, при цьому зміна температури в центральній області V несуттєва; для рівномірного прогріву розплаву по всьому об'єму проміжної ємності в необхідному температурному діапазоні розподіл потужності теплового потоку по поверхні першої і другої частини проміжної ємності становить 3:2.

Для перевірки достовірності чисельних результатів запропонованої математичної моделі у програмному пакеті ANSYS Fluent було змодельовано процес теплообміну для всіх точок об'єму V з урахуванням течії розплаву при різних швидкостях руху розплаву, режимах охолодження ПС, потужностях нагріву та пропорціях розподілу нагріву по поверхні ПС. Порівняльним аналізом результатів моделювання встановлено, що: температурні поля отримані за допомогою розробленої програми в MatLAB мають подібну форму до температурних полів отриманих за допомогою програмного пакету ANSYS Fluent; похибка результатів моделювання не перевищує 2%. В якості прикладу, на рис. 2 представлені температурні поля, отримані за допомогою ANSYS Fluent та MatLAB для джерела обігріву з постійною координатою $q = 1.5 \text{ MBT/m}^2$ на глибині $z = 15 \text{ мм}$ та $z = 5 \text{ мм}$, $u = 0.003 \text{ м/с}$, $q_{cm} = 0 \text{ MBT/m}^2$, $q_d = 0 \text{ MBT/m}^2$.

Для забезпечення зворотного зв'язку по температурі в якості приймача випромінювання запропоновано використовувати відеокамеру з високою роздільною здатністю чи тепловізор 6 (рис. 3а), яка встановлена поза плавильною камерою 1, що захоплює зображення поверхні ПС 4 через оглядове вікно 5, передає його в блок керування 8 промислового комп'ютера 7, де воно розбивається на квадрати, визначаються середні температури квадратів (рис. 3б) і на основі алгоритмів керування передається керуючий сигнал на ЕПГ 2 та 3.

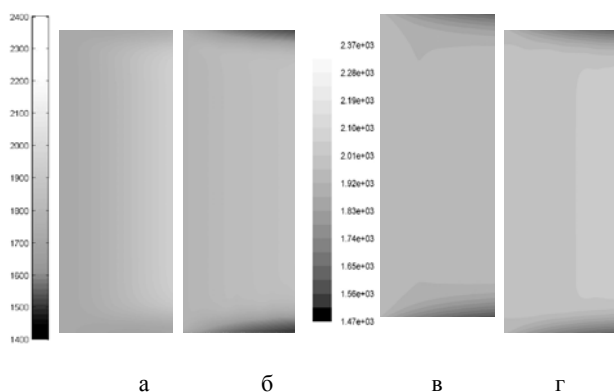


Рис. 2. Розподіл температури в розплаві:
а – MatLAB $z=5 \text{ мм}$; б – MatLAB $z=15 \text{ мм}$;
в – ANSYS Fluent $z=5 \text{ мм}$; г – ANSYS Fluent $z=15 \text{ мм}$

Запропоновано алгоритм А обігріву титанового розплаву ПС зі зворотним зв'язком по середній температурі квадратів (рис. 4) на основі існуючого

стандартного алгоритму із зигзагоподібною траєкторією руху променя В. Згідно з алгоритмом А ПС розбивається на n квадратів, і на початку технологічного процесу або коли поточний час перебігу процесу t_{nom} дорівнює часу періоду t_{nep} – система визначає k найхолодніших квадратів та у випадку, якщо мінімальна середня температура квадратів T_{min} менше допустимої температури $T_{доп}$ система почне обігрівати холодні квадрати починаючи з поточного квадрата k_{nom} та чотири прилеглі зони до нього протягом п'яти часових кроків $5\Delta t$. Після закінчення обігріву холодних квадратів система продовжить роботу в режимі алгоритму В, починаючи з квадрата h_{nom} , до моменту часу $t_{nom} = t_{nep}$. Після цього увесь цикл повториться.

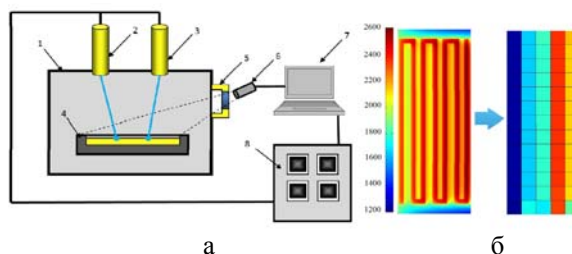


Рис. 3. а – система керування траєкторіями ЕПГ зі зворотним зв'язком по температурі; 1 – плавильна камера; 2 та 3 – ЕПГ над ПС; 4 – ПС; 5 – оглядове вікно; 6 – відеокамера; 7 – промисловий комп'ютер; 8 – блок керування ЕПГ; б – розбиття температурного поля поверхні ПС на умовні квадрати з середньою температурою

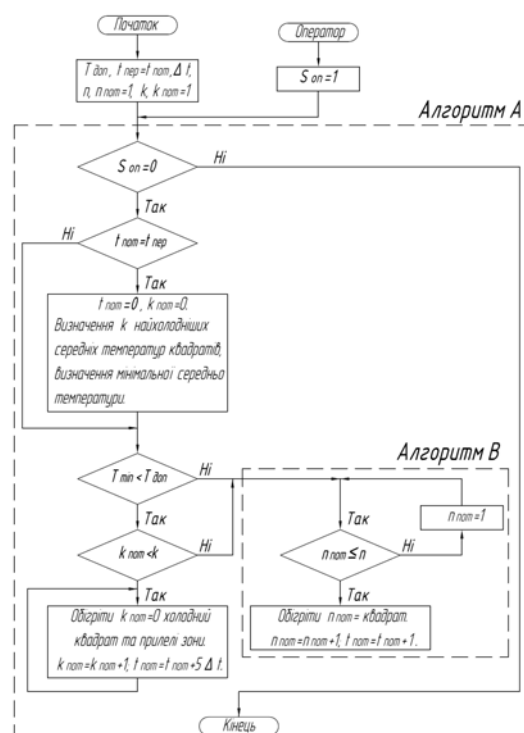


Рис. 4. Схема алгоритму обігріву титанового розплаву ПС зі зворотним зв'язком по середній температурі квадратів

У випадку якщо мінімальна середня температура T_{min} більша допустимої $T_{доп}$ система весь період $t_{пер}$ буде обігрівати розплав в ПЄ за існуючим алгоритмом В продовжуючи з квадрата h_{nom} . При необхідності в технологічний процес може втрутитись оператор і зупинити його (сигнал S_{on}).

На рис. 5 представлені результати моделювання роботи двох алгоритмів. Алгоритм В забезпечує рівномірний прогрів розплаву в необхідному інтервалі температур при відсутності нерозплавленої шихти в ПЄ (рис. 5а), але не дозволяє розплавляти шихту у випадку її потрапляння в ПЄ (рис. 5б). Алгоритм А дозволяє розплавляти шматки шихти, що потрапляють в ПЄ і прогрівати розплав в необхідному температурному інтервалі та забезпечує рівномірність розподілу температури (рис. 5 в, г).

На рис. 6 представлено розподіл температури на поверхні ПЄ в різні моменти часу для запропонованого алгоритму А. Показано, що підсистема протягом перших 16 секунд працює в режимі двох алгоритмів і шматок шихти повністю розплавлюється. На 16 секунд температура розплаву в ПЄ розподілена рівномірно і знаходиться в необхідному температурному інтервалі і середні температури квадратів перевищують температуру плавлення титану і алгоритм переходить в режим роботи алгоритму В.

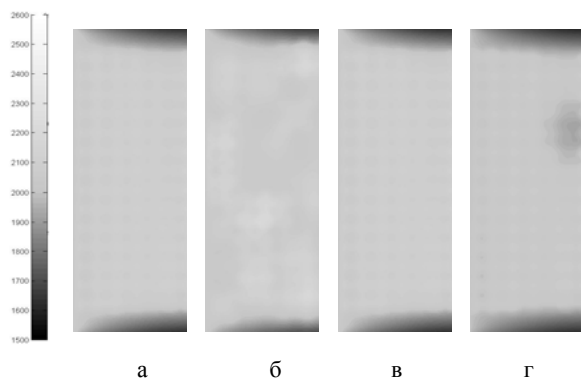


Рис. 5. Розподіл температури в ПЄ на висоті 25 мм для алгоритму А: а – при відсутності нерозплавленої шихти, б – з нерозплавленою шихтою; для алгоритму В: в – при відсутності нерозплавленої шихти, г – з нерозплавленою шихтою

Використання алгоритму А дозволяє в порівнянні з існуючим алгоритмом В зменшити час виплавки одного зливку та зменшити енерговитрати технологічного процесу, а також зменшити втрати на випаровування титану та легуючих домішок з розплаву.

