

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ВІСНИК

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 62 (1171) 2015

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 р.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2015р. – № 62 (1171) – 180 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ №5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською, російською та англійською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових Фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. №1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України №6, 2010 р., стор. 3, №20).

Координаційна рада:

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабчєнко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофіїв, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: Р. С. Томашевський, канд. техн. наук, доц.,
А.В. Грабовський, канд. техн. наук.

Члени редколегії: Л. Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; Б. В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.; О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.; Г. І. Львов, д-р техн. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; М. І. Погорєлов, канд. екон. наук, проф.; Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; Р. Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.; В. І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.; О. Ю. Заковоротний, канд. техн. наук, доц.; О. О. Ларін, канд. техн. наук, доц.; В. В. Куліченко, канд. техн. наук, доц.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Нові рішення в сучасних технологіях», індексується в наукометричних базах **WorldCat** і **Google Scholar**, **Index Copernicus** і включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory** (New Jersey, USA).*

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ «ХПІ»
Протокол № 11 від «25» грудня 2015 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2015

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

BULLETIN

**OF THE NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”**

Series: " New solutions in modern technologies"

№ 62 (1171) 2015

Collected Works

The publication was founded in 1961

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collected Works. Series: New solutions in modern technology. - Kharkiv: NTU "KhPI" – 2015. – No 62 (1171) – 180 p.

State edition

Certificate of State Committee of Ukraine for Information Policy

KB №5256 from July 2, 2001

The collection is published in Ukrainian, Russian and English.

Bulletin of the National Technical University "KhPI" included in the "List of scientific professional editions of Ukraine, which can be published results of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences", approved by the presidium of VAK of Ukraine of 26 May 2010 No1 - 05/4 . (Bulletin of VAK Ukraine No6, 2010 3, No20).

Coordinating Board:

L. L. Tovazhnyanskyy, Dr. Tech. Sci., Prof. (**chief**);

K. A. Gorbunov, PhD. Tech. Sci., доц. (**secretary**);

A. P. Marchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; Ye. I. Sokol, member NAS of Ukraine, Dr. Tech. Sci., Prof.;

E. E. Aleksandrov, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. V. Boyko, Dr. Tech. Sci., Prof.; F. F. Gladkiy, Dr. Tech.

Sci., Prof.; M. D. Godlevskiy, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. I. Grabchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.;

V. G. Danko, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. D. Dmitrienko, Dr. Tech. Sci., Prof.; I. F. Domnin, Dr. Tech.

Sci., Prof.; V. V. Epifanov, PhD. Tech. Sci., Prof.; Yu. I. Zaytsev, PhD. Tech. Sci., Prof.;

P. A. Kachanov, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. B. Klepikov, Dr. Tech. Sci., Prof.; S. I. Kondrashov, Dr.

Tech. Sci., Prof.; V. I. Kravchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; G. V. Lisachuk, Dr. Tech. Sci., Prof.;

O. K. Morachkovsky, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. I. Nikolaenko, PhD. Hist. Sci, Prof.; P. G. Pererva, Dr.

Econ. Sci., Prof.; V. A. Pulyaev, Dr. Tech. Sci., Prof.; M. I. Rishchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.;

V. B. Samorodov, Dr. Tech. Sci., Prof.; G. M. Suchkov, Dr. Tech. Sci., Prof., Yu. V. Timofeev, Dr.

Tech. Sci., Prof., M. A. Tkachuk, Dr. Tech. Sci., Prof.

Editorial Board:

Editor: Ye. I. Sokol, member NAS of Ukraine, Dr. Tech. Sci., Prof.

Secretary: R. S. Tomashevskiy, PhD. Tech. Sci.

A. V. Grabovskiy, PhD. Tech. Sci.

Members of the editorial board: L. L. Bragina, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. G. Danko, Dr. Tech. Sci.,

Prof.; V. T. Dolbnya, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. Y. Zaruba, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. B. Klepikov, Dr.

Tech. Sci., Prof.; B. V. Klymenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. S. Kutsenko, Dr. Tech. Sci., Prof.;

G. I. Lvov, Dr. Tech. Sci., Prof.; P. G. Pererva, Dr. Econ. Sci., Prof.; N. I. Pogorelov, PhD. Econ. Sci,

Prof.; L. G. Raskin, Dr. Tech. Sci., Prof.; R. D. Sytnik, Dr. Tech. Sci., Prof.;

V. I. Shustikov, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. U. Zakovorotnij, PhD. Tech. Sci.; A. A. Larin, PhD. Tech.

Sci.; V. V. Kulichenko, PhD. Tech. Sci.

Bulletin of the National Technical University "KPI" series "New solutions in modern technologies," scientometric databases indexed in WorldCat, Google Scholar, Index Copernicus and included in the directory of periodicals database Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Recommended for publication by the Academic Council of NTU "KhPI"

Protocol number 11 of December, 25, 2015

© National Technical University "KhPI", 2015

**130-річчю
Національного технічного
університету «Харківський
політехнічний інститут»
присвячується**



УДК 621.3.088

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ХВИЛЯМИ ТИСКУ**Є. А. БОРИСЕНКО**

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій і систем, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
email: 4borisea@gmail.com

АНОТАЦІЯ В даній статті проведений аналіз виявлення витоків на трубопроводах, в тому числі магістральних методом хвилі тиску. Розглянуті основні вимоги, що пред'являються до такої системи, визначені основні джерела похибок. Проведений аналіз можливостей застосування відомих методів підвищення точності шляхом компенсації систематичних складових похибки. Розроблено методологія втілення тестового методу, змодельовані результати його застосування. Проаналізовані результати моделювання та зроблені висновки щодо чинників, які визначають точність системи виявлення витоків із застосуванням методів тестового контролю.

Ключові слова: система виявлення витоків, трубопровід, тестові методи, підвищення точності, компенсація похибок, метод хвилі тиску.

THE TEST METHODS IMPLEMENTATION FOR THE ACCURACY IMPROVEMENT OF LEAK DETECTION SYSTEMS BY WAVES OF PRESSURE**E. BORISENKO,**

Department of information-measuring technologies and systems, NTU KhPI, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT This paper observes pipeline leaks detection systems. Research is connected with leak detection systems based on pressure waves propagation caused by the leak. The main conditions of leak detecting process that should be satisfied are observed. Theoretical research shows that significant contribution to accuracy degradation causing uncertainty type b growth is the inexact value of the speed of sound, or its changing. The purpose of this research is to find out the ways to improve accuracy of leak location, because it will decrease time lapse to leak elimination and the financial and nature damage will be less. In this paper is observed the leak detection system with digital output. Among the all known methods of accuracy improvement, test methods are promising but less used. The test methods apparatus is developed for the time-of-flight (TOF) devices and analysis shows that pressure wave leak detection system is a kind of TOF systems. Test methods are the type of ways that supposing information excessiveness, which in current case consists in precise distance adding. This additive test is made with the extra pressure sensor, installed in a precise distance from main sensor. This precise distance addition causes respective time addition. Using the math apparatus of test methods allows eliminating systematic error, caused by inexact value of speed of wave propagation. Mathematical modelling was made, it results confirms test method efficiency in accuracy improvement. Implementation of observed method eliminate the pointed error, but it may brought its own errors, if use it the wrong way. The important thing is the ratio of the controlled pipeline length and precise adding distance. Second important thing is the period of cycling pulses: it size also influence the resulting accuracy of leak detection system that uses proposed test method. In conclusion recommendations about test method and value of additive test and factors of resulting uncertainty value are given.

Keywords: leak detection, test method, accuracy improvement, pipeline, pressure waves, accuracy improvement,

Вступ

Станом на сьогоднішній день Україна має розгалужену систему трубопроводів та є одним з ключових транзитерів на теренах Європи, з'єднуючи видобувачів нафти і газу із споживачами цих продуктів [1].

На українську сторону накладаються певні обов'язки, пов'язані із забезпеченням транспортування продукту через її територію. Це означає, що при виникненні втрат продукту при його транспортуванні будуть виникати фінансові претензії до української сторони.

Втрати продукту може бути або при виникненні витоків, або при розкраданні речовини що транспортується через незаконні врізки. Виток крім

очевидних фінансових втрат є причиною екологічних лих. Так, розливи нафти призводять до загибелі флори і фауни, сільськогосподарські угіддя приходять в непридатність, забруднюються водойми, річки і ґрунтові води [2].

Крім того на теренах України існує чимало нафтопродуктопроводів. Цей вид трубопроводів з'єднує в єдину систему підприємства видобутку і переробки нафтопродуктів. По таким трубопроводам перекачується бензин, керосин та інші види палива. Витоки таких речовин має більш відчутні фінансові наслідки. Являючи собою легкозаймисті речовини палива при витоках можуть спричинити масштабні пожежі.

Територією України проходять і трубопроводи із специфічними та токсичними речовинами.

Наприклад через харківську область з Росії заходить аміакопровід і прямує далі через територію України до Одеси. Оперативне виявлення витоків таких речовин виглядає не менш важливим [3].

Крім того, трубопровідний транспорт широко застосовується у комунальному господарстві в містах для забезпечення населення водою, опаленням, природним газом.

Все це призводить до того, що виявлення витоків є важливим завданням, причому ключовими факторами є:

- швидкість встановлення факту витoku;
- швидкість встановлення місця витoku;
- точність встановлення місця витoku.

До теперішнього часу розроблено багато методів виявлення витоків, найбільш поширеними серед них є [4]:

- метод гідралічної локації витoku
- метод моніторингу тиску
- метод зворотних хвиль тиску
- метод лінійного балансу
- метод порівняння витрат
- метод акустичної емісії
- зондовий метод

Серед перерахованих методів широке застосування знаходить метод хвиль тиску [5, 6]. Це обумовлено такими його перевагами

- можливість здійснення безперервного контролю витoku;
- високу швидкість при виявленні витoku на ділянках трубопроводу великої протяжності;
- простота алгоритму виявлення витoku;
- простота налаштування і зміни порогу спрацьовування і вибіркості чутливого елемента.

Як вже зазначалося, важливим є точність та оперативність визначення місця витoku, тобто система в ідеалі повинна відповідати обом вимогам одночасно. Але на сьогодні системи або швидко і не досить точно визначають місце витoku, або можуть точно визначити місце, але це потребує багато часу чи вимагає проведення спеціальної процедури.

В більшості випадків остаточне місцезнаходження витoku визначається за допомогою людського персоналу, що не задовольняє вимогам часу за швидкістю, безпекою та супровідними витратами.

Мета роботи

Для виявлення витoku на ділянці трубопроводу довжиною L на кінцях цієї ділянки встановлюють два перетворювача тиску. При появі витoku по трубопроводу поширюється зворотна хвиля тиску (рис. 1). Фронт цієї хвилі досягає перетворювачів тиску в моменти часу, різниця між якими становить Δt . Відстань від місця витoku до кінця ділянки

довжиною L визначається як.
$$x = \frac{L}{2} + \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

У джерелах [4 - 6] інформації вказується, що метод негативних ударних хвиль забезпечує високу точність визначення місця витoku (до 0,1%). Однак, така точність може бути забезпечена лише за умови знання точного значення швидкості звуку. Значення швидкості звуку залежить від ряду факторів, таких як температура середовища, склад середовища, тиск [7].

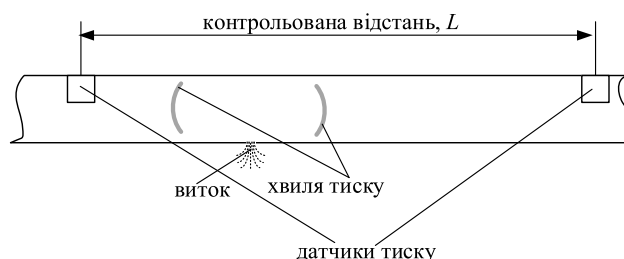


Рис. 1 – Принцип дії системи визначення витoku методом зворотної хвилі тиску

Трубопроводи найчастіше лежать під поверхнею землі, де температура стабільна. Однак при прокладці трубопроводу в специфічних місцевостях, таких як місця сильної заболоченості, місця залягання гірської породи, або при подоланні водних перешкод деякі ділянки монтують на відкритому повітрі. Більш впливовим фактором, що приводить до зміни температури продукту в трубопроводі виникає тоді, коли розглядають трубопровід значної протяжності. У цьому випадку починає позначатися зміна температур в різних кліматичних зонах. При переміщенні продукту з приполярних широт в субтропічні температура транспортованого продукту може змінюватися на десятки градусів.

Точний хімічний склад продукту, що транспортується в деяких випадках також може бути невідомий. Причиною тому може бути зміна частки продукту що надходить з різних родовищ. Частка домішок у продукті що транспортується в цьому випадку буде змінюватися. Причому залежність зміни швидкості звуку від зміни концентрації різних домішок неоднакова.

Крім того, швидкість звуку в трубах залежить від ряду величин, таких як об'ємне вміст газу по диспергованій фазі (для рідин), пружність газової фази, модуль пружності твердої фази та ін. Все це в підсумку може призвести до істотного зростання похибки визначення місця виникнення витoku.

Все це негативно впливає на розрахунок точного значення швидкості звуку, а отже і на точне визначення місця виникнення витoku.

Метою даного дослідження є пошук засобів підвищення точності визначення місця витoku методом зворотних хвиль тиску шляхом компенсації похибки, внесеної неточним значенням швидкості поширення звуку в середовищі що транспортується.

Викладення основного матеріалу

Рішенням такого завдання може бути встановлення всередині трубопроводу додаткових датчиків, з метою визначення точного значення швидкості звуку. Поширеним методом для визначення швидкості розповсюдження звуку є вимірювання часу, за який звуковий імпульс пройде від випромінювача до приймача, встановлених на відстані, відомій з високою точністю. Недоліком такого підходу є те, що на цій еталонній відстані за певних умов можуть бути присутніми неоднорідності потоку, викликані турбулентністю і неоднорідністю самого продукту, що транспортується. Крім того такий підхід дещо ускладнює структуру приладу, а контрольний звуковий сигнал може бути сприйнятий датчиками вимірювання тиску (при достатній їх чутливості) як хвиля тиску, що призведе до помилкового спрацювання.

Станом на сьогодні розроблено і впроваджуються кілька методів підвищення точності [8]. Частина з них, такі як усереднення результату застосовні для зменшення випадкової складової похибки, тоді як зміна швидкості звуку під дією факторів що впливають є систематичною похибкою. У зв'язку з цим застосування таких методів підвищення точності відкидається. Коротко розглянемо методи зменшення систематичної похибки і проаналізуємо доцільність їх застосування.

Метод обмеження умов застосування засобів вимірювань ефективний, якщо домінують додаткові похибки засобів вимірювань, які викликані істотними відхиленнями дійсних значень зовнішніх впливають величин від їхніх значень, прийнятих відповідними нормативними документами в якості нормальних. Однак у випадку трубопровідного транспорту застосування такого методу підвищення точності не представляється можливим оскільки зовнішні фактори змінюються в досить широких межах.

Метод індивідуального градуювання засобів вимірювань ефективний при усуненні постійних або повільно мінливих похибок. У разі трубопровідного транспорту теоретично можливо передбачити внесення поправок, отриманих при індивідуальному градуюванні при різних значеннях впливаючих величин. Але в такому разі потрібно визначати значення цих величин при роботі трубопроводу вздовж його довжини. І якщо з температурою особливих труднощів виникнути не повинно, то визначення складу досить громіздка задача.

Метод порівняння з мірою заснований на тому, що розмір вимірюваної величини порівнюють за допомогою компаратора з розміром величини, що відтворюється мірою, а шукане експериментальне значення величини розраховують за отриманими значеннями показань компаратора і номінальному значенню міри. Реалізація такого методу видається проблемною з урахуванням того, що вона передбачає створення штучної хвилі зворотного тиску при

величині x , відомою з високою точністю. Варіацією цього методу є розглянутий вище метод, що передбачає визначення швидкості поширення звуку від випромінювача звуку до його приймача, між якими встановлена відоме з високою точністю відстань.

Метод зворотного перетворення застосовують при автоматичній корекції похибки засобів вимірювань. Для реалізації цього методу використовують зворотній перетворювач, реальна статична функція перетворення (СФП) якого збігається з функцією, що зворотна до номінальної характеристики перетворення засобу вимірювань, що підлягаю коректуванню. Для розглянутого методу видається дуже складним реалізація такого перетворювача, що має точно відому і стабільну СФП.

Тестові методи підвищення точності вимірювань застосовують в різних вимірювальних системах для вимірювань як електричних, так і неелектричних величин [8, 9]. Сутність тестових методів підвищення точності вимірювань полягає у визначенні параметрів СФП за допомогою додаткових перетворень – тестів, кожен з яких функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною. Тестові методи підвищення точності вимірювань дозволяють знизити систематичні і квазісистематичні похибки. Для реалізації тестових методів застосовують два види тестів. Адитивний тест – полягає в еталонному прирощенні вимірюваної величини. Мультиплікативний тест полягає в еталонній зміні коефіцієнта перетворення СФП перетворювача, похибку якого прагнуть зменшити.

Розглянутий перетворювач, що працює на прийом зворотної хвилі тиску, є складовим, тобто він складається із блоків, що фізично не є одним цілим. Ще однією його особливістю є те, що він являє собою перетворювач інтервального типу, тобто в ньому здійснюється проміжне перетворення вимірюваної величини на інтервал часу [11]. Раніше було розроблено методологію впровадження тестових методів для приладів інтервального типу [12]. В даному дослідженні зроблена спроба застосувати цю методологію до приладу виявлення витоку.

СФП досліджуваного приладу при розгляді з боку виходу має вигляд $\Delta t = \frac{2x - L}{c}$. Якщо врахувати,

що при розгляді мова йде про цифровий прилад, тоді СФП стане $N_x = \frac{\Delta t}{T_0} = \frac{2x - L}{cT_0}$. Фактична функція

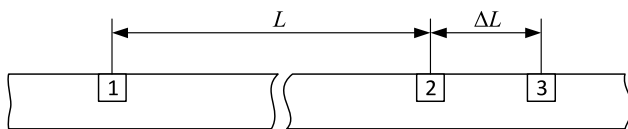
перетворення з урахуванням похибки буде виглядати наступним чином: $N_x = \frac{2x - L}{c_0(1 + \delta_m)T_0}$, де

c_0 - швидкість звуку при деяких нормальних умовах і відомому складі продукту, що транспортується, δ_m - мультиплікативна похибка зміни швидкості звуку. Згідно з методологією тестових методів, для

компенсації адитивної і мультиплікативної похибки необхідно створити адитивний і мультиплікативний тест. Оскільки в даному дослідженні розглянутий прилад виявлення витoku має переважно мультиплікативну похибку, то для її компенсації необхідно створити адитивний тест. Для цього на відомій з високою точністю відстані від основного датчика тиску ставиться додатковий (рис. 2).

При виникненні негативної хвилі тиску інтервал часу між реєстрацією цієї хвилі основними датчиками 1 і 2 складе Δt_1 , а інтервал часу між приходом хвилі на датчики 1 і 3 – Δt_2 . Кількість імпульсів, що відповідають цим інтервалам при їх квантуванні буде виглядати $N_{x1} = \frac{2x-L}{c_0(1+\delta_m)T_0}$ для Δt_1 , і $N_{x2} = \frac{2x-L+\Delta L}{c_0(1+\delta_m)T_0}$ для Δt_2 . Відношення цих послідовностей імпульсів буде виражено як

$$\frac{N_{x2}}{N_{x1}} = \frac{2x-L+\Delta L}{c_0(1+\delta_m)T_0} \cdot \frac{c_0(1+\delta_m)T_0}{2x-L}$$



1,2 – основні датчики тиску
3 – додатковий датчик тиску

Рис. 2 – Структура, що реалізує еталонне приручення відстані (адитивний тест)

Після нескладних математичних перетворень отримаємо вираз для x :

$$\hat{x} = \frac{L(N_{x2} - N_{x1}) + N_{x1}\Delta L}{2(N_{x2} - N_{x1})}$$

Застосоване позначення x замість \hat{x} застосоване для відокремлення результату вимірювання від результату, що отриманий внаслідок застосування тестових методів і являє собою відкоректований результат вимірювання.

Обговорення результатів

З останнього виразу видно, що на результат вимірювання не впливає похибка значення швидкості поширення ударної хвилі (швидкість звуку).

З метою перевірки правильності запропонованого методу підвищення точності виявлення місця витoku було проведено математичне моделювання застосування адитивного тесту. Результати моделювання представлені в таблиці 1.

З отриманих значень випливають висновки:

- результати математичного моделювання підтверджують припущення, що застосування тестових методів, а саме адитивного тестування, здатне компенсувати мультиплікативну похибку неточного значення швидкості розповсюдження хвилі тиску;

- застосування досліджуваного методу підвищення точності в цифровому приладі призводить до появи ще однієї складової похибки, викликаної квантуванням вихідного сигналу (інтервалу часу) імпульсами стабільної частоти;

Таблиця 1 – Математичне моделювання виявлення місця витoku хвилею тиску із застосуванням тестового методу

Значення швидкості поширення хвилі тиску; містить мультиплікативну похибку $c_0(1+\delta_m)$, м/с	1200	1150	1300	1300	1300	1300	1300
Довжина відтинка, L , м	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Відстань до місця витoku від початку відтинку x , м	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Період слідування квантуючих імпульсів T_0 , мкс	1	1	1	100	100	1	0,0001
Тестова відстань ΔL , м	10	10	10	10	2	2	100
Кількість імпульсів N_{x1}	3333333	3478261	3076923	30769	30769	3076923	30769
Кількість імпульсів N_{x2}	3325000	3469565	3069231	30692	30754	3075385	30000
Оцінка значення \hat{x} , отримане із застосуванням тестового методу	2999,92	3000,08	2999,92	3002,01	2948,73	2999,4	2999,41
Похибка значення \hat{x} із застосуванням тестового методу $\xi = \hat{x} - x$	-0,08	0,08	-0,08	2,01	-51,27	-0,6	-0,59

- розмір похибки ξ зворотно пропорційний періоду T_0 і розміру адитивного тесту ΔL .

У теоретичних дослідженнях застосування тестових методів зазначено, що адитивна прирощення вимірюваної величини слід вибирати не менше, ніж 10% її значення. У розглянутому випадку важливим є співвідношення розмірів адитивного тіста і періоду проходження квантуючих імпульсів. При зменшенні ΔL слід збільшити T_0 . Занадто велике значення адитивного тесту може привести до істотної похибки, викликаній нелінійністю СФП перетворювача, що підлягає коректуванню.

Особливістю розглянутого тестового методу є те, що він підвищує точність результату вимірювання, при цьому метрологічні характеристики перетворювача, що підлягає коректуванню не важливі. Головне, щоб ці характеристики не змінювалися в процесі тестування. При виконанні даного дослідження зроблено припущення про достатньо мале значення адитивної похибки перетворювача, що підлягає коректуванню. Критично важливим є проводити основне вимірювання і вимірювання з адитивним тестом у близькі моменти часу, щоб не допустити впливу змін параметрів середовища всередині трубопроводу. В даному випадку такі зміни будуть породжувати динамічну похибку.

Висновки

В даній статті запропоновано застосування тестових методів для підвищення точності визначення місця витoku на трубопроводі методом зворотної хвилі тиску. Показано, що фактором, що може істотно знизити точність визначення місця витoku на трубопроводі є зміна швидкості розповсюдження хвилі тиску або неточне значення цієї швидкості. Розроблено методологію впровадження методу тестового контролю за рахунок еталонного прирощення контрольованої ділянки трубопроводу. Проведене математичне моделювання підтверджує попередні висновки про доцільність запровадження описаного методу.

Зазвичай тестові методи передбачають застосування адитивного та мультиплікативного тесту. Для приладів інтервального типу, до яких належить розглянутий прилад виявлення витoku, також застосовувався такий підхід. В даній публікації показано, що при мізерно малій адитивній похибці застосування окремого адитивного тесту компенсує мультиплікативну похибку, чим значно підвищує точність визначення місця витoku, що в певних умовах є критично важливим.

Список літератури

1 Транспортування природного газу // [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3375A8575C8884D0C22571010035B9D2>

- 2 **Побережний, Л. Я.** Вплив аварій нафтогазопроводів на довкілля / **Л. Я. Побережний** // *Екологія і промисловість*. – 2007. – № 3. – С. 20 - 24.
- 3 **Березин, В.** Аварія на амміакопроводі: свищ под землею і свищ в головах / **Владимир Березин** // [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.konstantinovka.com.ua/node/16841>
- 4 **Кутуков, С. Е.** Проблема повышения чувствительности, надежности и быстродействия систем обнаружения утечек в трубопроводах / **С. Е. Кутуков** // [Електронний ресурс] Режим доступу: http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2004/29-45.pdf
- 5 **Латыпов, А. Ф.** О применении цифровых датчиков давления в системах обнаружения утечек / **А. Ф. Латыпов, А. А. Князев, В. Д. Ковшов** // [Електронний ресурс] Режим доступу: http://ogbus.ru/authors/Latypov/Latypov_1.pdf
- 6 **Chuanhu Ge.** Analysis of the smallest detectable leakage flow rate of negative pressure wave-based leak detection systems for liquid pipelines / **Chuanhu Ge, Guizeng Wang, Hao Ye** // *Computers & Chemical Engineering*. – 2008. – Volume 32, Issue 8. – P. 1669 - 1680
- 7 **Torbjörn Löfqvist** Speed of sound measurements in gas-mixtures at varying composition using an ultrasonic gas flow meter with silicon based transducers / **Torbjörn Löfqvist, Kęstutis Sokas, Jerker Delsing** // *Luleå University of Technology* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pure.ltu.se/portal/files/60931/artikel.pdf>
- 8 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений: РМГ 64-2003. – [Введен 2005-01-01]. – М.: Издательство стандартов. – 2004. – 17 с. (Рекомендации по межгосударственной стандартизации)
- 9 **Бондаренко, Л. Н.** Формирование алгоритмов повышения точности измерений электрических величин / **Л. Н. Бондаренко, Д. И. Нефедьев** // *Измерительная техника* – М.: ФГУП "Стандартинформ". – 2007. – №6. – С. 59-62.
- 10 **Кондрашов, С. И.** Методология тестового контроля метрологических характеристик средств измерений / **С. И. Кондрашов** // *Системы обработки информации* – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2006. – вип. 7. – С. 97–98..
- 11 **Шабатура Ю. В.** Технологія вимірювання на основі представлення значень вимірюваних величин часовими інтервалами / **Шабатура Ю. В.** – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 324с.
- 12 **Гусельников, В. К.** Тестовые методы повышения точности цифровых преобразователей интервального типа / **В. К. Гусельников, Е. А. Борисенко** // *Современные тенденции развития приборостроения: сборник тезисов докладов научно-технической конференции*, (Луганск, 19–20 ноября 2012 г.). – Луганск: СНУ ім. В. Даля. – 2012. – С.56 - 58

Bibliography (transliterated)

- 1 Natural gas transportation // [Web] <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3375A8575C8884D0C22571010035B9D2>
- 2 **Poberezhny, L. Y.** The effects of an accident of oil and gas pipelines on the environment. *Ecology and industry*, 2007, 3, 20-24..
- 3 **Berezin, V.** The accident at the ammonia: the underground fistula and fistula in the heads [Web] <http://www.konstantinovka.com.ua/node/16841>

- 4 **Kutukov, S. E.** Problema povysheniya chuvstvitel'nosti, nadezhnosti i bystrodeystviya sistem obnaruzheniya utechek v truboprovodakh [Web] http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2004/29-45.pdf
- 5 **Latypov A. F., Knyazev, A. A., Kovshov, V. D.** Digital sensors implementation in leak detection systems [Web]: http://ogbus.ru/authors/Latypov/Latypov_1.pdf
- 6 **Chuanhu Ge., Guizeng Wang, Hao Ye** Analysis of the smallest detectable leakage flow rate of negative pressure wave-based leak detection systems for liquid pipelines. *Computers & Chemical Engineering.*, 2008, **32**(8), 1669 - 1680
- 7 **Torbjörn Löfqvist, Kęstutis Sokas, Jerker Delsing** Speed of sound measurements in gas-mixtures at varying composition using an ultrasonic gas flow meter with silicon based transducers. *Luleå University of Technology* [Web]: <http://pure.ltu.se/portal/files/60931/artikel.pdf>
- 8 Ensuring the effect of measurements by the control of technological processes. Methods and ways of the measuring accuracy rise: RMG 64-2003. – [Implemented 2005-01-01]. – Moscow: Izdatelstvo standartov, 2004, 17 p.
- 9 **Bondarenko, L.N., Nefedev, D. S.** Formation of algorithms of accuracy rising of electrical quantities, *Measuring technics*, Moscow: "STANDARTINFORM", 2007, **6**, 59 - 62.
- 10 **Kondrashov, S. I.** The methodology of the test control of metrological characteristics of measuring instruments. *Information processing systems*. Kharkiv: KhAFU named after I. Kozhedub, 2006, **7**, 97 - 98..
- 11 **Shabatura Y.Y.** Measurement technology based on the representation of the values of the measured quantity with time intervals/**Shabatura Y.V.**-Vinnitsa: VNTU, 2010. – 324 p.
- 12 **Guselnikov, V. K., Borisenko, E. A.** Test methods of interval type digital converters accuracy improvement. *Modern trends in the development of instrumentation: abstracts of reports of scientific-technical conference*, (Lugansk, 19–20 nov. of 2012). Lugansk: EUNU named after V. Dal', 2012, 56 - 58.

Відомості про авторів (About authors)

Борисенко Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем м. Харків, Україна; e-mail: 4borisea@gmail.com.

Eugene Borisenko – (Ph. D.), docent of information-measuring technologies and systems dept., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: 4borisea@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Борисенко, Є. А. Застосування тестових методів для підвищення точності системи виявлення витоків хвилями тиску / **Є. А. Борисенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 6-11. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Borisenko, E. The test methods implementation for the accuracy improvement of leak detection systems by waves of pressure. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 6 - 11, ISSN - 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Борисенко, Е. А. Применение тестовых методов для повышения точности системы обнаружения утечек волнами давления / **Е. А. Борисенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 6 - 11. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ В даній статті проведено аналіз методів виявлення утечек на трубопроводах, в том числі магистральних методом волни тиску. Розглянуті основні вимоги, пред'являемі до такої системи, визначені основні джерела похибок. Проведено аналіз застосування відомих методів підвищення точності шляхом компенсації систематичних складових похибок. Розроблено методологію реалізації тестового методу, смодельовано результати його застосування. Проаналізовані результати моделювання і зроблено висновки щодо джерел, що визначають точність системи виявлення утечек з застосуванням методів тестового контролю.

Ключові слова: система виявлення утечек, трубопровід, тестові методи підвищення точності, компенсація похибок, метод волни тиску.

Надійшла (received) 15.12.2015

УДК 664.732

СУШКА ПЛОТНОГО СЛОЯ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ГРЕЧИХИ) ПРИ МИКРОВОЛНОВОМ НАГРЕВЕ

Н. В. ВОЛГУШЕВА

Кафедра теплоэнергетики и трубопроводного транспорта энергоносителей, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, УКРАИНА
email: n-volgusheva@mail.ru

АННОТАЦИЯ Приведены результаты изучения кинетики сушки зернового материала при микроволновом нагреве. Установлены основные закономерности изменения температуры, влагосодержания, определены условия равномерности микроволновой сушки. Для оценки равномерности процесса сушки сравнивались значения влагосодержаний и температур по радиусу и толщине слоя. Получено, что при влагоизоляции нижней поверхности в процессе сушки увлажняется нижний слой, причем его влагосодержание может становиться выше начального. Предложены гипотезы, объясняющие физический механизм поступления влаги в нижний слой.

Ключевые слова: Влагосодержание, Температура, Микроволновой нагрев, Плотный слой, Термодиффузия, Гречиха

DRYING OF DENSE LAYER OF CORN MATERIALS (ON EXAMPLE OF BUCKWHEAT) UNDER MICROWAVE HEATING

N. VOLGUSHEVA

Department of heat and power engineering and fuel pipeline transportation, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The method of microwave drying is of interest as a basis for development new energy saving technologies, as well as the method using which the significant intensification of the process of moisture removal from a material is possible. However, for creation of the industrial equipment it is also necessary to estimate conditions under which drying will be performed in regular intervals by volume. In the article the results of the drying kinetics study have been presented. In the research the changes in the moisture content and the temperature of buckwheat grain by the depth and the radius of the layer in the course of time were studied. It was found that in the course of microwave drying the considerable irregularity both in a radial direction and by depth was possible. Experiments showed, that moisture content of bottom layer increased. Additional studies were undertaken for determination of basic mechanism of receipt of moisture in a bottom layer. When moisture insulation of the bottom surface is done the most intensive moisture reduction occurs in the middle layer. A monotonous increase in the moisture content in the bottom layer which reaches the value higher than the initial one was revealed. Some hypotheses explaining the physical mechanism of the moisture ingress into the bottom layer are proposed. The additional experiments has confirmed the assumption that the water ingress into the bottom layer is caused by the action of gravitational forces and by the effect of thermodiffusion.

Keywords: Moisture content, Temperature, Microwave heating, Dense layer, Thermodiffusion, Buckwheat

Введение

В последнее время наблюдается усиление интереса к микроволновым технологиям сушки [1-8], что связано с потенциальной возможностью значительного сокращения затрат энергии при их применении [9, 10]. Однако для создания промышленного оборудования необходимо проведение ряда исследований, целью которых является определение рациональных условий, при которых будет достигаться высокая скорость сушки в сочетании с оптимальными затратами энергии, а также соблюдаться требования к однородности влагосодержания по объему материала. Следует отметить, что процесс микроволнового нагрева в общем случае характеризуется существенной неравномерностью распределения температуры по объему, с максимумом в центре, а при возникновении потоков массы неравномерность усиливается, что может привести к недопустимой неравномерности

сушки зерна в слое [9, 11]. В связи с этим одной из задач, решение которых формирует микроволновые технологии, является оценка равномерности микроволновой сушки в слое материала и рационализация технологического процесса. Как показал информационный поиск, ранее подобные исследования не проводились, что определило необходимость проведения собственных работ.

Цель работы

Целью работы является оценка равномерности полей температур и влагосодержаний по объему слоя в условиях сушки в микроволновом поле, осуществляемая на основании экспериментальных данных по кинетике сушки зерна гречихи и анализа особенностей изменения основных характеристик сушки во времени, а также построение рабочих гипотез относительно перераспределения влаги по толщине плотного слоя зернового материала.

Изложение основного материала

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, принципиальная схема которой представлена на рис.1. Для равномерного облучения материал помещается на вращающуюся подставку. В рабочую камеру прямоугольного сечения размерами 306x201x322 мм поступала энергия через волновод от магнетрона с частотой генерации 2,45 ГГц и регулируемой мощностью 80 – 800 Вт.

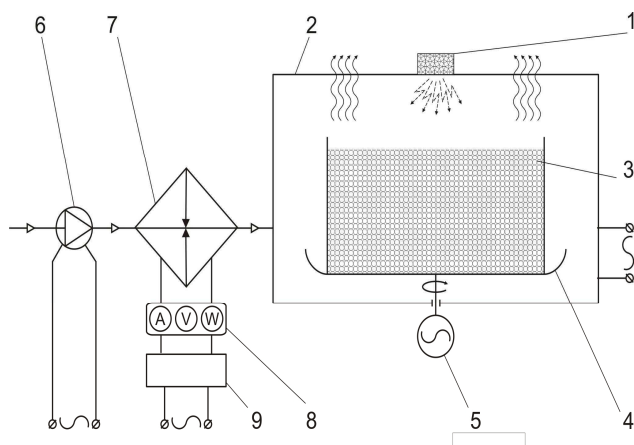


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки для исследования процесса сушки в микроволновом поле.

- 1 – волновод; 2 – рабочая камера;
3 – экспериментальная ячейка; 4 – подставка;
5 – механизм привода; 6 – вентилятор; 7 – нагреватель,
8 – ЛАТР К-50, 9 – источник питания.

Через заданные интервалы времени после включения магнетрона образец извлекался из рабочей камеры и весовым методом определялось количество испарившейся влаги. Шаг интервалов времени варьировался в зависимости от величины подводимой мощности в пределах от 30 с до 300 с. Измерения температуры производились с помощью медь-константановых термопар в комплекте с вольтметром универсальным В7-21, которые помещались в слой зерна непосредственно сразу после выключения магнетрона. Измерения повторялись по 4÷5 раз. Погрешность определения влагосодержания составила $\pm 1,4\%$, средней температуры слоя $\pm 1,2\%$. Приведенные в работе данные были получены на гречихе с начальным влагосодержанием 0,20 кг/кг, начальной температурой – от 19 до 23 °С, насыпной плотностью слоя – 640 кг/м³. Для изучения кинетики послойной сушки была изготовлена экспериментальная ячейка, которая состояла из трех слоев, разделенных радиопрозрачными сетками. Масса каждого слоя составляла 0,1 кг, толщина – 0,009 м, диаметр – 0,135 м, площадь поверхности, открытой для удаления пара – $14,3 \cdot 10^{-3}$ м². В ходе эксперимента определялось изменение влагосодержания и температуры гречихи по высоте

слоя в процессе сушки. Открытой для поглощения МВ энергии и отвода пара была только верхняя поверхность образца, боковая и нижняя поверхности были тепло- и влагоизолированы.