При одночасній роботі декількох ЕПГ ПЄ розбивається на зони обігріву цих ЕПГ та на квадрати згідно раніше запропонованого алгоритму обігріву титанового розплаву ПЄ зі зворотним зв'язком по середній температурі квадратів. При

аналізі середніх температур в зонах ЕПГ у випадку, якщо в одній зон відсутні квадрат з температурою меншою за мінімальну середню температуру квадратів T_{min} , а в зоні прилеглий до неї їх більше ніж k і вони потрапляють в зону досяжності ЕПГ (рис. 7), то вони будуть обігріті згідно алгоритму. Таким чином підвищиться ефективність обігріву розплаву в ПЄ за рахунок перерозподілу потужності ЕПГ.

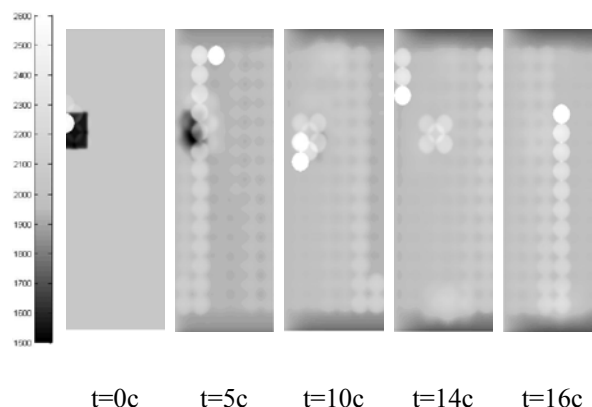


Рис. 6. Розподіл температури на поверхні ПЄ при використанні алгоритму А

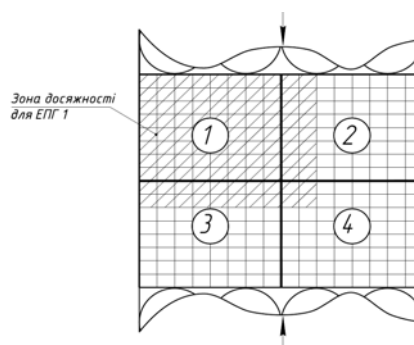


Рис. 7. Розподіл ПЄ на зони обігріву ЕПГ та зони досяжності променю ЕПГ 1

Для отримання необхідного хімічного складу сплавів на основі титану легованих алюмінієм є важливою задачею витримка розплаву в необхідному температурному діапазоні протягом певного часу, оскільки у випадку повільної подачі шихти в зону плавки з розплаву випарується більше алюмінію. Існують відомі рекомендації по швидкості витягування зливку з кристалізатора та залежності між потужністю обігріву та вмістом алюмінію в сплаві, які можна використати для забезпечення необхідних вимог.

Контроль швидкості подачі шихти в зону плавки може забезпечити розроблена мехатронна система керування технологічним процесом (рис. 8) складається з підсистеми керування обігрівом розплаву в ПЄ, підсистеми керування витягування зливку з

кристалізатора та підсистеми подачі шихти в зону плавки.



Рис. 8. Схема мехатронної системи керування ЕПП

Запропонована мехатронна система отримує через блоки керування витягуванням та ЕПП сигнали про тепловий стан розплаву в проміжній ємності та поточний рівень розплаву в кристалізаторі. На основі чого визначається динаміка зміни рівня розплаву в кристалізаторі і масова витрата розплаву за середньої температури розплаву, що зливається в кристалізатор. І з врахуванням існуючих залежностей періодично подається керуючий сигнал на подачу шихти в зону плавки по заданому закону.

Висновки

1. Запропоновано нестационарну трьохвимірну математичну модель тепломасообміну зі зміною джерела нагріву за заданим законом та течії розплаву в проміжній ємності при ЕПП та її розв'язок в програмному пакеті Matlab. Особливістю розв'язку математичної моделі в даному пакеті є можливість зміни джерела нагріву в процесі моделювання за заданим законом чи по заданим координатам.

2. Розроблено новий комбінований алгоритм керування траєкторією електронного променя по поверхні ПС ЕПУ зі зворотним зв'язком по температурі за допомогою тепловізора, який зменшує вплив людського фактору на час оплавлення шихти та енерговитрати часу виплавки одного зливку.

3. Розроблено загальну мехатронну систему керування технологічним процесом виплавки титанових зливків для ЕПУ ТІСО-15М з використанням автоматичного керування зі зворотним зв'язком по температурі розплаву в проміжній ємності і по рівню розплаву в кристалізаторі, яка дозволяє зменшити енерговитрати та підвищити продуктивність виплавки, покращити якісні характеристики зливків.

Література

1. Paton B. E. Basic trends of scientific research into the problem of titanium in the Ukraine / Paton B. E., A. P. Shpak, O. M. Ivashyshyn // Materials Science. – 2006. – Vol.42, №3. – p. 287– 298.

2. Электронно-лучевая плавка титана / [Б.Е. Патон, Н.П. Тригуб, С.В. Ахонин, Г.В. Жук]. – К.: Наукова думка, 2006. – 248 с.(ил).
3. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве: / [С. В. Ладохин, Н. И. Левицкий, В. Б. Чернявский, Т. В. Лапшук, В. Г. Шмигидин, Л. А. Кравчук, А. С. Гладков]. – К.: Сталь, 2007. – 626 с.
4. Грабовський Г.Г. Механотронна система керування плавкою титану / Грабовський Г.Г., Цибрій Ю.О.// Промислова гідроліка і пневматика. – 2012. № 2. – С. 101–105.
5. Carslaw H., Jaeger J. Conduction of Heat in Solids, 2 edition. / H. Carslaw, J. Jaeger – Oxford University Press, USA, 1959. – 510 p.
6. Mathews J. H. Numerical Methods Using Matlab (4th Edition) / J. H. Mathews. – Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 0 7458. – 2004. – 696 p.
7. Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. / Н.Н. Яненко – Новосибирск: Наука, 1967. – 196 с.

References

1. Paton B. E. Basic trends of scientific research into the problem of titanium in the Ukraine / Paton B. E., A. P. Shpak, O. M. Ivashyshyn // Materials Science. – 2006. – Vol.42, №3. – p. 287– 298.
2. Jelektronno-luchevaja pлавka titana / [B.E. Paton, N.P. Trigub, S.V. Ahonin, G.V. Zhuk]. – K.: Naukova dumka, 2006. – 248 s.(il).
3. Jelektronno-luchevaja pлавka v litejnom proizvodstve: / [S. V. Ladohin, N. I. Levickij, V. B. Chernjanskij, T. V. Lapshuk, V. G. Shmigidin, L. A. Kravchuk, A. S. Gladkov]. – K.: Stal', 2007. – 626 s.
4. Grabovs'kij G.G. Mehanotronna sistema keruvannja pлавkoju titanu / Grabovs'kij G.G., Cibrij Ju.O.// Promislova gidravlika i pnevmatika. – 2012. № 2. – S. 101–105.
5. Carslaw H., Jaeger J. Conduction of Heat in Solids, 2 edition. / H. Carslaw, J. Jaeger – Oxford University Press, USA, 1959. – 510 p.
6. Mathews J. H. Numerical Methods Using Matlab (4th Edition) / J. H. Mathews. – Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 0 7458. – 2004. – 696 p.
7. Janenko N.N. Metod drobnnyh shagov reshenija mnogomernykh zadach matematicheskoy fiziki. / N.N. Janenko – Novosibirsk: Nauka, 1967. – 196 s.

Цибрій Ю.А. Мехатронная система управления плавкой титана с обратной связи по температуре и по уровню расплава в кристаллизаторе

Сравнена эффективность алгоритмов управления траекторией луча электронно-лучевой пушки. Нестационарный трехмерный теплообмен в промежуточной емкости моделировался с помощью метода конечных разностей. Показано, что стандартный алгоритм с зигзагообразной траекторией обеспечивает равномерный прогрев расплава в случае отсутствия нерасплавленной шихты. Предложен алгоритм, который позволяет эффективно прогревать расплавленный металл независимо от наличия или отсутствия нерасплавленной шихты. Внедрение предложенного алгоритма в технологический процесс позволит существенно повысить эффективность плавки титана. Разработана общая мехатронная система управления технологическим процессом выплавки титановых слитков для ЭЛУ ТІСО-15М с использованием автоматического управления с обратной связью по темпе-

ратуре расплава в промежуточной емкости и по уровню расплава в кристаллизаторе.

Ключевые слова: электронно-лучевая плавка, промежуточная емкость, распределение температур, титановый расплав, мехатронная система управления плавкой титана.

Tsybrii I.O. Mechatronic control system for titanium melting with temperature and melt level of the crystallizer feedback

The new mechatronic control system of electron-beam melting of titanium is presented. Three-dimensional transient heat transfer in the intermediate container was simulated using finite element method. In this study, the efficiency of different algorithms to control the electron beam trajectory was compared. It was shown that the standard algorithm with a zigzag trajectory provides uniform heating of the melt in the absence of unmolten furnace charge. A temperature feedback algorithm allows heating the melt within the required temperature range in the presence of the furnace charge but it doesn't provide temperature distribution uniformity. Based on

the mentioned algorithms, a combined algorithm was proposed which allows efficient heating of the melt regardless of the presence or absence of the furnace charge. The implementation of the combined algorithm into the technological process enables to increase substantially the efficiency of melting of titanium. Developed mechatronic control system has uniform heating of the melt in the intermediate container of the electron beam unit, an efficient distribution of the power of electron beam guns and smooth beginning of the ingot's pulling-out from the crystallizer.

Keywords: electron beam melting, intermediate container, titanium melt, temperature distribution, mechatronic control system of melting titanium

Цибрій Ю.О. – завідувач лабораторією кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, e-mail: tsybriii@ukr.net.

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

Стаття подана 10.03.2017

УДК 541.128.13

СИНТЕЗ VPO КАТАЛІЗАТОРІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ З ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ТА ФОРМАЛЬДЕГІДУ

Шпирка І.І., Небесний Р.В., Піх З.Г., Сидорчук В.В., Халамейда С.В.

SYNTHESIS OF VPO CATALYSTS AND THEIR APPLICATION FOR ACRYLIC ACID OBTAINING FROM ACETIC ACID AND FORMALDEHYDE

Shpyrka I.I., Nebesnyi R.V., Pikh Z.G., Sydoruk V.V., Khalameida S.V.

Досліджено вплив методу приготування VPO каталізаторів на їх ефективність у процесі альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом з утворенням акрилової кислоти. Встановлено вплив температури на параметри процесу конденсації оцтової кислоти з формальдегідом. Спосіб приготування каталізатора впливає на фізико-хімічні властивості поверхні каталізатора, а як наслідок і на його каталітичні властивості в досліджуваному процесі. Запропоновано оптимальну методику приготування VPO каталізатора.

Ключові слова: акрилова кислота, оцтова кислота, формальдегід, тверді каталізатори, альдольна конденсація.

1. Вступ. Акрилова кислота (АК) є цінним продуктом у сучасній хімічній промисловості і широко використовується у виробництві високоякісної лакофарбової продукції, органічного скла, як допоміжна речовина у текстильній промисловості, для виробництва суперабсорбентів [1– 8]. Попит на використання АК за останні роки швидко зростає [9] і її виробництво становить понад 4 млн т / рік. Одним з найбільш перспективних методів одержання АК є її синтез альдольною конденсацією оцтової кислоти (ОК) з формальдегідом (ФА) [10]. Використання цього методу в промисловості дозволить використовувати сировинну базу нафтового походження для виробництва АК та більш повне використання сировинних ресурсів, що досягається за рахунок вищої селективності утворення цільового продукту. ОК та ФА в промисловості синтезують з метанолу, а метанол одержують із синтез-газу. Сировиною для одержання синтез-газу є природний газ, вугілля або біомаса. Оскільки світові запаси природного газу та вугілля значно більші, порівняно з запасами нафти, то використання саме цих видів сировини для органічних синтезів є більш перспективним.

Виробництво АК методом альдольної конденсації не є впроваджене у промисловості, оскільки відомі каталізатори для отримання АК альдольною конденсацією характеризуються низькою ефективністю та коротким терміном роботи внаслідок закоксування поверхні каталізаторів [11]. Тому необхідно розробити нові каталітичні системи для процесу одержання АК альдольною конденсацією ФА з ОК, які усували б наявні проблеми.

Мета роботи - встановити вплив методів приготування VPO каталізатора на його ефективність у процесі альдольної конденсації ОК з ФА з утворенням АК і запропонувати оптимальну методику синтезу каталізатора.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. З попередніх досліджень відомо, що питома поверхня й порувата структура твердих каталізаторів мають великий вплив на їх каталітичні властивості в процесах альдольної конденсації карбонільних сполук. Тому було вирішено продовжити розроблення каталітичних систем процесів альдольної конденсації карбонільних сполук, модифікуючи їх порувату структуру методами механохімічної, сольвотермальної обробки в автоклаві (та її різновиду – гідротермальної обробки). Зазначені методи обробки поруватих матеріалів змінюють їх кристалічну структуру, активують поверхню, що може покращити каталітичні властивості в хімічних перетвореннях [12]. Застосування методу попередньої гідротермальної носія $B_2O_3-P_2O_5-WO_3-V_2O_5/SiO_2$ каталізатора дозволяє підвищити його ефективність в процесі одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією оцтової кислоти з формальдегідом в газовій фазі. Використання носія, що пройшов гідротермальну обробку, для синтезу каталізатора дозволяє збільшити вихід акрилової кислоти на

10%, порівняно з каталізатором, для синтезу якого використовувався необроблений носій [13]. Таким чином, метод приготування каталізатора суттєво впливає на його порувату структуру.

3. Матеріали і результати досліджень. Для дослідження процесу альдольної конденсації ОК з ФА для одержання АК приготовано різними методами каталітичні системи на основі VPO каталізатора. Склад та властивості каталізаторів наведено в табл. Каталізатори синтезовано з пентаоксиду ванадію (вихідного чи підданого механохімічній обробці) в середовищі н-бутанолу або ацетону [14]. Каталізатори K_1 , K_2 та K_3 отримано стандартним методом при температурі 117 °С з використанням лимонної кислоти як відновника. Серед них – нанесений на аеросил каталізатор K_2 [15]. Каталізатори K_3 й K_4 одержано в автоклаві при 170 та 200 °С, відповідно [16]. Крім того, каталізатори K_4 та K_5 додатково піддані термовакуумній обробці при температурі 270 °С. Згідно з даними рентгенофазового аналізу ІЧ-спектроскопічних досліджень вони являють собою пірофосфат ванадилу $(VO)_2P_2O_7$, в той час як не термовакуумовані (K_1 – K_3) – напівводний гідрофосфат ванадилу $VOHPO_4 \cdot 0.5H_2O$.

Таблиця

Склад та властивості каталізаторів

Позначення	Реагенти	Спосіб обробки	S, м ² /г	D, нм	I_{001}/I_{220}
K_1	VPO з механохімічно-обробленого пентаоксиду ванадію в н-бутанолі	Обробка в колбі, 117 °С	19	22	0.7
K_2	30 % VPO на аеросилі А-300 з механохімічно-обробленого пентаоксиду ванадію в н-бутанолі	Обробка в колбі, 117 °С	89	30	0.8
K_3	VPO з малеїновим ангідридом в ацетоні	Обробка в автоклаві, 170 °С	3	25	2.0
K_4	VPO з лимонною кислотою в ацетоні	Обробка в автоклаві, 200 °С + термовакуумна обробка, 270 °С	6	22	1.5
K_5	VPO з лимонною кислотою в н-бутанолі	Обробка в колбі, 117 °С + термовакуумна обробка, 270 °С	14	23	1.7

Примітки: S – питома площа поверхні, м²/г; D – середній діаметр пор каталізатора, нм; I_{001}/I_{220} – співвідношення інтенсивності рефлексів від базальної та бокової площини фаз.

Дослідження каталітичних властивостей приготованих каталізаторів здійснювали в інтервалі температур 573 – 673 К та часу контакту 8 с при еквімолярному співвідношенні вихідних реагентів. Процес здійснювали у реакторі трубчастого типу з стаціонарним шаром каталізатора. Продукти реакції аналізували хроматографічним методом.