Обсуждение результатов

Кривые кинетики послойной сушки представлены на рис.2, из которых видно, что интенсивнее всего сушка протекала в среднем слое. Влагосъем в верхнем слое был несколько слабее. В то же время микроволновая энергия, падающая на верхний слой, превышает по значению микроволновую энергию, проникающую в нижние слои.

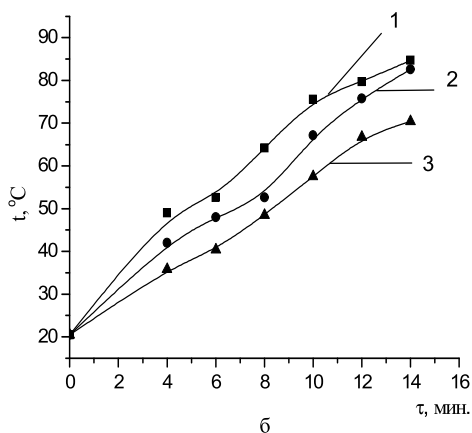
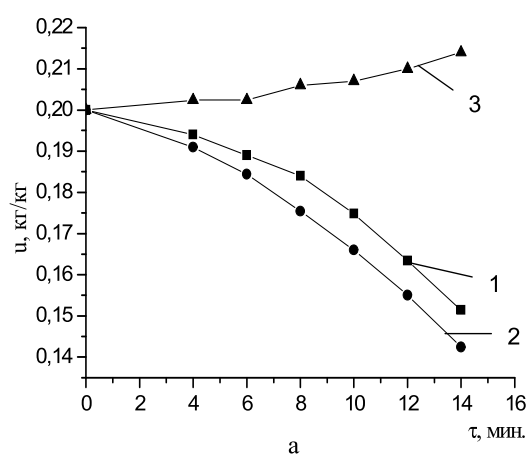


Рис. 2 – Изменение локального влагосодержания (а) и температуры (б) в процессе сушки. Масса слоя $m=0,1$ кг, толщина $l=0,009$ м, $N_{\text{вых}}=160$ Вт.
1 – верхний слой, 2 – средний слой, 3 – нижний слой.

Была обнаружена еще одна особенность: влагосодержание третьего слоя с течением времени повышалось, достигая 0,215 кг/кг (начальное влагосодержание – 0,2 кг/кг). Следовательно, влага из верхних слоев материала проникала вниз,

предположительно, за счет механизма термодиффузии и сил гравитации.

Процесс роста влагосодержания в нижнем слое шел монотонно. Предположительно, вода под действием высокого градиента давления, развиваемого действием микроволнового поля в зерне, выходила к его поверхности в основном в жидком состоянии [12] в течение всего опыта. Обращает на себя внимание следующая особенность – несмотря на растущее влагосодержание в нижнем слое, т.е. увеличение доли полярного диэлектрика («приемника» микроволнового излучения) в этом объеме материала, температура его остается ниже температуры второго и третьего слоев. Это явление может быть связано с ослаблением электромагнитной энергии по глубине.

Эксперименты, проведенные на ячейке, состоящей из четырех слоев, показали, что нижний (четвертый) слой также имеет наименьшую температуру и наибольшее влагосодержание, которое, как и в предыдущем опыте с тремя слоями, увеличивалось во времени. Таким образом, влагосодержание нижнего слоя увеличивается независимо от толщины образца. Подобная неравномерность не наблюдалась при использовании сетчатой ячейки, которая свободно пропускала пар во всех направлениях. В этом случае температуры слоев материала различались не более чем на 4 °С, а влагосодержания – на 0,007 г/кг. Сопоставление данных по кинетике сушки, полученных на ячейке со сплошным и радиопрозрачным сетчатым днищем, подтвердило важность рациональной организации отвода пара. Так, если в первом случае среднее влагосодержание образца уменьшилось с 0,2 кг/кг до 0,17 кг/кг за 14 мин, то во втором – за 7,5 мин.

Неравномерность в распределении влагосодержания по слоям с течением времени усиливается и достигает своего максимального значения в конце опыта при $\tau=12$ мин (рис. 3 а). Неравномерность в распределении температуры по толщине слоя с течением времени не усиливается (рис. 3 б)

При проведении опытов было замечена неравномерность в распределении температуры и влагосодержания (рис. 4) в слое в радиальном направлении.

При увеличении выходной мощности неравномерность температуры и влагосодержания по радиусу сохраняются. Так, при сушке образца массой 0,3 кг и выходной мощности магнетрона 400 Вт температура материала по диаметру ячейки изменялась на 10 °С: в центре температура составляла 87 °С, на расстоянии 3 см от него – 77 °С. Причиной снижения температуры образца на границе слоя является передача теплоты теплопроводностью к экспериментальной ячейке, и от нее конвекцией – в микроволновую камеру, что в свою очередь усиливает неравномерность распределения влагосодержания.

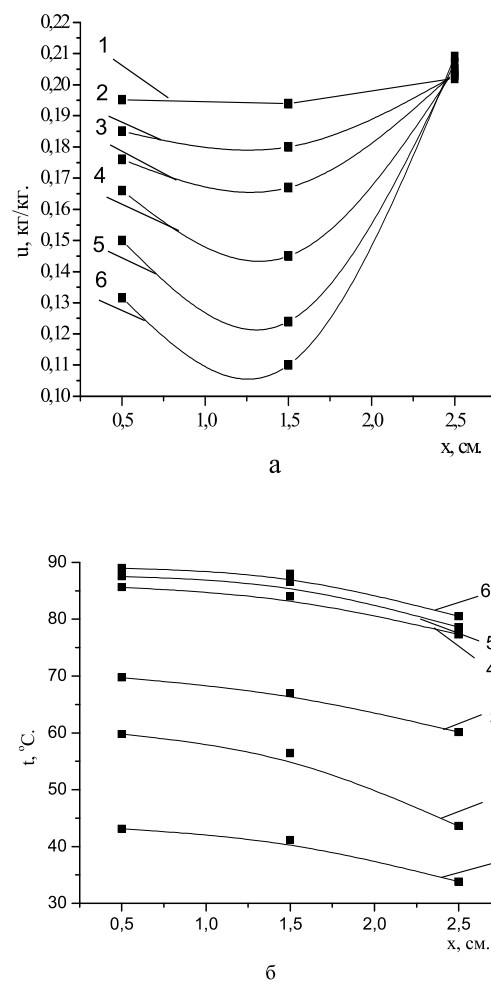


Рис. 3 – Изменение влагосодержания (а) и температуры (б) по толщине слоя. $N_{\text{вых}}=240$ Вт.
1- $\tau=2$ мин; 2- $\tau=4$ мин; 3- $\tau=6$ мин; 4- $\tau=8$ мин;
5- $\tau=10$ мин; 6- $\tau=12$ мин.

Эксперименты по послойной сушке потребовали проведения дополнительных исследований для определения основного механизма поступления влаги в нижний слой. Определяющим механизмом может быть термодиффузия и перемещение влаги в жидком состоянии под действием гравитационных сил.

Для определения действия гравитационных сил был проведен следующий эксперимент. В исследуемый материал добавлялась вода в таком количестве, чтобы она находилась на поверхности зерна в свободном состоянии, что моделирует его состояние при микроволновой сушке. Затем, без выдержки в эксикаторе, зерно делилось на две равные части путем взвешивания, и помещалось в два слоя, разделенных сеткой.

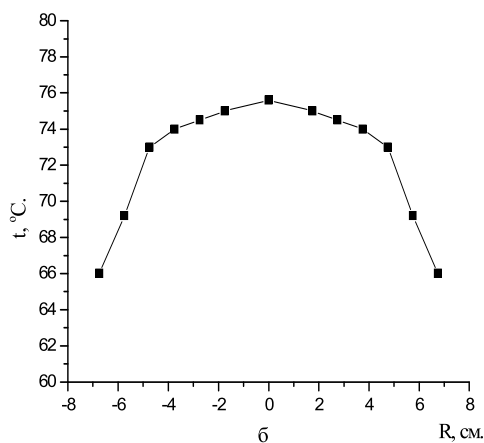
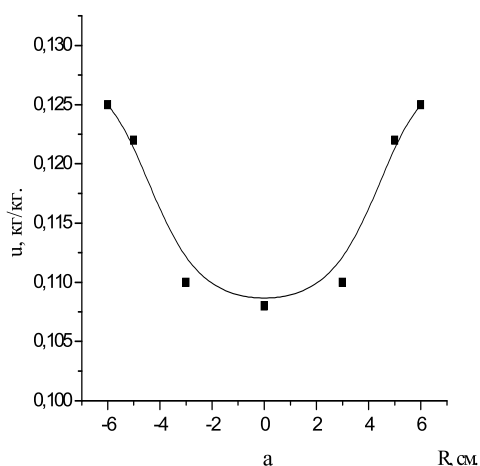


Рис. 4 – Распределение влагосодержания (а) и температуры (б) по радиусу образца. $N_{\text{вых}} = 160 \text{ Вт}$, $\tau = 15 \text{ мин.}$

Через 5 и 15 мин., что соответствовало условиям проведения эксперимента, производилось взвешивание слоев. Влияние гравитационного эффекта совместно с термодиффузией также определялось экспериментально аналогичным образом, однако к верхней поверхности подводилась теплота с помощью косвенного электрообогрева. В обоих случаях верхняя поверхность закрывалась влагонепроницаемой пластиной (что исключало возможность испарения). Результаты приведены в табл. 1.

Через 5 мин. влагосодержание нижнего слоя (в опыте без обогрева) на 1% стало больше верхнего, в опыте с обогревом – на 11 %. При увеличении времени ($\tau=15 \text{ мин.}$) значения влагосодержаний слоев становятся сопоставимыми.

В опыте с обогревом отличие во влагосодержании составляет 7,6 %, с обогревом – 10,7 %. При этом тенденция к усилению поступления

Таблица 1 - Влияние термодиффузии и гравитационного эффекта на увеличение влаги в нижнем слое

	m_n , Г.	$m_{\text{верх}}$, Г.		$m_{\text{ниж}}$, Г.	
		5 мин.	15 мин.	5 мин.	15 мин.
I	130	129,4	124,9	130,6	135,1
II	130	122,25	122,65	137,75	137,35

где m_n – начальная масса слоев, $m_{\text{верх}}$ – конечная масса верхнего слоя, $m_{\text{ниж}}$ – конечная масса нижнего слоя; I – без обогрева, II – с обогревом.

влаги в нижний слой в опыте с обогревом сохраняется. Таким образом, совместное влияние термодиффузии и гравитационных сил на увеличение массы нижнего слоя проявляется намного существеннее, нежели влияние гравитационных сил.

Выводы

При сушке зерна с использованием микроволнового нагрева существенная неравномерность распределения температуры и влагосодержания возникает в условиях, когда выход пара через нижнюю и боковую поверхности затруднен. При закрытой нижней поверхности нее возрастает и принимает значения, выше начального. Механизм поступления воды в нижний слой в процессе микроволновой сушки определяется действием гравитационных сил и эффектом термодиффузии, при этом последняя преобладает.

Список литературы

1. **Mujumbar, A. S.** Some recent developments in drying technologies appropriate for postharvest processing / **A. S. Mujumbar** // *Int.J. Postharvest Technology and Innovation*, 2006. -Vol. 1.- N0. 1.- P. 76-91.
2. **Haghi, A. K.** Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products / **A. K. Haghi, N. Amanifard** // *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2008. – Vol. 25. – No. 3. – P. 491-501.
3. **Regier, M.** Mikrowellen- und Mikrowellen-Vakuumtrocknung von Lebensmitteln / **M. Regier, K. Knörzer, U. Erle** // *Chemie Ingenieur Technik*. – 2004. – Vol. 75. – P. 424-432.
4. **Chandrasekaran, S.** Microwave Material Processing. A Review / **S. Chandrasekaran, S. Ramanathan, T. Basak** // *AIChE Journal*. – 2012. –Vol. 58 [2].– P. 330–363.
5. **Bykov, Yu.V.** High-temperature microwave processing of materials / **Yu.V. Bykov, K.I. Rybakov, V.E. Semenov** // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2001. – Vol. 34. – P. 55-75.
6. **Campanone, L. A.** Mathematical analysis of microwave heating process / **L. A. Campanone, N. E. Zaritzky** // *Journal of Food Engineering*. – 2005.– No. 69. – P. 359- 368.
7. **Васильев, А. Н.** Эффективность применения поля СВЧ для интенсификации сушки зерна активным вентилированием / **А. Н. Васильев, Д. А Будников, Б.**

- Г. Смирнов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2008. – №7. – С. 29-30.
8. Шутовб С. В. Особенности применения микроволнового излучения в технологии сушки древесины / С. В. Шутов, Г. Н. Савенко // *Промышленная теплотехника*. – 2002. – Вып. 24. – №5. – С. 57-58.
 9. Дементьева Т. Ю. Анализ энергетической эффективности микроволновой, конвективной и комбинированной сушки зерна / Т. Ю. Дементьева // *Наукові праці. – Одеса: ОНАХТ*, 2010. – Вип. 38. – Т.1. – С. 139-142.
 10. Календерьян, В. А. Теплоперенос в процессе сушки плотного слоя дисперсного материала при микроволновом подводе энергии / В. А. Календерьян, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // *Наукові праці НУХТ. – Київ: НУХТ*. – 2008. – №25. – Ч.2. – С. 94-95.
 11. Дубовой, Д. А. Влияние различных факторов на процесс сушки семян подсолнечника в сушильной установке с использованием СВЧ нагрева / Д. А. Дубовой // *Хранение и переработка сельхоз сырья*. – 2001. – №6. – С. 10-11.
 12. Калинин, Л. Г. Разработка микроволновых сушилок для зерна / Л. Г. Калинин, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // *Хранение и переработка зерна*. – 2004. – №7. – С. 34-35.
 3. Regier, M., Knörzer, K., Erle, U. Mikrowellen- und Mikrowellen-Vakuumtrocknung von Lebensmitteln. *Chemie Ingenieur Technik*, 2004, **75**, 424-432.
 4. Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. Microwave Material Processing. A Review. *AIChE Journal*, 2012, **58**(2), 330–363.
 5. Bykov, Yu. V., Rybakov, K. I., Semenov, V. E. High-temperature microwave processing of materials *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2001, **34**, 55-75.
 6. Campanone, L. A., Zaritzky, N. E. Mathematical analysis of microwave heating process. *Journal of Food Engineering*, 2005, **69**, 359.
 7. Vasilev, A. N., Budnikov, D. A., Smirnov, B. G. Effektivnost primeneniya polya SVCh dlya intensifikatsii sushki zerna aktivnyim ventilirovaniem. *Hranenie i pererabotka sel'hozsiyrya*, 2008, **7**, 29-30.
 8. Shutov, S. V., Savenko, G. N. Osobennosti primeneniya mikrovolnovogo izlucheniya v tehnologii sushki drevesinyi. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2002, **24**(5), 57-58.
 9. Dementeva, T. Yu. Analiz energeticheskoy effektivnosti mikrovolnovoy, konvektivnoy i kombinirovannoy sushki zerna. *NaukovI pratsI, Odesa: ONAHT*, 2010, **38**(1), 139-142.
 10. Kalenderyan, V. A. Boshkova, I. L., Volgusheva, N. V. Teploperenos v protsesse sushki plotnogo sloya dispersnogo materiala pri mikrovolnovom podvode energii. *NaukovI pratsI NUHT. KiYiv: NUHT*, 2008, **25**(2), 94-95.
 11. Dubovoy, D. A. Vliyanie razlichnyih faktorov na protsess sushki semyan podsolnechnika v sushilnoy ustanovke s ispolzovaniem SVCh nagreva. *Hranenie i pererabotka sel'hoz siyrya*, 2001, **6**, 10-11.
 12. Kalinin, L. G., Boshkova, I. L., Volgusheva, N. V. Razrabotka mikrovolnovyih sushilok dlya zerna. *Hranenie i pererabotka zerna*, 2004, **7**, 34-35.

Bibliography (transliterated)

1. Mujumbar, A. S. Some recent developments in drying technologies appropriate for postharvest processing. *Int.J. Postharvest Technology and Innovation*, 2006, **1**(1), 76-91.
2. Hagi, A. K., Amanifard, N. Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2008, **25**(3), 491-501.

Сведения об авторах (About authors)

Волгушева Наталья Викторовна – кандидат технических наук, Одесская национальная академия пищевых технологий, доцент кафедры теплоэнергетики и трубопроводного транспорта энергоносителей; г. Одесса, Украина; e-mail: n-volgusheva@mail.ru

Волгушева Natalia – Scientific Degree (Ph. D.), Odessa national academy of food technologies, docent of department of heat and power engineering and fuel pipeline transportation, Odessa, Ukraine; e-mail: n-volgusheva@mail.ru

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Волгушева, Н. В. Сушка плотного слоя зерновых материалов (на примере гречихи) при микроволновом нагреве / **Н. В. Волгушева** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 12 - 16. – ISSN 2079-5459

Please cite this article as:

Volgusheva, N. V. Drying of dense layer of corn materials (on example of buckwheat) under microwave heating. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 12 – 16, ISSN - 2079-5459.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Волгушева, Н. В. Сушіння щільного шару зернових матеріалів (на прикладі гречки) при мікрохвильовому нагріванні / **Н. В. Волгушева** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 12 - 16. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Наведено результати вивчення кінетики сушіння зернового матеріалу при мікрохвильовому нагріванні. Установлено основні закономірності зміни температури, вологовмісти, визначені умова рівномірності мікрохвильового сушіння. Для оцінки рівномірності процесу сушіння порівнювались значення вологовмістів і температур по радіусі й товщині шару. Отримано, що при вологоізоляції нижньої поверхні в процесі сушіння зволожується нижній шар, причому його вологовміст може ставати вище початкового. Запропоновано гіпотези, що пояснюють фізичний механізм надходження вологи в нижній шар.

Ключові слова: Вологовміст, Температура, Мікрохвильове нагрівання, Щільний шар, Термодифузія, Гречка

Поступила (received) 11.12.2015

УДК 656.13

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ЩО МАЄ ДВОРІВНЕВУ НЕЛІНІЙНУ СИСТЕМУ ПІДРЕСОРИЮВАННЯ

О. О. ЛАРИН^{1*}, С. А. СОКОЛОВСЬКИЙ², Р. О. КАЙДАЛОВ², В. М. БАШТОВОЙ², О.О. ВОДКА¹

¹ Кафедра динаміки та міцності машин, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», Харків, УКРАЇНА

² Національна академія Національної гвардії України, Харків, УКРАЇНА

*email: AlexeyA.Larin@gmail.com

АНОТАЦІЯ Стаття присвячена вивченню ефективності застосування нелінійного дворівневого підресорювання спеціальних транспортних засобів, яке спрямоване на підвищення плавності їх ходу. Наведені результати теоретичних досліджень, щодо характеристик відповідного транспортного засобу, як нелінійної системи. Побудовано математичну нелінійну дискретну динамічну модель даного транспортного засобу, на основі якої проведено серію досліджень щодо вільних коливань транспортного засобу, як консервативної нелінійної системи. Наведено результати порівняльного аналізу нелінійній компоновках при імпульсному збудженні, що прикладається до коліс даного транспортного засобу.

Ключевые слова: спеціалізовані транспортні засоби, плавність ходу, нелінійне підресорювання, системи із квазінульової жорсткістю, вільні коливання нелінійних консервативних систем

AN INVESTIGATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SPECIALIZED VEHICLE WITH A DOUBLE-LEVELED SYSTEM OF NONLINEAR SUSPENSION

О. О. LARIN^{1*}, S. A. SOKOLOVSKY², R. O. KAIDALOV², V. M. BASHTOVOI², O.O. VODKA¹

¹ Dynamics and strength of machines department, National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute", Kharkiv, UKRAINE

² National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The work deals with the definition of an effective way of the suspension on the specialized vehicles and is aimed on improvement of the smoothness of its movement (riding comfort). A riding comfort is an important operational feature of the modern vehicles that allow to protect the passengers and goods from the influence of the vibrations during the vehicle movement. These are especially important for the transportation of the dangerous goods.

The paper presents the design scheme of specialized vehicles, which has additional level of cushioning, with the nonlinear characteristic, which has a quasi-zero stiffness in the equilibrium position. The mathematical model of the dynamic behavior of the specialized vehicles are developed as a nonlinear discrete conservative system. The results of numeric calculations of the dynamic response of the vehicle on the impact is presented based on the developed model. A vertical vibrations of the luggage platform is analyzed caused by the kinematics impact that applied on the axis of the vehicle. The load is applied on the same time on each axis of the vehicle providing vertical vibrations of vehicle's structural elements. The obtained displacement over the time demonstrates the stationary polyharmonic behavior due to the conservativeness of the model and have been analyzed on its spectral composition.

A comparative analysis of the frequencies and amplitudes of the oscillations have been carried out in the vehicle with linear and nonlinear arrangements. The obtained numeric data shows a significant reduction of the amplitudes of the vibrations and also frequencies of these vibrations that can be achieved using the nonlinear system of suspension with quasi-zero stiffness. A reduction of the amplitudes of the vibrational velocities has also been observed.

Keywords: specialized vehicles, ride smoothness, nonlinear suspension, systems with quasi-zero stiffness, nonlinear free oscillations of conservative systems

Вступ

Плавність ходу є однією з найважливіших вимог, що висуваються до сучасних транспортних засобів (ТЗ), яка, зазвичай, визначається, як сукупність властивостей ТЗ, що забезпечують віброзахист пасажирів та вантажів, які перевозяться [1]. В сучасні практики проектування ТЗ найбільшу уваги приділяють віброзахисту пасажирів. Чотири способи для об'єктивної оцінки комфорту їзди

(реакцію людини на вібрацію) використовуються сьогодні в усьому Світі. Стандарт ISO 2631 [2], в основному, використовується в Європі; BS 6841 [3] – у Великобританії. Німеччина та Австрія використовують VDI 2057 [4], а ААР [5,6] використовується в США і НАТО (NATO Reference Mobility Model (NRMM)). В усіх даних стандартах регламентуються допустимі рівні віброприскорень на окремих частотах вібрацій, що діють на людину під час її поїздки. Аналіз наведених вимог показує, що

відповідно до усіх стандартів поліпшення плавності ходу ТЗ фактично може бути досягнуто зменшенням частот вібрацій, що супроводжують рух ТЗ та амплітуд їх віброприскорень.

Окремо слід підкреслити, що вібрації, які виникають під час руху по нерівностях дороги здатні дуже небезпечно впливати також і на вантажі, що перевозяться. Тут на особливу увагу заслуговують питання перевезення небезпечних вантажів. Практично будь-яка продукція сучасної промисловості, що випускається із використанням або виділенням тих чи інших небезпечних інгредієнтів, які несуть певну загрозу життю людей та безпеці навколишнього середовища при необхідності транспортування може бути визначена як небезпечний вантаж. Вплив вібрацій на вантажі відповідної категорії може призводити до аварійно небезпечних ситуацій [7 – 10]. Окреме місце у перевезенні вантажів належить проблемі транспортування від місця знаходження до пункту утилізації різних боєприпасів, мін та інших вибухонебезпечних предметів [11], що є особливо актуальним для сучасної України.

Слід відзначити, що поліпшення плавності ходу дозволяє знизити вібрації, які діють на вантаж під час його транспортування.

В сучасних наукових працях багато уваги приділяється створенню нових систем підресорювання із нелінійними характеристиками жорсткості або демпфірування [12 – 16]. Серед різних ідей, стосовно забезпечення високої плавності ходу ТЗ із нелінійною підвіскою на окрему увагу заслуговують системи, які реалізують віброізоляцію вантажів, що може бути досягнуто суттєвим зменшенням динамічних реакцій у підвісці ТЗ. Зменшити динамічну реакцію в коливальній системі можливо шляхом зменшення жорсткості пружинних елементів в цій системі [17]. Досягнути суттєвого зменшення жорсткості підвіски із збереженням її несучої спроможності та компактних розмірів може бути досягнуто з використанням пружинних блоків, з нелінійною характеристикою. Найбільшу практичну цінність тут мають системи із квазінульовою жорсткістю.

В даній роботі представлено результати теоретичного моделювання динамічних характеристик спеціалізованого транспортного засобу з такою дворівневою системою підресорювання, як консервативної нелінійної системи.

Побудова моделі ТЗ із нелінійним дворівневим підресорюванням

В роботі пропонується розглянути ТЗ, який на відміну від традиційних конструкцій має додаткову систему підресорювання, що забезпечує квазінульову жорсткість підвішування вантажів.

Розглядається двовісний колісний ТЗ, який умовно складається з несучої рами (кузова) та

ватажної платформи на якій розташовується вантаж для перевезень (рис. 1).

Рама (кузов) ТЗ забезпечена традиційним лінійним підресорюванням, в той час як вантажна платформа має додаткову ступінь підресорювання, яка монтується до рами за допомогою пружинного блоку. Даний блок пропонується виконати у формі ферми Мізеса (рис. 2), що має нелінійну характеристику із областю, яка реалізує стан квазінульової жорсткості.

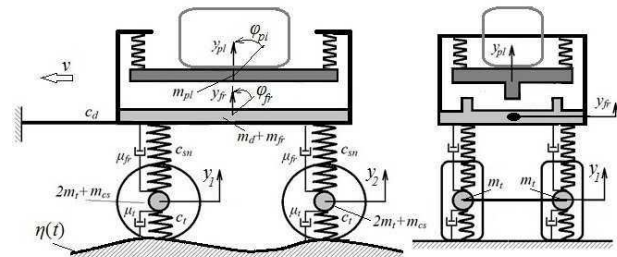


Рис. 1 – Дискретна модель ТЗ із дворівневою системою підресорювання

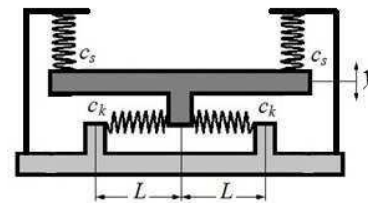


Рис. 2 – Конструктивна реалізація другого рівня підресорювання, що виконана у формі ферми Мізеса

Нелінійна характеристика даної системи сформована геометричними співвідношеннями між деформацією горизонтальних пружин та вертикальними переміщеннями. Причому горизонтальні пружини повинні бути попередньо у стисненому стані. Якщо ввести позначення L – довжина пружини у горизонтальному стисненому положенні, Δ – величина попереднього стиснення, c_s – жорсткість пружин вертикальних, c_k – жорсткість пружин горизонтальних, y – вертикальне переміщення платформи із вантажем, то нелінійна приведена пружна сила, що виникатиме в пружинному блоці матиме вигляд:

$$F_{nl}(y) = c_k \cdot y + c_s \cdot y \cdot \left[1 - \frac{L + \Delta}{\sqrt{L^2 + y^2}} \right] \quad (1)$$

На рис. 3 наведено графік залежності нелінійної пружної сили F_{nl} від вертикальних переміщень платформи.

Для наочності на графіку побудована лінійна пружна сила, що утворюється при демонтажі горизонтальних пружин коректорів жорсткості. Наведена залежність нелінійної пружної сили вказує на наявність області із квазінульовою жорсткістю: це інтервал переміщень $\pm 0,05$ м. Крім того в межах переміщень $\pm 0,3$ м горизонтальні коректори забезпечують меншу пружну силу ніж лінійна

компоновка без коректорів жорсткості. Окремо слід зазначити, що із збільшенням можливих переміщень жорсткість даної системи різко зростає, що призведе до протилежного відносно віброізоляції ефекту.

Слід також відмітити, що нелінійна характеристика матиме область із квазінульовою жорсткістю лише у випадку, якщо жорсткості пружин та їх попереднє стискання будуть у раціональному співвідношенні:

$$c_s L = c_k \Delta. \quad (2)$$

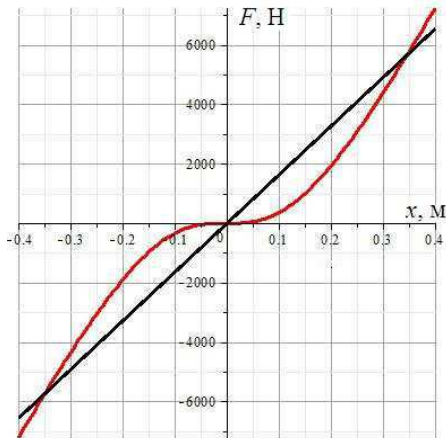


Рис. 3 – Нелінійна характеристика пружної сили у фермі Мізеса

Характеристики спеціалізованого ТЗ, що має дворівневу систему підресорювання, можна знайти з аналізу консервативної дискретної нелінійної системи, схема якої наведена на рис. 1. Диференційні рівняння, що представляють дану модель представлено системою (3).

В системі рівнянь використано позначення, які представлені на схемі на рис. 1, а також додатково введено позначення L_0 для загальної довжини ТЗ, $m_1=2m_r+m_{cs}$ – для маси передньої колісної вісі, яка складається з маси двох коліс та осі, аналогічно для маси задньої колісної вісі $m_2=m_1$, $m_3=m_{fr}+m_d$ позначимо для сумарної маси рами та розмішеного на ній обладнання (без врахування вантажної платформи і вантажу), які розглядаються в даній роботі окремо: $m_4=m_{pl}+m_l$. Також моменти інерції для рами і для вантажної платформи з вантажем позначено I_1 та I_2 .

Представлена система диференційних рівнянь розраховувалась чисельним методом Рунге-Кути 4 порядку. При цьому завдавалось одночасне кінематичне навантаження на обидві колісні осі, що відповідають одночасному переїзду на швидкості 5 км/год колесами ТЗ одиночної нерівності, яка має форму пів-сіноса з висотою та шириною 5 см. Таке навантаження є суттєвою ідеалізацією та не відповідає дійсності проте дозволяє проаналізувати породжуючи динамічні характеристики.

На рис. 4 наведено результати розрахунку моделі, як залежності в часі.

На рис. 5 спектр цього рішення, який обуб отриманий швидким перетворенням Фур'є.

$$\begin{cases} m_1 y_1 + (c_w + c_{sn1}) y_1 - c_{sn1} y_{fr} + \frac{L_0}{2} c_{sn1} \varphi_1 = c_r \eta_1(t) \\ m_2 y_2 + (c_w + c_{sn2}) y_2 - c_{sn2} y_{fr} - \frac{L_0}{2} c_{sn2} \varphi_1 = c_r \eta_2(t) \\ m_3 y_{fr} - c_{sn1} y_1 - c_{sn2} y_2 + (c_{sn1} + c_{sn2}) y_{fr} + \frac{L_0}{2} (c_{sn2} - c_{sn1}) \varphi_1 - F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_1 - \varphi_2) \right) - F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_2 - \varphi_1) \right) = 0 \\ 2 \frac{I_1}{L_0} \varphi_1 + c_{sn1} y_1 - c_{sn2} y_2 + (c_{sn2} - c_{sn1}) y_{fr} + \frac{L_0}{2} (c_{sn1} + c_{sn2}) \varphi_1 + F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_1 - \varphi_2) \right) - F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_2 - \varphi_1) \right) = 0 \\ m_4 y_{pl} + F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_1 - \varphi_2) \right) + F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_2 - \varphi_1) \right) = 0 \\ 2 \frac{I_2}{L_0} \varphi_2 - F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_1 - \varphi_2) \right) + F_{NL} \left(y = x_{pl} - x_{fr} + \frac{L_0}{2} (\varphi_2 - \varphi_1) \right) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

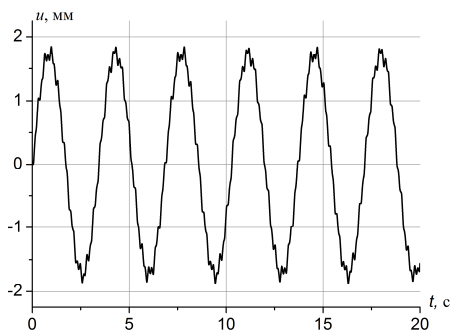


Рис. 4 – Коливання вантажної платформи, що виникають при імпульсному збуренні (отримані чисельно для консервативної нелінійної моделі)

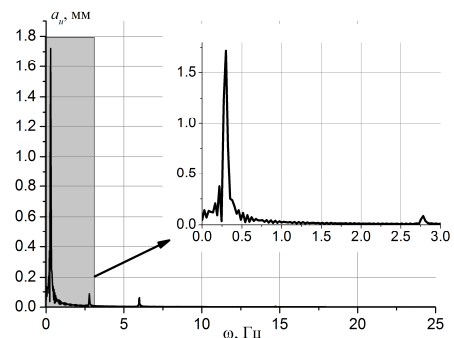


Рис. 5 – Спектр вертикальних коливань вантажної платформи, що виникають при імпульсному збуренні (отримані для консервативної нелінійної моделі)

Аналіз спектру показує, що в нелінійній системі внаслідок одночасного імпульсного збурення, яке прикладалось кінематично до коліс ТЗ виникає майже гармонічний відгук в центрі вантажної платформи разом із вантажем. Основна гармоніка складає 0.5 Гц, а також можна спостерігати дві супроводжуючої гармоніки 2.8 Гц та друга 6 Гц амплітуди яких на порядок менші.

В роботі проводились відносні порівняльні дослідження окремо для лінійної (без ферми Мізеса) та нелінійної моделей.

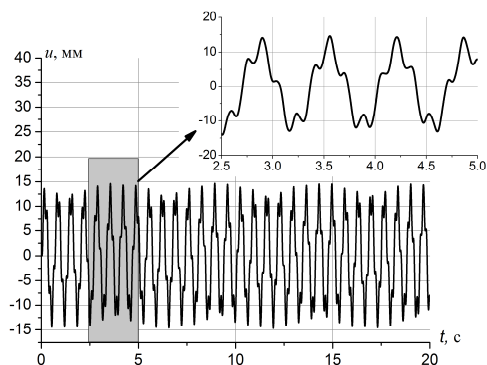


Рис. 6 – Коливання вантажної платформи, що виникають при імпульсному збуренні (отримані чисельно для консервативної лінійної моделі)

Аналіз спектру (рис. 7) показує, що в лінійній системі внаслідок одночасного імпульсного збурення, яке прикладалось кінематично до коліс ТЗ відбуваються виражені бігармонічні коливання центру вантажної платформи разом із вантажем. Перша гармоніка складає 1.5 Гц, а друга 6 Гц.

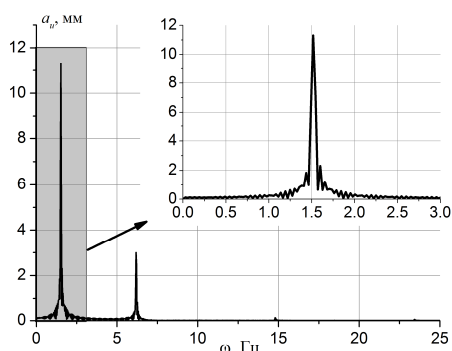


Рис. 7 – Спектр вертикальних коливань вантажної платформи, що виникають при імпульсному збуренні (отримані для консервативної лінійної моделі)

Порівняльний аналіз отриманих результатів для лінійної та нелінійної систем показує, що відгук на вантаженій платформі на кінематичне збудження, що прикладається на колесах ТЗ в нелінійній системі менше ніж в лінійній у понад 7 разів.

Крім цього зазначена нелінійна система підресорювання покращує плавність перевезення вантажу, оскільки основна частота його коливань також знижується в 3 рази з 1.5 Гц до 0.5 Гц.

Отримані розв'язки методом Рунге-куті дозволили також отримати швидкості вертикальних коливань вантажу (платформи з вантажем). На рис. 8 представлено відповідні часові залежності, що отримані для нелінійної та лінійної систем.

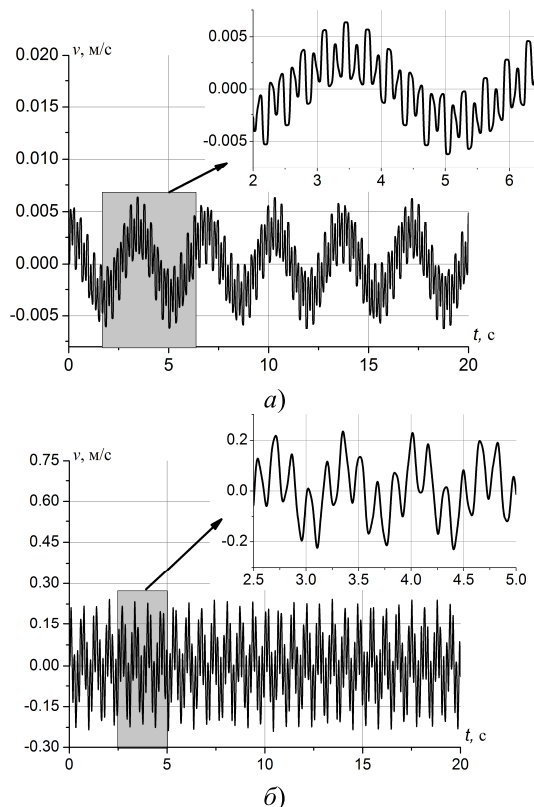


Рис. 8 – Швидкість коливання вантажної платформи, що виникають при імпульсному збуренні (отримані для консервативної лінійної (а) та нелінійної (б) моделей)

Порівняння цих результатів, показує, що амплітуди швидкості коливань в нелінійній моделі в 35 разів менші в порівнянні до коливань лінійної системи.