В результаті виконання експериментів встановлено, що при збільшенні температури конверсія ОК помітно зростає (рис. 1). Як видно з рис.1, мінімальне значення конверсії ОК при температурі процесу 573 К становить близько 10% для усіх методів обробки фосфатних каталізаторів. Максимальне значення конверсії ОК спостерігається при температурі 673 К – 82,8 % для каталізатора K_3 - VPO з пентаоксиду ванадію з малеїновим ангідридом в ацетоні (автоклав 170 С). Можна також констатувати, що більшу активність (конверсію) демонструють каталізатори, які мають вищі значення питомої поверхні (яка відноситься до активної фази) та більше співвідношення інтенсивності рефлексів від базальної та бокової площини фаз VPO I_{001}/I_{220} . Ця величина характеризує орієнтацію кристалітів на поверхні. Відомо, що для ванадійвмісних каталізаторів каталітичні процеси відбуваються переважно на базальній площині 001 [14].

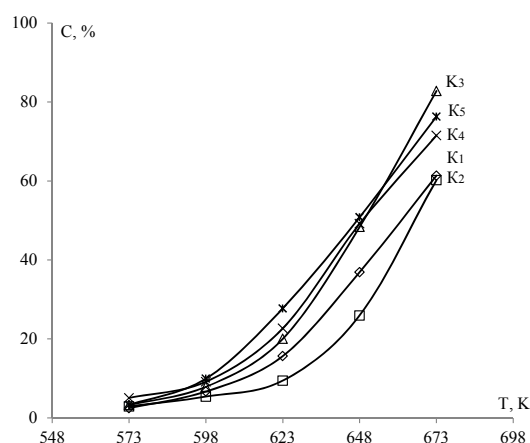


Рис. 1. Вплив температури (Т, К) на конверсію октової кислоти (С, %) у присутності каталізаторів K_1 – K_5 ; час контакту 8 с.

В усьому дослідженому інтервалі температур при збільшенні температури до 623 К селективність утворення акрилової кислоти досить суттєво збільшується (рис.2.). А вже при збільшенні температури від 623 К до 673 К плавно зменшується для всіх типів каталізатора. Мінімальне значення селективності АК спостерігається при температурі 673 К для каталізатора K_2 - 30% VPO на аеросилі А-300 з пентаоксиду ванадію, підданого МХО (колба) і становить 7 %. Так, кращі значення селективностей

спостерігаються при температурі 623 К для каталітичних систем K_1 та K_3 , а саме 83,3 % та 76 %.

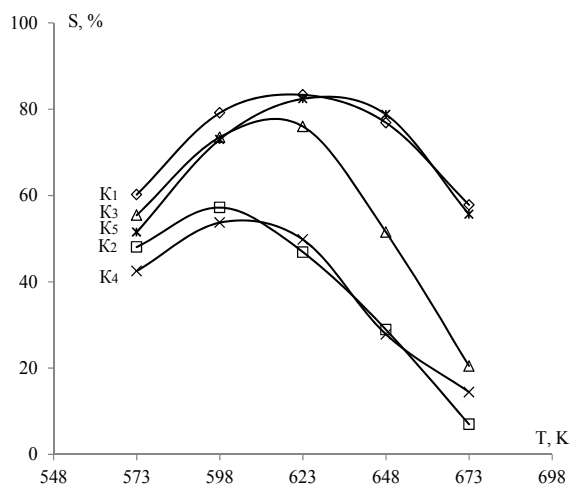


Рис. 2. Вплив температури (Т, К) на селективність утворення акрилової кислоти (S, %) у присутності каталізаторів $K_1 - K_5$; час контакту 8 с.

Як видно з рис. 3, вихід АК зростає з температурою поступово для всіх каталізаторів. Мінімальне значення виходу АК становить близько 10 % у присутності каталізаторів $K_1 - K_5$ при температурі процесу 573 К. Для каталітичних систем K_2 , K_3 та K_4 вихід АК зростає до температури 648 К, а при збільшенні температури до 673 К зменшується. При збільшенні температури вихід АК для каталізаторів K_1 та K_5 суттєво збільшується. Максимальне значення виходу АК спостерігається при досягненні температури процесу 673 К для каталізатора $K_5 - 42,4$ %. Оптимальна температура процесу конденсації 648 К при якій вихід АК становить 40 %. Для порівняння: в цих же умовах вихід АК на масивному та нанесеному на силікагель VPO каталізаторі досягає тільки 29 й 22%, відповідно [17-18].

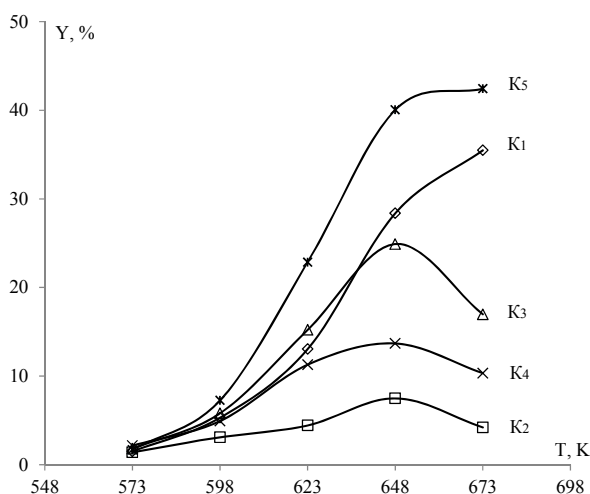


Рис. 3. Вплив температури (Т, К) на вихід акрилової кислоти (Y, %) у присутності каталізаторів $K_1 - K_5$; час контакту 8 с.

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, можна однозначно стверджувати, що різні методи приготування VPO каталізатора суттєво впливають на його каталітичні властивості. Так, при синтезі в колбі при температурі кипіння н-бутанолу (117 °C) формуються каталізатори з вищою питомою площею поверхні та з переважною орієнтацією на поверхні базальної площини VPO. Тому оптимальним методом приготування VPO каталізатора є його синтез з пентаоксиду ванадію з лимонною кислотою та бутанолом в колбі й додатково термовакuumною обробкою при 270 °C для формування фази пірофосфату. В присутності даного каталізатора (K_5) в оптимальних умовах (648 К та час контакту 8 с) вдалося досягти виходу акрилової кислоти 40,0 % при селективності її утворення 78,8 % та конверсії ОК 50,8 %.

4. Висновки. Застосування різних методів приготування VPO каталізатора дозволяє підвищити його ефективність в процесі одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією оцтової кислоти з формальдегідом в газовій фазі. Оптимальною методикою приготування каталізатора для альдольної конденсації є синтез в колбі з бутанолом та наступною термовакuumною обробкою при 270 °C. Оптимальними умовами здійснення каталітичного процесу є температура 648 К для системи $K_5 - VPO$ з пентаоксиду ванадію з лимонною кислотою в бутанолі. Вихід акрилової кислоти при температурі 648 К становить 40 % при селективності її утворення 78,8 %.

Література

1. J. Zhang, X. Feng, Y. Zhao, W. Ji, C.T. Au, "Modeling and simulation of a bio-inspired symmetrical jumping robot", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 53, pp. 8667-8674, May 2014.
2. X. Zhang, L. Lin, T. Zhang, H. Liu, X. Zhang "Characteristics of nonautonomous W-shaped soliton and Peregrine comb in a variable-coefficient higher-order nonlinear Schrödinger equation", *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 100, pp. 934-940, December 2016.
3. B. Yan, A. Mahmood, Y. Liang, B.Q. Xu, "Sustainable production of acrylic acid: Rb⁺- and Cs⁺-exchanged Beta zeolite catalysts for catalytic gas-phase dehydration of lactic acid", *Catal Today*, Vol. 269, pp.65-73, July 2016.
4. X. Suo, H. Zhang, Q. Ye, X. Dai, H. Yu, R. Li, "Design and control of an improved acrylic acid process", *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 104, pp. 346-356, December 2015.
5. L. Liu, B. Wang, Y. Du, Z. Zhong, A. Borgna, "High-pressure synthesis and superconductivity of the Yb-substituted Ba_{8-x}Y_bSi₄₆ clathrates", *Appl. Catal. B: Environ.*, Vol. 1, pp. 174-175, 2015.
6. G. Nañfe, M.-A. López-Martínez, M. Dyballa, M. Hunger, Y. Traa, T. Hirth, E. Klemm, "Deactivation behavior of alkali-metal zeolites in the dehydration of lactic acid to acrylic acid", *Journal of Catalysis*, Vol. 329, pp. 413-424, September 2015.
7. R. Liu, T. Wang, D. Cai, Y. Jin, "Highly Efficient Production of Acrylic Acid by Sequential Dehydration and

- Oxidation of Glycerol”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 53, pp. 8667–8674, May 2014.
8. P. Sun, D. Yu, Z. Tang, H. Li, H. Huang, “NaY Zeolites Catalyze Dehydration of Lactic Acid to Acrylic Acid: Studies on the Effects of Anions in Potassium Salts”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 49, pp. 9082–9087, September 2010.
 9. X. Li, Y. Zhang, “Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate”, *ACS Catalysis*, Vol. 6, pp. 143–150, 2016.
 10. Global Data, *Acetic Acid World Supply Outweighs Demand*, January 2011.
 11. Patent 0343319 US, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel et al. // BASF SE., 2014.
 12. J. Skubiszewska-Zieba, S. Khalameida, V. Sydorhuk. Comparison of surface properties of silica xero- and hydrogels hydrothermally modified using mechanochemical, microwave and classical methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, V. 504, P. 139–153.
 13. Р.В. Небесний, З.Г. Піх, В.В. Івасів, В.В. Сидорчук, І.І. Шпирка, Н. І. Лапичак, “Підвищення ефективності $B_2O_3-P_2O_5-WO_3-V_2O_5/SiO_2$ каталізатора процесу альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом шляхом гідротермальної обробки носія”, *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Хімія, технологія речовин та їх застосування. –№ 841, С. 113–118, 2016.
 14. С.Халамейда, В.Зажигалов, “Механохімічна модифікація V-вмісних каталізаторів”, *Катализ и нефтехимия*, № 11, С. 85–97, 2003.
 15. V. A. Zazhigalov, E. A. Diyuk, V. V. Sidorchuk, T. I. Mironyk, “Synthesis of vanadium-phosphorus oxide catalysts supported on pyrogenic silica and titanium dioxide”, *Kinetics and Catalysis* 2009, V. 50, P. 587–596.
 16. V. Sydorhuk, V. Zazhigalov, S. Khalameida, E. Diyuk, J. Skubiszewska-Zieba, R. Lebeda, L. Kuznetsova, “Solvothermal synthesis of vanadium phosphates in the form of xerogels, aerogels and mesostructures”, *Materials Research Bulletin*, 2010, V. 45, P.1096–1105.
 17. D. Yang, C. Sararuk, K. Suzuki, Z.X. Li, C.S. Li, “Effect of calcination temperature on the catalytic activity of VPO for aldol condensation of acetic acid and formalin”, *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 300, pp. 160–168, 2016.
 18. Dan Yang, Dan Li, Haoyu Yao, Guoliang Zhang, Tiantian Jiao, Zengxi Li, Chunshan Li, and Suojiang Zhang, “Reaction of Formalin with Acetic Acid over Vanadium-Phosphorus Oxide Bifunctional Catalyst”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 54, pp. 6865–6873, 2015.
 4. X. Suo, H. Zhang, Q. Ye, X. Dai, H. Yu, R. Li, “Design and control of an improved acrylic acid process”, *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 104, pp. 346–356, December 2015.
 5. L. Liu, B. Wang, Y. Du, Z. Zhong, A. Borgna, “High-pressure synthesis and superconductivity of the Yb-substituted $Ba_{8-x}Yb_xSi_4$ clathrates”, *Appl. Catal. B: Environ.*, Vol. 1, pp. 174–175, 2015.
 6. G. Naife, M.-A. Lopez-Martínez, M. Dybala, M. Hunger, Y. Traa, T. Hirth, E. Klemm, “Deactivation behavior of alkali-metal zeolites in the dehydration of lactic acid to acrylic acid”, *Journal of Catalysis*, Vol. 329, pp. 413–424, September 2015.
 7. R. Liu, T. Wang, D. Cai, Y. Jin, “Highly Efficient Production of Acrylic Acid by Sequential Dehydration and Oxidation of Glycerol”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 53, pp. 8667–8674, May 2014.
 8. P. Sun, D. Yu, Z. Tang, H. Li, H. Huang, “NaY Zeolites Catalyze Dehydration of Lactic Acid to Acrylic Acid: Studies on the Effects of Anions in Potassium Salts”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 49, pp. 9082–9087, September 2010.
 9. X. Li, Y. Zhang, “Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate”, *ACS Catalysis*, Vol. 6, pp. 143–150, 2016.
 10. Global Data, *Acetic Acid World Supply Outweighs Demand*, January 2011.
 11. Patent 0343319 US, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel et al. // BASF SE., 2014.
 12. J. Skubiszewska-Zieba, S. Khalameida, V. Sydorhuk. Comparison of surface properties of silica xero- and hydrogels hydrothermally modified using mechanochemical, microwave and classical methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, V. 504, P. 139–153.
 13. Nebesnyi R.V., Pikh Z.G., Ivasiv V. V., Sydorhuk V.V., Shpyrka I.I., N. I. Lapychak, “Improving the efficiency of $B_2O_3-P_2O_5-WO_3-V_2O_5/SiO_2$ catalyst the aldol condensation of acetic acid with formaldehyde by hydrothermal treatment of carrier”, *Visnyk NU “LP” “Khimiya, tekhnologiya rehovyn ta yikh zastosuvannia”*, no. 841, P. 113–118, 2016.
 14. S. Khalameida, V. Zazhigalov, “Mechanochemical modification V-contain catalysts”, *Catalysis and neftehimyya*, Vol. 11, pp. 85–97, 2003.
 15. V. A. Zazhigalov, E. A. Diyuk, V. V. Sidorchuk, T. I. Mironyk, “Synthesis of vanadium-phosphorus oxide catalysts supported on pyrogenic silica and titanium dioxide”, *Kinetics and Catalysis* 2009, V. 50, P. 587–596.
 16. V. Sydorhuk, V. Zazhigalov, S. Khalameida, E. Diyuk, J. Skubiszewska-Zieba, R. Lebeda, L. Kuznetsova, “Solvothermal synthesis of vanadium phosphates in the form of xerogels, aerogels and mesostructures”, *Materials Research Bulletin*, 2010, V. 45, P.1096–1105.
 17. D. Yang, C. Sararuk, K. Suzuki, Z.X. Li, C.S. Li, “Effect of calcination temperature on the catalytic activity of VPO for aldol condensation of acetic acid and formalin”, *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 300, pp. 160–168, 2016.
 18. Dan Yang, Dan Li, Haoyu Yao, Guoliang Zhang, Tiantian Jiao, Zengxi Li, Chunshan Li, and Suojiang Zhang, “Reaction of Formalin with Acetic Acid over Vanadium-Phosphorus Oxide Bifunctional Catalyst”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 54, pp. 6865–6873, 2015.

References

1. J. Zhang, X. Feng, Y. Zhao, W. Ji, C.T. Au, “Modeling and simulation of a bio-inspired symmetrical jumping robot”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 53, pp. 8667–8674, May 2014.
2. X. Zhang, L. Lin, T. Zhang, H. Liu, X. Zhang “Characteristics of nonautonomous W-shaped soliton and Peregrine comb in a variable-coefficient higher-order nonlinear Schrödinger equation”, *Chemistry Engineering Journal*, Vol. 100, pp. 934–940, December 2016.
3. B. Yan, A. Mahmood, Y. Liang, B.Q. Xu, “Sustainable production of acrylic acid: Rb⁺- and Cs⁺-exchanged Beta zeolite catalysts for catalytic gas-phase dehydration of lactic acid”, *Catal Today*, Vol. 269, pp.65–73, July 2016.

Шпирка І.І., Небесний Р.В., Піх З.Г., Сидорчук В.В., Халамейда С.В. Синтез VPO каталізаторів та їх використання для одержання акрилової кислоти з оцтової кислоти та формальдегіду

Досліджено вплив методу приготування VPO каталізаторів на їх ефективність у процесі альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом з утворенням акрилової кислоти. Встановлено вплив температури на параметри процесу конденсації оцтової кислоти з формальдегідом. Спосіб приготування каталізатора впливає на фізико-хімічні властивості поверхні каталізатора, а як наслідок і на його каталітичні властивості в досліджуваному процесі. Запропоновано оптимальну методику приготування VPO каталізатора.

Ключові слова: акрилова кислота, оцтова кислота, формальдегід, тверді каталізатори, альдольна конденсація.