Висновки

В статті представлено результати порівняльного аналізу теоретичних розрахунків вертикальних коливань вантажної платформи спеціалізованого транспортного засобу при імпульсному кінематичному збуренні, яке прикладається одночасно на дві колісні осі з однаковою амплітудою.

Встановлено, що нелінійне підресорювання забезпечує у понад 7 разів менші амплітуди вертикальних коливань у порівнянні з дворівневим лінійним, а також забезпечує зменшення частоти основної гармоніки коливань у 3 рази від 1,5 Гц до 0,5 Гц.

Таким чином, нелінійне підресорювання забезпечує кращі характеристики плавності ходу

спеціалізованого транспортного засобу як в амплітудному, так і в частотному вимірі.

Список літератури

- 1 **Волков В. П.** Теорія руху автомобіля: Підручник / **В. П. Волков, Г. Б. Вільський** – Суми: Університетська книга. – 2010. – 320 с.
- 2 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, ISO 2631-1, 2nd ed. The International Organisation for Standardisation, 15 July; 1997. P.S. Els / Journal of Terramechanics 42 (2005) 47–64 63
- 3 British Standard Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole body mechanical vibration and repeated shock, BS 6841. British Standards Institution. – 1987.
- 4 **Hohl G.H.** Ride comfort of off-road vehicles / **G.H. Hohl** // *Proc. of the 8th international conference of the ISTVS*, Cambridge, England. – August 5-11. – 1984, vol. I of III.
- 5 **Pradko F.** Vibration comfort criteria / **F. Pradko, R.A. Lee** // *Society of Automotive Engineers (SAE)*. – *Technical Paper 660139*, Warrendale. – 1966.
- 6 Human exposure to mechanical vibrations whole-body vibration, Verein Deutcher Ingenieure. – VDI 2057. – September 2002.
- 7 ST/SGAC.10/1/Rev.17: Recommendations on the transportation of the dangerous goods United Nations (2011), New York and Geneva // режим доступу: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/English/Rev17_Volume1.pdf
- 8 European Commission. (2006). European road safety action pro-gramme mid-term review. Brussels: European Commission // [Web]: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/postimpact/references/index_en.htm
- 9 **Nijol Batarlien** Accident probability risk factors of hazardous freight transportation / **Nijol Batarlien** // *Proc. of the 12th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (Rel-Stat'12)*. Riga, Latvia. – 17-20 October 2012. – P. 122-127
- 10 **C.H. Skorna** Risk and loss prevention within the transport chain / **Alexander C.H. Skorna, Christoph Bode, Markus Weiss** // *Proc. of 20th International Conference on Management of Technology Risk and loss prevention within the transport chain*. – Florida, 10-14 April 2011. – P. 16.
- 11 **Соколовский С.А.** Проблема транспортировки опасных грузов / **Калиновский А.Я., Соколовский С.А.** // *Об'єднання теорії та практики – залог підвищення постійної готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням. Матеріали VIII науково-технічної конференції*. – Харків: НУЦЗУ. – 2011. – С. 52 – 53
- 12 **Elmadany, M. M.** On a subclass of nonlinear passive and semi-active damping for vibration isolation / **M. M. Elmadany and A. El-Tamimi** // *Computers & Structures*. – 1990. –Vol. 36. No. 5. – pp. 921-931
- 13 **Chavan, S. P.** Experimental Verification of Passive Quarter Car Vehicle Dynamic System Subjected to Harmonic Road Excitation with Nonlinear Parameters / **S. P. Chavan, S. H. Sawant, J. A. Tamboli** // *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, February, 2013. – PP: 39-45
- 14 **M. Daniel da Silva** Modeling of a vehicle suspension with non linear elements and performance comparison to a semi-active model / **Motta Daniel da Silva, Zampieri Douglas**

- Eduardo** // *Proc. of COBEM 2005 18th International Congress of Mechanical engineering*, November 6-11, 2005, Ouro Pre-to, MG
- 15 **Younesian, D.** Numerical and Experimental Analysis of NonlinearPar-abolic Springs Employed in Suspension System of freight cars / **D. Younesian, M. S. Fallahzadeh** // *International Journal of Automotive Engineering*. – Vol. 4, Number 3, Sept 201. – Pp. 812-826
- 16 **Verros, G.** Design Optimization of Quarter-car Models with Passive and Semi-active Suspensions under Random Road Excitation / **G. Verros, S. Natsiavas, C. Papadimitriou** // *Journal of Vibration and Control*, V.11, 2005.- Pp. 581–606
- 17 **Алабужев, П. М.** Виброзащитные системы с квазиулево́й жесткостью. / **К. М. Рагульскис, П. М. Алабужев, А. А. Гритчин, Л. И. Ким** и др. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние. – 1986. – 96 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Volkov, V. P., Volkov, V. P., Vilskiy, G. B.** Theory of car movement: textbook, Sumy. Universitetska knyga, 2010, 320 p.
- 2 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, ISO 2631-1, 2nd ed. The International Organisation for Standardisation, 15 July; 1997. P.S. Els / Journal of Terramechanics 42, 2005, 47-64 63
- 3 British Standard Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole body mechanical vibration and repeated shock, BS 6841. British Standards Institution; 1987.
- 4 **Hohl, G. H.** Ride comfort of off-road vehicles, *Proc. of the 8th international conference of the ISTVS*, vol. I of III, Cambridge, England, August 5-11; 1984.
- 5 **Pradko, F., Lee, R. A.** Vibration comfort criteria, *Society of Automotive Engineers (SAE). Technical Paper 660139*, Warrendale, 1966.
- 6 Human exposure to mechanical vibrations whole-body vibration, Verein Deutcher Ingenieure, VDI 2057; September 2002.
- 7 ST/SGAC.10/1/Rev.17: Recommendations on the transportation of the dangerous goods United Nations (2011), New York and Geneva // режим доступу: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/English/Rev17_Volume1.pdf
- 8 European Commission. (2006). European road safety action pro-gramme mid-term review. Brussels: European Commission // режим доступу: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/postimpact/references/index_en.htm
- 9 **Nijol Batarlien** Accident probability risk factors of hazardous freight transportation, *Proc. of the 12th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication" (Rel-Stat'12)*, Riga, Latvia, 17–20 October 2012, 122-127
- 10 **Skorna, C. H., Christoph Bode, Markus Weiss** Risk and loss prevention within the transport chain. *Proc. of 20th International Conference on Management of Technology Risk and loss prevention within the transport chain*, Florida, 10-14 April 2011, 16.
- 11 **Sokolovskiy, S. A., Kalinovskiy, A. Ya.** Problema transportirovki opasnykh грузов, *Ob'ednannya teorii ta praktiki – zalog pidvishchennya postyinoi gotovnosti operativno-ryatuvаль'nykh pidrozdiliv do vikonannya diy za*

- priznachennyam*. Materiali VIII naukovo-tehnicnoi konferentsii. Kharkiv: NUTsZU, 2011, 52 - 53
- 12 **Elmadany, M. M., El-Tamimi, A.** On a subclass of nonlinear passive and semi-active damping for vibration isolation. *Computers & Structures*, 1990, **36**(5), 921-931
 - 13 **Chavan, S. P., Sawant, S. H., Tamboli, J. A.** Experimental Verification of Passive Quarter Car Vehicle Dynamic System Subjected to Harmonic Road Excitation with Nonlinear Parameters. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, February, 2013, 39-45
 - 14 **M. Daniel da Silva, Zampieri Douglas Eduardo** Modeling of a vehicle suspension with non linear elements and performance comparison to a semi-active model, *Proc. of COBEM 2005 18th International Congress of Mechanical engineering*, , Ouro Pre-to, MG, November 6-11, 2005
 - 15 **Younesian, D., Fallahzadeh, M. S.** Numerical and Experimental Analysis of NonlinearParabolic Springs Employed in Suspension System of freight cars. *International Journal of Automotive Engineering*. Sept 2014, **4**(3), 812-826
 - 16 **Verros, G., Natsiavas, S., Papadimitriou, C.** Design Optimization of Quarter-car Models with Passive and Semi-active Suspensions under Random Road Excitation, *Journal of Vibration and Control*, 2005, **11**, 581-606
 - 17 **Alabugev, P.M., Ragul'skis, K.M., Gritchyn, A.A., Kim, L.I.** Vibro-protection systems with a quasy-zero stiffness. Leningrad: Mashinostroenie, 1986, 96.

Відомості об авторах (About authors)

Ларін Олексій Олександрович – доц., к.т.н. доцент. кафедри динаміки та міцності машин, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Oleksiy Larin, Docent, Associate Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

Соколовський Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, проректор, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, Україна;

Sergii Sokolovsky – Ph.D, vice-Rector, National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Кайдалов Руслан Олегович – доц., к.т.н., докторант, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, Україна;

Ruslan Kaidalov – Ph.D, postdoctoral, National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Баштовий Володимир Михайлович – Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, Україна;

Volodymyr Bashtovyi – National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Водка Олексій Олександрович – доц., к.т.н., доцент. кафедри динаміки та міцності машин, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Oleksii Vodka – Docent, Associate Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ларін О. О. Дослідження динамічних характеристик спеціалізованого транспортного засобу, що має дворівневу нелінійну систему піддресорювання / О. О. Ларін, С. А. Соколовський, Р. О. Кайдалов, В. М. Баштової, О.О. Водка // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 17-22. – ISSN 2079-5459

Please cite this article as:

Larin O., Sokolovsky S., Kaidalov R., Bashtovyi V., Vodka O. An investigation of the dynamic characteristics of a specialized vehicle with a double-leveled system of nonlinear suspension. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 17-22. – ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ларин А. А. Исследование динамических характеристик специализированного транспортного средства с двухуровневой нелинейной системой поддресоривания / А. А. Ларин, С. А. Соколовский, Р. О. Кайдалов, В. М. Баштової, А.А. Водка // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 17-22. – ISSN 2079-5459

АННОТАЦІЯ Стаття посвячена изучению эффективности применения нелинейного двухуровневого поддресоривания специальных транспортных средств, которое направлено на повышение плавности их хода. Приведены результаты теоретических исследований характеристик соответствующего транспортного средства, как нелинейной системы. Построена математическая нелинейная дискретная динамическая модель данного транспортного средства, на основе которой проведена серия исследований свободных колебаний транспортного средства, как консервативной нелинейной системы. Приведены результаты сравнительного анализа по частотам и амплитудам колебаний которые устанавливаются в транспортном средстве в линейной и предложенной двухуровневой нелинейной компоновках при импульсном возбуждении, которое прикладывается к колесам данного транспортного средства.

Ключевые слова: специализированные транспортные средства, плавность хода, нелинейное поддресоривание, системы с квазиулевым жесткостью, свободные колебания нелинейных консервативных систем

Поступила (received) 12.12.2015

УДК 614.846.63

ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДСНС ПРИ ВИКОНАННІ НИМИ ОПЕРАТИВНИХ ЗАДАЧ

О. М. ЛАРИН, С. В. ВАСИЛЬЄВ*, В. І ЦІОЛКОВСЬКИЙ

Кафедра ІтаАРТ, НУЦЗУ, м. Харків, Україна
*email: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

АНОТАЦІЯ Обґрунтована можливість скорочення витрати палива за рахунок утилізації теплової енергії вихлопних газів пожежних автомобілів, за допомогою термоелектричних модулів, при подачі вогнегасних засобів для цілей пожежогашіння, під час обслуговування переважної кількості викликів. Теплова енергія вихлопних газів пожежного автомобіля, може бути використана для приведення в дію спеціального обладнання, що дозволить значно зменшити витрату палива.

Ключові слова: пожежний автомобіль, витрати палива, термоелектричний модуль, елемент Пельтьє, вихлопні гази, тепла енергія.

FUEL COSTS DOWN SPECIAL EQUIPMENT CIVIL SERVICE OF EMERGENCIES IN THE PERFORMANCE OF SURGICAL PROBLEMS

O. M. LARIN, S. V. KALYNOVSKY, V. I. TSIOLKOVSKIY

Department EandRE, NUCPU, Kharkiv, Ukraine

ABSTRACT The possibility to cut the petrol spendings has been substantiated by utilizing heat energy of exhaust gases emitted by fire trucks with the help of using thermoelectric modules for fire fighting equipment to put out the fire while servicing most of the calls. In the case of permanent water supply to some factors excluded (air resistance, overcoming slopes, losses in the suspension, rolling resistance), reduced transmission losses, there are costs for pump operation and increases cooling costs. The excess energy out of the exhaust gases of increasing its kinetic and potential energy. The thermal energy of exhaust gas that is about 50% of the energy of the exhaust gas corresponding to about 50kVt. Taking into account specific features of a fire truck and after analyzing its fuel and power balance we have calculated the excessive energy which is emitted into the air together with exhaust gases. Having analyzed thermoelectric modules displayed at the market, we calculated potential energy, which can be used for the work of electric search and rescue devices, lighting the workplace or in case of using mixed transmission pump this energy can be added to fire hose drive increasing fire fighting substances supply and therefore petrol spendings. The results of calculations may provide the work of another device to put out that fire extinguishing agents to increase feed by 50%. Or provide for extinguishing 22.5m. above without increasing fuel consumption. First substantiated quantity and quality supply of fire extinguishing appliances using hybrid drive pump. Entered further development of the study, the use of thermoelectric modules in a special fire technique to obtain electricity.

Keywords fire truck, fuel consumption, thermoelectric module, element Pyeltye, exhaust gases, thermal energy.

Вступ

Специфікою роботи оперативної техніки ДСНС є короткий проміжок часу слідування до місця події та великий проміжок часу стаціонарної роботи із спеціальним обладнанням (насосом) [1, 2, 3]. Встановлено, що основна частина витрат палива двигунами техніки ДСНС припадає на роботу з насосом. Цей агрегат може споживати достатньо велику потужність і тому його привід, зазвичай, здійснюється від двигуна базового шасі. Однак, у більшості випадків насос споживає значно меншу потужність, ніж у номінальному режимі роботи, тобто двигун працює не в оптимальному режимі, а паливо використовується не ефективно. Сучасні тенденції розвитку техніки спрямовані на зменшення витрат енергоносіїв для виконання тих чи інших операцій. Тому існує проблема підвищення загального

коефіцієнту корисної дії системи двигун-насос при подачі вогнегасних засобів в цілях пожежогашіння, вирішення якої дозволить зменшити витрати палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для вирішення зазначеної проблеми можливо застосовувати різноманітні методи по зменшенню витрат палива. Сюди відносять: застосування окремого двигуна потрібної потужності, застосування інших типів двигунів, використання інших конструктивно-нових двигунів, встановлення газобалонних установок [4]. Всі ці методи можливо застосувати теоретично. Враховуючи ті обставини, що парк техніки ДСНС не мінявся довгі роки, тобто 80% автомобілів радянського виробництва, то заміна їх двигунів не можлива з економічних причин, а

пропонує поетапна заміна вузлів і агрегатів є найбільш вигідною.

Враховуючи специфіку роботи аварійно-рятувального автомобіля та взявши до уваги те, що енергію від вихлопних газів двигуна внутрішнього згоряння можливо використати для живлення електродвигуна, гібридний привід пожежного насосу є найбільш вдалим методом для економії палива.

Таким чином, зменшення витрати палива а також зменшення викиду шкідливих речовин в атмосферу за рахунок утилізації вихлопних газів пожежних автомобілів є єдиним доцільним методом, котрий можливо запропонувати для реалізації підрозділами ДСНС в сьогоdnішніх умовах.

Мета роботи

Метою роботи є утилізації теплової енергії вихлопних газів основних пожежних автомобілів ДСНС при виконанні ними оперативного завдання по подачі вогнегасних засобів для цілей пожежогасіння під час обслуговування переважної кількості викликів.

Виклад основного матеріалу

Згідно статистики напрацювань [5], підрозділами ДСНС більшість пожеж ліквідується застосуванням одного або двох стволів «Б» (розхід 3,7 л/с) на протязі часу гасіння до 25 хв.

Розрахуємо потужність, яку реалізує пожежний насос при обслуговуванні цих викликів (по формулі Лейдермана):

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (1)$$

де η - к.к.д. насоса; ρ - густина рідини, кг/м^3 ; Q - подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H - висота підйому рідини(напір), м.

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 7,4 \cdot 50}{1000 \cdot 0,62} = 5854 \text{ Вт}$$

Використовуючи відоме співвідношення між обертами та потужністю відцентрового насосу

$$\frac{N_{\text{ПН}}}{N_{\text{ПН,ном}}} = \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}}\right)^3 \quad (2)$$

де $N_{\text{ПН,ном}}$ - номінальна потужність пожежного насосу, $n_{\text{ном}}$ - номінальні оберти пожежного насосу, $N_{\text{ПН}}$ - потужність при обертах n , n - оберти пожежного насосу.

Розрахуємо оберти валу насосу, необхідні для забезпечення заданої потужності.

$$n = 2700 \cdot \sqrt[3]{\frac{5854}{56000}} = 1272 \text{ об/хв.}$$

Виходячи з цього розрахуємо оберти двигуна пожежного автомобіля для забезпечення заданої потужності насосу за формулою:

$$n_{\text{ДВ}} = n \cdot i_{\text{КВП}}, \text{ об/хв.} \quad (3)$$

$$n_{\text{ДВ}} = 1272 \cdot 1,176 = 1496 \text{ об/хв.}$$

Визначимо витрату пального при роботі двигуна ЗІЛ-130 на цих обертах при сталому режимі [6].

$$Q = \frac{60 \cdot W \cdot V_{\text{ДВ}} \cdot n}{K_{\text{ДВС}}}, \text{ г/год} \quad (4)$$

де W - питома втрата палива, $\text{г/об}^* \cdot \text{л}$; $V_{\text{ДВ}}$ - об'єм двигуна, л; n - оберти, об/хв.; $K_{\text{ДВС}}$ - коефіцієнт, що визначає тип двигуна, 4-х тактний.

$$Q = \frac{60 \cdot 0,088 \cdot 6 \cdot 1496}{2} = 23696,64 \text{ г/год}$$

Теплова потужність, що буде виділена при згорянні пального, розраховується за формулою (5)

$$Q_{\text{ЗП}} = \frac{c_{\text{п}} \cdot Q \cdot \eta}{3,6}, \text{ кВт} \quad (5)$$

де: $c_{\text{п}}$ - теплота згоряння пального (42МДж/кг), Q - витрата пального, η - повнота згоряння пального (0,8)

$$Q_{\text{ЗП}} = \frac{42 \cdot 23,7 \cdot 0,8}{3,6} = 221,2 \text{ кВт}$$

Паливо-енергетичний баланс пожежного автомобіля розподіляється наступним чином [7]: охолодження ДВЗ -34%, подолання опору повітря - 2,1%, подолання ухилів - 6,6%, втрати в підвісці - 10,8%, втрати в трансмісії - 3,1%, механічні і насосні втрати ДВЗ - 10%, випуск відпрацьованих газів -23%, привід додаткового обладнання -8%, подолання опору кочення - 2,4%.

У випадку стаціонарної роботи по подачі води ряд факторів виключається (опір повітря, подолання ухилів, втрати в підвісці, подолання опору кочення), втрати в трансмісії зменшуються, з'являються втрати на роботу насосу та збільшуються втрати на охолодження. Надлишок енергії (сумарно 45%) виходить з вихлопними газами, пропорційно збільшуючи його кінетичну і потенціальну (теплову) енергію, що для нашого випадку складає:

$$Q_{\text{ВГ}} = 0,45 \cdot Q_{\text{ЗП}}, \text{ кВт} \quad (6)$$

$$Q_{\text{ВГ}} = 0,45 \cdot 221,2 = 99,54 \text{ кВт}$$

Нас цікавить саме теплова енергія вихлопних газів, яка складає близько 50% всієї енергії вихлопних газів, що відповідно складає 50 кВт.

Пропонується проводити утилізацію цієї теплової енергії, яка до цього викидалась в атмосферу та направити її на привід насосного обладнання автомобіля, що розглядається. Для утилізації цієї енергії можливо використати термоелектричний перетворювач (Рис. 1), котрий працює за рахунок використання ефекту Зієбеку – електрогенеруючі модулі Пельтьє. Вони представляють з себе напівпровідниковий виріб, при пропусканні теплового потоку крізь який створюється ЕРС на його вивідних клеммах. ЕРС пропорційна тепловому потоку та площі (кількості термоелектричних пар), а також якісному складу елементів приладу [8, 9, 10].

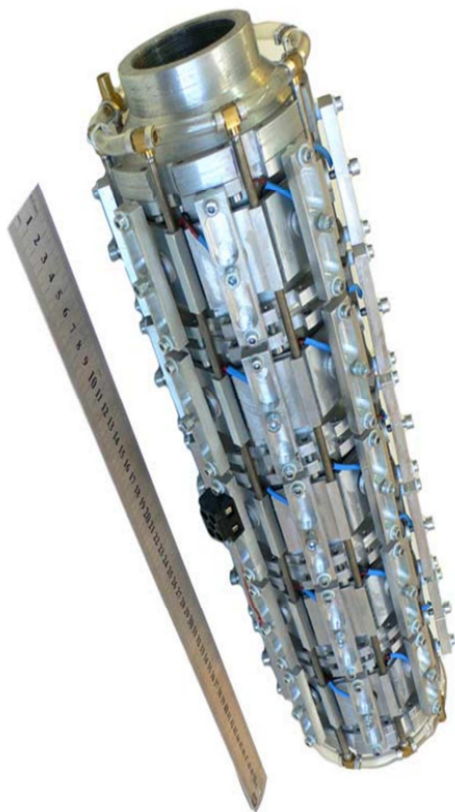


Рис. 1. – Термоелектричний перетворювач

Промисловість випускає різноманітні елементи Пельтьє, які працюють за одним принципом, однак конструктивно вони виконуються двох видів: генераторні та теплові. У таблиці 1 наведені основні параметри елементів Пельтьє, що можуть за своїми технічними характеристиками бути використані у якості теплоелектрогенератора, що утилізує енергію вихлопних газів [11, 12].

Таблиця 1. Основні параметри електрогенеруючих модулів Пельтьє

Показник	Алтек 1082	ТЕНР1-12656-0,3	Mars-45	ТГМ-31-2,8-3,5
1	2	3	4	5
Країна виробник	Україна	Китай	Росія	Росія
U, В	5,3	4,2	6,8	0,89
I, А	7,0	4,6	9,6	3,3
P, Вт	37,0	19,3	65	2,9
η, %	6,5	6,3	7,4	4,5
Габарити	a	90	56	260
	b	90	56	92
	h	4,0	4,0	30
T _{хол.ст.} , °C	30	30	70	
T _{гар.ст.} , °C	300	300	570	

Подібними або більш потужними елементами пропонується оснастити вихлопну систему пожежного автомобіля [13,14].

Розрахуємо електричну потужність яка може бути отримана з використання зазначених елементів при утилізації теплової енергії вихлопних газів.

$$N_{el} = 0,5Q_{вг} \cdot \eta_{П} \cdot \eta_{ТО}, \text{кВт} \quad (7)$$

де $\eta_{П}$ – коефіцієнт корисної дії обраного модуля, $\eta_{ТО}$ – коефіцієнт корисної дії теплообмінника

$$N_{el} = 0,5 \cdot 99,54 \cdot 0,074 \cdot 0,8 = 2,95 \text{кВт}$$

Отриману електричну енергію можливо використати для роботи електричного аварійно рятувального інструменту, освітлення місця роботи або, у разі використання комбінованої трансмісії насосу, додати цю енергію на привід пожежну насосу чим збільшити параметри подачі ним вогнегасячих речовин. Це буде аналогічно збільшенню потужності, що передається до насосу від ДВЗ тобто збільшенню кількості витрати палива.

Розрахуємо подачу насосу при збільшенні потужності що йому надається. Використовуючи формулу (1)

$$Q = \frac{1000\eta(N_{ДВЗ} + N_{ел})}{\rho \cdot g \cdot H}, \text{ л/с}$$

- де $N_{ДВЗ}$ - потужність що передається від двигуна внутрішнього згорання до насоса

$$Q = \frac{1000 \cdot 0,62(5854 + 2950)}{1000 \cdot 9,81 \cdot 50} = 11,1 \text{ л/с}$$

Розрахуємо тиск що буде створюватись насосом при збільшенні потужності

$$H = \frac{1000\eta(N_{ДВЗ} + N_{ел})}{\rho \cdot g \cdot Q}, \text{ м}$$

$$H = \frac{1000 \cdot 0,62(5854 + 2950)}{1000 \cdot 9,81 \cdot 7,4} = 75,1 \text{ м}$$

Тобто ми можемо забезпечити роботу ще одного приладу на гасіння таким чином збільшити подачу вогнегасних речовин на 50%. Або забезпечити гасіння на 22,5м. вище (підняти на 7 поверхів) без збільшення витрати палива.

Розрахуємо витрату палива двигуном для забезпечення цієї ж потужності. Для чого визначмо необхідні оберти валу насоса (з формули (2)) та оберти двигуна:

$$n = 1272 \cdot \sqrt[3]{\frac{5854 + 2950}{5854}} = 1454 \text{ об/хв.}$$

Оберти двигуна пожежного автомобіля для забезпечення заданої потужності насоса за формулою:

$$n_{ДВ} = 1435 \cdot 1,176 = 1710 \text{ об/хв.}$$

Розрахуємо витрату пального при роботі ЗИЛ-130 на цих обертах при сталому режимі роботи двигуна.

$$Q = \frac{60 \cdot 0,088 \cdot 6 \cdot 1688}{2} = 27086 \text{ г/год}$$

Тобто економія палива складає 3390 г/год, або близько 14%.

Висновки

Таким чином було наведено можливість утилізації теплової енергії вихлопних газів основних пожежних автомобілів ДСНС при виконанні ними оперативного завдання по подачі вогнегасних засобів для цілей пожежогасіння під час обслуговування переважної кількості викликів. Ця енергія може бути використана для приведення в дію спеціального

(насосного) обладнання, що дозволить значно зменшити витрати палива.

Список літератури

1. **Клюс, П. П.** Тактические возможности пожарных подразделений / **П.П. Клюс, В.Г. Палюх** // *Учебное пособие*. Харьков, ХПТУ-ХИСИ. – 199. – 383 с.
2. **Ларін О. М.** Пожежна та аварійно-рятувальна техніка. Частина I. Конструкції базових шасі та матеріали, які використовують при виготовленні пожежної та аварійно-рятувальної техніки. / **О.М. Ларін, М.І. Мисюра, Б.І. Кривошей, О.В. Воробійов** // *Навчальний посібник*. – Х.: УЦЗУ. – 2007. – 937 с.
3. **Иванов А. Ф.** Пожарная техника Ч.2 Пожарные автомобили. / **А.Ф. Иванов, П.П. Алексеев** // М. – 1988. – 287 с.
4. **Северин, Л. І.** Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.1: Захист атмосфери / **Л. І. Северин, В. Г. Петрук, І. І. Безвозюк, І. В. Васильківський** – Вінниця: ВНТУ. – 2010. – 363 с.
5. **Brushlinsky, N. N.** Word fire statistics / **N. N. Brushlinsky, J. R. Hall, S. V. Sokolov, P. Wagner** // *CTIF International association of fire and rescue services*. – 2014. – №19. – P. 19 - 59.
6. **Говорушенко, Н. Я.** Техническая эксплуатация автомобилей / **Н. Я. Говорушенко** // *Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те*. – 1984. – 312 с.
7. **Сергиенко, А. Н.** Рациональное использование энергии автомобиля с гибридной силовой установкой и электроамортизаторами: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.22.02 «Автомобили и тракторы» / **А. Н. Сергиенко**. – Харьков. – 2014. – 30 с.
8. Інститут термоелектрики Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України в м. Чернівці [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Режим доступу – <http://ite.inst.cv.ua>.
9. **Wang Maohai** Simulation research on the application of thermoelectric waste heat recovery of internal combustion engine / **Maohai Wang, Thomas Josef Duan, Yangjun Zhang, Weilin Zhuge** // *In: Proceedings of the 14th international heat transfer conference*. – ІНТС14. – vol. 4. – 2010. – P. 865 - 71
10. **Thacher, E. F.** Testing of an automobile exhaust thermoelectric generator in a light truck / **E. F. Thacher, B. T. Helenbrook, M. A. Karri, C. J. Richter** // *J Automob Eng*. – 2007. – 221. – P. 95 - 107.
11. **Haidar, J. G.** Waste Heat Recovery from the Exhaust of Low-Power Diesel Engine using Thermoelectric Generators / **J. G. Haidar, J. I. Ghojel** // *Proc. 20th International Conference on Thermoelectrics*. Beijing, China. – 2001. – P. 413 - 417.
12. **Ribeiro, B.** A Survey on Electric/hybrid Vehicles” / **B. Ribeiro, F. P. Brito, J. Martins** // *Transmission and Driveline 2010 (SP-2291)*, SAE International Publ. – 2010. – P. 133 – 146. – ISBN 978-0-7680-3425-7.
13. **LaGrandeur, J.** Automotive waste heat conversion to electric power using skutterudite, TAGS, PbTe and BiTe / **J. LaGrandeur, D. Crane, S. Hung, B. Mazar, A. Eder** // *International conference on thermoelectric*. – 2006. – P. 343 – 48.
14. **Min Gao** Conversion Efficiency of Thermoelectric Combustion Systems / **Min Gao, D. M. Rowe** // *IEEE Transactions on Energy Conversion*. – 2007. – P. 22- 2.

Bibliography (transliterated)

1. **Kljus, P. P., Paljuh, V. G.** Takticheskie vozmozhnosti pozharnykh podrazdelenij. *Uchebnoe posobie. Har'kov, HPTU-HISI*, 1993, 383 p.
2. **Larin, O. M., Mysyura, M. I., Kryvoshey, B. I., Vorobyov, O. V.** Pozhezhna ta avariyno-ryatuval'na tekhnika. Chastyna I. Konstruktsiyi bazovykh shasi ta materialy, yaky vykorystovuyut' pry vyhotovlenni pozhehznoyi ta avariyno-ryatuval'noyi tekhniki. *Navchal'nyy posibnyk*, Kharkiv: UTsZU, 2007, 937 p.
3. **Ivanov, A. F., Alekseev, P. P.** Pozharnaja tekhnika Ch.2 Pozharnye avtomobili. Moskov, 1988, 287 p.
4. **Severyn, L. I., Petruk, V. H., Bezvozyuk, I. I., Vasyli'kivs'ky, I. V.** Pryrodookhoronni tekhnolohiyi. Navchal'nyy posibnyk. Ch.1: Zakhyst atmosfery. Vinnytsya: VNTU, 2010, 363 p.
5. **Brushlinsky, N. N., Hall, J. R., Sokolov, S. V., Wagner, P.** Word fire statistics, *CTIF International association of fire and rescue services*, 2014, **19**, 19 - 59.
6. **Govorushhenko, N. Ja.** Tehnicheskaja jekspluatacija avtomobilej. Kharkiv: Vishha shkola. Izd-vo pri Kharkiv unte, 1984, 312 p.
7. **Sergienko, A. N.** Racional'noe ispol'zovanie jenerгии avtomobilja s gibridnoj silovoj ustanovkoj i jelektroamortizatorami: avtoref. dis. na soiskanieuch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.22.02 «Avtomobili i traktory» / **A. N. Sergienko**. Kharkiv, 2014, 30 p.
8. Instytut termoelektryky Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy ta Ministerstva osvity i nauky Ukrainy v m. Chernivtsi [Web]: <http://ite.inst.cv.ua>.
9. **Wang Maohai, Duan Thomas Josef, Zhang Yangjun, Zhuge, Weilin** Simulation research on the application of thermoelectric waste heat recovery of internal combustion engine. In: *Proceedings of the 14th international heat transfer conference IHTC14*, 2010, **4**, 865–71
10. **Thacher, E. F., Helenbrook, B.T., Karri, M. A., Richter, C. J.** Testing of an automobile exhaust thermoelectric generator in a light truck. *J Automob Eng*, 2007, **221**, 95–107
11. **Haidar, J. G., Ghojel, J. I.** Waste Heat Recovery from the Exhaust of Low-Power Diesel Engine using Thermoelectric Generators. *Proc. 20th International Conference on Thermoelectrics*, Beijing, China, 2001, 413-417.
12. **Ribeiro B., Brito, F. P., Martins, J.** A Survey on Electric/hybrid Vehicles. *Transmission and Driveline 2010 (SP-2291)*, *SAE International Publ.*, 2010, 133 – 146, ISBN 978-0-7680-3425-7.
13. **LaGrandeur, J., Crane, D., Hung, S., Mazar, B., Eder, A.** Automotive waste heat conversion to electric power using skutterudite, TAGS, PbTe and BiTe. *International conference on thermoelectric*, 2006, 343 - 48.
14. **Min Gao, Rowe, D. M.** Conversion Efficiency of Thermoelectric Combustion Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007, 22- 2.

Відомості про авторів (About authors)

Ларін Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України, професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки, м. Харків, Україна, e-mail: O.M.Larin@gmail.com

Larin Aleksandr Nikolaevich - Doc. of Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Engineering and rescue equipment, National University of Civil Protection of Ukraine, city of Kharkov, Ukraine, e-mail: O.M.Larin@gmail.com

Васильєв Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки, м. Харків, Україна, e-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Vasylyev Sergey Viktorovich - Cand. of Sc (Eng.), Docent, Associate Professor of Department of Engineering and rescue equipment, National University of Civil Protection of Ukraine, city of Kharkov, Ukraine, e-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Цюлковський Віталій Ігорович - Національний університет цивільного захисту України, ад'юнкт, м. Харків, Україна, e-mail: ts_vitalikr@ukr.net

Tsiolkovskiy Vitaliy Igorovich – adjunct, University of Civil Protection of Ukraine, city of Kharkov, Ukraine, e-mail: ts_vitalik@ukr.net

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ларін О. М. Зменшення витрати палива спеціальної техніки ДСНС при виконанні ними оперативних задач / **О. М. Ларін, С. В. Васильєв, В. І. Цюлковський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 23-27. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Larin, A., Vasylyev, S., Tsiolkovskiy, V. Fuel costs down special equipment civil service of emergencies in the performance of surgical problems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 23 - 27, ISSN - 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ларин А. Н. Уменьшение расхода топлива специальной техники ДСНС при выполнении ими оперативных задач / **А. Н. Ларин, С. В. Васильев, В. И. Цюлковский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 23-27. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ Обоснована можливість скорочення расхода топлива за счет утилизации тепловой энергии выхлопных газов пожарных автомобилей, с помощью термоэлектрических модулей, при подаче огнетушащих средств для целей пожаротушения, при обслуживании подавляющего числа вызовов. Тепловая энергия выхлопных газов пожарного автомобиля, может быть использована для приведения в действие специального оборудования, что позволит значительно уменьшить расход топлива.

Ключевые слова пожарный автомобиль, расход топлива, термоэлектрический модуль, элемент Пельтье, выхлопные газы, тепловая энергия.

Надійшла (received) 12.12.2015

УДК 536.775, 539.217.1

ПАРАМЕТРЫ ГАЗА АГЕНТА-ПОРООБРАЗОВАТЕЛЯ ВНУТРИ ЗАМКНУТОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОРЫ В СОСТОЯНИИ РАВНОВЕСИЯ

А. М. ПАВЛЕНКО¹, А. В. КОШЛАК², А. А. ЧЕЙЛЫТКО^{3*}, М. А. НОСОВ³¹ Факультет нефти, газа и природопользования, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, УКРАИНА² Кафедра теплогазоснабжения, вентиляции и теплотехники, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, УКРАИНА³ Кафедра теплотехники, Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье, УКРАИНА

* email: cheylitko@yandex.ua

АННОТАЦИЯ Существует ряд неизученных вопросов, которые тормозят развитие пористых материалов. Сложность явлений структурообразования, а также их понимание, вызывают наибольший интерес, так как путем изучения кинетики фазовых переходов можно создать теоретическую базу для разработки новых высокоинтенсивных технологий в различных областях промышленности, в частности технологию производства мелкопористых теплоизоляционных материалов. В данной работе найдены: условия равновесия газа агента-порообразователя в пористом материале; давление газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия; температура газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия.

Ключевые слова: пористость, структурообразование, равновесие, агент-порообразователь, давление, сферическая пора, температура.