Shpyrka I.I., Nebesnyi R.V., Pikh Z.G., Sydorchuk V.V., Khalameida S.V. Synthesis of VPO catalysts and using them for obtaining acrylic acid from acetic acid and formaldehyde

The effect of VPO catalysts preparation method on their efficiency in the process of aldol condensation of acetic acid with formaldehyde to acrylic acid was investigated. The effect of temperature on the parameters of condensation process of acetic acid with formaldehyde was determined. The method of VPO catalyst preparation affects the physical and chemical properties of the catalyst surface and as a result on its

catalytic properties in investigated process. The optimum method of VPO catalyst synthesis was proposed.

Keywords: acrylic acid, acetic acid, formaldehyde, solid catalyst, aldol condensation.

Шпирка Ірина Іванівна – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Небесний Роман Володимирович – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: roman.v.nebesnyi@lpnu.ua.

Піх Зорян Григорович – доктор хімічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: pikh@lp.edu.ua.

Сидорчук Володимир Васильович – кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

Халамейда Світлана В'ячеславівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

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

Стаття подана 20.03.2017

УДК 621.791.4

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ****Махненко О.В., Великоіваненко О.А., Мілєнін О.С.,
Фальченко Ю.В., Новомлинець О.О.****METHODOLOGY OF CALCULATION OF PRESSURE WELDING MODES
FOR OBTAINING PRECISION NON-DETACHABLE COMPOUNDS****Makhnenko O.V., Velykoivanenko O.A., Milienin O.S.,
Falchenko Yu.V., Novomlynets O.O.**

Розроблено математичну модель спільного розвитку пружних деформацій, миттєвої пластичності і повзучості для умов прецизійного зварювання тиском металевих матеріалів. Розроблено розрахунково-експериментальну методику визначення оптимальних режимів прецизійного зварювання тиском на основі температурних залежностей пружно-пластичних властивостей матеріалів, які зварюються. Побудовані діаграми, що дозволяють при різних температурах зварювання визначати оптимальне співвідношення тиску і часу витримки для досягнення необхідного рівня деформації матеріалів, що з'єднуються. Порівняльний аналіз параметрів режиму отриманих експериментально та розрахованих за допомогою розробленої методики показує співпадіння результатів на 90 %.

Ключові слова: Прецизійні нероз'ємні з'єднання, пружно-пластичні властивості, математична модель, розрахунково-експериментальна методика, оптимальні режими зварювання.

Постановка проблеми. При зварюванні тиском деформація має вирішальне значення для утворення якісного зварного з'єднання. Однак при виготовленні сучасних деталей машин, конструкцій та виробів для різних галузей часто виникає необхідність отримання зварних з'єднань з обмеженим рівнем деформації основних матеріалів. На сьогоднішній день відсутні дані щодо визначення кількісних характеристик прецизійності зварних з'єднань, отриманих способами зварювання тиском, але більшість дослідників говорячи про прецизійні з'єднання оцінюють при цьому деформацію основних матеріалів на рівні не більше 1-2 % вихідного розміру деталей: при зварюванні встик – по висоті зразка або зміні діаметру, при точковому зварюванні – по товщині зразка (глибині вм'ятини у точці).

У зв'язку з цим, прецизійне зварювання тиском різних однорідних та різнорідних матеріалів потребує використання додаткових засобів активації поверхонь та вибору оптимальних параметрів зварювання ($T_{зв}$, $P_{зв}$, $t_{зв}$), які б забезпечили як утворення якісного нероз'ємного з'єднання так і мінімальний рівень деформації основних матеріалів.

Встановлення оптимальних режимів зварювання експериментальним шляхом потребує значних витрат часу, матеріалів та енергоресурсів. Використання скінчено-елементного програмного забезпечення, дозволяє мінімізувати вказані витрати та більш детально описати елементи конструкції з урахуванням реальних властивостей матеріалів, характеру навантаження та температуро-часового впливу на деталі, які зварюються.

Тому актуальним є питання встановлення розрахунковим способом характеру деформування виробів під дією термодеомаційного навантаження відповідного процесу зварювання та розробки методики розрахунку параметрів процесу зварювання тиском в залежності від допустимого рівня деформації основних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з демаційною теорією пластичності для пружно-пластичного тіла існує залежність між демацією та напруженнями. Для ізотропного тіла інтенсивність демації дорівнює сумі інтенсивностей пластичних та пружних демацій [1]. Пластична демація, що збільшується з часом при постійному напруженні, називається демацією повзучості (ϵ_c). Графічне зображення залежності пластичної демації від часу випробувань у разі дії постійних напружень та температури називають кривою повзучості (рис. 1) [2].

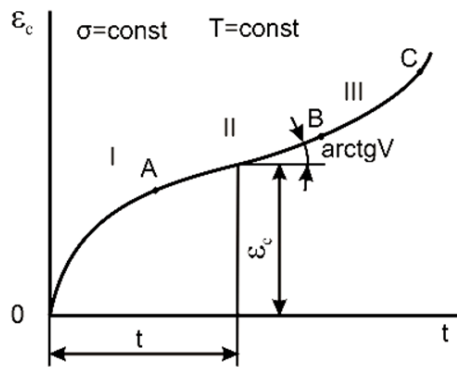


Рис. 1. Крива повзучості [2]: I – стадія неусталеної повзучості; II – стадія усталеної повзучості; III – стадія руйнування.

Для визначення характеру та величини деформації виробу необхідні дані про модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, границю текучості матеріалу в залежності від температури нагріву, а також швидкості повзучості матеріалу при заданій температурі залежно від величини навантаження.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогоднішній день в літературі наявна обмежена інформація щодо основ прогнозування математичного моделювання напруженого стану в прецизійних нероз'ємних з'єднаннях в межах схеми «основний матеріал – умови зварювання».

Метою роботи є розробка розрахунково-експериментальної методики визначення оптимальних режимів прецизійного зварювання тиском на основі температурних залежностей пружно-пластичних властивостей матеріалів, які зварюються.

Викладення основного матеріалу. Розроблено математичну модель для прогнозування термодформацийних процесів при дифузійному зварюванні металевих матеріалів [3], яка знайшла застосування у спеціалізованому програмному забезпеченні «Weldprediction», розробленому в Інституті електрозварювання ім. С.О. Патона.

Спільний вплив високих температур і тиску на елементи, що зварюються, зумовлює появу і розвиток пружно-пластичних деформацій. Для моделі, яка використовується, прийнято, що приріст тензора деформацій у довільній точці з координатами x , y з момент часу t представляється у вигляді суми:

$$d\epsilon_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p + d\epsilon_{ij}^c, \quad (1)$$

де $d\epsilon_{ij}^e$ – пружна складова тензора $d\epsilon_{ij}$,

$d\epsilon_{ij}^p$ – складова від миттєвої пластичності та

$d\epsilon_{ij}^c$ – складова деформації повзучості.

Тензор $d\epsilon_{ij}^e$ пов'язаний з тензором напружень σ_{ij} законом Гука:

$$d\epsilon_{ij}^e = d \left[\frac{\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma}{2G} + \delta_{ij} (K\sigma + \varphi) \right], \quad (2)$$

де G – модуль зсуву, $G = \frac{E}{1+2\nu}$, K – модуль

об'ємного стискування, $K = \frac{1-2\nu}{E}$, E – модуль Юн-

га, ν – коефіцієнт Пуассона, φ – функція вільної об'ємної зміни, яка пов'язана з нагріванням, структурними змінами і т.п., у найпростішому випадку $\varphi = \alpha(T - T_0)$, δ_{ij} – одиничний тензор, σ – середнє значення нормальних компонент тензора σ_{ij} .

Величина тензора $d\epsilon_{ij}^p$ характеризує появу і розвиток непружних деформацій "миттєвої" пластичності. В рамках сучасних теорій пластичної течії складова деформації повзучості $d\epsilon_{ij}^c$ пов'язана з тензором напружень σ_{ij} залежністю:

$$d\epsilon_{ij}^p = d\lambda (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma), \quad (3)$$

де $d\lambda$ – скалярна функція, яка визначається умовою текучості Мізеса, тобто:

$$\text{при } f = \frac{1}{2} (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma) (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma) - \sigma_s^2(T) < 0 \quad (4)$$

та $f = 0$, але $df < 0$ величина $d\lambda \equiv 0$;
при $f = 0$ та $df > 0$ величина $d\lambda > 0$;
стан $f > 0$ недопустимо,

де $\sigma_s(T)$ – напруження деформування (межа текучості матеріалу) при температурі T .