PARAMETERS OF THE GAS PORE FORMER AGENT INSIDE THE CLOSED SPHERICAL PORE AT EQUILIBRIUM

A. PAVLENKO¹, A. KOSHLAK², A. CHEYLYITKO³, M. NOSOV³¹ Faculty of oil, gas and natural resources, Poltava national technical Yuri Kondrtyuk university, Poltava, UKRAINE² Department of the heat and gas supply, ventilation and heat power engineering, Poltava national technical Yuri Kondrtyuk university, Poltava, UKRAINE³ Department of the heat and power engineering, Zaporozhye state engineering academy, Zaporozhye, UKRAINE

ABSTRACT There are a number of unexplored issues that prevent the development of porous materials. The complexity of the phenomenons of structure formation, as well as their understanding is the most interesting, because by studying the kinetics of phase transitions can create a theoretical basis for the development of new high-intensity technologies in various industries, in particular technology of finely porous insulating materials. Objectives of this work were finding: the equilibrium conditions of gas pore former agent in the porous material; gas pore former agent pressure inside the closed spherical pore in equilibrium; temperature of gas pore former agent inside the closed spherical pore in equilibrium. For determining the equilibrium conditions of gas pore former agent in the porous material, as dynamic characteristics, determines the direction of changes in the size of the steam pore will take the voltage difference caused by pressure in the steam field and the resistance of the boundary surface of the pore. For determining the gas pore former agent pressure inside the closed spherical pore in equilibrium, was differentiated equation, which characterizing the dynamics of growth or reduce the steam bubble, by pressure p at $T = \text{const}$ and considering that $(\partial\varphi/\partial p)_T = v$. Temperature of gas pore former agent inside the closed spherical pore in equilibrium was found through the temperature of material. The equilibrium conditions of gas pore former agent in the porous material: $T^{(1)} = T^{(2)}$, $p^{(1)} - p^{(2)} = \frac{2\sigma}{r}$, $\varphi^{(1)}(p^{(1)}, T) = \varphi^{(2)}(p^{(2)}, T)$. The gas pore former agent pressure inside the closed spherical pore in equilibrium: $p^{(1)} = p_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$. The temperature of gas pore former agent inside the closed spherical pore in equilibrium: $\Delta T = (1/R \ln|p^{(1)}|) \cdot (2\sigma v^{(1)}/r + p^{(2)}/\rho^{(2)}) - T_0$. All objectives were successfully found.

Keywords: porous materials, structure formation, equilibrium conditions, pressure, temperature, closed spherical pore, gas pore former agent.

Введение

Множество экспериментальных данных свидетельствуют о наличии связи между пористостью материала и его теплофизическими свойствами [1-3]. Влияние пористости на теплопроводность материала

можно рассмотреть на примере следующих экспериментальных данных [2]. Значения коэффициентов теплопроводности железа (58,19Вт/(м·К)) и горной породы (3,26Вт/(м·К)) отличаются почти в 18 раз, но при этом засыпка из шариков железа и шариков горной породы с

© А. М. ПАВЛЕНКО, А. В. КОШЛАК, А. А. ЧЕЙЛЫТКО, М. А. НОСОВ, 2015

одинаковою пористістю 62,5% має почти однаковий коефіцієнт теплопровідності (0,0403 Вт/(м·К) і 0,0402 Вт/(м·К) відповідно).

Складність явлень структуроутворення, а також їх розуміння, викликають найбільший інтерес, так як шляхом вивчення кінетики фазових переходів можна створити теоретичну базу для розробки нових високоінтенсивних технологій в різних областях промисловості, в частині технології виробництва мелкопористих теплоізоляційних матеріалів

Однако шляхи формування пористої структури до сих пор не досліджені, а чіткої залежності між пористістю і фізичними властивостями матеріалу не знайдено.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В [4] проведені дослідження по впливу тиску в порах на еластомери з закритою пористістю. Розглянуто зміну тиску в порах при різних гідростатических навантаженнях і показано, що це тиск може суттєво змінити макроскопічну реакцію і стабільність еластомерів з закритою пористістю. Так же було показано, що пористі еластомери мають більшу жорсткість при наявності тиску в порах, навіть атмосферного, ніж при його відсутності. Однак в час дослідження не було запропоновано способу розрахунку тиску в порах і за початковий тиск було прийнято тиск оточуючого середовища. Також прийнято, що тиск в порах є функцією тільки густоти.

В [5] вивчено зміну структури з закритою пористістю під впливом стиснення і розтягнення при різних початкових тисках в порах. Результати експерименту показали, що тиск в порах позитивно впливає при стисненні і негативно при розтягненні. Вплив деформацій на структуру з закритою пористістю може привести до високого внутрішнього тиску в порах, що веде до збільшенню поглинання енергії і загальної жорсткості матеріалу в процесі деформації. Але не було розглянуто методів досягнення цих або інших тисків в порах матеріалу і способу їх розрахунку.

В [6] представлений мікромеханічний аналіз пористого матеріалу з наявністю внутрішнього тиску в порах, на прикладі полімера ВХ-265. Показано вплив початкового тиску пор на прогнозовану розтягнутість зразка, вплив прикладеного навантаження (з тиском в порах і без нього) на прогнозовану розривність зразка, але не приділено уваги розрахунку тиску в порах.

В [7] показано зміну теплопровідності від температури для різних діаметрів пор, однак температура в порах прийнята рівною температурі оточуючого середовища. Можливість заповнення

рідкістю, а не газом - не досліджено.

В [8] вивчено зміну тиску в порах в залежності від розміру пор і сили стиснення, так же розглянуто зміну тиску в порах в залежності від температури. Але при цьому не вказано як саме розрахувати температуру або тиск в порах.

В [9] досліджено вплив пористості на теплофізичні властивості залізорудних матеріалів з використанням нечітких алгоритмів. В якості входних лінгвістических змінних не були використані параметри речовини, що знаходиться в порах (температура, тиск, густина і т.д.).

В [10] розглянуті природа пористості, розміри пор, типи пор і їх розподіл в солях. Але не було розглянуто тиск і температура речовини в тих самих порах.

Ціль і задачі дослідження

Цілью роботи є знаходження параметрів газу агента-пороутворювача всередині замкненої сферическої пори в стані рівноваги.

Для досягнення поставленої цілі були поставлені наступні задачі:

- знаходження умов рівноваги газу агента-пороутворювача в пористому матеріалі;
- знаходження тиску газу агента-пороутворювача всередині замкненої сферическої пори в стані рівноваги;
- знаходження температури газу агента-пороутворювача всередині замкненої сферическої пори в стані рівноваги.

Умови рівноваги агента-пороутворювача в матеріалі при формуванні пористої структури

В якості динамічесескої характеристики, визначаючої напрямленість змін розмірів парової пори, приймемо різницю напружень, викликаних тиском в паровій області і опором граничної поверхності пори.

Рівняння [11] характеризує динаміку росту або зменшення парового бульбашки

$$\frac{dw}{d\tau} = -\frac{1,5\rho w^2 + P_c - P_n(T)}{\rho_c R} = -\frac{1,5\rho w^2}{\rho_c R} + \frac{P_n(T) - P_c}{\rho_c R} \quad (1)$$

де w – швидкість росту парового бульбашки; τ – час росту бульбашки; ρ – густина; P_n – тиск всередині парової пори; P_c – тиск в оточуючій рідкій фазі; T – температура; R – радіус парового бульбашки.

Збільшення, зменшення або стабілізація розмірів бульбашки можуть бути представлені, відповідно, трьома випадками:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} > 0, \quad \frac{\sqrt{1,5\rho}}{2\sqrt{P_n(T) - P_c}} \ln \left| \frac{w - \sqrt{\frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho}}}{w + \sqrt{\frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho}}} \right| = -\frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R} + C, \\ \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} < 0, \quad \sqrt{\frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c}} w = -\frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R} + C, \\ \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} = 0, \quad \frac{1}{w} = -\frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R} + C. \end{array} \right. \quad (2)$$

При $P_n(T) - P > 0$ – паровой пузырек увеличивается, $P_n(T) - P < 0$ – уменьшается; в случае $P_n(T) - P = 0$ – его размер стабилизирован. Как видно из уравнений, $P_n(T)$ зависит от величины внешнего теплового потока (температуры). Следовательно, процесс порообразования может быть контролируемым.

Таким образом, скорость изменения размеров парового пузырька может быть определена по уравнениям

$$w(\tau) = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho}} \frac{1 + k(\tau)}{1 - k(\tau)}; \quad \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} > 0, \\ \sqrt{\frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho}} \operatorname{tg} \sqrt{\frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho}} \left(C - \frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R} \right); \quad \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} < 0, \\ \frac{\rho_c R}{1,5\rho\tau - C\rho_c R}; \quad P_n(T) - P = 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

После преобразований с учетом равенства

$$\frac{(w - \alpha)(w_0 + \alpha)}{(w + \alpha)(w_0 - \alpha)} = e^{\frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R}}$$

окончательно получим

$$\left\{ \begin{array}{l} w = \frac{\alpha \left[(w_0 - \alpha) e^{\frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R}} + w_0 + \alpha \right]}{w_0 + \alpha - (w_0 - \alpha) e^{\frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R}}}; \quad \alpha = \sqrt{\frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho}}; \quad \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} > 0, \\ w = \frac{\sqrt{\frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c}} w_0 - \operatorname{tg} \sqrt{\frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c}} \frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R}}{\sqrt{\frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c}} + \left| \frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c} \right| w_0 \operatorname{tg} \sqrt{\frac{1,5\rho}{P_n(T) - P_c}} \frac{1,5\rho\tau}{\rho_c R}}; \quad \frac{P_n(T) - P_c}{1,5\rho} < 0, \\ w = \frac{w_0 \rho_c R}{1,5\rho w_0 \tau - \rho_c R}; \quad P_n(T) - P_c = 0. \end{array} \right. \quad (4)$$

Когда разность давлений $P_n(T) - P_c$ становится небольшой, скорость граничной поверхности, вычисленная по первому уравнению, приближается к начальному значению, в частном случае – к нулю. Если $w_0 \neq 0$, последнее выражение теряет физический смысл, поскольку для этого случая $w = 0$.

Уравнение можно записать в виде

$$\frac{dR}{d\tau} = \frac{w_0 \rho_c R}{1,5\rho w_0 \tau - \rho_c R}.$$

Тогда после интегрирования, получим

$$R(\tau) = \frac{R}{1,5} \ln |1,5 w_0 \tau + \rho_c R|. \quad (5)$$

Последнее выражение позволяет определить продолжительность процесса вспучивания до достижения определенных размеров поры. Данная методика позволяет с достаточной точностью оценивать кинетические характеристики термического вспучивания. Для химического порообразования ее следует дополнить энергетической оценкой вероятности такой реакции, которую можно оценить с помощью уравнения для энергии Гиббса.

Энергия Гиббса зародыша поры радиуса r (при термическом или химическом вспучивании)

$$G^{(1)} = \varphi_{\infty}^{(1)} M^{(1)} + \sigma \Omega, \quad (6)$$

где $M^{(1)}$ – масса порообразователя, равная $4\pi r^3/\nu'$; Ω – наружная поверхность порообразователя, равная $4\pi r^2$; $\varphi_{\infty}^{(1)}$ – химический потенциал порообразующего газа (при бесконечно большом объеме данного газа).

Энергия Гиббса системы, состоящей из зародыша поры в материале

$$G = G^{(1)} + G^{(2)},$$

где $G^{(2)}$ – энергия Гиббса материала.

Рассмотрим состояние равновесия этой системы. Если внешнее давление p' , совпадающее с давлением порообразователя, и температура T' , при которых находится система, постоянны, то условие равновесия $dG = 0$ имеет вид

$$dU^{(1)} + dU^{(2)} - T'(dS^{(1)} + dS^{(2)}) + p'(dV^{(1)} + dV^{(2)}) + \varphi_{\infty}^{(1)} dM^{(1)} + \varphi^{(2)} dM^{(2)} = 0$$

Имея в виду, что

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V = T; \quad \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S = -p,$$

причем для газового пузырька согласно формуле Лапласа [8]

$$-p^{(1)} = -\left(-p' - \frac{2\sigma}{r}\right),$$

находим

$$dU^{(1)} + dU^{(2)} = T^{(1)}dS^{(1)} + T^{(2)}dS^{(2)} - \left(p' - \frac{2\sigma}{r}\right)dV^{(1)} - p'dV^{(2)},$$

где p' - внешнее давление (в данном случае давление материала на агент-порообразователь).

Принимая во внимание, что вследствие постоянства общей массы системы

$$dM^{(2)} = -dM^{(1)},$$

из условия равновесия получим

$$\frac{2\sigma}{r}dV^{(1)} + (\varphi_{\infty}^{(1)} - \varphi^{(2)})dM^{(1)} = 0.$$

Для сферического агента-порообразователя

$$dV^{(1)} = 4\pi r^2 dr;$$

$$dM^{(1)} = \frac{4\pi r^2}{v^{(1)}} dr.$$

Поэтому последнее соотношение может быть переписано в виде

$$\left(\varphi_{\infty}^{(1)} - \varphi^{(2)} + \frac{2\sigma v^{(1)}}{r}\right) dr = 0,$$

или, так как $dr \neq 0$,

$$\varphi^{(2)} - \varphi_{\infty}^{(1)} = \frac{2\sigma v^{(1)}}{r}. \quad (7)$$

Возьмем вместо $\varphi_{\infty}^{(1)}$ и $\varphi^{(2)}$ действительные значения химических потенциалов агента-порообразователя и материала при данной температуре и соответствующих давлениях, равные $\varphi^{(1)}(p^{(1)}, T)$ и $\varphi^{(2)}(p^{(2)}, T)$. По аналогии с пузырьком газа в бесконечном объеме жидкости (разлагая $\varphi^{(1)}(p^{(1)}, T)$ в ряд по степеням $p^{(1)} - p^{(2)}$, а $\varphi^{(2)}(p^{(2)}, T)$ в ряд по степеням $p^{(2)} - p^{(1)}$ [12]) можно получить

$$\varphi^{(1)}(p^{(1)}, T) = \varphi^{(2)}(p^{(2)}, T).$$

Из полученного уравнения следует, что при отличающейся от плоской поверхности раздела химические потенциалы агента-порообразователя и материала, отнесенные к собственному давлению и общей температуре, имеют равное значение. Таким образом, условия равновесия агента-порообразователя

в материале при формировании пористой структуры, с учетом поверхностного натяжения, имеют вид

$$\begin{cases} T^{(1)} = T^{(2)} \\ p^{(1)} - p^{(2)} = \frac{2\sigma}{r} \\ \varphi^{(1)}(p^{(1)}, T) = \varphi^{(2)}(p^{(2)}, T) \end{cases}. \quad (8)$$

Давление газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры

Продифференцировав уравнение (1) по давлению p при $T = \text{const}$ и учитывая, что $(\partial\varphi/\partial p)_T = v$, получим

$$\frac{1}{\rho^{(2)}} - v^{(1)} = -\frac{2v^{(1)}\sigma}{r^2} \left(\frac{\partial r}{\partial p}\right)_T + \frac{2\sigma}{r} \left(\frac{\partial v^{(1)}}{\partial p}\right)_T.$$

Так как $\frac{1}{\rho^{(2)}}$ намного меньше $v^{(1)}$, а $v^{(1)}$ при сравнительно малых давлениях газа можно принять равным RT/p то

$$\frac{RT}{p^{(1)}} = \frac{2v^{(1)}\sigma}{r^2} \left(\frac{\partial r}{\partial p}\right)_T - \frac{2\sigma}{r} \left(\frac{\partial v^{(1)}}{\partial p}\right)_T.$$

Проинтегрировав это уравнение по $p \geq 0$ получим

$$\int \frac{RT}{p^{(1)}} dp = \int \frac{2v^{(1)}\sigma}{r^2} \left(\frac{\partial r}{\partial p}\right)_T dp - \int \frac{2\sigma}{r} \left(\frac{\partial v^{(1)}}{\partial p}\right)_T dp.$$

$$RT \cdot [\ln(p^{(1)}) + c] = -2\sigma \frac{v^{(1)}}{r},$$

где c - константа интегрирования.

$$p^{(1)} = e^{-c} \cdot e^{\frac{2\sigma v^{(1)}}{RT r}}.$$

Константу e^{-c} найдем из условия равновесия, учитывая, что при $r \rightarrow \infty$, $p = p_0$ т.е. давление агента-порообразователя равно давлению газа при тех же физических условиях вне материала

$$p^{(1)} = p_0 \cdot e^{\frac{2\sigma v^{(1)}}{RT r}}. \quad (9)$$

Из данного уравнения следует, что в состоянии равновесия давление газа-порообразователя внутри поры меньше давления данного газа вне материала в $e^{\frac{2\sigma v^{(1)}}{RT r}}$ раз.

Данное уравнение можно также записать в виде

$$p^{(1)} = p_0 \cdot e^{\frac{E_a}{RT}}, \quad (10)$$

где $E_a = 2\sigma \frac{v^{(1)}}{r}$ или согласно (1) $E_a = \varphi^{(2)} - \varphi_\infty^{(1)}$ – энергия активации, равная разности химических потенциалов материала и агента-порообразователя.

Из (4) следует, что чем больше разница химических потенциалов систем материал-пора, тем меньше давление будет у газа внутри поры. Так как конвективный перенос тепла в газе прямопропорционально зависит от давления, то данное утверждение можно перефразировать следующим образом: **для достижения минимальной теплопередачи поры необходимо увеличивать разницу химических потенциалов систем материал-пора.**

Температура газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры

Из [11] известно, что температура фазового перехода сферической капли в пар выше, чем температура фазового перехода с поверхности. Это означает, что необходимо перегреть жидкость внутри поры для того что бы она превратилась в пар на температуру [11]

$$\Delta T = \frac{2\sigma v'' T}{Lr}, \quad (11)$$

где v'' – значения объема насыщенного пара, L – теплота испарения, σ – коэффициент поверхностного натяжения при температуре T_s (т. е. до изменения кривизны поверхности).

Формула (5) относится к паровому пузырьку, находящемуся в равновесии с окружающей средой. Она может быть применена для определения степени перегрева жидкости, не содержащей растворенных в ней газов и кипящей в условиях постоянного давления на жидкость.

Выведем температуру газа-порообразователя находящегося в равновесии через температуру материала. Продифференцировав уравнение равенства потенциалов (8) по T и учитывая, что $(\partial\varphi/\partial p)_T = v$, $(\partial\varphi/\partial T)_P = -s$ получим

$$\left(\frac{\partial\varphi^{(1)}}{\partial p}\right)_T \frac{dp}{dT} + \left(\frac{\partial\varphi^{(1)}}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial\varphi^{(2)}}{\partial p}\right)_T \frac{dp}{dT} + \left(\frac{\partial\varphi^{(2)}}{\partial T}\right)_P,$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s^{(2)} - s^{(1)}}{v^{(2)} - v^{(1)}}.$$

Или

$$dT = \frac{1}{s^{(2)} - s^{(1)}} \left(\frac{1}{\rho^{(2)}} \cdot dp^{(2)} - v^{(1)} \cdot dp^{(1)} \right).$$

Учитывая, что плотность материала практически не зависит от давления при небольших давлениях газа $v = RT/p$, получим

$$T = \frac{1}{s^{(2)} - s^{(1)}} \left(\frac{p^{(2)}}{\rho^{(2)}} - RT \ln \left| p^{(1)} \right| \right) + const. \quad (12)$$

Продифференцировав уравнение (1) по температуре T при $P = const$ и учитывая, что $(\partial\varphi/\partial T)_P = -s$, получим

$$s^{(1)} - s^{(2)} = -\frac{2\sigma v^{(1)}}{r^2} \left(\frac{\partial r}{\partial T} \right)_P + \frac{2\sigma}{r} \left(\frac{\partial v^{(1)}}{\partial T} \right).$$

Учитывая, что радиус зародыша порообразователя и его объем в условиях равновесия не зависит от температуры и при постоянном давлении можно принять

$$s^{(2)} - s^{(1)} = -\frac{2\sigma v^{(1)}}{rT}.$$

отсюда

$$s^{(2)} - s^{(1)} = -\frac{2\sigma v^{(1)}}{rT}.$$

Подставив данное уравнение в (12) получим

$$\frac{2\sigma v^{(1)}}{r} = RT \ln \left| p^{(1)} \right| - \frac{p^{(2)}}{\rho^{(2)}},$$

$$T = \frac{1}{R \ln \left| p^{(1)} \right|} \cdot \left(\frac{2\sigma v^{(1)}}{r} + \frac{p^{(2)}}{\rho^{(2)}} \right).$$

Подставив краевые условия (при $r \rightarrow \infty$) найдем температуру перегрева газа агента порообразователя внутри поры

$$\Delta T = \frac{1}{R \ln \left| p^{(1)} \right|} \cdot \left(\frac{2\sigma v^{(1)}}{r} + \frac{p^{(2)}}{\rho^{(2)}} \right) - T_0, \quad (13)$$

где T_0 - температура газа-порообразователя при тех же физических условиях вне поры.

Выводы

Найдены условия равновесия газа агента-порообразователя в пористом материале (уравнение 4).

Найдено давление газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия (уравнение 10). Чем больше разница химических потенциалов систем материал-пора, тем меньше давление будет у газа внутри поры. Так как конвективный перенос тепла в газе прямопропорционально зависит от давления, то данное утверждение можно перефразировать следующим образом: для достижения минимальной теплопередачи поры необходимо увеличивать разницу химических потенциалов систем материал-пора.

Найдена температура перегрева газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия (уравнение 13).

Список литературы

1. **Чейлытко, А. О.** Исследование формирования пор во вспучиваемом материале / **А. О. Чейлытко** // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 5, № 4 (13). – С. 38 - 40. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/18251/16063>
2. **Чудновский, А. Ф.** Теплофизические характеристики дисперсных материалов / **А. Ф. Чудновский**. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы. – 1962. – 456 с.
3. **Чейлытко, А. А.** Особенности влияния пористости на теплопроводность глиноземистых материалов / **А. А. Чейлытко, Т. К. Середняк** // Днепропетровск. – 2015. – 76 с. ISBN 978-617-7257-62-1
4. **Lopez-Pamies, O.** Effects of internal pore pressure on closed-cell elastomeric foams / **O. Lopez-Pamies, P. Ponte Castaneda, M. I. Idiart**, *International Journal of Solids and Structures*, 2012. – Available at: http://www.researchgate.net/publication/256733990_Effects_of_internal_pore_pressure_on_closed-cell_elastomeric_foams
5. **Vesenjak, M., Öchsner, A., Ren, Z.** Influence of pore gas in closed-cell cellular structures under dynamic loading / **M. Vesenjak, A. Öchsner, Z. Ren** // German LS-DYNA Forum. – Bamberg, 2005. – Available at: <https://www.dynamore.de/de/download/papers/forum04/new-methods/influence-of-pore-gas-in-closed-cell-cellular>
6. **Aboudi, J.** Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach / **J. Aboudi, S. M. Arnold, B. A. Bednarczyk** // *Elsevier*. – 2013. – 973 p.
7. **Raed, K.** Gas atmosphere and pore size distribution effects on the effective thermal conductivity of nano-scaled insulations / **K. Raed, G. Barth, R. Wulf, U. Gross** // German. – Freiberg. – 2005. – Available at: <http://tu-freiberg.de/fakult4/iwtt/td/publikationen-ma/>
8. **Mosher, K.** The impact of pore size on methane and CO₂ adsorption in carbon / **K. Mosher** // *Stanford university* – 2011. – Available at: https://pangea.stanford.edu/ERE/research/wyccs/files/Mosher_thesis.pdf
9. **Новикова, Е. Ю.** Исследование влияния пористости на теплофизические свойства железорудных материалов с использованием нечетких алгоритмов / **Е. Ю. Новикова**

// *Научные работы: научно-методический журнал*. – 2009. – Т. 117, № 104. – С. 130-134.

10. **Nimmo, J. R.** Porosity and Pore Size Distribution / **J. R. Nimmo** // *Encyclopedia of Soils in the Environment*: London. – Elsevier. – 2004. – P. 295-303.
11. **Кошляк, А. В.** Равновесные состояния в динамике формирования пористой структуры / **А. В. Кошляк** // *Системные технологии*. – 2008. – №5(58). – С. 36 - 40
12. **Вукалович, М. П.** Термодинамика [Текст] / **М. П. Вукалович, И. И. Новиков** // М.: "Машиностроение". – 1972. – 672 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Cheylyitko, A. O.** Issledovanie formirovaniya por vo vspuchivayuschemsya materiale. *Tehnologicheskij audit i rezervyi proizvodstva*, 2013, 4(13), 38 - 40. – [Web]: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/18251/16063>
2. **Chudnovskiy, A. F.** Teplofizicheskie karakteristiki dispersnykh materialov. Moskov: Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literaturyi, 1962, 456 p.
3. **Cheylyitko, A. A., Serednyak, T. K.** Osobennosti vliyaniya poristosti na teploprovodnost glinozemistyykh materialov. Dnepropetrovsk: 2015, 76 p. ISBN 978-617-7257-62-1
4. **Lopez-Pamies, O., Ponte Castaneda, P., Idiart, M. I.** Effects of internal pore pressure on closed-cell elastomeric foams. *International Journal of Solids and Structures*, 2012, [Web] http://www.researchgate.net/publication/256733990_Effects_of_internal_pore_pressure_on_closed-cell_elastomeric_foams
5. **Vesenjak, M., Öchsner, A., Ren, Z.** Influence of pore gas in closed-cell cellular structures under dynamic loading / German LS-DYNA Forum, Bamberg, 2005. [Web] <https://www.dynamore.de/de/download/papers/forum04/new-methods/influence-of-pore-gas-in-closed-cell-cellular>
6. **Aboudi, J., Arnold, S. M., Bednarczyk, B. A.** Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach, Elsevier, 2013, 973.
7. **Raed, K., Barth, G., Wulf, R., Gross, U.** Gas atmosphere and pore size distribution effects on the effective thermal conductivity of nano-scaled insulations, German, Freiberg, 2005. [Web]: <http://tu-freiberg.de/fakult4/iwtt/td/publikationen-ma/>
8. **Mosher, K.** The impact of pore size on methane and CO₂ adsorption in carbon. *Stanford university*, 2011. [Web] https://pangea.stanford.edu/ERE/research/wyccs/files/Mosher_thesis.pdf
9. **Novikova, E. Yu.** Issledovanie vliyaniya poristosti na teplofizicheskie svoystva zhelezorudnykh materialov s ispolzovaniem nechetkikh algoritmov. *Naukovi pratsi: naukovo-metodichnyi zhurnal*, 2009, 117 (104), 130 - 134.
10. **Nimmo, J. R.** Porosity and Pore Size Distribution. *Encyclopedia of Soils in the Environment*: London, Elsevier, 2004, 295 - 303.
11. **Koshlak, A. V.** Ravnovesnyie sostoyaniya v dinamike formirovaniya poristoy strukturyi. *Sistemnyie tehnologii*, 2008, 5(58), 36 - 40
12. **Vukalovich, M. P., Novikov, I. I.** Termodinamika, Moskov: "Mashinostroenie", 1972, 672 p.

Сведения об авторах (About authors)

Павленко Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, декан факультета «Нефти и газа и природопользования», г. Полтава, Украина.

Pavlenko Anatoliy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Faculty of oil, gas and natural resources, Poltava national technical Yuri Kondrtyuk university, Poltava, Ukraine.

Кошляк Анна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и теплоэнергетика», г. Полтава, Украина.

Koshlak Anna – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of the heat and gas supply, ventilation and heat power engineering, Poltava national technical Yuri Kondrtyuk university, Poltava, Ukraine.

Чейлытко Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, Запорожская государственная инженерная академия, доцент кафедры «Теплоэнергетика», г. Запорожье, Украина; e-mail: cheylitko@yandex.ua.

Cheylitko Andrey – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of the heat and power engineering, Zaporozhye state engineering academy, Zaporozhye, Ukraine.

Носов Максим Андреевич – магистрант, Запорожская государственная инженерная академия, магистрант кафедры «Теплоэнергетика», г. Запорожье, Украина.

Nosov Maxim – master student, Department of the heat and power engineering, Zaporozhye state engineering academy, Zaporozhye, Ukraine.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Павленко А. М. Параметры газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия / **А. М. Павленко, А. В. Кошляк, А. А. Чейлытко, М. А. Носов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 28 - 34. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Pavlenko, A., Koshlak, A., Cheylitko, A., Nosov, M. Parameters of the gas pore former agent inside the closed spherical pore at equilibrium. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), P. 28 – 34, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Павленко А. М. Параметри газу агента-пороутворювача всередині замкнутої сферичної пори у стані рівноваги / **А. М. Павленко, А. В. Кошляк, А. О. Чейлытко, М. А. Носов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1174). – С. 28 - 34. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Існує ряд невивчених питань, які гальмують розвиток пористих матеріалів. Складність явищ структуроутворення, а також їх розуміння, викликають найбільший інтерес, так як шляхом вивчення кінетики фазових переходів можна створити теоретичну базу для розробки нових високоінтенсивних технологій у різних галузях промисловості, зокрема технологію виробництва дрібнопористих теплоізоляційних матеріалів. У даній роботі знайдені: умови рівноваги газу агента-пороутворювача в пористому матеріалі; тиск газу агента-пороутворювача всередині замкнутої сферичної пори в стані рівноваги; температура газу агента-пороутворювача всередині замкнутої сферичної пори в стані рівноваги.

Ключові слова: пористість, структуроутворення, рівновага, агент-пороутворювач, тиск, сферична пора, температура.

Поступила (received) 08.12.2015

УДК 625.141.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ БАЛАСТНОГО ЩЕБЕНЮ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Л. В. ТРИКОЗ¹, І. В. БАГІЯНЦ²

¹Будівельні матеріали, конструкції та споруди, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, УКРАЇНА

²Залізничні станції та вузли, Харків, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ У статті розглянуто вплив ступеня забрудненості баластного щебеню мінеральними добривами на величину його питомої електричної провідності. Встановлено, що ця величина може змінюватися в залежності від виду покриття на зернинах щебеню та від виду мінеральних добрив, що перевозяться залізницею. Таке покриття може бути запропоновано для обробки чистого щебеню перед його укладанням у колію під час ремонтів для продовження термінів експлуатації баластного шару, попередження адгезійного забруднення та ліквідації випадків помилкової зайнятості рейкових кіл.

Ключові слова: щебінь, мінеральні добрива, питома електрична провідність, рейкове коло, затримки поїздів.

THE RESEARCH OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF BALLAST BREAKSTONE DURING TRANSPORTATION MINERAL FERTILIZERS RAILWAY TRANSPORT

L. V. TRYKOZ¹, I. V. BAGIYANC²

¹Doct. of techn. sciences Ukrainian State University of Railway Transport., Kharkiv, UKRAINE

²Engineer Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The article deals with influence of contamination of the ballast bed from mineral fertilizers on its specific electric conductivity. Electric conductivity has been determined for both clean and contaminated ballast. The electric conductivity of treated broken stone has been defined by the following method: the samples have been saturated with distilled water in prescribed proportion and mixed thoroughly until saturated solution has been obtained. The saturation has been defined by constant measurements of its electric conductivity in a measuring tank until the electric conductivity of the solution stabilizes. The constant electric conductivity of the solution testifies that the solution is saturated. The measuring tank makes it possible to obtain the value of electrical resistance of the saturated solution. It has been proven experimentally that coating the ballast with organic materials influences its electric conductivity. The lowest specific electric conductivity was observed for rosin glycerin and silicon coatings. The lowest sticking is typical for potassium chloride and ammonium nitrate, the data on low electric conductivity of their samples testifying it. Protective coating reduces electric conductivity of a ballast layer and enhances the efficiency of rail circuits even when mineral fertilizers transported may spill on the track. Such coatings can be proposed for treatment of clean broken stones before their placing on the track during repair works for longer working operation life of the ballast layer, prevention of adhesive contamination and elimination of accidental erroneous occupation of rail circuits.

Keywords: breakstone, mineral fertilizers, specific electric conductivity, track circuit, delays trains.

Вступ

В умовах збільшення інтенсивності та швидкості руху поїздів підвищуються вимоги до надійного забезпечення роботи всіх елементів верхньої будови колії залізниць. Там, де перевозяться та перевантажуються мінеральні добрива колія в незадовільному стані й неминує виникати відмови рейкових кіл. Погіршення стану баластного матеріалу пов'язане з його підвищеним забрудненням та зволоженням забруднювачів. Забруднення виникає через стирання гострих кутів щебених гранул (навіть міцних гранітних порід) у процесі періодичної дії рухомого складу поїздів. Крім того, ступінь забруднення залежить від характеру перевезених вантажів, профілю залізничної колії та ряду інших факторів. Для оздоровлення верхньої будови колії ведеться очищення та підрізка баласту; очищення

рейок, рейкових кріплень від забруднювачів; при необхідності заміна водовідводів на блок-ділянках; капітальний ремонт колії з метою заміни верхньої будови з рейками, що пропустили нормативний тонуаж [1]. Виконання подібних заходів хоча і підвищує ізоляцію рейкових кіл, але практично не впливає на покращення роботи автоблокування при неминучому зниженні пропускної здатності перегонів та станції, викликаючи затримки поїздів і збільшуючи простої та оборот вагонів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченням процесів та закономірностей зміни ізоляції рейкових кіл у часі, розробкою методів оцінки електроізоляційних властивостей баластних матеріалів та дослідження ефективності різних способів відновлення ізоляції була присвячена робота [2], в

якій автор розглядав дерев'яні шпали на піщаному й азбестовому баластах. Але з часом ці види баласту замінив щебеневий баласт та залізобетонні шпали при незмінних відмовах рейкових кіл та інтенсивності забруднення баласту. До складу забруднень входять залишки перевезених вантажів, мінеральні та органічні домішки, розчинені солі, добрива, витоки з цистерн під час заправки, перевезень і відстою через несправність котлів і зливних приладів цистерн та ін.

Замкнуте електричне коло від забруднення при перевезенні вантажів залізницею, верхньої будови колії та при незабезпеченні надійної роботи рейкових кіл призводить до затримок вантажів від вантажовідправників до вантажоодержувачів. Кращім рішенням для уникнення засоленості колії є виключення втрат вантажу при перевезенні та перевантаженні [3], що є ідеальними умовами перевезення для залізничної галузі та клієнтів залізниці. Або знаходження новітнього методу з мінімальними матеріальними вкладеннями й отриманням найбільш високих показників опору при попаданні забруднювачів на колії.

Відомо, що рейкова лінія є основним елементом рейкового кола і визначає її режими роботи і характерні властивості, що залежать від первинних параметрів - електричного опору ізоляції і електричного опору рейок [4].

Електричний опір рейок Z , тобто опір рейкової петлі, утвореною обома рейковими нитками, визначається за формулою

$$Z_{p.n} = Z_p + (Z_z + Z_n) \quad (1)$$

де Z_p - опір рейок;

Z_z - опір з'єднувача залежить від типу з'єднувачів, що застосовуються й складаються з опору самого з'єднувача і перехідного опору між з'єднувачем і рейкою;

Z_n - перехідний опір між накладками і рейками, який залежить від ступеня забруднення і наявності іржі на дотичних поверхнях накладок і кінців рейок, затягування болтів і метеорологічних умов. Ця величина може змінюватися в широких межах - від десяткових часток до сотень омів. Тому стан з'єднувачів, накладок і ступінь затягування болтів значною мірою визначають опір рейок при постійному сигнальному струмі, а отже, стійкість та надійність роботи рейкових кіл.

Електричний опір ізоляції рейкової лінії чиниться току витоку від однієї рейкової нитки до іншої через шпали $I_{в.ш.}$ й баласт $I_{в.б.}$. Опір визначається конструкцією і станом верхньої будови колії. Рейкові нитки - рейки, розташовуються на шпалах у безпосередній близькості від землі і мають з ними добрий контакт через металеві деталі верхніх кріплень (підкладки, костилі, шурупи, протиуголи), а самі шпали розміщуються в баластному шарі, укладеному на земляному полотні. Через таку конструкцію рейкова лінія є електрохімічною

системою з елементами електронної та іонної провідності зі складними металевими електродами. Електронну провідність мають рейки та всі металеві деталі верхніх кріплень, а іонну - баласт, шпали, земляне полотно та ґрунт. У зв'язку з цим загальний опір ізоляції рейкової лінії визначатиметься опорами, що характеризують витік струму через шпали та баласт, а також опором перехідних шарів, що утворюються на кордоні між елементами електронної та іонної провідності.

Опір баласту залежить більшою мірою від вологості, з підвищенням температури прискорюються електродні процеси і зменшується опір електроліту, внаслідок чого опір баласту падає. Тому найбільший опір баласту спостерігається взимку, коли діють одночасно два фактори: низька температура і мала вологість. Найменший опір зазвичай буває влітку в спекотну погоду через 8-10 хв після проливної дощу, при високій температурі й критичній вологості.

Попадання в електроліт солей, що містять активні іони (мінеральні добрива), різко знижує опір баласту і, як наслідок, зменшується надійність роботи рейкового кола [5]. Опису механізму впливу іонів на електропровідність присвячена робота [6].