Для деформацій повзучості $d\epsilon_{ij}^c$ використовується рівняння зв'язку у вигляді [3]:

$$d\epsilon_{ij}^c = \Omega(\sigma_i, T) (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma) dt, \quad (5)$$

де $\Omega(\sigma_i, T)$ – скалярна функція повзучості матеріалу при температурі T та рівні напруженості, що визначається інтенсивністю напружень σ_i :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2} (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma) (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma)}. \quad (6)$$

Для даної задачі, коли при дифузійному зварюванні найбільш важливо враховувати деформації

повзучості $d\epsilon_{ij}^c$, оскільки від них істотно залежить процес деформування елементів, що зварюються, функцію $\Omega(\sigma_i, T)$ раціонально вибирати на основі експериментів по деформуванню при підвищеній температурі зразків з даного матеріалу.

В процесі одномірного навантаження вздовж осі x при $\sigma_{xx} < \sigma_s(T)$ $T = \text{const}$ з (1), (2), (3) витікає якщо

$$\frac{d\epsilon_{xx}}{dt} = 0$$

$$\frac{d\epsilon_{xx}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\sigma_{xx}}{E} \right) + \Omega(\sigma_i, T) \frac{2\sigma_{xx}}{3} = 0, \quad (7)$$

$$\sigma_i = |\sigma_{xx}|$$

Якщо $\Omega(\sigma_i, T) = \Omega_1(\sigma_i) \Omega_2(T)$, то з (3.8) витікає:

$$\frac{d\sigma_{xx}}{\Omega_1(\sigma_i) \sigma_{xx}} = -\frac{2}{3} E \cdot \Omega_2(T) dt. \quad (8)$$

При простому розтягуванні в ізотермічних умовах $\sigma_i = \sigma_{xx}$, відповідно при $\Omega_1(\sigma_i) = \sigma_{xx}^n$, отримаємо після інтегрування від $t = 0$ до t :

$$\Omega_2(T) = \frac{3}{2E(T)t \cdot n} \left[\frac{1}{\sigma_{xx}^n(t)} - \frac{1}{\sigma_{xx}^n(0)} \right]. \quad (9)$$

Цю залежність можна апроксимувати типовою залежністю [3]:

$$\Omega_2(T) = A \exp \left(\frac{G_c}{T + 273} \right), \text{ МПа}^{-(n+1)} \cdot \text{час}^{-1} \quad (10)$$

або

$$\Omega_2(T) = \exp \left(B + \frac{G_c}{T + 273} \right), \text{ МПа}^{-(n+1)} \cdot \text{час}^{-1} \quad (11)$$

де $A, B = \ln(A), G_c$ – постійні.

Відповідно до вищесказаного було розроблено схему побудови математичної моделі спільного розвитку пружних деформацій, миттєвої пластичності і повзучості для умов високотемпературного стиснення зразків з конкретного металу при їх дифузійному зварюванні, яку представлено на рисунку 2.

На підставі експериментальних та літературних даних були визначені коефіцієнти функції повзучос-

ті сплавів алюмінію (АД00, АМц), міді (М1) та сталі 45 (таблиця 1), з'єднання яких в однорідному поєднанні та різномірному з іншими більш твердими матеріалами часто вимагає обмеження пластичної деформації основних матеріалів. У зв'язку з тим, що згідно експериментальних даних, поведінка міді М1 та сталі 45 не достатньо точно описується функцією повзучості (залежність від температури витримки має істотно нелінійну залежність, яку складно описати аналітично), тому було запропоновано до використання параметру G_c , що залежить від прикладених навантажень для міді М1 (табл. 2) та від температури і тиску для сталі 45 (табл. 3).



Рис. 2. Схема методики розрахунку параметрів процесу прецизійного зварювання тиском.

Таблиця 1

Коефіцієнти функцій повзучості			
Матеріал \ Параметр	n	B	G _c
АМц	1,4388	9,1	-11000
АД00	1,4388	9,1	-9320
М1	0,7	-2,604	див. табл. 2
Сталь 45	0,765	1,178	див. табл. 3

Таблиця 2

Залежність параметру G_c від тиску для міді М1

P , МПа	2	3	5	8	10	13	15
G_c , К	-6150	-6300	-6600	-7150	-7400	-7840	-8200

Таблиця 3

Залежність параметру G_c від тиску та температури для сталі 45

T , К	1073				1273				1473			
P , МПа	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
G_c , К	-3500	-4700	-5200	-5550	-3000	-3700	-4400	-5050	-2700	-3900	-4900	-5550

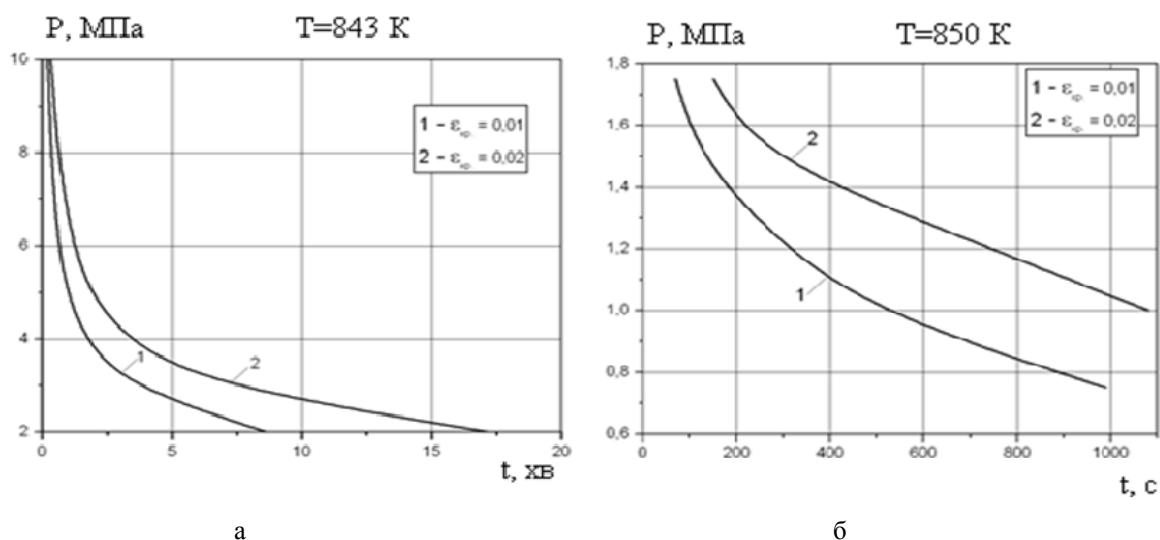


Рис. 3. Діаграми впливу тиску та часу зварювання на ступінь деформації зразків зі сплаву: а – АМц; б – АД00

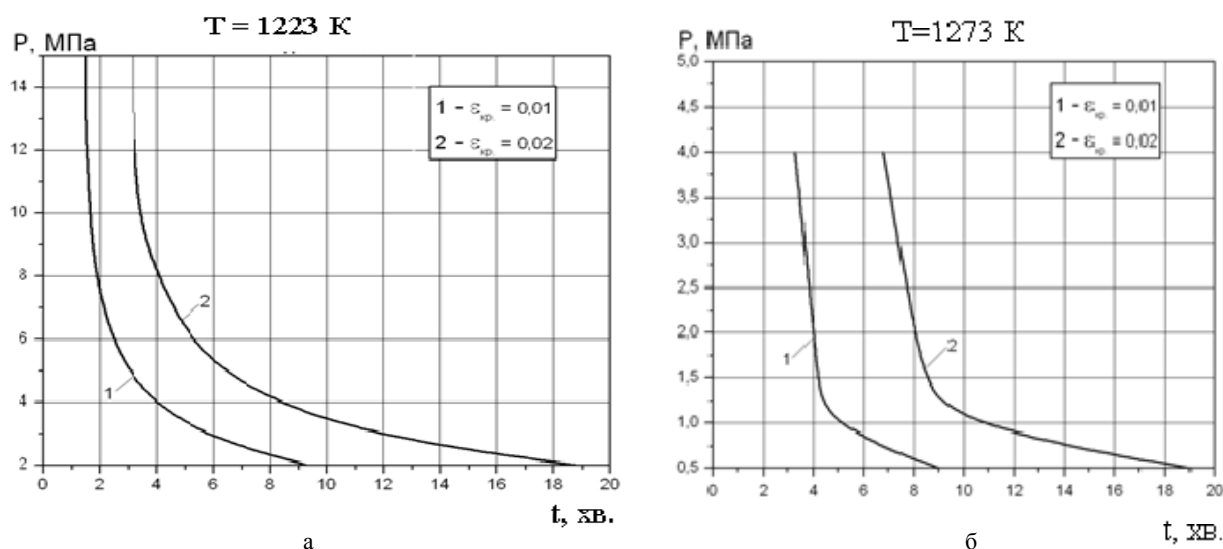


Рис. 4. Діаграми впливу тиску та часу зварювання на ступінь деформації зразків: а – з міді М1; б – зі сталі 45

Практично важливими для отримання прецизійних є залежності величини витримки при дифузійному зварюванні від прикладеного тиску, при якому для конкретної температури досягаються граничні залишкові деформації $\varepsilon_{кр} = 0,01-0,02$ (1-2%). Тому, на основі розробленої методики та кривих повзучості, для вказаних матеріалів були побудовані

діаграми впливу тиску та часу зварювання на ступінь деформації зразків для температур $0,8-0,9 T_{пл}$, які зазвичай використовуються при дифузійному зварюванні [4] (рис. 3-4).