Розглядається вплив зміни опору баласта на загальний опір ізоляції у сухому та вологому стані при експлуатації дерев'яних шпал [7]. Зробивши акцент на ділянки, по яким перевозяться солі, мінеральні добрива, металовмісні речовини, а також у районах загальною тривалістю зволоження більш 3000 год/рік.

Для сипких матеріалів, на відміну від суцільних, значення електричного опору сильно залежить від пористості, як це було встановлено в [8]. В [9, 10] показано, що електрична провідність композитів залежить від концентрації наповнювача в матеріалі.

Раніше автори [11] встановили, що в залежності від виду покриття на зернинах щебеню величина питомої електричної провідності може змінюватись у рази та запропонували обробку чистого щебеню перед його укладанням у колію, не враховуючи самі забруднювачі. Подібний метод було описано й у [12], де для збільшення електричного опору всієї композиції вуглецеві волокна оброблялися епоксидною смолою. Різницю між забрудненим і чистим матеріалом визначали в [13] за величиною електричного заряду, що свідчить про можливість цим методом досліджувати електричні властивості чистого та забрудненого щебеню.

Мета досліджень

Вивчення впливу поверхневої обробки щебеню на питому електричну провідність баластового шару для запобігання виникнення помилкової зайнятості колії в умовах масового перевезення мінеральних добрив.

Викладення основного матеріалу

У даній роботі електричну провідність обробленого щебеню визначали за такою методикою. Зразки щебеню заливали дистильованою водою у пропорціях, регламентованих [14], і ретельно перемішували до одержання насиченого розчину. Насиченість розчину визначали шляхом періодичного вимірювання його електричної провідності у вимірювальному кубі доти, поки електрична провідність розчину не стабілізується. Постійна електрична провідність розчину свідчить про те, що розчин став насиченим.

Вимірювальний пристрій дає можливість отримувати значення електричного опору R , Ом, насиченого розчину. Електричну провідність α визначали за формулою

$$\alpha = 56,25 / R, \quad (2)$$

де R – електричний опір насиченого розчину, Ом;

56,25 – коефіцієнт, постійний для вимірювального куба.

Електричну провідність визначали як для чистого баластного щебеню, так і для забрудненого. Для вивчення впливу покриття на електричну провідність на поверхню щебеню наносили такі речовини: бітум, каніфольну та каніфольно-гліцеринову суміш, лакове покриття, бітумну покривельну мастику, акрилову ґрунтівку, силікон. Для моделювання фактичних умов роботи баластного щебеню на залізничній колії було проведено дослідження мінеральних добрив, таких як хлорид калію (білий), хлорид калію (сірий), нітроаммофоска ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$) та аміачна селітра (NH_4NO_3). Значення виміряної питомої електропровідності зразків щебеню з різним покриттям наведено в таблиці 1, а в таблиці 2 – значення питомої електро-

провідності тих самих зразків після витримування протягом 3 діб у відповідному добриві. Визначення питомої електричної провідності для брудного щебеню на багатьох зразках не проводилось у зв'язку з відліпанням застосовуваного матеріалу з брудом від щебнини.

Обговорення результатів.

Як свідчать дані вимірювань електрична провідність збільшується при наявності мінеральних добрив. Це пояснюється налипанням гранул добрив на поверхню зернин, що збільшує провідність системи в цілому за рахунок розчинення добрив у воді. Це можна попередити підібравши покриття, на яке адгезій не налипання добрив буде найменшим. Судячи з даних таблиці 2 таким покриттям є акрилова ґрунтівка – значення питомої електричної провідності майже не змінилося порівняно зі зразком без контакту з добривом.

Висновки з даних досліджень

Експериментально доведено, що покриття баластного щебеню органічними речовинами впливає на величину його електричної провідності. Найбільший ефект зниження питомої електричної провідності спостерігався для каніфольно-гліцеринового та силіконового покриття. Найменше налипання притаманне хлориду калію (сірому) та аміачній селітрі, про що свідчать дані низької електропровідності цих зразків. Нанесення захисних покриттів зменшує електропровідність баластного щебеню навіть в умовах просипу на колію перевезених мінеральних добрив, що підвищує надійність роботи рейкового кола.

Таблиця 1- Значення питомої електричної провідності досліджуваних зразків

№ зразка	Опис зразка	Питома електрична провідність, См/м
1	Щебінь чистий	0,023
2	Щебінь забруднений	0,011
3	Щебінь чистий з бітумним покриттям	0,009
4	Щебінь забруднений з бітумним покриттям	0,010
5	Щебінь чистий з каніфольно-гліцериновим покриттям	0,003
6	Щебінь забруднений з каніфольно-гліцериновим покриттям	0,008
7	Щебінь чистий з каніфольним покриттям	0,004
8	Щебінь чистий з лаковим покриттям	0,056
9	Щебінь забруднений з лаковим покриттям	0,010
10	Щебінь чистий з покриттям бітумною мастикою	0,023
11	Щебінь забруднений з покриттям бітумною мастикою	0,024
12	Щебінь чистий з покриттям акриловою ґрунтівкою	0,012
13	Щебінь чистий з силіконовим покриттям	0,006
14	Щебінь забруднений з силіконовим покриттям	0,004

Таблиця 2 - Значення питомої електричної провідності досліджуваних зразків

№	Зразки	Хлорид калію (білий)	Нітро-амофоска	Хлорид калію (сірий)	Аміачна селітра
		æ, См/м	æ, См/м	æ, См/м	æ, См/м
1.	Чистий щебінь, каніфоль без гліцерина	0,201	0,04	0,06	0,51
2.	Чистий щебінь, лак «цапон»	0,225	0,012	0,038	-
3.	Чистий щебінь,	0,152	-	-	0,33
4.	Чистий щебінь,бітум	0,234	-	0,04	0,33
5.	Чистий щебінь, акрилова ґрунтівка	0,093	-	-	-
6.	Чистий щебінь, бітумна мастика	0,216	0,0091	0,051	0,4
7.	Чистий щебінь, каніфоль з гліцерином	-	0,051	-	-
8.	Чистий щебінь, сілікон	0,182	0,08	0,051	0,15
9.	Брудний щебінь	0,216	-	-	-
10.	Брудний щебінь, акрилова ґрунтівка	0,016	-	-	-
11.	Брудний щебінь, каніфоль з гліцерином	0,122	-	-	-
12.	Брудний щебінь,бітумна мастика	0,234	0,07	-	0,6
13.	Брудний щебінь, сілікон	0,166	0,11	-	-
14.	Брудний щебінь, лак «цапон»	0,063	0,06	-	-
15.	Брудний щебінь, бітум	0,22	0,12	0,04	-

Список літератури

- Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269: затв. Укрзалізницею 01.03.2012. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс». – 2012. – 456 с.
- Бушуєв, В. І.** Исследование, разработка и оценка эффективности методов повышения устойчивости работы рельсовых цепей систем автоматического регулирования движения поездов на грузонапряженных участках: Автореферат к.т.н. – 05.13.07. – Ленинград. – 1983.
- Патент № 77979** МПК В65G 63/00, В65G 67/00 Спосіб портової перевалки навалочних вантажів із залізничного потяга на судно / **Шилаєв П. С., Ломотько Д. В., Данико М. І., Шевченко В. І., Дунаєвський Л. М., Котенко А. М.**; Власник (и) Українська академія залізничного транспорту – Заявка: u2012 07110, 12.06.2012, публ. 11.03.2013 Бюл №5.
- Котляренко, Н. Ф.** Электрические рельсовые цепи: уч.пос. / **Н. Ф. Котляренко.** – М.: Трансжелдориздат. – 1961. – 328 с.
- Электрохимические процессы в рельсовых цепях и вопросы повышения устойчивости работы импульсных рельсовых цепей постоянного тока / **Булкин Н. А.** // Автоматика, телемеханика и связь. – 1959. – № 9. – С. 11-16.
- Ján Ondruška** Polarization and depolarization currents in kaolin / **Igor Štubňa, Viera Trnovcová, Igor Medved', Tiit Kaljuvee** / *Applied Clay Science.* – 2015. – V. 114. – P. 157-160.
- Старосельский, А. А.** Электрические характеристики пути / **А. А. Старосельский** // *Путь и путевое хозяйство.* – 1990. – №5. – С. 34-35.
- Tumidajski, P. J.** On the relationship between porosity and electrical resistivity in cementitious systems / **P. J. Tumidajski, A. S. Schumacher, S. Perron, P. Gu, J. J. Beaudoin** / *Cement and Concrete Research.* – 1996. – V. 26(4). – 1996. – P. 539-544.
- Florin Danès** Non-uniformity of the filler concentration and of the transverse thermal and electrical conductivities of filled polymer plates / **Florin Danès, Bertrand Garnier, Thierry Dupuis, Philippe Lerendu, Thien-Phap Nguyen** // *Composites Science and Technology.* – 2005. – V. 65(6). – P. 945 - 951.
- Álvaro García** Electrical conductivity of asphalt mortar containing conductive fibers and fillers / **Álvaro García, Erik Schlangen, Martin van de Ven, Quantao Liu** / *Construction and Building Materials.* – 2009. – V. 23(10). – P. 3175 - 3181.
- Трикоз, Л. В.** Дослідження питомої електричної провідності баластного щебеню / **Л. В. Трикоз, І. В. Багіяню** // *Зб. наук. праць. Харків: УкрДУЗТ.* – 2015. – № 155. – С. 179 - 184.
- Toshio Ogasawara** Sensitive strain monitoring of SiC fiber/epoxy composite using electrical resistance change / **Toshio Ogasawara, Shifumi Aizawa, Takeshi Ogawa, Takashi Ishikawa** / *Composites Science and Technology.* – 2007. – V. 67(6). – P. 955 - 962.
- Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition? / **Jerzy Trzciński, David J. Williams, Marek S. Żbik** / *Applied Clay Science.* – 2015. – V. 109 - 110. – P. 49 - 54.
- Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-204:2009. – Введ. 12.12.2009. – К.: Мінеріонбуд України. – 2010. – 13 с.

Bibliography (transliterated)

- Instructions for arrangement of and keeping track of railways of Ukraine: CB-0269: approved. UZ 01.03.2012, Kyiv: LLC "NVP Polihrafservis", 2012, 456 p.
- Bushuyev, V. I.** Research, development and evaluation of methods for increasing the stability of the track circuits of

- automatic regulation of train traffic on congested sections: Abstract of Ph.D. - 05.13.07, *Leningrad*, 1983.
- 3 **Patent number 77979** MPK B65G 63/00, B65G 67/00 The method of port freight of transshipment Rail train on a ship / **P. S. Shilacv, D. V. Lomotko, M. I. Danko, V. I. Shevchenko, L. M. Dunaevsky, A. M. Kotenko**; Vlasnik (s) Ukraïnska akademiya Zaliznicново transport - Application: u2012 07110, 12.06.2012, publ. 03.11.2013 Bulletin №5.
- 4 **Kotlyarenko, N. F.** The electrical rail chains [Text]: uch.pos., Moskov: Transzheldorizdat, 1961, 328 p.
- 5 **Bulkin, N. A.** Electrochemical processes in rail circuits and to improve the stability of pulsed DC power track circuits. *Automation, Remote Control and Communication*, 1959, **9**, 11 - 16.
- 6 **Ján Ondruška, Igor Štubňa, Viera Trnovcová, Igor Medved', Tiit Kaljuvee** Polarization and depolarization currents in kaolin *Applied Clay Science*, 2015, **114**, 157 - 160.
- 7 **Staroselsky, A. A.** The electrical characteristics of the track. *Path and track facilities*, 1990, **5**, 34 - 35.
- 8 **Tumidajski, P. J., Schumacher, A. S., Perron, S., Gu, P., Beaudoin, J. J.** On the relationship between porosity and electrical resistivity in cementitious systems. *Cement and Concrete Research*, 1996, **26** (4), 539 - 544.
- 9 **Florin Danès, Bertrand Garnier, Thierry Dupuis, Philippe Lerendu, Thien-Phap Nguyen** Non-uniformity of the filler concentration and of the transverse thermal and electrical conductivities of filled polymer plates / // *Composites Science and Technology*, 2005, **65**(6), 945 - 951.
- 10 **Álvaro García, Erik Schlangen, Martin van de Ven, Quantao Liu** Electrical conductivity of asphalt mortar containing conductive fibers and fillers. *Construction and Building Materials*, 2009, **23** (10), 3175 - 3181.
- 11 **Trikoz, L. V., Bagiyanc, I. V.** The research of electrical conductivity of ballast breakstone *Coll. Science. works. Kharkov: UkrDUZT*, 2015, **155**, 179 - 184.
- 12 **Toshio Ogasawara, Shifumi Aizawa, Takeshi Ogawa, Takashi Ishikawa** Sensitive strain monitoring of SiC fiber/epoxy composite using electrical resistance change. *Composites Science and Technology*, 2007, **67**(6), 955 - 962.
- 13 **Jerzy Trzciński, David J. Williams, Marek S. Żbik** Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition? *Applied Clay Science*, 2015, **109** - **110**, 49 - 54.

Відомості про авторів (About authors)

Трикоз Людмила Вікторівна – доктор технічних наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Трикоз Людмила – doct. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Багіяниц Ірина Вікторівна – здобувач кафедри залізничні станції та вузли Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-19-49. E-mail: bagira54017@mail.ru

Bagiyanc Irina – applicant of Department Railway stations and nodes Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-19-49. E-mail: bagira54017@mail.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Трикоз, Л. В. Дослідження баластного щебеню при перевезенні мінеральних добрив залізничним транспортом / **Л. В. Трикоз, І. В. Багіяниц** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 35 - 39. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Trikoz, L., Bagiyanc, I. The research of electrical conductivity of ballast breakstone during transportation mineral fertilizers railway transport. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 35 - 39, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Трикоз, Л. В. Исследование балластного щебня при перевозке минеральных удобрений железнодорожным транспортом / **Л. В. Трикоз, И. В. Багияниц** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 35 - 39. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрено влияние степени загрязненности балластного щебня минеральными удобрениями на величину его удельной электрической проводимости. Установлено, что эта величина может изменяться в зависимости от вида покрытия на зернах щебня и от вида минеральных удобрений, перевозимых железнодорожным транспортом. Такое покрытие может быть предложено для обработки чистого щебня перед его укладкой в путь во время ремонтов для продления сроков эксплуатации балластного слоя, предупреждения адгезионного загрязнения и ликвидации случаев ложной занятости рельсовых цепей.

Ключевые слова: щебень, минеральные удобрения, удельная электрическая проводимость, рельсовая цепь, задержки поездов.

Надійшла (received) 14.12.2015

УДК 338 242

ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНОГО ПІДХОДУ, ЩОДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В УМОВАХ ВИСОКОШВИДКІСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Г. І. ХІМІЧЕВА*, В. В. КУРИЛЯК

Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Київський національний університет технологій і дизайну, Київ, УКРАЇНА

*email: valentina.kuryliak@gmail.com

АННОТАЦІЯ Як показує досвід використання експертної оцінки у сфері високошвидкісного руйнування матеріалів, являє собою проблему, оскільки оцінка матеріалу ґрунтується виключно на знаннях експертів, що мають великий досвід у дослідженні матеріалів в умовах високошвидкісного навантаження, але у ряді випадків він може характеризуватися неузгодженістю думок експертів. Тому, поряд з експертним методом, в даній області необхідно впровадження додаткових кваліметричних методів оцінки, оскільки експертний метод вимагає істотних трудовитрат та часу. Отже в даній статті проводиться аналіз існуючих методів оцінки та розглядається можливість застосування кваліметричного підходу, щодо оцінки якості матеріалів в умовах високошвидкісного навантаження.

Ключові слова: кваліметричний підхід, методи оцінки якості матеріалів, високошвидкісне навантаження

BASIS OF POSSIBILITIES QUALIMETRIC APPROACH FOR EVALUATION MATERIALS THAT ARE UNDER STRESS HIGH

A. HIMICHEVA*, V. KURYLIAK

Department of Metrology, Standardization and Certification, Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The aim of this study is to analyze the existing methods for assessing the quality of materials and the possibility of proposing an alternative expert approach, namely qualimetric, regarding the evaluation of quality materials under high load. Research in this area will create an alternative method of expert evaluation tool quality materials under high load. The use of such tools can greatly simplify decision-making and choice of materials required for companies that are developing products that operate in extreme conditions of shock effects. And as the analysis of existing methods of assessing the quality of materials, and particularly quickly loaded, expert evaluation to determine their quality is not enough and time consuming because of the required quality of the material may be determined only taking into account all the features and performance that provides for the development of guidelines on the application qualimetric approach to assess the quality of materials that are in conditions of high load. Also, in the study it was shown that at the moment there is no clear methodology for assessing the quality of different materials. In each case, the problem is solved independently, based on preferences, prevailing conditions and the type of material. In such a data evaluation methods can not be used to develop criteria and assess the quality of materials exposed to high-speed loading, so you need by summarizing the data to develop criteria for quality materials, pick qualimetric methods for assessing their quality in terms of impact loading.

Keywords: qualimetric approach, methods of assessing the quality of materials, high-load

Вступ

Намагаючись підвищити якість продукції і послуг, виробники впроваджують на підприємствах статистичні методи і систему менеджменту якості. Особливе місце у впровадженні системи менеджменту якості займають питання управління якістю матеріалів та їх кваліметрична оцінка, оскільки, як відомо, без належної якості вихідних матеріалів неможливо отримати високу якість кінцевих виробів. Велике значення при цьому має правильний вибір вихідного матеріалу, який залежить від умов застосування та співвідношення ціни і якості. Важливу роль у вирішенні проблеми вибору

вихідних матеріалів належної якості відіграє процедура проведення оцінки якості матеріалів.

В галузі дослідження якості матеріалів застосовуються різні кваліметричні методи оцінки, які залежать від самого матеріалу, специфіки його виробництва, застосування та випробування. Наприклад, в таких областях, як металургія та будівництво, використовуються статистичні методи оцінки. В даному випадку статистичні методи дозволяють у найбільш повній мірі контролювати і управляти процесом отримання матеріалів належної якості. Але в ряді інших сфер рішення даного питання вимагає окремого дослідження.

Ціль роботи

У сфері високошвидкісного руйнування матеріалів проблема вибору матеріалу, в основному, вирішується методом експертних оцінок. При цьому оцінка матеріалу ґрунтується на знаннях експертів, що мають великий досвід у дослідженні матеріалів в умовах високошвидкісного навантаження. Але, поряд з експертним методом, в даній області необхідно впровадження додаткових кваліметричних методів оцінки якості матеріалів, оскільки експертний метод вимагає істотних трудовитрат та часу. Крім того, у ряді випадків він може характеризуватися неузгодженістю думок експертів. Отож, необхідність комплексної оцінки якості матеріалів в умовах високошвидкісних впливів представляє особливий інтерес, оскільки такі матеріали використовуються у військовій техніці, броні та відповідальних деталях космічної та підводної техніки. У зв'язку з цим, цілю нашого дослідження є аналіз існуючих методів оцінки якості матеріалів та запропонування можливості застосування альтернативного експертному підходу, а саме кваліметричного, щодо проведення оцінки якості матеріалів в умовах високошвидкісного навантаження.

Викладення основного матеріалу

Головним моментом в оцінці якості матеріалів є визначення рівня якості. Під рівнем якості, згідно [1], розуміється відносна характеристика, заснована на порівнянні сукупності показників якості даної продукції з відповідною сукупністю базових показників. Оцінка рівня якості проводиться за допомогою показників якості, які відображають властивості продукції

При цьому під показником якості продукції розуміють кількісну характеристику одного або декількох властивостей продукції, [2] що входить до її якості, та розглянуті в певних умовах їх створення, експлуатації або споживання. А під властивістю продукції розглядається об'єктивна особливість продукції, яка може виявлятися при її створенні, експлуатації або споживанні [3]. У загальній сукупності показників якості матеріалів виділяють одиничні і комплексні показники, що характеризують їх властивості, а також узагальнюючі показники, що виражають рівень їх якості [1].

Одиничний показник якості продукції характеризує один із її властивостей, а комплексний – декілька властивостей. Одиничні і комплексні показники якості матеріалів застосовуються для визначення конкретних завдань щодо поліпшення якості з урахуванням особливостей своєї продукції і характеру її виробництва.

Отож, як показує багаторічний досвід роботи в оцінці якості матеріалів, які працюють в умовах високошвидкісного навантаження наявність значної кількості одиничних характеристик ускладнює аналіз

і порівняння між собою різних матеріалів. Зрозуміло, що для вирішення такого роду завдань необхідно, щоб оцінка матеріалів була комплексною. У сучасній базі оцінки матеріалів існує досить багато різних методів оцінки якості промислової продукції. Однак, як показує аналіз спеціалізованих робіт, [4], [9], які присвячені комплексній оцінці якості промислових матеріалів цього являються недостатньо.

У деяких роботах [5], [6] в якості критерію пропонується прийняти ймовірність виходу значень механічних характеристик за нижню межу, встановлену для них в ГОСТ. У більш сучасних роботах показано, що об'єктивна оцінка якості матеріалів можлива тільки в тому випадку, якщо враховується їх функціональна сутність, яка вказується за допомогою функціонального критерію.

Але, для вироблення функціонального критерію необхідно в кожному конкретному випадку вирішувати наступні задачі: 1) вибрати критерій, що відображає функціональне призначення матеріалу; 2) вибрати показники якості, що характеризують механічні, фізичні, хімічні та ін. властивості матеріалу; 3) вибрати базові показники, по відношенню, до яких можна проводити порівняння показників якості; 4) оцінити рівень якості за одиничними показниками; 5) оцінити рівень якості за узагальненим показником; 6) виявити взаємозв'язки між одиничними і узагальненим показником якості матеріалу з метою розробки заходів щодо забезпечення якості [7].

Як показує аналіз, найбільш широко методи оцінки якості матеріалів представлені і активно використовуються в металургії при оцінці якості металопродукції, а також у будівництві при оцінці якості будівельних матеріалів. Будівельні матеріали не є предметом розгляду в даній роботі, тому доцільно розглянути оцінку металопродукції. У металургії найбільш широко критерії якості і показники розроблені для сталей.

Згідно [8] критеріями якості сталі в залежності від її призначення можуть служити: хімічний склад; механічні властивості (межа міцності, межа витривалості, відносне подовження / звуження і т.д.); мікроструктура, якого визначається рівнем міцності і пластичності сталей; величина зерна; холодостійкість; старіння; прожареність; зварюваність; штампованість та якість поверхні з геометрією прокату.

Можливість накопичення великого обсягу даних на металургійних виробництвах завдяки оснащення засобами вимірювання та збору інформації дозволяє використовувати для задач управління якістю продукції розробку алгоритмів розкопок даних («data mining»). В основному, для цих цілей використовують програмні пакети Statistica Neural Networks (SNN), в якому реалізуються статистичні методи контролю якості. Так в роботах [9, 10] при оцінці якості сталі використовуються такі статистичні методи, як аналіз гістограм, побудова рівнянь регресії і кореляції, а також виявлення

ступеня підпорядкування випробувань закону нормального розподілу і використання коштів когнітивної графіки.

У роботі [10] після побудови регресії спільного впливу марганцю та сірки на зростання зерна використовується аналіз гістограм, який дає корисну інформацію у цьому напрямку. «Двогорбий» розподіл мікротвердості, наприклад, може свідчити про відмінності в структурі і про всебічні наявні порушення в технології обробки. Поява невеликих вторинних піків є ознакою записів значень параметрів або результатів випробувань минулою датою. У роботі [9] сказано, що результати механічних та інших випробувань, як правило, мають нормальне або близький до нормального розподіл, у той час як, для даних, що характеризують хід технологічного процесу, часто має місце значне відхилення від нормального розподілу. Це пояснюється тим, що для ряду керуючих параметрів намагаються витримати значення на верхній або нижній межі полів допусків. Відхилення результатів здавальних випробувань від нормального розподілу - це, або, відгук на коливання технології, або сліди заокруглень, записів минулою датою, відкидання або «повторність перевірки» неналежних результатів.

Традиційна процедура пошуку зв'язків здійснюється з використанням класичної статистики - регресійного аналізу. Однак регресія передбачає існування єдиного поля залежностей; в металургії ж управління «по збуренню» не є ефективною, оскільки тут занадто багато взаємопов'язаних факторів. Тому в роботі [3] до розглянутих технологій виробництва листа і поковок значних коефіцієнтів кореляції виявлено не було.

У свою чергу, для оцінки спільного впливу коливання параметрів технології на властивості можливо використовувати кошти когнітивної графіки. Для реалізації такої процедури обробки в роботі [5] вихідний масив виробничих даних по листу був розбитий на два під масиви з пластичністю більшого і меншого середнього значення. З масиву даних технологічного процесу виробництва поковок були виділені два під масиви з граничними значеннями балу кам'яноподібних - 1 і 4 відповідно. Це дозволило виділити «небезпечні» і «безпечні» інтервали зміни технологічних параметрів з погляду появи в зламі кам'яноподібних складових.

Ще одним критерієм оцінки якості матеріалів в галузі металургії є комплексний показник якості, запропонований в роботі Гуна Г.С. [6]. При оцінці якості металовиробів споживача, насамперед, цікавить технічний рівень виробітку, тому, у даній роботі пропонується розглядати питання оцінки з точки зору технологічного управління якістю. У зв'язку з цим слід приділяти увагу тільки технічним показниками виробу. Ці показники пропонується відносити до однієї з наступних трьох груп показників: механічних властивостей; геометричних властивостей та властивостей поверхні і покриттю.

У стандартах і технічних вимогах звичайно задаються властивості, що мають чисельну характеристику (одиничні - елементарні) показники. Відповідно до запропонованої класифікації пропонується побудова ієрархічного дерева до визначення комплексного показника якості (в даному випадку канатів), який представлений на рис. 1.



Рис. 1. – Ієрархічне дерево показників для канатів за даними [7]

Одиничні показники одного статусу, якісно нерозрізнені та мають кількісне розходження в значимості, що враховується параметрами вагомості. Таким чином, комплексний показник якості визначається за формулою 1:

$$K_o = \left[\left(\prod_{i=1}^n d_i^{a_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^n a_i} \left(\frac{\sum_{j=1}^m \beta_j K_j}{\sum_{j=1}^m \beta_j} \right) \right]^{0,5}$$

K_o – комплексний показник;
 a_i, β_j – параметри вагомості одиничних показників якості;
 d_i, k_j – значення одиничних показників якості;
 n, m – число домінуючих і компенсуючих показників.

Таким чином, домінуючими показниками будуть міцнісні характеристики (для канатів).

Вагомість пропонується оцінювати одним з трьох методів: експертним, еквівалентним і вартісним. Приклад розрахунку комплексного показника представлений у формулах (2) і (3). Формула (4) призначена для розрахунку компенсуючих показників.

$$K_i = \begin{cases} (P_{i6}/P_i)^2, & P_i > P_{i6} \\ 1 + \gamma - \gamma^2 / \left(\eta \left(\frac{P}{P_6} - 1 \right) + \gamma \right), & P_6 > P_{i6} \end{cases}$$

де γ - постійна, яка визначає максимально можливе значення показника;

η – коефіцієнт, який враховує вид залежності між абсолютними значеннями властивостей P і показниками якості.

Відповідно комплексний показник може бути представлений в наступному вигляді:

$$K_o \sqrt{(0,17K_1 + 0,28K_2 + 0,55K_3) \cdot d_1^{0,19} \cdot d_2^{0,10} \cdot d_3^{0,27}}$$

В даний час ряд методик затверджені міністерством чорної металургії і використовуються на підприємствах. Дана методика комплексної оцінки якості продукції є досить достовірною для систем управління якістю продукції і якістю робіт, і оптимізації виробництва. Діючи ГОСТ і відповідні Міністерства чорної металургії допускають застосування диференціального, комплексного та змішаного методів оцінки. У той час як в окремих областях розроблено загальні та конкретні оцінки: у будівництві – комплексні; в металургії – диференціальні [8].

Дана методика оцінки якості за допомогою комплексного показника використовувалася в роботі [10]. В даному випадку оцінювалася якість болтів, тільки для одиначної оцінки використовувалася формула.

$$K = 1 - \frac{2}{(P_i^6 - P_i^{min})^2} \cdot \frac{(P_i^6 - P_i)^2}{2} = 1 - \frac{(P_i^6 - P_i)^2}{(P_i^6 - P_i^{min})^2}$$

Дана залежність дозволяє оцінити якість болтів за властивостями, збільшення значень яких підвищує або знижує якість продукції або технології, а також за властивостями, вихід абсолютних значень яких з певного інтервалу знижує рівень якості. Вибір технології по одиначному показнику проблематичний, тому автором пропонується здійснити це на основі комплексної оцінки, яка дає єдиний кількісний критерій рівня якості виробництва продукції. Для згортки одиначних оцінок використовувалася функція згортки, представлені вище (1).

Критерієм найбільшої ефективності варіанта виробництва є максимізація значення комплексного показника. Також комплексна оцінка та її алгоритм, який пропонується в роботі [8] та його співавторами для дослідження металу. При цьому рекомендується виділяти найважливіший показник, що характеризує якість металу та його службові властивості. Для колій, наприклад, узагальнюючим показником якості є зносостійкість пропущеного вантажу бруто. Спеціальна сталь для виготовлення подібних виробів повинна володіти наступними властивостями: опір окисленню, жаростійкістю, опором механічних руйнувань, термічною стійкістю, запасом пластичності, технологічністю. Кількісні аналоги службових властивостей кінцевого виробу будуть наступними: жаростійкість, тривала міцність; границі повзучості; термічна втома; відносне подовження / звуження та ударна в'язкість.

У зв'язку з цим пропонується метод узагальнення всіх одиначних показників шляхом висновку комплексної кількісної оцінки подібності, який представлений нижче. Алгоритм складається з 9 етапів: 1. Визначення умов споживання об'єкта; 2. Складання ієрархічної схеми властивостей об'єкта, необхідних для оцінки його якості; 3. Призначення

інтервалу зміни величини абсолютного показника кожного елемента властивостей; 4. Вибір еталона для порівняння; 5. Визначення виду залежності між абсолютним показником і його оцінкою; 6. Обчислення оцінок; 7. Визначення способу знаходження вагомості; 8. Вибір способу зведення воедино оцінок окремих властивостей для отримання комплексної оцінки; 9. Обчислення комплексної оцінки.

Робота [7] зауважує, що при оцінці якості арматурного дроту подібним методом, використовуваним в металургії, пропонується статистична обробка даних. Основними параметрами якості дроту, згідно до вимог європейського стандарту, визначено: міцність і пластичність; зварюваність, обумовлена хімічним складом сталі; рівень зчеплення (критерій анкерування). Встановлення кількісного зв'язку між хімічним складом сталі та параметрами гарячої і холодної пластичної деформації, з одного боку, і структурою і властивостями сталі – з іншого, дозволяє прогнозувати властивості готового дроту. За результатами статистичної обробки даних, отримані регресійні рівняння, які дозволяють здійснити прогнозування рівня якості катанки. Далі виробляється порівняльний аналіз мікроструктури і властивостей дроту методом гістограм і визначення підвищення механічних і пластичних властивостей при зменшенні величини зерна.

У роботі [1] розглянуті критерії якості сировини для виробництва прозорого кварцового скла. Згідно з даними відсутність критеріїв і методів контролю якості сировини обумовлена недостатнім рівнем вивченості складу сировини та ролі домішок. У зв'язку з цим пропонується ряд критеріїв оцінки придатності кварцової сировини для виробництва прозорого скла. Першим критерієм є ступінь ураженості газово-рідкими включеннями. Другим - коефіцієнт світло пропускання сировини, який повинен становити не менше 40%. Третім - вміст хімічних домішок. Відповідними факторами якості сировини є: порушення (відхилення А) однокомпонентності сировини (поява інших включень, фаз); відхилення від хімічного складу; структури (співвідношення корисного та шкідливого компонентів). Методологія оцінки якості: ідентифікація дефектів у сировині та склі, нормування якості сировини, співвідношення аналітичних і технологічних методів.

У зв'язку з цим метою роботи було запропоновано та можливість розробки механізму кваліметричної оцінки до вибору матеріалів для виробів, що працюють в області високошвидкісних впливів. Для реалізації поставленої мети необхідно виконання наступних завдань:

1. Провести аналіз характеристик матеріалів, використовуваних в умовах ударних навантажень, експериментальних методів навантаження;

2. Провести аналіз кваліметричних методів, використовуваних для оцінки якості матеріалів; 3. Визначити критерії оцінки якості матеріалів в умовах екстремальних навантажень; 4. Удосконалити кваліметричні методи, обрані для оцінки якості матеріалів в умовах ударного навантаження; 5. Розробити алгоритм та методичні рекомендації оцінки якості матеріалів, здійснити практичну реалізацію розроблених положень.

Обговорення результатів

Отже для вироблення необхідного критерію при оцінці якості матеріалів, які мають різне функціональне призначення, а особливо матеріалів, які працюють в умовах високошвидкісного навантаження в кожному конкретному випадку треба вирішувати наступні завдання: правильно вибрати критерії, які вказують на функціональне призначення матеріалу; коректно визначити показники, які характеризують механічні, фізичні, хімічні властивості матеріалу; вибір базових показників та оцінка рівня якості за одиничним та узагальненим показником грає важливу роль у процесі визначення якості матеріалу; виявлення взаємозв'язків між одиничним та узагальнюючим показником якості ставить за мету розробити заходи, які забезпечать необхідну якість матеріалу. І як показує аналіз існуючих методів оцінки якості матеріалів, а особливо швидко навантажених експертної оцінки для визначення їх якості недостатньо та трудомістко, оскільки визначення необхідної якості матеріалу можливо визначити тільки враховуючи усі властивості та показники, що і передбачає можливість розробки методичних рекомендацій щодо застосування кваліметричного підходу до оцінки якості матеріалів, що знаходяться в умовах високошвидкісного навантаження.

Висновок

Таким чином, можна сказати, що на даний момент немає чіткої методики оцінки якості різних матеріалів. У кожному окремому випадку дана проблема вирішується самостійно, виходячи з переваг, сформованих умов і виду самого матеріалу. У подібному вигляді дані способи оцінки не можуть бути використані для вироблення критеріїв та оцінки якості матеріалів, що піддаються високошвидкісному навантаженню, тому необхідно шляхом узагальнення представлених даних розробити критерії якості матеріалів, підібрати кваліметричні методи оцінки їх якості в умовах ударного навантаження.

Список литературы

1. **Ефимов, В. В.** Потребительские ценности продукции / **В. В. Ефимов** // *Стандарты и качество*. – Киев: Изд-во УКРА. – 2002. – № 5. – С. 67-69.
2. **Афанасьева, П. В.** Применение экономических методов в системе качества / **П. В. Афанасьева, К. И. Рахлин** // *Стандарты и качество*. – 2000. – № 10. – С. 24-25.
3. **Адлер, Ю. Р.** Управление знаниями: новые акценты поиска источников конкурентных преимуществ / **Ю. Р. Адлер, Е. С. Черных** // *Стандарты и качество*. – Киев. – 2000. – № 6. – С. 48-55.
4. **Огвоздин, В. Ю.** Управление качеством / **В. Ю. Огвоздин** // *Основы теории и практики*. – Киев. – 2009. – С. 216-222.
5. **Ярцев, Д. Ю.** Сертификация систем качества: проблемы, которых можно избежать / **Д. Ю. Ярцев** // *Сертификация*. – 2000. – № 8. – С. 80-83.
6. **Davis, J.** Mathematic Formulas and References for Nondestructive Tasting Eddy Current / **J. Davis, M. King**. // Las Vegas: NV: Art Room Corporation. – 2001.
7. **Schroeder, H.** Uptake by Vegetalles from Super phosphate in Soils / **H. Schroeder, S. Ballassa** // *Cadmium: Scilhce*. – 1963.
8. **Senesi, N.** Trace element addition to soil by application of NPK fertilizers / **N. Senesi, M. Polemio** // *Fert. Research*. – 1981.
9. **Caro, I.** Characterization of Superphosphate in Superphosphate its History Chemistry and Manufacture / **I. H. Caro, O.S. Dept** // Washington: Scilhce. – 1994.
10. **Tarn, N. Sei Total Environ** / **N. Tarn, L. H. Smith, R. H. Merry, P. M. Clayton** // *Austral J. Soil Res.* – 1987.

Bibliography (transliterated)

1. **Efimov, V. V.** Potrebitel'skie tsennosti produktsii, *Standarty i kachestvo*. Kiev: Izdatelstvovo UKRA, 2002, **5**, 67-69.
2. **Afanas'yeva, P. V., Rakhlin, K. I.** Primenenie ekonomicheskikh metodov v sisteme kachestva. *Standarty i kachestvo*, 2000, **10**, 24-25.
3. **Adler, Yu. R., Chernykh, E. S.** Upravlenie znaniyami: novye aktsenty poiska istochnikov konkurentnykh preimushchestv, *Standarty i kachestvo*, Kiev, 2000, **6**, 48-55.
4. **Ogvozdin, V. Yu.** Upravlenie kachestvom. *Osnovy teorii i praktiki*, Kiev, 2009, 216-222.
5. **Yartsev, D. Yu.** Sertifikatsiya sistem kachestva: problemy, kotoryekh mozjno izbezhat'. *Sertifikatsiya*, 2000, **8**, 80-83.
6. **Davis, J., King, M.** Mathematic Formulas and References for Nondestructive Tasting Eddy Current. *Las Vegas: NV: Art Room Corporation*, 2001.
7. **Schroeder, H., Ballassa, S.** Uptake by Vegetalles from Super phosphate in Soils, Cadmium, Scilhce, 1963.
8. **Senesi, N., Polemio, M.** Trace element addition to soil by application of NPK fertilizers, *Fert. Research*, 1981.
9. **Sago, I. H., Dept, O. S.** Characterization of Superphosphate in Superphosphate its History Chemistry and Manufacture, *Washington: Scilhce*, 1994.
10. **Tarn, N., Smith, L. H., Merry, R. H., Clayton, P. M.** Sei Total Environ, *Austral J. Soil Res.*, 1987.

Сведения об авторах (About authors)

Хімичева Ганна Іванівна – професор, доктор технічних наук, Київський національний університет технологій і дизайну, заступник завідуючого кафедри метрології, стандартизації та сертифікації; м. Київ, Україна; Himicheva.knutd@gmail.com.

Anna Himicheva – professor, Doctor of Technical Science, Kyiv National University of Technology and Design, Department of Metrology, Standardization and Certification, Deputy Head of Department, Kyiv, Ukraine; E-mail: Himicheva.knutd@gmail.com.

Куриляк Валентина Василівна – аспірант, Київський національний університет технологій і дизайну, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації; м. Київ, Україна; E-mail: valentina.kuryliak@gmail.com.

Valentina Kurylyak – Postgraduate student, Kyiv National University of Technology and Design, Department of Metrology, Standardization and Certification; Kyiv, Ukraine; E-mail: valentina.kuryliak@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Хімичева, Г. І. Обґрунтування можливості застосування кваліметричного підходу, щодо оцінки якості матеріалів, що знаходяться в умовах високошвидкісного навантаження / **Г. І. Хімичева, В. В. Куриляк** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 40 - 45. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Himicheva, A., Kuryliak, V. Basis of possibilities qualimetric approach for evaluation materials that are under stress high. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 40 - 45, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Химичева, А. И. Обоснование возможности применения кваліметричного підходу, по оцінці якості матеріалів, що знаходяться в умовах високошвидкісного навантаження / **А. И. Химичева, В. В. Куриляк** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 40 - 45. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ Как показывает опыт, использование экспертной оценки в сфере высокоскоростного разрушения материалов существует проблема, поскольку оценка материала основывается исключительно на знаниях экспертов, которые имеют опыт в исследовании материалов в условиях высокоскоростного нагружения, но в ряде случаев он может отмечаться не согласованностью экспертных мнений. Поэтому, рядом с экспертным методом в данной области необходимо внедрение дополнительных кваліметрических методов оценки, поскольку экспертный метод требует значительных трудозатрат и времени. Следовательно, в этой статье проводится анализ существующих метод оценки качества, а также рассматривается возможность применения кваліметрического подхода, относительно оценки качества материалов в условиях высокоскоростного нагружения.

Ключевые слова: кваліметрический подход, методы оценки материалов, высокоскоростное нагружение

Надійшла (received) 10.12.2015

УДК 539.3

МОДЕЛИ АППРОКСИМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА В ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М. А. ЧУБАНЬ^{1*}, Р. И. ШЕЙЧЕНКО², Р. В. ГРАБОРОВ²

¹ Кафедра «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

² ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», Мариуполь, УКРАИНА

*email: s803@tmm-sapr.org

АННОТАЦИЯ При точечной аппроксимации функции отклика в ходе построения модели при выполнении оптимизации машиностроительных конструкций следует учитывать, что нахождение дополнительных точек может быть дорогостоящим с точки зрения затрат времени и ресурсов. Исходя из этого, выгодно поэтапно использовать модели поверхности отклика разных степеней точности. Рассмотрены и применены для тестовых задач методы линейной и билинейной аппроксимации. Дана оценка погрешности обоих методов на тестовых примерах.

Ключевые слова: линейная аппроксимация, билинейная аппроксимация, поверхность отклика, метод конечных элементов, метод конечных разностей, машиностроительная конструкция, синтез параметров.

APPROXIMATION OF THE RESPONSE SURFACE FOR USING IN THE PROCESS OF THE PARAMETRIC SYNTHESIS OF THE ENGINEERING STRUCTURES

M. CHUBAN^{1*}, R. SHEYCHENKO², R. GRABOROV²

¹ Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

² JSC "Science Engineering Center UK" RailTransHolding", Mariupol, UKRAINE

ABSTRACT It should be taken into account that the find of additional points can be costly in terms of time and resources during the spot approximation of the response functions in the model building in process of parametric synthesis of engineering structures. Based on this, it is advantageous to use response surface model of various degrees of precision. To consider and apply the methods of linear and bilinear approximation to the test problems is the goal of this article. The essence of the proposed approach to linear and bilinear approximation is as follows: in the vicinity of the nodal point of a grid, thrown over the area varying parameters, the response function is approximated by linear or bilinear functions. These functions are defined in the cells adjacent to the current node. Thus, the real surface is approximated by "scaly" surface. The necessary for approximation values of interested parameters of the optimizing constructions for different combinations of its design parameters were obtained as the result of numerical calculations by the using of the finite element method. Derivatives at the nodal points were found by the using of the finite difference method. The error of both methods was evaluated on test examples. For considered test problems the first-order empirical model with interaction of parameters showed slightly better results than the linear model, although it requires more calculations for building. Accuracy of linearization and bilinearization methods is ranged from 0 to 40%. At the same time, in some cases using of bilinearization method can give a more accurate approximation of the actual response surface than using of linear approximation. This is illustrated on the example of some specially selected function.

Keywords: linear approximation, bilinear approximation, response surface, finite element method, finite difference method, engineering design, synthesis of parameters.

Введение

В статьях [1, 2] было отмечено, что в инженерной практике во многих случаях для построения дискретных эмпирических моделей в ходе параметрического синтеза используют точечную аппроксимацию. При этом функция отклика $f(p)$ неизвестна, а связь между параметрами p и f представляется в виде таблицы $\{p_i, f_i\}$. Это означает, что дискретному множеству значений аргумента p_i

поставлено в соответствие множество значений функции $f_i, i = 0, 1, \dots, n$. Эти значения являются или результатами численных расчетов, или экспериментальными данными. Этот факт следует учитывать при выборе точности математической модели для оптимизации. Так, для построения модели первого порядка аппроксимации необходимо 2^S решения задачи анализа интересующего показателя конструкции или значения экспериментальных данных (для модели второго порядка – 3^S и т. д.), которые, в

зависимости от исследуемого объекта, могут быть очень сложными или дорогостоящими. В приведенных формулах s – число рассматриваемых параметров.

Цель работы

Цель данной статьи – рассмотреть эти методы и модели, а также применить методы линейной и билинейной аппроксимации для решения тестовых задач.

Анализ методов и моделей

Вообще, модель первого порядка аппроксимации будет подходящей, когда исследователь интересуется приближением истинной поверхности отклика на относительно небольшой области пространства независимых переменных в зоне небольшой кривизны функции отклика [3]. Но часто кривизна истинной поверхности отклика достаточна для того, чтобы линейная модель стала неподходящей. В таких ситуациях требуется модель более высокого порядка [4].

Что касается оптимизации объектов машиностроения, то форма поверхности отклика в этом случае обычно заранее неизвестна. Поэтому в инженерной практике с точки зрения соотношения затраченных ресурсов и получаемой точности в процессе оптимизации выгодно поэтапно использовать модели нескольких порядков [5, 6]. Сначала строят линейную модель функции отклика – грубое приближение, – из которой определяют область, где предположительно находится ее минимум (или максимум). Далее в этой области увеличивают количество «реперных» точек [1] (узлов) и строят более точную модель. Такой метод называется методом последовательных сгущений.

Для случая двух независимых переменных модель первого порядка выглядит так [7]:

$$z = \gamma_0 + \gamma_1 p_1 + \gamma_2 p_2, \quad (1)$$

где $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ – некоторые коэффициенты, которые легко вычислить.

Такая модель первого порядка аппроксимации называется моделью главных эффектов, так как она включает только главные эффекты от переменных p_1 и p_2 . Так, варьирование параметров p_1 и p_2 , взятых отдельно, некоторым образом влияет на оцениваемые показатели конструкции (напряжения, перемещения, массу), но значения этих показателей могут меняться гораздо больше, если варьировать два параметра

одновременно. В модель учет взаимодействия между параметрами может быть добавлен следующим образом:

$$z = \gamma_0 + \gamma_1 p_1 + \gamma_2 p_2 + \gamma_{12} p_1 p_2, \quad (2)$$

Это модель первого порядка с учетом взаимодействия.

Постановка задачи

Данный теоретический материал по построению эмпирической модели был применен для решения тестовой задачи по определению рационального сочетания параметров двухступенчатого стержня.

Ставилась задача найти функцию отклика по напряжениям для жестко защемленного по обоим концам ступенчатого стержня, находящегося под действием вертикальной силы, при варьировании характеристик материала двух его ступеней, а именно модуля упругости.

Сначала при помощи метода конечных элементов (МКЭ) [8 - 11] были получены решения задачи анализа напряженного состояния при изменении параметров для получения так называемой истинной функции отклика. В качестве номинальной точки было принято сочетание значений параметров $p_1^0 = p_2^0 = 2 \cdot 10^{11}$. Остальные необходимые узловые точки были получены из формулы:

$$p_i = p_i^0 \cdot (1 \pm \alpha_i^0) \quad (3)$$

Коэффициент α лежит в интервале (0;1) и изменяется с шагом 0,05. Соответственно, модуль упругости варьируется в пределах от $0,5 \cdot 10^{11}$ до $4 \cdot 10^{11}$ Па. В итоге интервалы переменных p_1 и p_2 были разбиты на 35 подынтервалов и было найдено 1296 решений задачи анализа напряженного состояния. Построенную по этим данным поверхность отклика и считали действительной, рис. 1. (В данном случае напряжения отнесены к напряжениям при базовом сочетании параметров).

Непосредственно суть предложенного подхода к линейной и билинейной аппроксимации заключается в следующем: в окрестности узловой точки некоторой сетки, наброшенной на область варьирования параметров ($p_1^0; p_2^0$), функция отклика аппроксимируется в виде линейных или билинейных функций. Эти функции определены в

ячейках, смежных с текущим узлом. Таким образом, действительная поверхность аппроксимируется «чешуйчатой» поверхностью.

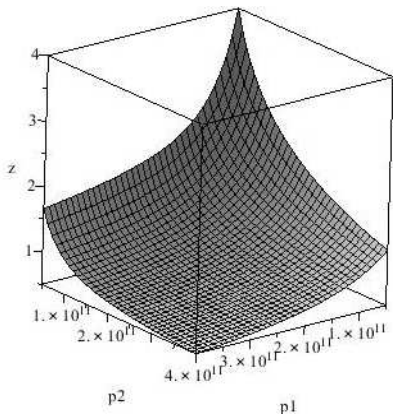


Рис. 1 – Действительная функция отклика (относительные напряжения)

Линейная аппроксимирующая функция в каждом квадранте строится через номинальную точку и две соседние угловые точки и имеет следующий вид:

$$z = f(p_1^0; p_2^0) + f'_x(p_1^0; p_2^0) \cdot (p_1 - p_1^0) + f'_y(p_1^0; p_2^0) \cdot (p_2 - p_2^0) \quad (4)$$

Производные в нулевой точке находились при помощи метода конечных разностей (МКР) [12, 13].

На рис. 2 изображены функция отклика и ее линейная аппроксимация (темным цветом) в одной системе координат.

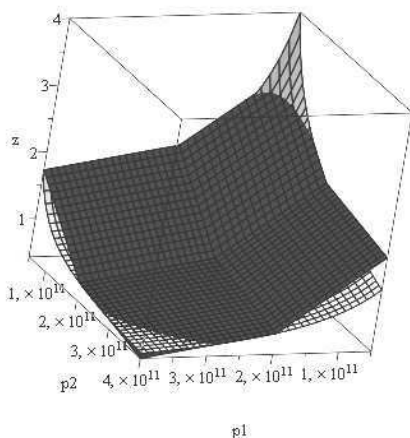


Рис. 2 – Функция отклика и ее линейная аппроксимация в одной системе координат

На рис.3 представлена разница между действительными значениями функции и значениями, полученными из аппроксимирующей функции.

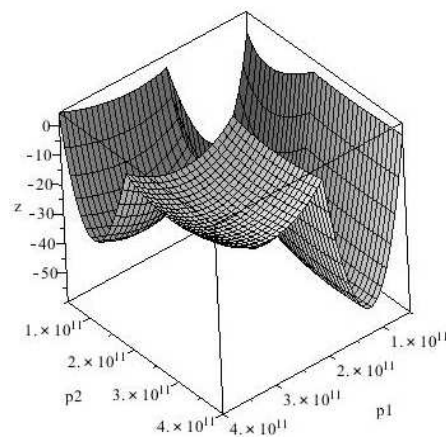


Рис. 3 – Отклонение аппроксимирующей функции от действительной, %

Таким образом, определено, что погрешность при линейной аппроксимации для данной задачи в разных точках поверхности составляет от 0 до 40%.

Выражение ж для билинейной аппроксимации функции состоит из суммы линейной части и смешанной производной по двум независимым переменным:

$$z = f(p_1^0; p_2^0) + f'_x(p_1^0; p_2^0) \cdot (p_1 - p_1^0) + f'_y(p_1^0; p_2^0) \cdot (p_2 - p_2^0) + f''_{xy}(p_1^0; p_2^0) \times (p_1 - p_1^0) \cdot (p_2 - p_2^0) \quad (5)$$

Билинейная аппроксимация поверхности отклика продемонстрирована на рис. 4.

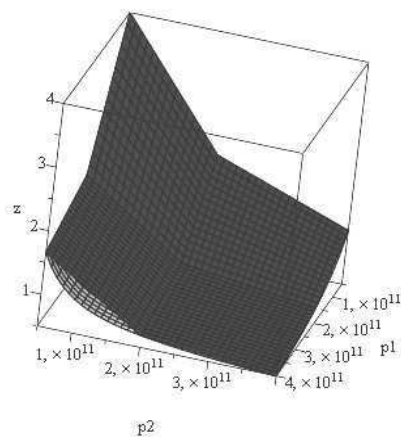


Рис. 4 – Билинейная аппроксимация поверхности отклика

Что касается погрешности, с которой билинейная поверхность описывает истинную, она также для данной задачи составляет около 40%, рис. 5.

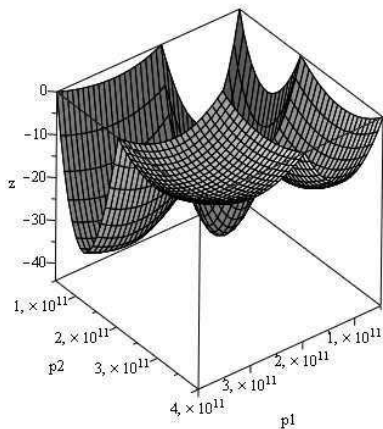


Рис. 5 – Погрешность билинейной аппроксимации, %

Тестовая задача № 2

Методы линеаризации и билинеаризации поверхности отклика были также применены для схожей задачи, при прежних геометрии, характеристиках материала и нагрузках, с той разницей, что вместо жесткой заделки для концов стержня было задано кинематическое граничное условие шарнирное опирание.

Как выглядит поверхность отклика по напряжениям в этом случае, представлено на рис. 6.

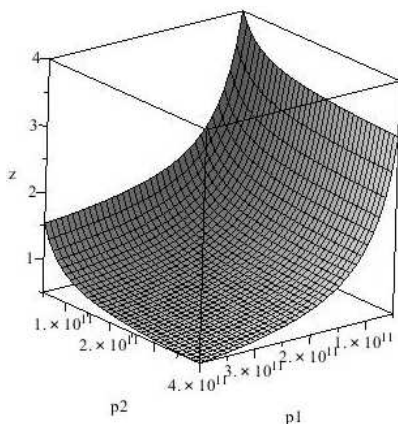


Рис. 6 – Поверхность отклика при граничных условиях в виде шарнирного опирания

Линейная и билинейная аппроксимации поверхности отклика, построенные по тем же алгоритмам, что и в предыдущей задаче, изображены на рис. 7, 8 соответственно.

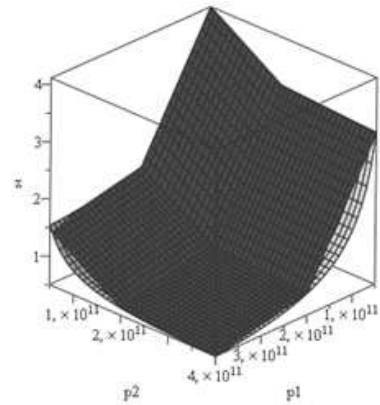


Рис. 7 – Линейная аппроксимация поверхности отклика для задачи с шарнирным опиранием

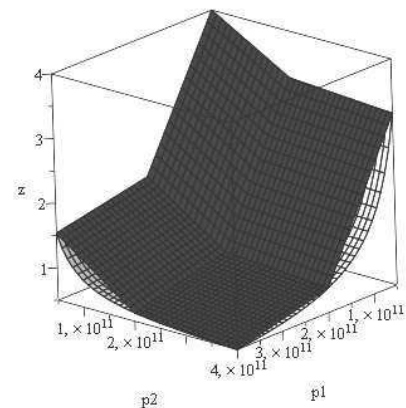


Рис. 8 – Билинейная аппроксимация поверхности отклика для задачи с шарнирным опиранием

Погрешность аппроксимации для данной функции находится в пределах от 0 до 45% при линейной аппроксимации, и примерно такая же – при билинейной. Разность аппроксимирующих линейной и билинейной функций не превышает 5%, рис. 9 .

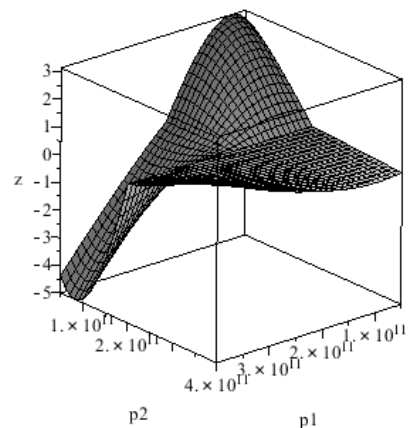


Рис. 9 – Разность аппроксимирующих функций, %

То есть, на данных тестовых примерах эмпирическая модель первого порядка с учетом взаимодействия параметров показала ненамного лучший результат, чем линейная модель, хотя требует для построения больше вычислений.

Тем не менее, в некоторых случаях, метод билинейной аппроксимации может давать практически 100%-ную сходимость аппроксимирующей и аппроксимированной функций, а линейная модель – такую же погрешность. Это наглядно видно на примере некоторой функции $f = 5 \cdot p_1 - 2 \cdot p_1 \cdot p_2 + 4 \cdot p_2 + 8$, рис. 10.

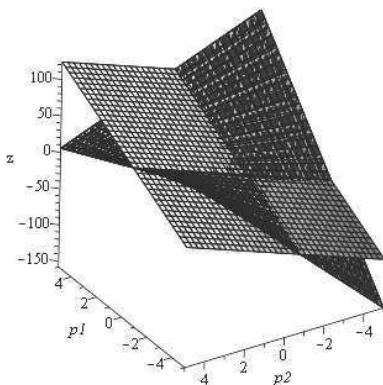


Рис. 10 – Функция и ее линейная и билинейная аппроксимации

Также в качестве достоинства билинейной аппроксимации хотелось бы отметить, что она дает возможность непрерывно аппроксимировать функцию отклика во всем диапазоне изменения параметров.

Выводы

В статье рассмотрены и опробованы для реальных задач оптимизации простейшие виды точечной аппроксимации поверхности отклика – линейная и билинейная аппроксимации. Для данных задач оба метода работают приблизительно одинаково. В то же время, в отдельных случаях при использовании метода билинеаризации следует ожидать более точной аппроксимации действительной поверхности отклика, чем при линейной аппроксимации.

Список литературы

1 **Литвиненко, А. В.** Метод линеаризации поверхности отклика в задаче обоснования проектных параметров тонкостенных элементов машиностроительных

- конструкций. / **А. В. Литвиненко, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов., М. А. Бондаренко** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми механічного приводу.* – 2014. – №31(1074). – С. 88 - 98.
- 2 **Бондаренко, М. А.** Билинеаризация поверхности отклика в оптимизационных исследованиях тонкостенных элементов машиностроительных конструкций / **М. А. Бондаренко, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, Д. Г. Шинкин, Д. В. Киричук** // *Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал.* – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1. – С. 18 - 23.
- 3 **Zhang, H.** Linearly constrained global optimization via piecewise-linear approximation / **H. Zhang, Sh. Wang** // *Journal of Computational and Applied Mathematics.* – 2008. – 214. – P. 111 - 120.
- 4 **Anderson, M.** RSM simplified: optimizing progress using response surface methods for experiments / **M. Anderson, P. Whitcomb** – New York: Productivity Press, a division of Kraus Productivity Organization, Ltd. – 2005. – 289 p.
- 5 **Avalle, M.** Design optimization by response surface methodology: application to crashworthiness design of vehicle structures / **M. Avalle, G. Chiandussi, G. Belingardi** // *Structural and Multidisciplinary Optimization.* – 2002. – Vol. 24, Issue 4, – P 325-332.
- 6 **Bas, D.** Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology / **D. Bas, I. Boyaci** // *Journal of Food Engineering.* . – 2007. . – 78. . – P 836 - 845.
- 7 **Myers, R.** Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. - 3rd ed. / **R. Myers, D. Montgomery, C. Anderson-Cook.** – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. . – 2009. – 1247 p.
- 8 **Mitchell, A. R.** The Finite Element Method in Partial Differential Equations. / **A. R. Mitchell, R. Wait** – New York: Wiley. – 1977. – 216 p.
- 9 **Strang, G.** An Analysis of the Finite Element Method. / **G. Strang, G. J. Fix** – New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. – 1973. – 351 p.
- 10 **Zienkiewicz, O. C.** The Finite Element Method. Vol. 1: Basic Formulation and Linear Problems / **O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor** – London: Mc Graw-Hill. – 1989. – 648 p.
- 11 **Flaherty, J. E.** Finite Element Analysis / **J. E. Flaherty** – New York: Spring. – 2000. – 323 p.
- 12 **Самарский, А. А.** Методы решения сеточных уравнений / **А. А. Самарский, Е. С. Николаев** – Москва: Наука. – 1978. – 592 с.
- 13 **Ильин, В. П.** Методы конечных разностей и конечных объемов для эллиптических уравнений. / **В. П. Ильин** – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики. – 2000. – 345 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Litvinenko, A. V., Sheychenko, R. I., Graborov, R. V., Bondarenko, M. A.** Metod linezatsii poverhnosti otklika v zadache obosnovaniya proektnykh parametrov tonkostennykh elementov mashinostroitelnykh konstruksiy. *VIsnik NTU «KhPI». SerIya: Problemi mehanichnogo privodu*, 2014, 31(1074), 88 - 98.
- 2 **Bondarenko, M. A., Sheychenko, R. I., Graborov, R. V., Shinkin, D. G., Kirichuk, D. V.** Bilinearizatsiya poverhnosti otklika v optimizatsionnykh issledovaniyah tonkostennykh elementov mashinostroitelnykh konstruksiy. *Mehaniika ta mashinobuduvannya. Naukovo-tehnichniy zhurnal*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2014, 1, 18 - 23.

- 3 **Zhang, H., Wang, Sh.** Linearly constrained global optimization via piecewise-linear approximation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2008, 214, 111 - 120.
- 4 **Anderson, M., Whitcomb, P.** RSM simplified: optimizing progress using response surface methods for experiments. New York: Productivity Press, a division of Kraus Productivity Organization, Ltd, 2005, 289 p.
- 5 **Avalle, M. Chiandussi, G., Belingardi, G.** Design optimization by response surface methodology: application to crashworthiness design of vehicle structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2002, 24(4), 325 - 332.
- 6 **Bas, D., Boyaci, I.** Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78, 836 - 845.
- 7 **Myers, R., Montgomery, D., Anderson-Cook, C.** Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. - 3rd ed. *New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken*, 2009, 1247 p.
- 8 **Mitchell, A. R., Wait, R.** The Finite Element Method in Partial Differential Equations. New York: Wiley, 1977, 216 p.
- 9 **Strang, G., Fix, G. J.** An Analysis of the Finite Element Method. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1973, 351 p.
- 10 **Zienkiewicz, O. S., Taylor, R. L.** The Finite Element Method. Basic Formulation and Linear Problems. London: Mc Graw-Hill, 1989, 1, 648 p.
- 11 **Flaherty, J. E.** Finite Element Analysis New York: Spring, 2000, 323 p.
- 12 **Samarskiy, A. A., Nikolaev, E. S.** Metodyi resheniya setochnykh uravneniy. Moskva: Nauka, 1978, 592 p.
- 13 **Ilin, V. P.** Metodyi konechnykh raznostey i konechnykh ob'emov dlya ellipticheskikh uravneniy. Novosibirsk: Izd-vo In-ta matematiki, 2000, 345 p.

Сведения об авторах (About authors)

Чубань Марина Александровна – аспирант каф. Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина; e-mail: s803@tmm-sapr.org.

Chuban Maryna – postgraduate student at the Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: s803@tmm-sapr.org.

Шейченко Роман Игоревич – главный конструктор проекта вагонов-цистерн ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», Мариуполь, Украина.

Sheychenko Roman – chief designer of the tank-car project at the JSC "Science Engineering Center UK" RailTransHolding", Mariupol, Ukraine.

Граборов Роман Викторович – начальник группы технических расчетов ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», Мариуполь, Украина.

Graborov Roman – chief of technical calculations group of the JSC "Science Engineering Center UK" RailTransHolding", Mariupol, Ukraine.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чубань, М. А. Модели аппроксимации поверхности отклика в оптимизационных исследованиях машиностроительных конструкций / **М. А. Чубань, Р. И. Шейченко, Р. В. Грабов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 46 - 51. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Chuban, M., Sheychenko, R., Graborov, R. Approximation of the response surface for using in the process of the parametric synthesis of the engineering structures. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, 62 (1171), 46 - 51, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Чубань, М. О. Моделі апроксимації поверхні відгуку в оптимізаційних дослідженнях машинобудівних конструкцій / **М. О. Чубань, Р. І. Шейченко, Р. В. Грабов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 46 - 51. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ При точковій апроксимації функції відгуку в ході побудови моделі при виконанні оптимізації машинобудівних конструкцій слід враховувати, що знаходження додаткових точок може бути дорогим з погляду витрат часу і ресурсів. Виходячи з цього, вигідно поетапно використовувати моделі поверхні відгуку різних ступенів точності. Розглянуті та застосовані для тестових задач методи лінійної та білінійної апроксимації. Дана оцінка похибки обох методів на тестових прикладах.

Ключові слова: лінійна апроксимація, білінійна апроксимація, поверхня відгуку, метод скінченних елементів, метод скінченних різниць, машинобудівна конструкція, синтез параметрів.

Поступила (received) 03.12.2015

УДК 615.47

**НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА
ЧЕЛОВЕК-УСТРОЙСТВО****А. В. ГУБАНОВ*, Т. В. ЖЕМЧУЖКИНА, Т. В. НОСОВА, Я. В. НОСОВА**

Кафедра биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА
*email: alexgubanow@ukr.net

АННОТАЦИЯ. Проблема управления внешними устройствами с помощью различных интерфейсов является актуальной. В статье проанализированы существующие технические решения реализации интерфейсов человек-устройство, определены основные недостатки (проводная связь между сегментами и управляемым устройством, наличие выносного опорного электрода), предложены решения для их устранения. Разработаны структурная и функциональная схемы устройства, основанного на регистрации электромиографического сигнала с учетом положения объекта в пространстве.

Ключевые слова: браслет, датчик, движение, жест, интерфейс, конечность, мышца, электромиография поверхностная

**SOME TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF REALIZATION OF HUMAN
INTERFACE DEVICE****A. GUBANOV*, T. ZHEMCHUZHKINA, T. NOSOVA, Y. NOSOVA**

Department of biomedical engineering, Kharkov National University of Radio electronics, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT Recognition of gestures is an actual and important problem. This technology can be applied in various fields of human activity: management of computers and household appliances, creation of a natural human-machine interfaces for the deaf people, manipulation of three-dimensional models of objects, virtual reality applications, management of multicopters and exoskeletons. The purpose of this work is to analyze existing technical solutions of the human interface device implementations and identify disadvantages of these devices, as well as offer some technical solutions to eliminate these disadvantages. There are many fundamentally different systems that implement the motion detection of human limbs: systems using surface electromyography, systems using video camera, systems based on the emission and reception of infrared light, systems using different resistive sensors sewn into clothing. This work is devoted to systems based on the method of surface electromyography. In this work we proposed technical solution for the implementation of the device, based on the detection of electromyographic signal, taking into account the position of the object in space, developed structural and functional schemes of the device. This device is supposed to be implemented on the base of Wi-Fi network technology. To reduce the energy consumption it is necessary to use energy-efficient software algorithms. The proposed implementation of the human interface device has no disadvantages of described analogues: a wired connection between the segments, the presence of a reference electrode. The prospect of working is to optimize the gesture recognition algorithms, testing of these algorithms, study of the possibilities of simultaneous repetitions of movements, definition of the limits of speed and number of degrees of freedom of movement.

Keywords: bracelet, gesture, interface, limb, motion, muscle, sensor, surface electromyography

Введение

Интерфейс человек-устройство (Human Interface Device – HID) – класс устройств, предназначенных для взаимодействия с человеком, включающий в себя такие устройства как клавиатура, мышь, игровой контроллер и другие.

В основу работы данных устройств положен принцип распознавания жестов человека. В литературе задачу распознавания жестов руки трактуют по-разному: вычисление позиции ладони, плеч и кончиков пальцев руки; идентификация конфигурации и траектории движения руки и т.д. Распознавание жестов является актуальной и важной задачей. Данную технологию можно применять в различных областях деятельности человека: управление компьютером и бытовыми приборами, создание естественных человеко-машинных

интерфейсов для глухонемых, манипуляция трехмерными моделями объектов, приложения виртуальной реальности, управление квадрокоптерами и экзоскелетом [1].

На данный момент существует множество принципиально разных систем, реализующих определение движения конечностей человека: системы с использованием поверхностной электромиографии; системы, регистрирующие движения с помощью видеокамер и анализирующие полученные изображения (Kinect [2]); системы на основе излучения и приема инфракрасного света (Multitouch Table [3]); системы с применением различных резистивных датчиков, вшитых в одежду (Project FineSkills [4]).

Однако все существующие реализации интерфейса человек-устройство довольно громоздки. Для систем анализа изображения и систем,

основанных на эффекте Доплера, необходимо находиться на фиксированном удалении от устройства. Системы, построенные на основе поверхностной миографии, имеют преимущество среди известных систем, так как они выполняют непосредственный анализ работы мышц.

Цель работы

Целью работы является анализ существующих технических решений НІД устройств, выявление недостатков этих устройств, а также предложение некоторых технических решений для устранения этих недостатков.

Изложение основного материала

Существующие устройства на основе поверхностной миографии выполнены в виде различных браслетов, предназначенных для ношения на руке. Типовое решение такого браслета – это радиально размещенные блоки, каждый из которых представляет собой сегмент браслета. Каждый сегмент содержит в себе электромиографические (ЭМГ) электроды и усилитель биопотенциалов. Главный сегмент, кроме основных составляющих, также содержит блоки анализа и управления. Некоторые системы совместно с регистрацией ЭМГ-сигналов используют данные пространственных датчиков, таких как гироскоп и акселерометр.

При построении интерфейса человек-компьютер на основе поверхностной миографии есть несколько проблем, сложно решаемых в условиях миниатюризации пользовательского устройства. Главной проблемой является реализация связи отдельных сегментов браслета с главным, в котором происходит анализ и распознавание движения. Реализация связи между блоками на основе проводной сети приводит к проблеме громоздкости, обусловленной большим количеством соединителей, как следствие – уменьшение надежности и комфорта использования устройства. Возможна реализация связи на основе беспроводных технологий, это устраняет проблему большого количества проводных соединений, но при этом требуется наличие отдельного источника питания для каждого сегмента [5-7].

На сегодняшний день существуют несколько реализаций интерфейса человек-компьютер на основе ЭМГ.

Nokia Research разрабатывают НІД на основе четырех стандартных ЭМГ-датчиков, содержащих два прямоугольных электрода, расположенных поперёк мышечных волокон, а также опорный электрод, расположенный в месте минимальной мышечной активности (рис. 1) [8].

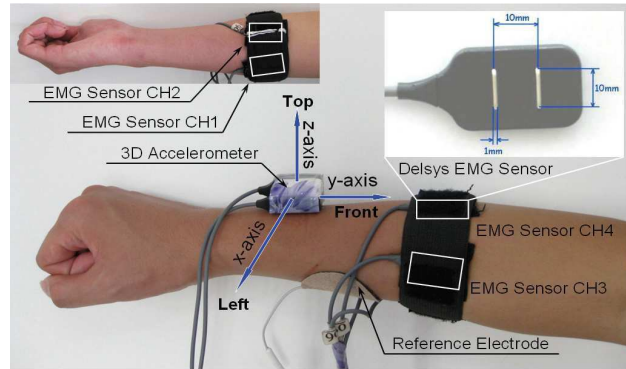


Рис. 1 – Расположение электродов в исследованиях Nokia Research

В способе, предлагаемом корпорацией Microsoft, используется десять точечных электродов, расположенных вокруг руки в два ряда (рис. 2) [9].

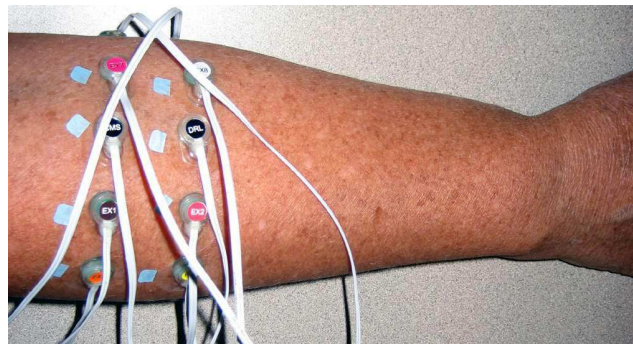


Рис. 2 – Расположение электродов в исследованиях Microsoft

В НІД устройстве, предлагаемом разработчиками компании Thalmic Labs Inc [10], используются экранированные ЭМГ-датчики, расположенные в ряд и сгруппированные в браслет (рис.3).

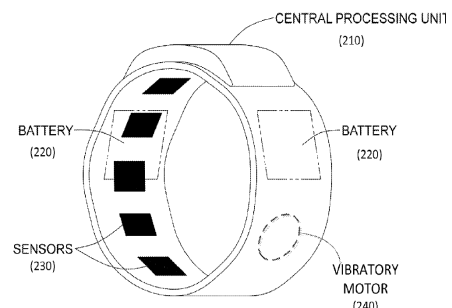


Рис. 3 – Устройство MYO от Thalmic Labs Inc

Схемотехническое решение (рис. 4) от Thalmic Labs Inc решает проблему сопротивления электрод-кожа и не требует наличия опорного электрода.

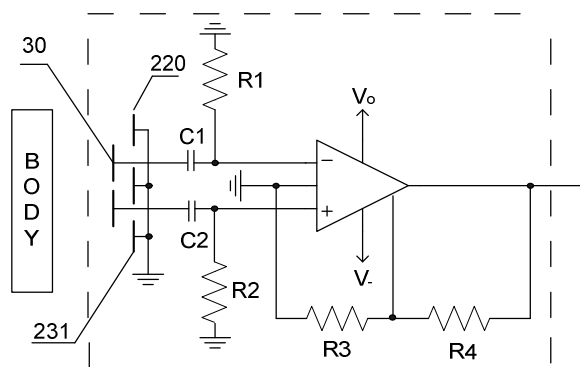


Рис. 4 – Усилитель биопотенциала в устройстве МУО

К недостаткам описанных устройств следует отнести проводную связь между сегментами и управляемым устройством, а у устройств реализации Microsoft и Nokia research – наличие выносного опорного электрода.