Згідно з результатами розрахунків, наведених на рисунках 3-4, в залежності від обраної температури зварювання максимальне допустимий час ви-

тримки для виготовлення прецизійних нероз'ємних з'єднань варіюється від десятків секунд до десятків хвилин. Остаточне рішення про вибір конкретних параметрів режиму прецизійного зварювання необхідно приймати, з одного боку, виходячи з вимог щодо максимально допустимої залишкової деформації зварного виробу, з іншого боку, з врахуванням додаткових засобів активації, що використовуються для достатньої розвиненості дифузійних процесів.

Порівняльний аналіз параметрів режиму отриманих експериментально в роботах [5, 6] та розрахованих за допомогою розробленої методики показує співпадіння результатів на 90 %, що свідчить про ефективність застосування даної методики та можливість її використання при розробці конкретних технологій прецизійного зварювання тиском різних матеріалів.

ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель спільного розвитку пружних деформацій, миттєвої пластичності і повзучості для умов високотемпературного стиснення зразків з конкретного металу при їх зварюванні тиском, яка дозволяє оцінити вплив основних факторів на прецизійність зварних з'єднань та обрати оптимальний режим зварювання ($T_{зв}$, $P_{зв}$ та $t_{зв}$).

Розроблено методику, що дозволяє на основі вихідних даних про матеріал деталі, що зварюється; температуру нагріву; допустимий рівень деформації основного матеріалу; в результаті розрахунку отримувати: максимально можливий тиск та час зварювання для забезпечення допустимого рівня деформації. За результатами проведених численних експериментів побудовані діаграми, що дозволяють при різних температурах зварювання визначати оптимальне співвідношення тиску і часу витримки для досягнення необхідного рівня деформації матеріалів, що з'єднуються.

Порівняльний аналіз експериментальних даних та даних отриманих за допомогою розробленої методики показав співпадіння результатів на 90 %, що свідчить про ефективність застосування даної методики та можливість її використання при розробці конкретних технологій прецизійного зварювання тиском різних матеріалів.

Література

1. Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов / Ю.Н. Работнов. – М.: Физматгиз, 1963. – 456 с.
2. Биргер И.А. Сопротивление материалов: учебное пособие / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.
3. Махненко В.И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций. Киев. Наукова думка. 2006, 618 с.
4. В. А. Бачин, и др., Теория, технология и оборудование диффузионной сварки: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
5. О. О. Новомлинець, С. В. Олексієнко, С. М. Ющенко, В. О. Мартиненко, «Дослідження деформаційної кінетики алюмінію при високих температурах», Технічні науки та технології, № 2 (2), С. 67–72, 2015.

6. Falchenko Y., Novomlynets O., Polovetskyi E. Special features of precision pressure welding of carbon steel with chemical activation of surfaces. Scientific and educational journal, Geneve, Switzerland, 2016, July, № 6. P. 65–70.

References

1. Rabotnov, Yu. N. (1963). *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow: Fizmatgiz (in Russian).
2. Birger, I. A., Mavljutov, R. R. (1986). *Soprotivleniye materialov* [Resistance of materials]. Moscow: Nauka (in Russian).
3. Makhnenko, V. I. (2006). *Resurs bezopasnoy ekspluatatsii svarnykh soyedineniy i uzlov sovremennykh konstruktivnykh* [Resource of safe operation of welded joints and units of modern structures]. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
4. Bachin, V. A. (1991). *Teoriya, tekhnologiya i oborudovaniye diffuzionnoy svarki*: [Theory, Technology and Equipment of Diffusion Welding]. Moscow: Mechanical engineering (in Russian).
5. Novomlynets, O. O., Oleksiyenko, S. V., Yushchenko, S. M., Martinenko, V. O., (2015). *Doslidzhennya deformatsiynoyi kinetyky alyuminiyu pry vysokokh temperaturakh* [Deformation of the deformation kinetic of aluminum at high temperatures]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi* – Technical sciences and technologies, No. 2 (2), pp. 67-72 (in Ukrainian).
6. Falchenko, Y., Novomlynets, O., Polovetskyi, E. (2016). Special features of precision pressure welding of carbon steel with chemical activation of surfaces. *Scientific and educational journal, Geneve, Switzerland*, No. 6. pp. 65-70.

Махненко О.В., Великоиваненко Е.А., Миленин А.С., Фальченко Ю.В., Новомлинець О.А. Методика расчета режимов сварки давлением для получения прецизионных неразъемных соединений

Разработана математическая модель совместного развития упругих deformаций, мгновенной пластичности и ползучести для условий прецизионной сварки давлением металлических материалов. Разработана расчетно-экспериментальная методика определения оптимальных режимов прецизионной сварки давлением на основе температурных зависимостей упруго-пластических свойств свариваемых материалов. Построены диаграммы, позволяющие при различных температурах сварки определять оптимальное соотношение давления и времени выдержки для достижения необходимого уровня деформации соединяемых материалов. Сравнительный анализ параметров режима полученных экспериментально и рассчитанных с помощью разработанной методики показывает совпадение результатов на 90%.

Ключевые слова: Прецизионные неразъемные соединения, упруго-пластические свойства, математическая модель, расчетно-экспериментальная методика, оптимальные режимы сварки.

Makhnenko O.V., Velykoivanenko O.A., Milienin O.S., Falchenko Yu.V., Novomlynets O.O. Methodology of calculation of pressure welding modes for obtaining precision non-detachable compounds

The mathematical model of joint development of elastic deformations, instant plasticity and creeping for conditions of precision welding by pressure of metal materials has been developed. The design-experimental methods of determination of optimal modes of precision welding on the basis of tempera-

ture dependences of elastic-plastic properties of welded materials has been developed. The diagrams that allow determining the optimal ratio of pressure and shuttering time to achieve the required level of deformation of interconnected materials at different welding temperatures has been constructed. The comparative analysis of the parameters of the regime obtained experimentally and calculated by the usage of the developed method shows the 90% coincidence of the results.

Keywords: Precision non-detachable joints, elastic-plastic properties, mathematical model, calculation-experimental methods, optimal welding conditions.

Махненко О.В. – докт. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні та спецелектрометалургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,
E-mail: makhnenko@paton.kiev.ua

Великоіваненко О.А. – канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник відділу математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні та спецелектрометалургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України;

Міленін О.С. – канд. техн. наук, науковий співробітник відділу математичних методів дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні та спецелектрометалургії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України;

Фальченко Ю.В. – докт. техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу фізико-металургійних процесів зварювання легких металів та сплавів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,
E-mail: omega06@ukr.net

Новомлинець О.О. – канд. техн. наук, доцент кафедри ЗВ та АПБК ЧНТУ. ЧНТУ – Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів.
E-mail: oon1@urk.net

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

Стаття подана 23.03.2017

**ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 5 (235) 2017**

Науковий журнал

Відповідальний за випуск

Кудрявцев С.О.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

Статті надруковано в авторській редакції

Підписано до друку 17.05.2017 р.
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 13,5. Обл.-вид. арк. 14,9.
Наклад 300 прим. Вид. № 3125. 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

Надруковано у ПП «Поліграф-Сервіс»
Свідоцтво про реєстрацію серія АОО №049269 93406,
м. Северодонецьк, проспект Гвардійський, 30
тел.: (0645) 70-14-41, (095) 850-61-53
e-mail: poligrafSDLK@ukr.net