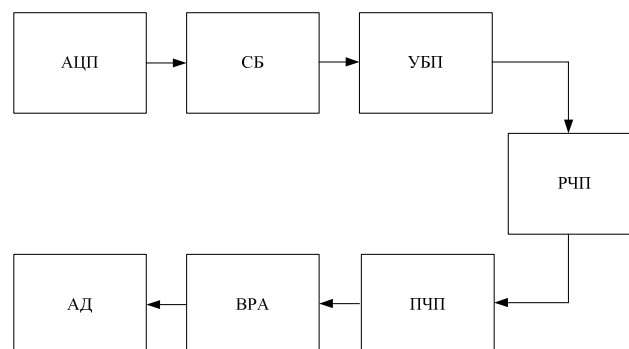
Обсуждение результатов

Предлагается устройство, основанное на регистрации ЭМГ-сигнала методом поверхностной миографии с учетом положения объекта в пространстве. Функционально устройство построено следующим образом: ЭМГ-сигнал регистрируется с помощью поверхностной миографии, затем усиливается и преобразовывается в цифровой код, согласно заданным условиям рассчитываются числовые параметры, которые передаются в главный сегмент, затем собранные со всех сегментов данные анализируются, и, если жест распознан, информация об этом передается на управляемое устройство. Функциональная схема разрабатываемого устройства приведена на рисунке 5.

Предполагается реализация устройства в виде браслета, состоящего из восьми равных сегментов. Каждый сегмент имеет два прямоугольных ЭМГ электрода, инструментальный усилитель, микропроцессор и аккумулятор.

Уровень ЭМГ-сигнала мышц верхних конечностей человека при регистрации с помощью поверхностной миографии лежит в пределах от 20 мкВ до 2 мВ. Инструментальный усилитель имеет напряжение смещения менее 20 мкВ с усилением порядка 1000. Микропроцессор содержит в себе АЦП с частотой дискретизации 2 000 Гц и поддерживает работу в беспроводных сетях выбранного стандарта. Связь между сегментами осуществляется путем объединения их в беспроводную сеть. Учитывая, что сегментов (клиентов сети) больше двух, и пропускная

способность больше 400 кБ/с, для этой цели подходят всего два стандарта сетей – IEEE 802.11 (Wi-Fi) и ISO/IEC 18092 (NFC).



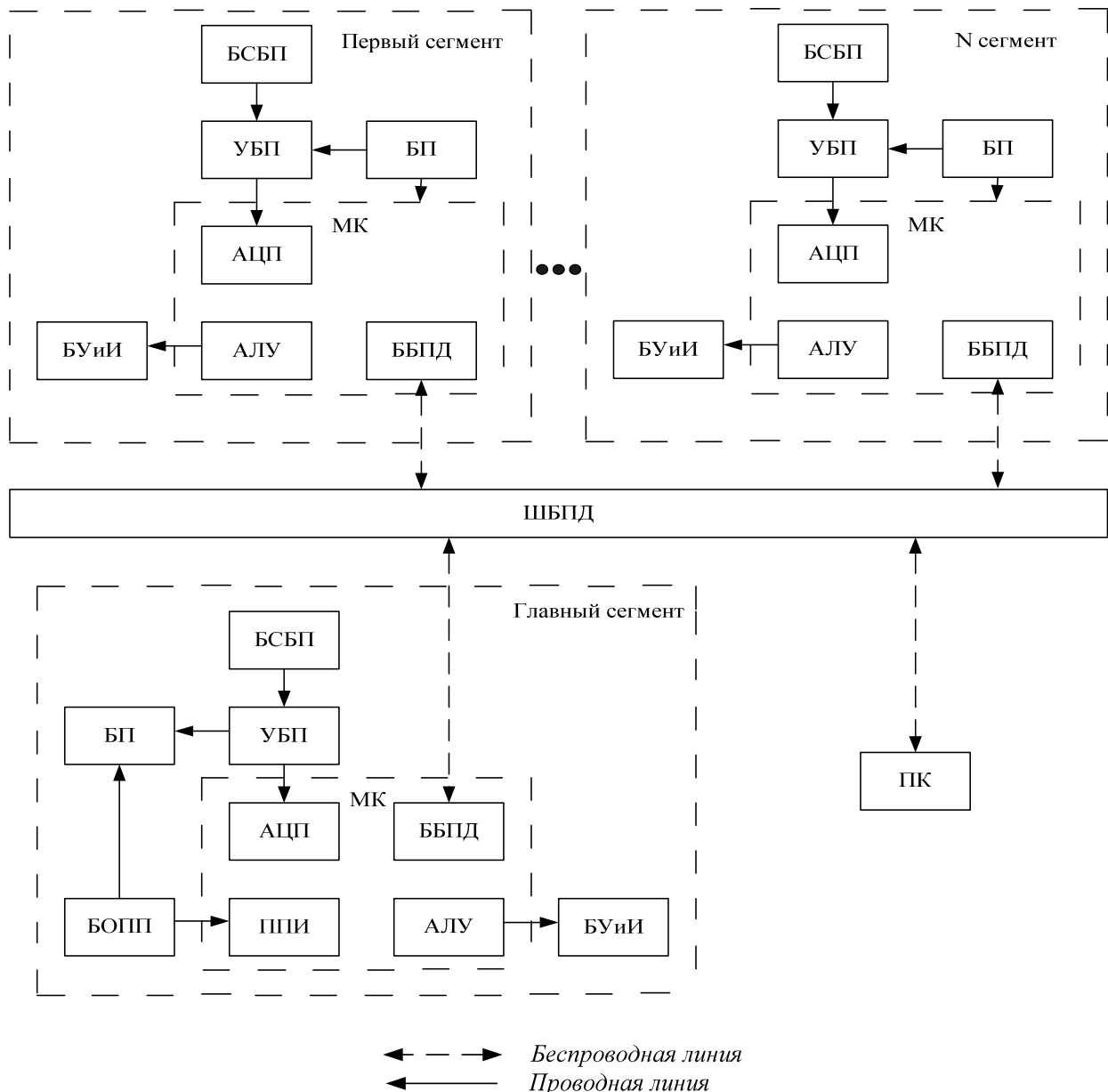
АЦП – аналого-цифровое преобразование, СБ – съем биопотенциалов, УБП – усиление биопотенциалов, РЧП – расчет числовых параметров, ПЧП – передача числовых параметров, ВРА – выдача результата анализа, АД – анализ данных

Рис. 5 – Функциональная схема разрабатываемого НИД устройства

К преимуществам Wi-Fi можно отнести высокую пропускную способность, стандартизированные протоколы передачи данных. Недостатком является большая потребляемая мощность, при активной передаче данных ток потребления достигает 200 мА.

Преимуществом технологии NFC является малая потребляемая мощность, при активной передаче данных ток потребления не более 60 мА. Архитектура сети на основе NFC – это peer to peer сеть. Это повышает надежность и позволяет сохранять работоспособность сети при любом количестве и любом сочетании доступных узлов, но практический предел пропускной способности такой сети находится около 480 кБ/с, также отсутствуют открытые протоколы передачи данных.

В данном устройстве предлагается реализовывать сеть на основе технологии Wi-Fi. Для уменьшения расхода энергии необходимо использовать энергосберегающие программные алгоритмы. Структурная схема разрабатываемого устройства приведена на рисунке 6.



БСБП – блок съема биопотенциалов, БУиИ – блок управления и индикации, УБП – усилитель биопотенциалов, БП – блок питания, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, АЛУ – арифметико-логическое устройство, ББПД – блок беспроводной передачи данных, ППИ – последовательный периферийный интерфейс, БОПП – блок определения пространственного положения, ПК – персональный компьютер, МК – микроконтроллер, ШБПД – шина беспроводной передачи данных

Рис. 6 – Структурная схема разрабатываемого НІD-устройства

Так как проводные соединения между сегментами браслета отсутствуют, каждый из них требует наличия собственного аккумулятора. Ток потребления каждого сегмента не превышает 250 мА, поэтому для поддержания работы устройства до 8 часов выбран аккумулятор емкостью 800 мА/ч.

Учитывая, что сегментов восемь, и среднее время зарядки одного аккумулятора около 3 часов, потребуется каждые 3 часа подключать следующий сегмент к сети или же подключить сразу 8 зарядных

устройств. Оба варианта неудобны и непрактичны, поэтому выбран принцип беспроводной зарядки на основе индуктивной связи между зарядным устройством и сегментами.

Выводы

В предлагаемом НІD устройстве отсутствуют недостатки описанных выше аналогов: проводная

связь между сегментами, наличие опорного электрода.

Перспективой работы является оптимизация алгоритмов распознавания движений, проведение тестовых испытаний этих алгоритмов, исследование возможности синхронного повторения движений, определение пределов скорости и количества степеней свободы движений.

Список литературы

- 1 **Dix, A.** Human-Computer Interaction / **A. Dix, J. Finlay, G. D. Abowd, R. Beale** // *Third Edition, Pearson Education Limited*, 2004. – 857 p..
- 2 **Kastaniotis, D.** A framework for gait-based recognition using Kinect / **D. Kastaniotis, I. Theodorakopoulos, C. Theoharatos, G. Economou, S. Fotopoulos** // *Pattern Recognition Letters*. – 2015. – Vol. 68, p.2. – P. 327 - 335.
- 3 **Ch'ng, E.** New ways of accessing information spaces using 3D multitouch tables / **E. Ch'ng** // *2012 International Conference on Cyberworlds: conference paper, Cyberworlds 2012; Darmstadt; Germany; 25 September 2012 through 27 September 2012* – P. 144-150.
- 4 **Xing, R.** A gesture based real-time interactions with 3D model / **R. Xing, G. Zhao, G. Ma, W. Xiao** // *2nd International Conference on Systems and Informatics, ICSAI 2014; Wistaria HotelShanghai; China; 15 November 2014 through 17 November 2014* – P. 876 - 880.
- 5 **Bobick, A.** The Kidsroom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment / **A. Bobick, S. Intille, J. Davis, F. Baird, C. Pinhanez, L. Campbell, Y. Ivanov, A. Schutte, A. Wilson** // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. – 1999. – № 8(4). – P. 367-391
- 6 **Shotton, J.** Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images / **J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sharp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman, A. Blake** // *In Proc. CVPR*. – 2011. – P. 1297 - 1304.
- 7 **Pugeault, N.** Spelling It Out: Real-Time ASL Fingerspelling Recognition / **N. Pugeault, R. Bowden** // *In Proceedings of the 1st IEEE Workshop on Consumer Depth Cameras for Computer Vision*, jointly with ICCV'2011. – 2011. – P. 1114-1119
- 8 **Pat. US 20090326406 A1** Wearable electromyography-based controllers for human-computer interface: **Desney Tan, T. Scott Saponas, Dan Morris, Jim Turner**, заявитель и патентообладатель Microsoft Corporation № US 12/404,223, заявл. 13 мар 2009, опубл. 31 дек 2009.
- 9 **Zhang Xu** Hand Gesture Recognition and Virtual Game Control Based on 3D Accelerometer and EMG Sensors / **Zhang Xu, Vuokko Lantz, Wang Kong-qiao** // *National Natural Science Foundation of China*, грант №: 60703069.
- 10 **Pat. US 20140240223 A1** Method and apparatus for analyzing capacitive emg and imu sensor signals for gesture

control: **Stephen Lake, Matthew Bailey, Aaron Grant**, заявитель и патентообладатель Thalmic Labs Inc. № US 14/186,878, заявл. 21 фев 2014, опубл. 28 авг 2014.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Dix A., Finlay J., Abowd G.D., Beale R.** Human-Computer Interaction. *Third Edition, Pearson Education Limited*, 2004, 857 p.
- 2 **Kastaniotis, D., Theodorakopoulos, I., Theoharatos, C., Economou, G., Fotopoulos, S.** A framework for gait-based recognition using Kinect *Pattern Recognition Letters*, 2015, **68(2)**, 327 - 335.
- 3 **Ch'ng, E.** New ways of accessing information spaces using 3D multitouch tables. 2012 International Conference on Cyberworlds: conference paper, *Cyberworlds 2012; Darmstadt; Germany; 25 September 2012 through 27 September 2012*, 144-150.
- 4 **Xing, R., Zhao, G., Ma, G., Xiao, W.** A gesture based real-time interactions with 3D model. *2nd International Conference on Systems and Informatics, ICSAI 2014; Wistaria HotelShanghai; China; 15 November 2014 through 17 November 2014*, 876 - 880.
- 5 **Bobick, A. Intille, S., Davis, J., Baird, F., Pinhanez, C., Campbell, L., Ivanov, Y., Schutte, A., Wilson, A.** The Kidsroom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1999, **8(4)**, 367 - 391.
- 6 **Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., Kipman, A., Blake, A.** Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. *In Proc. CVPR*, 2011, 1297 - 1304.
- 7 **Pugeault, N., Bowden, R.** Spelling It Out: Real-Time ASL Fingerspelling Recognition. *In Proceedings of the 1st IEEE Workshop on Consumer Depth Cameras for Computer Vision*, jointly with ICCV'2011, 2011, 1114-1119.
- 8 **Pat. US 20090326406 A1** Wearable electromyography-based controllers for human-computer interface: **Desney Tan, T. Scott Saponas, Dan Morris, Jim Turner**, the applicant and the patent owner Microsoft Corporation № US 12/404,223, appl. 13 march 2009, publ. 31 december 2009.
- 9 **Zhang Xu, Vuokko Lantz, Wang Kong-qiao** Hand Gesture Recognition and Virtual Game Control Based on 3D Accelerometer and EMG Sensors, *National Natural Science Foundation of China*, grant №: 60703069.
- 10 **Pat. US 20140240223 A1** Method and apparatus for analyzing capacitive emg and imu sensor signals for gesture control: **Stephen Lake, Matthew Bailey, Aaron Grant**, the applicant and the patent owner Thalmic Labs Inc. № US 14/186,878, appl. 21 feb. 2014, publ. 28 aug. 2014.

Сведения об авторах (About authors)

Губанов Александр Вячеславович – магистрант кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: alexgubanow@ukr.net.

Alexander Gubanow – master student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: alexgubanow@ukr.net.

Жемчужкина Татьяна Владимировна – к.т.н., доцент, кафедра биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: zhemchuzhkina@rambler.ru.

Tatyana Zhemchuzhkina – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: zhemchuzhkina@rambler.ru.

Носова Тат'яна Витальевна – к.т.н., доцент, кафедра біомедицинської інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки; г. Харків, Україна; e-mail: yasanosova@rambler.ru

Tatyana Nosova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: yasanosova@rambler.ru.

Носова Яна Витальевна – аспірант, кафедра біомедицинської інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки; г. Харків, Україна; e-mail: nyav007@gmail.com.

Yana Nosova – graduate student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: nyav007@gmail.com .

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Губанов А. В. Некоторые технические решения реализации интерфейса человек-устройство / **А. В. Губанов, Т. В. Жемчужкина, Т. В. Носова, Я. В. Носова** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 52 - 57. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Gubanov, A., Zhemchuzhkina, T., Nosova, T., Nosova, Y. Some technological solutions of realization of human interface device. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 52 - 57, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Губанов О. В. Деякі технічні рішення реалізації інтерфейсу людина-пристрій / **О. В. Губанов, Т. В. Жемчужкіна, Т. В. Носова, Я. В. Носова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 52 - 57. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Проблема управління зовнішніми пристроями за допомогою різних інтерфейсів є актуальною. У статті проаналізовано існуючі технічні рішення реалізації інтерфейсів людина-пристрій, визначено основні недоліки (дротовий зв'язок між сегментами та пристроєм, що керується, наявність зовнішнього опорного електрода), запропоновано рішення для їх усунення. Розроблено структурну та функціональну схеми пристрою, що базується на реєстрації електроміографічного сигналу з урахуванням положення об'єкта у просторі..

Ключові слова: браслет, давач, рух, жест, інтерфейс, кінцівка, м'яз, електроміографія поверхнева

Поступила (received) 08.12.2015

УДК 004.932

МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЦИФРОВЫХ КАДРОВ ОДНОЙ СЕРИИ

Н. Ю. ДИХТЯР^{1*}, Я. С. МОВСЕСЯН¹, В. Е. САВАНЕВИЧ²

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

² Ужгородский национальный университет, Ужгород, УКРАИНА

*email: movsesian.iana@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье разработан вычислительный метод предварительного отождествления измерений цифровых кадров одной серии. Разработанный вычислительный метод предназначен для нахождения начального приближения параметров попарного соответствия (паросочетания) между двумя множествами измерений, соответствующих одной и той же области небесной сферы. Метод предварительного отождествления измерений цифровых кадров одной серии используется для последующего сложения данных кадров.

Ключевые слова: измерения кадров, цифровой кадр, предварительное отождествление, начальное приближение.

METHOD FOR IDENTIFICATION A PRELIMINARY MEASUREMENTS OF DIGITAL FRAMES OF THE ONE SERIES

M. DIKHTYAR^{1*}, YA. MOVSESIAN¹, V. SAVANEVYCH²

¹ Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

² Uzhhorod National University, Uzhhorod, UKRAINE

ABSTRACT The computational method for identification a preliminary measurements of digital frames of the one series is developed. This computational method is used to determine of the initial approximation the parameters of pairwise matching between the two sets measurements that correspond to the same region of the sky. One of the most important cases for the practice of identifying is the case of mutual identification of a series of frames formed about the same time on a single telescope CCD camera without changing its angle of rotation. The position of celestial objects on the frame formed in this way, as a rule, differs only in the shift parameter (parameters turning near-zero, and the scale is the same from frame to frame). Shift parameters are common to all measurements of the two frames and characterize the relative position of the frame relative to each other on the celestial sphere, which are the required parameters matching between the two sets of measurements. In order to ensure the sustainability of the method for identification a preliminary measurements of digital frames of the one series, is performed a uniform distribution of candidates-measurements in pairwise matching on the entire frame. The preliminary identification of the series frames can be used for the subsequent addition of the data frames and for converting the coordinate measurements of the coordinate system of the current frame in the coordinate system of the base frame. The method of measurements preliminary identification of digital frames of one series is used for the subsequent addition of the data frame.

Keywords: measurements of frames, digital frame, preliminary identification, the initial approximation.

Введение

Отождествление изображений серии между собой и эталонными изображениями продолжает оставаться сложной задачей, которой посвящено большое количество работ [1, 2, 3, 4], которые, в том числе учитывают специфику предметной области решаемой задачи. Одной из таких быстро развивающихся предметных областей является разработка вычислительных методов автоматической обработки серий астрономических изображений.

Анализ литературы

В работе [1] проведен подробный анализ существующих методов отождествления цифровых изображений. Это, прежде всего, стробовые методы и методы, основанные на переборе гипотез о сочетании измерений кадра и формуляров каталога с учетом их пропуска и наличия ложных.

Кроме того, в работе [1] разработан оригинальный вычислительный метод отождествления измерений кадра с формулярами каталога. Данный метод отождествления позволяет найти попарное соответствие между совокупностью сформированных на кадре измерений и множеством объектов звездного каталога, принадлежащих той же области небесной сферы, что и сформированный кадр. Задача отождествления сведена к задаче о назначениях на двудольном графе и сформулирована следующим образом. Задано множество измерений кадра $\Omega_1 = \{\Theta_{1,1}, \dots, \Theta_{Q_1,1}\}$, каждое из которых может быть отождествлено с некоторыми из формуляров каталога $\Omega_2 = \{\Theta_{1,2}, \dots, \Theta_{Q_2,2}\}$. Вес отождествления измерения $\Theta_{j_1,1}$ и формуляра $\Theta_{j_2,2}$ при этом будет равен $\ln a_{j_1 j_2}$:

$$\alpha(\Theta_{infr(k)}, \Theta_{jn(k)}) = \begin{cases} N_{\hat{\Theta}_{i(m)}}^{\hat{\Theta}_{jn(k)}, \sum infrjn(k)}, \\ \text{если в } \Omega_{frame2} \text{ есть пара } j(k), \\ C, \text{ в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{где } N_{\hat{\Theta}_{i(m)}}^{\hat{\Theta}_{jn(k)}, \sum infrjn(k)} = \frac{1}{(2\pi)^{N_{fn}} \det(\Sigma_{infrjn(k)})} \times \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\hat{\Theta}_{i(k)} - \hat{\Theta}_{j(k)}\right)^T \Sigma_{infrjn(k)}^{-1} \left(\hat{\Theta}_{i(k)} - \hat{\Theta}_{j(k)}\right)\right), \quad (2)$$

m – номер рассматриваемой пары «измерение-формуляр»;

$i(k)$ и $j(k)$ – номера измерения кадра и формуляра каталога из m -й отождествляемой пары;

$\Sigma_{infrjn(k)} = \Sigma_{catjn} + \Sigma_{frin}$ – суммарная корреляционная матрица ошибок параметров i -го измерения n_{fr} -го кадра по объекту, соответствующему j -му формуляру n каталога и k -ой отождествленной паре «измерение-формуляр»;

$\Sigma_{frin}, \Sigma_{catjnc}$ – корреляционные матрицы i -го измерения n_{fr} -го кадра и j -го формуляра n_c -го каталога.

Задача отождествления сводится к задаче о назначениях со свойством существования однозначного решения. Для этого множества измерений кадра и формуляров каталога дополняются фиктивными измерениями и формулярами так, чтобы их количество было равным. Таким образом, указанная задача о назначениях характеризуется квадратной матрицей с элементами (1), дополненной элементами $\ln C$, соответствующими парам с нулевой вероятности отождествления измерений объектов, и весом $n \ln C$, где $n \gg 1$, для вероятности отождествления фиктивных формуляров:

$$\Pi_{adj}(\Omega_{catk}) = \begin{pmatrix} \ln a_{11} & \ln a_{12} & \ln a_{13} & \ln a_{14} \\ \ln a_{21} & \ln a_{22} & \ln a_{23} & \ln a_{24} \\ \ln a_{31} & \ln a_{32} & \ln a_{33} & \ln a_{34} \\ \ln a_{41} & \ln a_{42} & \ln a_{43} & \ln a_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ln a_{11} & \ln a_{12} & n \ln C & n \ln C \\ n \ln C & \ln a_{22} & \ln a_{23} & n \ln C \\ \ln a_{31} & n \ln C & n \ln C & n \ln C \\ n \ln C & \ln a_{42} & n \ln C & n \ln C \end{pmatrix} \quad (3)$$

где $\ln a_{infrjn(k)}$ – вес отождествления пары, состоящей из i -го измерения кадра Ω_{catl} и j -го формуляра n -го каталога Ω_{frame2} .

Можно показать, что задача о назначениях на двудольном графе сводится к такому выбору элемен-

тов столбцов квадратной матрицы по одному с каждой строки и каждого столбца, который обеспечивает максимальный суммарный вес выбранных элементов. Иными словами имеет место задача максимизации общего веса назначений:

$$\sum_{k=1}^H \ln a_{kj_2(k)} \rightarrow \max \quad (4)$$

Однако функция правдоподобия (4) является полимодальной. Предложенный в работе [1] метод отождествления, основанный на решении задачи о назначениях венгерским методом, находит экстремум критерия (4), ближайший к используемому начальному приближению. Чтобы отождествление обладало в среднем минимальными ошибками отождествления необходимо, чтобы используемое начальное приближение было в окрестности глобального максимума критерия (4).

Цель работы

Целью статьи является разработка метода предварительного отождествления, который может быть использован для получения начального приближенного решение задачи отождествления измерений кадров и формуляров звездного каталога.

Постановка задачи

Необходимо найти начальное приближение параметров попарного соответствия (паросочетания) между двумя множествами измерений, сформированных на двух кадрах и соответствующих одной и той же области небесной сферы. Одним из значимых для практики случаев отождествления является случай взаимного отождествления кадров серии, сформированных примерно в одно и то же время на одном телескопе одной ПЗС – камерой без изменения угла ее поворота. Положение небесных объектов на кадрах, сформированных таким образом, как правило, отличается только параметрами сдвига (параметры поворота околонулевые, а масштаб является неизменным от кадра к кадру). Параметры сдвига общие для всех измерений двух кадров и характеризуют взаимное расположение кадров относительно друг друга на небесной сфере, являясь искомыми параметрами паросочетания между двумя множествами измерений.

Изложение основного материала

Суть метода предварительного отождествления измерений цифровых кадров одной серии. При предварительном отождествлении измерений цифровых кадров одной серии целесообразно избежать глобального перебора паросочетаний измерений этих кадров. Для этого необходимо учесть неизменность параметров сдвига от пары к паре. При этом можно решить задачу предварительного отождествления выдвинув (перебрав) гипотезы о принадлежно-

сти измерений различных кадров одному и тому же объекту. Каждой такой гипотезе о паросочетании соответствуют оценки сдвига, условные по гипотезе о соответствии одному и тому же объекту пары «измерение-измерение» по одному измерению каждого кадра:

$$\Delta_{xi} = x_{1(i)} - x_{2(i)}; \tag{5}$$

$$\Delta_{yi} = y_{1(i)} - y_{2(i)}. \tag{6}$$

где $x_{1(i)}, y_{1(i)}, x_{2(i)}, y_{2(i)}$ – координаты измерений одного и того же i - го объекта (оценки координат объекта) на первом и втором отождествляемых кадрах в системе координат базового кадра серии.

При этом безусловной оценкой параметров сдвига между измерениями положения одного и того же объекта на различных кадрах можно считать ту условную оценку, которая соответствует гипотезе о сочетании пар измерений разных кадров с наибольшим весом. В качестве веса указанных гипотез можно использовать количество подтверждений N_{ack} . Количество подтверждений является количеством круговых областей (стробов) подтверждения, которым принадлежит (поставлено в соответствие) не менее одного измерения другого кадра. Область (стробов) подтверждения имеет наперед заданный радиус R_{rej} и центр с координатами измерения первого кадра с прибавленными к ним значениями сдвигов (5), (6).

В общем случае кадры достаточно разряжены и разнообразны в том смысле, что отдельные их части не похожи между собой. В этом предположении можно не проверять все гипотезы о сочетании измерений двух кадров. Достаточно найти первую гипотезу, в которой количество подтверждений будет выше наперед заданного минимально допустимого количества подтверждений N_{min_ack} (рис 1, 2).

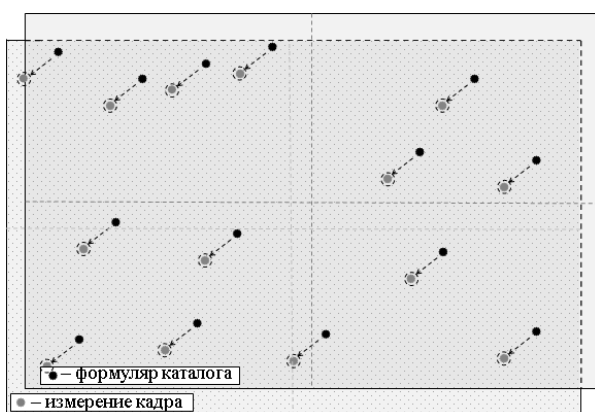


Рис. 1 – Определение параметров сдвига между измерениями кадров (правильное отождествление)

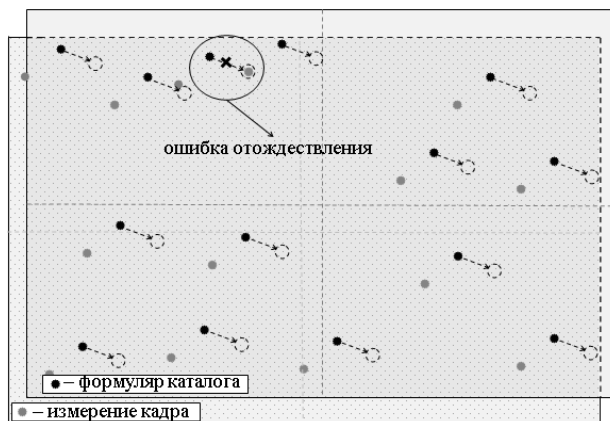


Рис. 2 – Определение параметров сдвига между измерениями кадров (неправильное отождествление)

Учет возможности формирования ложных измерений. При отождествлении кадров серии используются измерения звезд, которые имеют нулевое видимое движение. Объекты с ненулевым видимым движением (например, объекты Солнечной системы, искусственные спутники Земли) в этой связи считаются ложными. Также ложные измерения могут соответствовать артефактам изображений или выбросам шума изображений и быть сформированы из-за ошибок программы внутрикадровой обработки кадров. В предположении об отсутствии ложных измерений было бы достаточно проверить только гипотезы о соответствии одного измерения первого кадра одному измерению второго. Однако выбранное для такого исследования измерение кадра может быть ложным. Так как частоту появления ложных измерений пользователи стабилизируют на достаточно низком уровне, то вероятность того, что для проведения предварительного отождествления будут последовательно выбраны два и тем более три ложных измерения как первых объектов пар ничтожно мала. При реализации метода для поиска соответствующих измерений второго кадра используются не более трех измерений первого кадра.

Равномерное распределение измерений, используемых при предварительном отождествлении. Одним из необходимых требований к методу предварительного отождествления является его устойчивость к разного рода дестабилизирующим факторам. В первую очередь к таковым следует отнести возможное наличие на одном из кадров яркого трека искусственного спутника земли (ИСЗ), эффект перетекания заряда. При попадании в кадр яркого ИСЗ его изображение может засветить кадр, сформировав на нем большое количество ложных измерений (Рис. 3, 4). Те же последствия для предварительного отождествления имеют эффект перетекания заряда. Кроме того, изображения самых ярких звезд кадра, как правило, имеют ряд других особенностей, которые приводят к снижению показателей точности оценки их положения, что делает их нежелательными кандидатами в опорные звезды (Рис 5, 6).

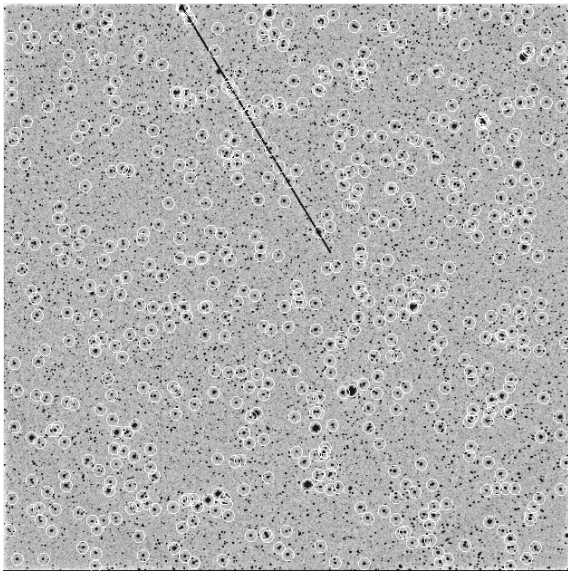


Рис. 3 – Отображение на цифровом кадре самых ярких звезд

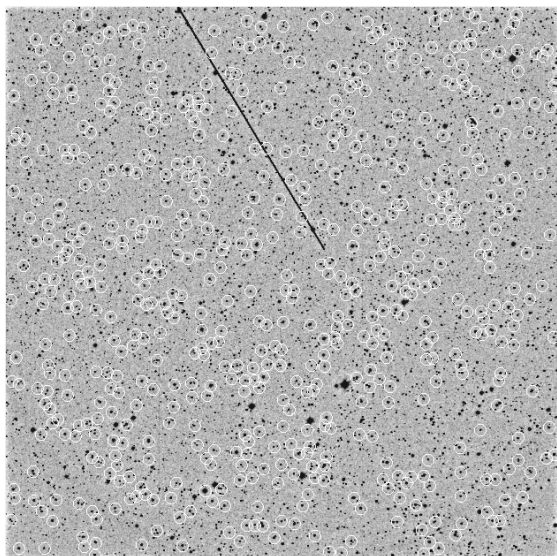


Рис. 4 – Отображение на цифровом кадре самых ярких опорных звезд

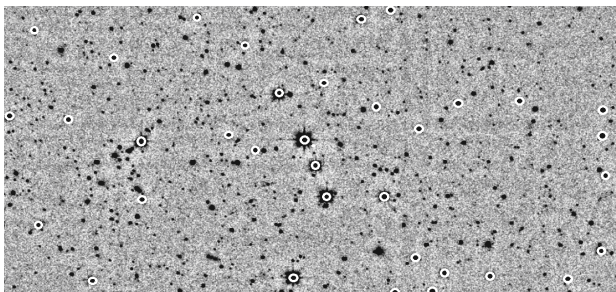


Рис. 5 – Отображение на цифровом кадре самых ярких звезд

С целью обеспечения устойчивости результатов метода предварительного отождествления кадр разбивается на наперед заданное количество областей

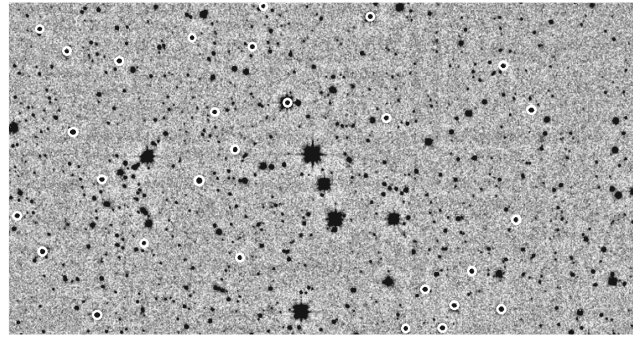


Рис. 6 – Отображение на цифровом кадре самых ярких опорных звезд

одинакового размера $M_{reg} \times M_{reg}$. Из каждой такой области выбирается одинаковое наперед заданное количество самых ярких объектов N_{mea_reg} . Таким образом, выбранные измерения будут равномерно распределены по кадру, что поможет максимально снизить вероятность ошибок предварительного отождествления. Такой выбор измерений для предварительного отождествления позволит, например, исключить из рассмотрения большое количество ярких ложных измерений вызванных перетеканием заряда большой звезды или яркого трека ИСЗ.

Финальная оценка параметров сдвига между кадрами метода предварительного отождествления цифровых кадров одной серии. Так как положения объектов на каждом кадре определяются с ошибками, то параметры сдвига, можно определить точнее, усреднив параметры сдвигов в каждой отдельной паре изображений объекта на двух кадрах:

$$\bar{\Delta}_x = \sum_{i=1}^{N_{ident}} \Delta_{xi} / N_{ident} ; \quad (7)$$

$$\bar{\Delta}_y = \sum_{i=1}^{N_{ident}} \Delta_{yi} / N_{ident} , \quad (8)$$

где N_{ident} – количество пар, используемых при оценивании параметров сдвига кадров относительно друг друга.

Вычислительный метод предварительного отождествления измерений кадров одной серии. Для формирования предварительной оценки параметров сдвига между измерениями кадров производится следующая последовательность операций.

1. Кадр разбивается на совокупность $M_{reg} \times M_{reg}$ равных по площади областей (участков). Формируется множества самых ярких измерений кадра. Для этого с каждой области выбирается равное наперед заданное количество N_{mea_reg} измерений с самыми высокими оценками яркости соответствующих им гипотетических объектов.

2. Выбирается очередное измерение из наперед выбранного множества самых ярких измерений первого кадра. Таких измерений выбирается не более

трех. Если в процессе функционирования метод в четвертый раз выходит на данный пункт (пытается выбрать четвертое измерение) производится аварийный выход из него с выдачей сообщения о сбое отождествления. Опыт говорит, что обычно это связано с большими ошибками в оценке координат привязки центра отождествляемого кадра.

3. Исследуемому измерению первого кадра ставится в соответствие очередное измерение (организуется цикл по исследуемым измерениям второго кадра) второго кадра из наперед выбранного множества измерений второго кадра. Тогда, согласно выражениям (5), (6) предварительно вычисляется условная по гипотезе о паре оценка параметров сдвига.

4. Для каждой выбранной пары (пункты 2, 3) оценивается вес очередной гипотезы о соответствии пар. Для этого каждое измерение первого кадра сравнивается с каждым измерением второго кадра. Предварительно к координатам измерений первого кадра прибавляются параметры сдвига (5), (6). На основе отклонений между измерениями первого и второго кадров определяется факт попадания измерений второго кадра в области (стробы) подтверждения.

Если достаточное количество измерений второго кадра попало в области (стробы) подтверждения, то гипотеза считается подтвержденной (переход на пункт 5). Если нет, то гипотеза о параметрах сдвига считается ложной и осуществляется переход (на пункт 3) к следующему измерению второго кадра. При исчерпании наперед выбранного множества измерений второго кадра производится переход к следующему измерению первого кадра (на пункт 2). Если и это множество исчерпано – выдается сообщение о невозможности отождествления измерений первого и второго кадров.

5. Вычисляется предварительная оценка параметров сдвига (7) и (8).

После успешного выполнения выше описанной последовательности операций, выполняется переход к решению задачи отождествления измерений двух исследуемых кадров методом максимального правдоподобия [5, 6].

При проведении исследований предполагались следующие значения констант разработанного вычислительного метода: радиус областей (стробов) подтверждения $R_{rej} = 20$ пикселей; минимально допустимое количество подтверждений $N_{min_ack} = 70\%$; количество областей одинакового размера, на которое делится кадр $M_{reg} \times M_{reg} = 4 \times 4$; количество самых ярких измерений области кадра $N_{mea_reg} = N_{mea} / M_{reg}^2 = 3$.

Выводы

В статье разработан вычислительный метод предварительного межкадрового отождествления измерений кадров одной серии. Разработанный метод

используется для получения начального приближения задачи отождествления, то есть для нахождения начального приближения параметров попарного соответствия (паросочетания) между двумя множествами измерений, сформированных на двух кадрах и соответствующих одной и той же области небесной сферы. С целью обеспечения устойчивости результатов метода предварительного отождествления, в работе производится равномерное распределение измерений-кандидатов в паросочетания по всему кадру. Предварительное отождествление кадров серии [9] может использоваться для последующего сложения данных кадров и для пересчета координат измерений из системы координат текущего кадра в систему координат базового кадра.

Список литературы

1. Дихтяр, Н. Ю. Метод отождествления астрономических измерений CCD-кадра с формулярами звездного каталога / Н. Ю. Дихтяр, Я. С. Мовсесян, В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т»*. – X. – 2015. – Вып. 67. – С. 197-215.
2. Hogg, D. W. Automated Astrometry / D. W. Hogg, M. Blanton, D. Lang et al. // *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII*, R. W. Argyle, P. S. Bunclark, and J. R. Lewis, eds. – 2008. – ASP Conference Series 394. – P. 27 – 34.
3. Lang, D. Astrometry.net: Blind astrometric calibration of arbitrary astronomical images / D. Lang, D. W. Hogg, K. Mierle et. al. // *Astron.J.* – 2010. – 139:1782. – 46 p.
4. Lang, D. Measuring the undetectable: Proper motions and parallaxes of very faint sources / D. Lang, D. W. Hogg, S. Jester et. al. // *The Astronomical Journal*. – 2009. – Volume 137, Issue 5. – P. 4400-4411.
5. Einicke, G. A. Iterative Smoother-Based Variance Estimation / G. A. Einicke, G. Falco, M. T. Dunn, D. C. Reid // *Signal Processing Letters*, IEEE. – 2012. – Volume:19, Issue 5. – P. 275-278.
6. Harris, J. «Maximum Likelihood Method». Handbook of Mathematics and Computational Science. / Harris, J. W. Stocker, H. // *New York: Springer-Verlag*. – 1998. – 824 p.
7. Savanevych, V. E. A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskiy, N. S. Sokovikova, M. M. Bezkrivnyy, I. B. Vavilova, Yu. M. Ivashchenko, L. V. Elenin, S. V. Khlamov, Ia. S. Movsesian, A. M. Dashkova, A. V. Pogorelov // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2015. – Т. 451 (3). – С. 3287-3298.
8. Саваневич, В. Е. Сравнительный анализ показателей точности позиционных ПЗС-измерений малых тел солнечной системы программными обеспечениями CoLiTec и Astrometrica / В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий, Ю. Н. Иващенко, И. Б. Вавилова, М. М. Безкривный, Е. Н. Диков, В. П. Власенко, Н. С. Соковикова, Я.С. Мовсесян, Н.Ю. Дихтяр, Л.В. Еленин, А.В. Погорелов, С.В. Хламов // *Кинематика и физика небесных тел* – 2015. – в печати.
9. Саваневич, В. Е. Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и

ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров / **В. Е. Саваневич, А. М. Кожухов, А. Б. Брюховецкий, В. П. Власенко** // *Системы озброєння та військова техніка*. – 2010. – Вип. 3(23). – С. 154 - 159.

Bibliography

1. **Dikhtyar, N. Yu., Movsesyan, Ya. S., Savanevich, V. E., Bryukhovetskiy, A. B.** Metod otzhdzhestvleniya astronomicheskikh izmereniy CCD-kadra s formulyarami zvezdnogo kataloga. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «Khar'k. aviats. in-t»*, 2015, **67**, 197-215
2. **Hogg, D. W., Blanton, M., Lang, D.** et al. Automated Astrometry. *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVII*, R. W. Argyle, P. S. Bunclark, and J. R. Lewis, eds., 2008, ASP Conference Series 394, 27 - 34
3. **Lang D., Hogg D.W., Mierle K. et. al.** Astrometry.net: Blind astrometric calibration of arbitrary astronomical images // *Astron.J.*, 2010, 139:1782, 46 p.
4. **Lang D., Hogg D. W., Jester S. et. al.** Measuring the undetectable: Proper motions and parallaxes of very faint sources. *The Astronomical Journal*, 2009, **137** (5), 4400-4411.
5. **Einicke, G.A., Falco, G., Dunn, M. T., Reid, D. C.** Iterative Smoother-Based Variance Estimation. *Signal Processing Letters, IEEE*, 2012, **19**(5), 275-278.
6. **Harris, J. W., Stocker, H.** «Maximum Likelihood Method». *Handbook of Mathematics and Computational Science*, New York: Springer-Verlag, 1998, 824 p.
7. **Savanevych, V. E., Briukhovetskiy, O. B., Sokovikova, N. S., Bezkrivnyy, M. M., Vavilova, I. B., Ivashchenko, Yu. M., Elenin, L. V., Khlamov, S. V., Movsesian, Ya. S., Dashkova, A. M., Pogorelov, A. V.** A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2015, **451** (3), 3287-3298.
8. **Savanevich, V. E., Bryukhovetskiy, A. B., Ivashchenko, Yu. N., Vavilova, I. B., Bezkrivnyy, M. M., Dikov, E. N., Vlasenko, V. P., Sokovikova, N. S., Movsesyan, Ya. S., Dikhtyar, N. Yu., Elenin, L. V., Pogorelov, A. V., Khlamov, S. V.** Sravnitel'nyy analiz pokazateley tochnosti pozitsionnykh PZS-izmereniy malykh tel solnechnoy sistemy programmnyimi obespecheniyami CoLiTec i Astrometrica. *Kinematika i fizika nebesnykh tel*, 2015, v pechati.
9. **Savanevich, V. E., Kozhukhov, A. M., Bryukhovetskiy, A. B., Vlasenko, V. P.** Metod slozheniya PZS-kadrov s nakopleniem signala ot asteroida so slabym bleskom i nenulevym vidimym dvizheniem na serii PZS-kadrov. *Sistemi ozbroennya ta viys'kova tekhnika*, 2010, **3**(23), 154 - 159.

Сведения об авторах (About authors)

Диктяр Николай Юрьевич – аспирант кафедры Электронных вычислительных машин, Харьковского национально-го университета радиоэлектроники, г. Харьков, Украина; e-mail: mdihtyar@gmail.com

Диктяр Микола – postgraduate, Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: mdihtyar@gmail.com

Мовсисян Яна Самвеловна – ученая степень, ученое звание, отдел/кафедра, место работы, город; e-mail: movsesian.iana@gmail.com

Movsesian Iana – postgraduate, Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: movsesian.iana@gmail.com

Саваневич Вадим Евгеньевич – д.т.н., профессор, кафедра информационных управляющих систем и технологий, Ужгородский национальный университет, Ужгород; e-mail: vadym@savanevych.com

Savanevych Vadym – Doctor of Engineering sciences, professor department of informative and operating systems and technologies, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine; e-mail: vadym@savanevych.com

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Диктяр, Н. Ю. Метод предварительного отождествления измерений цифровых кадров одной серии / **Н. Ю. Диктяр, Я. С. Мовсисян, В. Е. Саваневич** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 58 - 63. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Dikhtyar, M., Movsesian, Ia., Savanevych, V. Method for identification a preliminary measurements of digital frames of the one series. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 58 - 63, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Діхтяр, М. Ю. Метод попереднього ототожнення вимірювань цифрових кадрів однієї серії / **М. Ю. Діхтяр, Я. С. Мовсисян, В.Є. Саваневич** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 58 - 63. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ У статті розроблено обчислювальний метод попереднього ототожнення вимірів цифрових кадрів однієї серії. Розроблений обчислювальний метод попереднього ототожнення вимірів цифрових кадрів призначений для знаходження початкового наближення параметрів попарної відповідності (паросполучення) між двома множинами вимірювань, які відповідають одній і тій же області небесної сфери. Метод попереднього ототожнення вимірів цифрових кадрів однієї серії використовується для подальшого додавання даних кадрів.

Ключові слова: вимірювання кадрів, цифровий кадр, попереднє ототожнення, початкове наближення.

Поступила (received) 15.12.2015

УДК 005.7:519.83

**КОНСОЛИДАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ:
СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕРБАЛЬНЫЙ ПОДХОД****Н. С. КОСИЛО^{1*}, Д. Б. ЕЛЬЧАНИНОВ¹, О. Н. ГУЦА²**¹ Кафедра информатики и интеллектуальной собственности, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков,² Кафедра экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

* e-mail: 55kns19@gmail.com

АННОТАЦИЯ Рассмотрены классический и системологический подходы к определению миссии организации. Проанализированы основные этапы построения сбалансированной системы показателей деятельности предприятия на примере компании электроснабжения: формулировка миссии, описание ценностей, формирование видения будущего, выработка стратегии, определение целей (финансовых, клиентских, внутренних процессов, обучения и развития персонала организации) и показателей их достижения. Показана эффективность вербального подхода для решения этой задачи.

Ключевые слова: консолидация информации, сбалансированная система показателей, системология, вербальный анализ.

**INFORMATION CONSOLIDATION ABOUT ORGANIZATION ACTIVITY:
SYSTEMOLOGICAL VERBAL APPROACH****N. S. KOSILO¹, D. B. ELCHANINOV¹, O. N. GUTSA²**¹ Department of Computer Science and Intellectual Property, National Technical University "KhPI", Kharkiv, UKRAINE² Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Classical and systemological approaches to definition of the organization mission are considered. The main stages of the enterprise balanced scorecard creation on an example of the power supply company are analyzed: mission formulation, values description, future vision formation, strategy elaboration, goals definition (financial, client, internal processes, training and development of the organization personnel) and indicators of their achievement. Formation of the company's development strategy begins with the construction of a model corresponding to the current indicators of its activity. Each set of values of the indicators of the company corresponds to a certain model of the company. One set of values of the indicators of the company can fit several models of the company. Model of the better, the greater the degree of improvement value it can provide for each indicator of the company. Formation of the company's development strategy begins with the construction of a model corresponding to the current indicators of its activity. The dynamics of changes in the values of indicators, the task of improving them for a certain period, analyzes the possibility of solving this problem of the current model. If you need to build a new model, and activities are planned for the transition from the old to the new model. The proposed approach provides the creation and maintenance of a balanced scorecard of the company. Efficiency of a verbal approach for the solution of this task is shown. Perspective is a study of the peculiarities of this approach support software.

Keywords: information consolidation, balanced scorecard, systemology, verbal analysis.

Введение

В современном конкурентном и динамичном деловом мире необходимым условием выживания и успеха является умение оценить общую ситуацию в организации, определить направление ее развития, сформулировать приоритетные задачи, а также предвидеть факторы, представляющие угрозу. Решение этих проблем непосредственно связано с важной научной задачей формирования теории устойчивого развития организации и практической задачей построения сбалансированной системы показателей ее деятельности.

**Анализ последних исследований
и публикаций**

Клименко Т. В. отмечает, что для принятия

управленческих решений, адекватных рыночным условиям, стратегическим целям и состоянию организационного развития предприятия, необходим гибкий методологический аппарат. Иначе менеджмент предприятия будет руководствоваться принципами эмпирического управления, которое приводит к фрагментарности, отсутствию логичности и системности при принятии решений [1]. Особое внимание уделяется системологическому подходу [2]. Он предполагает внедрение в практику управления предприятий функций по мониторингу, самопроектированию и саморазвитию на системных требованиях, интегрирование с отраслевой и фундаментальной наукой и образовательными учреждениями, обеспечивающими формирование и реализацию управленческого потенциала для

активной адаптации и формирования рыночной конъюнктуры на долгосрочную перспективу.

Иванова Т.Ю. указывает на целесообразность применения сбалансированной системы показателей (ССП) на этапе разработки стратегии организации. Но, если не уделять достаточного внимания формированию сбалансированного, оптимального набора прогнозируемых факторов внешней и внутренней среды, то это приводит к формированию стратегических планов развития на основе малоинформативных, быстроустаревающих и противоречивых прогнозов. В результате такого неэффективного стратегического планирования делаются ложные выводы об изначальной неэффективности ССП как инструмента стратегического управления. Поэтому необходимо дополнить основные функции ССП, позволяющие организации, применяющей эту систему, повысить эффективность управленческого процесса, как на оперативном, так и на стратегическом уровне [3].

Ларичев О.И. обращает внимание на то, что главы фирм и директора предприятий, когда определяют пути развития организации, направления ее деятельности, виды и объемы выпускаемой продукции, учитывают качественные факторы, которые практически не поддаются формализации [4]. Для поддержки принятия решений в таких ситуациях разработаны вербальные методы анализа [5, 10, 11]: порядковая классификация альтернатив; упорядочение альтернатив; выбор наилучшей альтернативы.

Авторы в статье [6] показали, что эти методы согласуются с основными этапами консолидации информации: сбор данных; формирование информационных ресурсов; извлечение знаний; консолидация информации; принятие решения; реализация решения.

Эффективность использования вербального анализа в процессе консолидации информации о конкурентах показана авторами в статье [7] на примере фирмы, занимающейся производством мебели.

Цель работы

Описание процесса консолидации информации о деятельности организации на основе построения сбалансированной системы показателей с использованием системологического вербального подхода.

Определение миссии организации

Классическое. Миссия определяет причину существования организации. Выполнить миссию до

конца нельзя. Миссия – это путеводная звезда, в направлении которой следует организация, но никогда ее не достигнет [8]. Например, компания, которая занимается проектированием и созданием точек розничной торговли (исследует клиентуру и строит здания), формулирует свою миссию следующим образом: "Мы увеличиваем объем продаж наших клиентов" [9].

Системологическое. С точки зрения системологии [2] миссия системы представляет собой функциональный запрос надсистемы. Для организации надсистемой является тот сегмент рынка, который она пытается занять, а функциональным запросом – требования ее клиентов. Функциональный запрос надсистемы – это запрос на систему с определенными свойствами. Если система обладает этими свойствами, то она может занять соответствующее место в надсистеме. Такие свойства системы называются экстенциальными (внешними, проявленными). Адаптироваться к текущему функциональному запросу надсистемы система может за счет своих интенциальных (внутренних, скрытых) свойств. Эти же свойства отвечают за адаптацию к незначительным изменениям функционального запроса надсистемы. Эволюционировать в соответствии со значительными изменениями функционального запроса надсистемы система может за счет своих потенциальных (глубинных) свойств. Они же обеспечивают переход системы в состав новой надсистемы в случае исчезновения старой надсистемы. Таким образом, миссия организации определяется требованиями к экстенциальным, интенциальным и потенциальным свойствам организации.

Практическое. Свойства системы – это способность устанавливать связи, необходимые надсистеме, в состав которой входит система. Экстенциальные свойства системы определяются ее внешними связями, которые в данный момент необходимы надсистеме, и внутренними связями системы, поддерживающими внешние. Интенциальные свойства системы определяются ее способностью к незначительным изменениям своей внутренней структуры в соответствии с незначительными изменениями внешних связей, необходимых надсистеме. Потенциальные свойства системы определяются ее способностью к значительным изменениям своей внутренней структуры в соответствии со значительными изменениями внешних связей, необходимых надсистеме. Таким образом, миссия организации определяется связями, которые необходимы надсистеме, в рамках которой функционирует организация.

Формирование стратегии развития компании электроснабжения

Шаг 1. Фиксируются основные технико-экономические показатели компании в определенный момент времени.

Шаг 2. Строится модель компании в этот момент времени. Например, контекстная диаграмма компании, построенная с использованием методологии функционального моделирования IDEF0, может иметь вид:

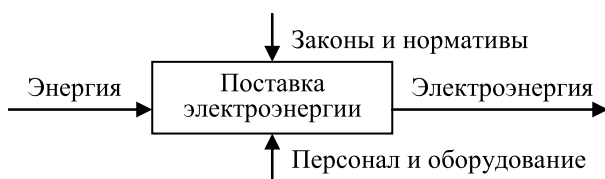


Рис. 1. Контекстная диаграмма

Вариант декомпозиции контекстной диаграммы показан на рис. 2. Он соответствует компании, которая занимается как передачей, так и производством электроэнергии.

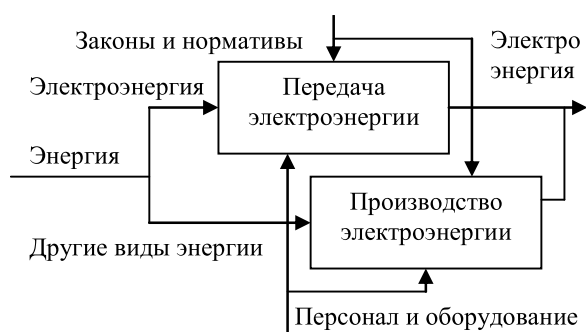


Рис. 2. Декомпозиция контекстной диаграммы

На рис. 3 показан вариант декомпозиции процесса «Передача электроэнергии» для компании, которая использует линии электропередач (ЛЭП) как постоянного, так и переменного тока.

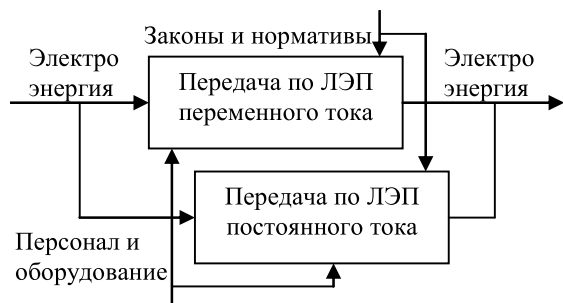


Рис. 3. Декомпозиция процесса «Передача электроэнергии»

На рис. 4. показан вариант декомпозиции процесса «Производство электроэнергии» для компании, которая имеет в своем составе атомные

электростанции; электростанции, работающие на органическом топливе (газовые, жидко- и твердотопливные); гидроэлектростанции; ветро-электростанции и солнечные электростанции.

Процедура декомпозиции выполняется для всех составных процессов.

Шаг 3. Таким образом, набору значений показателей компании в определенный момент времени соответствует модель компании в этот же момент времени.

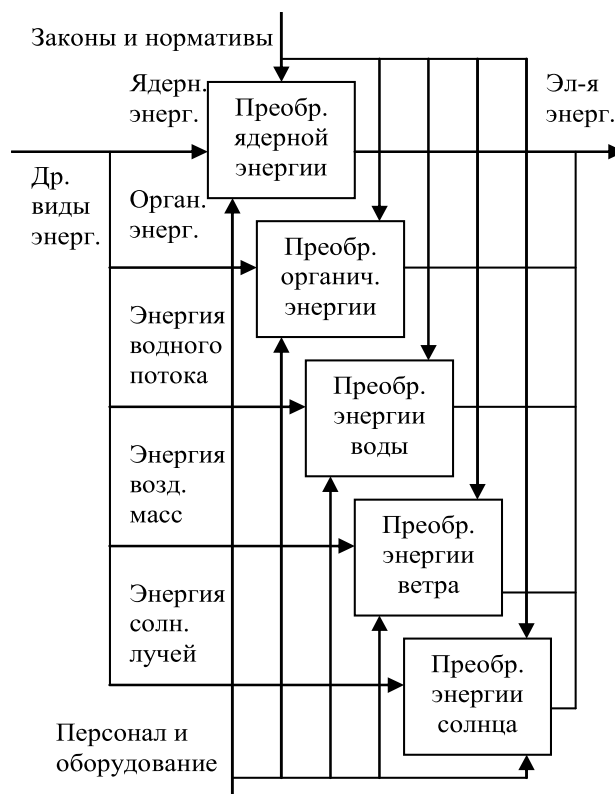


Рис. 4. Декомпозиция процесса «Производство электроэнергии»

Например, если компания характеризуется 33-мя показателями, то в определенный момент времени они имеют определенные значения, которым соответствует определенная (например, 3-х уровневая) модель процессов, происходящих в компании (рис. 5).

Шаг 4. Набор всех гипотетически возможных значений каждого показателя можно упорядочить от лучшего к худшему. Например, значения некоторого показателя компании могут быть упорядочены от наихудшего значения 1 до наилучшего значения 121 (рис. 6).

Таким образом, наборы значений показателей компании можно сравнивать: первый набор не хуже второго набора, если значения всех показателей первого набора не хуже значений соответствующих показателей второго набора.

Шаг 5. Модель компании, соответствующая некоторому набору значений показателей компании, может соответствовать и лучшему набору значений

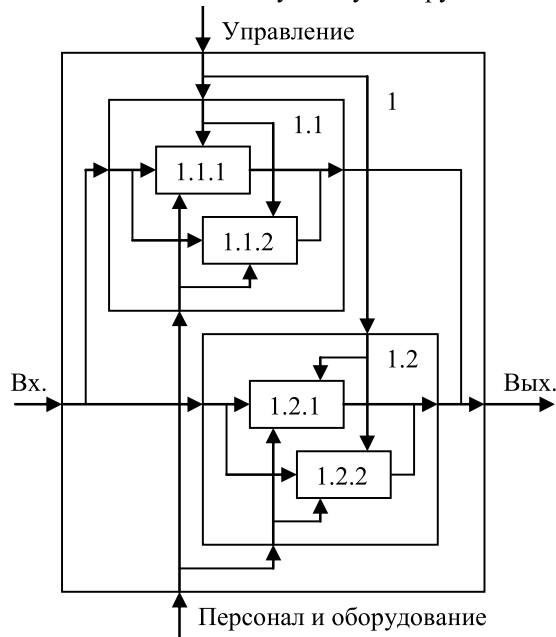


Рис. 5. Трехуровневая модель процессов

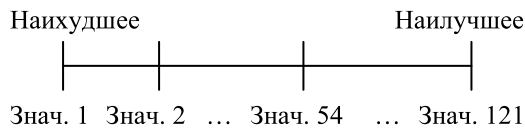


Рис. 6. Шкала значений некоторого показателя

показателей компании. Другими словами, чем лучше модель компании, тем большую степень улучшения значений показателей она может обеспечить.

Например, пусть компания характеризуется двумя показателями со шкалами значений на рис. 7.

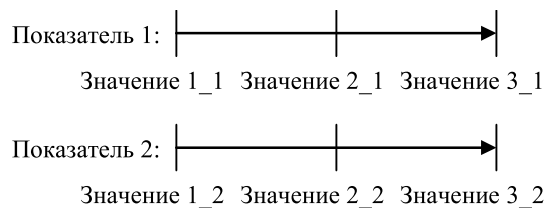


Рис. 7. Шкалы значений двух показателей

Пусть две модели компании, соответствуют набору (Значение 1_1, Значение 1_2) (рис. 8).

Пусть компания, соответствующая модели 1, сможет достичь Значение 3_1 для Показателя 1 и Значение 3_2 для Показателя 2. Пусть компания, соответствующая модели 2, сможет достичь только Значение 2_1 для Показателя 1 и только Значение 2_2 для Показателя 2. Тогда модель 1 лучше, чем модель 2.

В частности, основная задача реинжиниринга бизнес-процессов компании заключается в

построении и внедрении такой модели компании, при которой она может в наибольшей степени улучшить значения всех показателей своей деятельности.

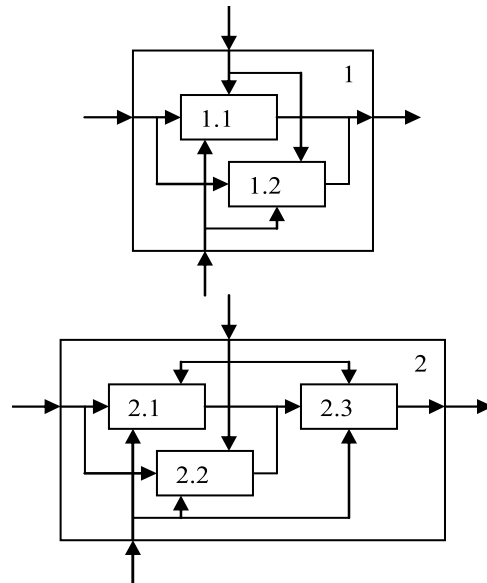


Рис. 8. Две модели, соответствующие одному набору значений

Шаг 6. Используя предлагаемый подход, можно однозначно сформулировать *миссию* компании – достижение наилучших значений по всем показателям деятельности (недостижимый идеал, к которому, тем не менее, нужно стремиться). Более того, можно построить идеальную модель компании, соответствующую наилучшим (идеальным) значениям показателей.

Ценности компании определяются процессами, которые допустимы в модели. Например, недопустимы процессы, результатом которых будет загрязнение окружающей среды.

Видение будущего компании – это модель компании через некоторый промежуток времени (например, через 5, 10 или 15 лет). Такая модель строится следующим образом. Анализируется динамика изменения показателей за предыдущие годы. На основании полученных результатов ставится задача улучшения каждого показателя до определенного значения. Если текущая модель компании допускает эти улучшения, то необходимо сохранить ее состав и структуру. В противном случае, необходимо искать такую модель компании, которая обеспечит достижения требуемых значений показателей. Для этого в текущую модель необходимо вводить изменения (исключать устаревшие процессы, вводить новые процессы, менять связи между процессами). Эти изменения и определяют *стратегию* компании на период осуществления изменений (или сохранение старой модели).

Финансовые цели и показатели деятельности компании полностью определяются процессами, которые используются в ее модели: каждый процесс характеризуется затратами на его осуществление и прибылью, которую можно получить от его реализации. **Клиентские цели и показатели** определяются выходом модели: компания должна производить то, что нужно клиентам. **Цели и показатели внутренних процессов** определяются входами и выходами модели: каждый процесс в модели является связующим звеном между входом и выходом. **Цели и показатели обучения и развития персонала** определяются процессами: необходимы такие люди и оборудование, которые осуществляют как текущие процессы (соответствующие текущим показателям), так и новые процессы, которые появятся в модели ради достижения видения будущего компании.

Разработка ССП на основе вербального анализа

Вербальный анализ позволяет связать количественные и качественные критерии описания деятельности организации.

Шаг 1. Выявление вербальных (словесных) критериев оценки деятельности организации.

Шаг 2. Выявление вербальных значений для каждого критерия оценки деятельности организации.

Шаг 3. Построение порядковых шкал значений для каждого критерия оценки деятельности организации.

Шаг 4. Описание миссии, как вектора, состоящего из лучших значений по каждому критерию.

Шаг 5. Описание ценностей, как множеств приемлемых и неприемлемых значений по каждому критерию.

Шаг 6. Описание видения будущего, как векторов, состоящих из значений по каждому критерию, которые необходимо достичь через заданные промежутки времени (5, 10, 15 лет).

Шаг 7. Описание стратегии развития, как изменений значений критериев от текущего состояния к состояниям, определяемым видением будущего.

Выводы

Классическое определение миссии заключается в формулировке предложения, выражающего недостижимую причину существования организации. Системологическое определение миссии заключается в выявлении требований к экстенциональным, интенциональным и потенциальным свойствам

организации. Практическое определение миссии заключается в выявлении связей, которые необходимы надсистеме, в рамках которой функционирует организация.

Каждому набору значений показателей деятельности компании соответствует некоторая модель компании. Одному набору значений показателей деятельности компании может соответствовать несколько моделей компании. Модель компании тем лучше, чем большую степень улучшения значений она сможет обеспечить по каждому показателю деятельности компании. Формирование стратегии развития компании начинается с построения модели компании, соответствующей текущим показателям ее деятельности. Анализируется динамика изменения значений показателей, ставится задача их улучшения за определенный период, анализируется возможность решения этой задачи текущей моделью. При необходимости строится новая модель, и планируются мероприятия по переходу от старой модели к новой. Предлагаемый подход обеспечивает создание и сопровождение сбалансированной системы показателей деятельности компании.

Эффективным средством для разработки ССП является вербальный анализ.

Перспективным является исследование особенностей поддержки рассмотренного подхода программными средствами.

Список литературы

1. **Клименко, Т. В.** Системология управления конкурентно-способностью продукции предприятий кожевенно-обувной отрасли / **Т. В. Клименко.** – М.: Архитектура. – 2010. – 248 с.
2. **Мельников, Г. П.** Системология и языковые аспекты кибернетики / **Г. П. Мельников.** – М.: Советское радио. – 1978. – 366 с.
3. **Иванова, Т. Ю.** Совершенствование сбалансированной системы показателей в процессе развития стратегического управления / **Т. Ю. Иванова** // *Управленческий учет.* – 2010. – № 6. – С. 9-16.
4. **Ларичев, О. И.** Вербальный анализ решений / **О. И. Ларичев.** – М.: Наука. – 2006. – 181 с.
5. **Ларичев, О. И.** Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / **О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович.** – М.: Наука. – 1996. – 208 с.
6. **Косило, Н. С.** Консолидация вербальной информации / **Н. С. Косило, Д. Б. Ельчанинов** // *Системи обробки інформації.* – 2011. – Вип. 5 (95). – С. 135-137.
7. **Косило, Н. С.** Иерархическая кластеризация мультимножеств в процессе консолидации информации / **Н. С. Косило, Д. Б. Ельчанинов** // *Системи обробки інформації.* – 2010. – Вип. 5 (86). – С. 180-182.

8. **Нивен, П.** Сбалансированная система показателей: шаг за шагом: максимальное повышение эффективности и закрепление полученных результатов / **П. Нивен**. - Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2004. - 328 с.
9. **Персон, Р.** Бизнес-расчеты в Excel / **Р. Персон**. - М.: Эксмо. - 2009. - 528 с.
10. **Fleisher, C. S.** Business and Competitive Analysis: Effective Application of New and Classic Methods / **Craig S. Fleisher, Babette E. Bensoussan**. - W.: FT Press. - 2007. - 123 p.
11. **Fleisher, C. S.** Strategic and Competitive Analysis: Methods and Techniques for Analyzing Business Competition / **Craig S. Fleisher, Babette E. Bensoussan**. - W.: FT Press. - 2007. - 116 p.
3. **Ivanova, T. Y.** Improving the Balanced Scorecard in the development of strategic management. *Managerial Accounting*, 2010, **6**, 9-16.
4. **Larichev, O. I.** Verbal decision analysis. Moscow: Nauka, 2006, 181 p.
5. **Larichev, O. I., Moszkowicz, E. M.** Qualitative methods of decision-making. Verbal Decision Analysis, Moscow: Nauka, 1996, 208 p.
6. **Kosilo, N. S., Elchaninov, D. B.** Consolidation verbal information. *Systemi obrobki informacii*, 2011, **5(95)**, 135-137.
7. **Kosilo, N. S., Elchaninov, D. B.** Hierarchical clustering multisets in the process of consolidating information. *Systemi obrobki informacii*, 2010, **5(86)**, 180-182.
8. **Niven, P.** Balanced Scorecard: Step by Step: Maximizing the efficiency and consolidation of the results, Dnepropetrovsk: *Balance Business Books*, 2004, 328 p.
9. **Pearson, R.** Business calculations in Excel. Moscow: Eksmo, 2009, 528 p.
10. **Fleisher, C. S., Babette, E. B.** Business and Competitive Analysis: Effective Application of New and Classic Methods. W.: FT Press, 2007, 123 p.
11. **Fleisher C. S., Babette, E. B.** Strategic and Competitive Analysis: Methods and Techniques for Analyzing Business Competition. W.: FT Press, 2007, 116 p.

Bibliography (transliterated)

Сведения об авторах (About authors)

Косило Николай Семенович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; e-mail: 55kns19@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-8955-0874.

Kosilo Nick S. - Scientific Degree (Ph. D.), Docent, Department of Computer Science and Intellectual Property, National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine; e-mail: 55kns19@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-8955-0874.

Ельчанинов Дмитрий Борисович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; e-mail: d.b.elchaninov@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-5163-9117.

Elchaninov Dmitry B. – Scientific Degree (Ph. D.), Docent, Department of Computer Science and Intellectual Property, National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine; e-mail: d.b.elchaninov@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-5163-9117.

Гуца Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью; г. Харьков, Украина; e-mail: gutsabox@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-0194-0315.

Gutsa Oleg N. – Scientific Degree (Ph. D.), Docent, Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: gutsabox@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-0194-0315.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Косило, Н. С. Консолидация информации о деятельности организации: системологический вербальный подход / **Н. С. Косило, Д. Б. Ельчанинов, О. Н. Гуца** // *Вестник НТУ "ХПИ"*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2015. – № 62 (1171). – С. 64 - 69. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Kosilo, N. S., Elchaninov, D. B., Gutsa, O. N. Information consolidation about organization activity: systemological verbal approach. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 64 - 69, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилаетесь на цю статтю наступним чином:

Косіло, М. С. Консолідація інформації про діяльність організації: системологічний вербальний підхід / **М. С. Косіло, Д. Б. Ельчанинов, О. М. Гуца** // *Вісник НТУ "ХПІ"*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2015. – № 62 (1171). – С. 64 - 69. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Розглянуто класичний та системологічний підходи до визначення місії організації. Проаналізовано основні етапи побудови збалансованої системи показників діяльності підприємства на прикладі компанії електропостачання: формулювання місії, опис цінностей, формування бачення майбутнього, вироблення стратегії, визначення цілей (фінансових, клієнтських, внутрішніх процесів, навчання та розвитку персоналу організації) та показників їх досягнення. Показано ефективність вербального підходу до вирішення цієї задачі.

Ключові слова: консолідація інформації, збалансована система показників, системологія, вербальний аналіз.

Поступила (received) 14.12.2015

УДК 629.124, 614.84

ПРИСТОСОВАНІСТЬ МАЛОГО ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОГО СУДНА ДО ДІЙ ПОЖЕЖНИХ-РЯТУВАЛЬНИКІВ

В. С. КРОПИВНИЦЬКИЙ

УкрНДІЦЗ, м. Київ, УКРАЇНА
email: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

АНОТАЦІЯ У роботі розглядається питання визначення пристосованості малого пожежно-рятувального судна до дій пожежних-рятувальників. Запропонована методика оцінки пожежно-рятувальних катерів (ПРК), яка дозволить визначити, який із катерів у більшій мірі пристосований до дій пожежних-рятувальників. Оцінювання пристосованості конструктивних елементів ПРК ще на стадії проектування, дозволить зробити висновки і за потреби внести необхідні зміни, для кращої взаємодії пожежних-рятувальників з катером, пожежним обладнанням під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: пожежно-рятувальний катер, пристосованість для роботи, система «людина - машина», показник пристосованості.

FITNESS SMALL FIRE-RESCUE VEHICLES TO FIRE RESCUERS ACTION

V. S KROPIVNITSKY

UkrNDITSZ, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT In connection with the development of coastal infrastructure becomes increasingly important task of ensuring domestic small fleet of specialized vessels working, especially those that can quickly to help everyone who needs help in emergency situations at these sites. These emergencies related to fire and other possible industrial accidents and disasters, which are designed to eliminate a number of modern innovative complexes, among which should be mentioned fire rescue boat UMS-1000. There is a need to study the adaptability of small fire-rescue vehicles to the action of fire-rescue workers. Definition adaptability of small fire-rescue vehicles to the action of fire-rescue requires more careful study should be solved constructing mathematical models and related calculations. The aim is to justify the rational distribution of fire in the cockpit, the cabin during the journey to the place of emergency, and to develop methods of determining the level of fitness of fire boats to deploy weapons fire. Research methods is systems analysis and mathematical modeling. The main object of research aimed at improving working conditions is a system of "man and machine". The main focus of research - ergonomic analysis of existing and planned systems, under which alone can make claims as to the components of the system and to the system as a whole. The paper was developed method of estimation of fire-rescue boat is to determine which of the proposed boat in increasingly adapted to the action of fire-rescue workers. Evaluation of the adaptability of structural elements fire rescue boat at the design stage to draw conclusions and make the necessary changes needed for better interaction with fire-rescue boat, fire equipment during emergencies, but stated needs experimental confirmation.

Keywords: Fire rescue boat, suitability for use, the system «man - machine», figure fitness.

Вступ

У зв'язку з розвитком берегової інфраструктури все більш актуальним стає завдання забезпечення вітчизняного малого флоту спеціалізованими робочими судами, в першу чергу тими, що здатні оперативно прийти на допомогу всім, хто потребує допомоги при виникненні надзвичайних ситуацій (НС) на зазначених об'єктах. Ці НС пов'язані з виникненням пожеж та інших можливих техногенних аварій і катастроф, для ліквідації яких розробляється ряд сучасних інноваційних технічних комплексів, серед яких слід відмітити пожежно-рятувальний катер (ПРК) UMS-1000 [1]. Виникає необхідність дослідження пристосованості малого пожежно-рятувального судна до дій пожежних-рятувальників, бо саме від своєчасного оперативного розгортання може залежати чиєсь людське життя.

Основним об'єктом досліджень, спрямованих на поліпшення умов праці має бути система «людина і

машина» [2]. Основним напрямком досліджень - ергономічний аналіз існуючих та проєктованих систем, на підставі якого можна пред'явити вимоги окремо як до компонентів системи, так і до всієї системи в цілому [3, 4].

«Система «людина - машина» представляє собою організацію, складовими частинами якої є люди і машини, що працюють разом для досягнення спільної мети і пов'язані один з одним мережею комунікацій» [5, 15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вимоги ергономіки в системі «людина - машина» можна умовно поділити на антропометричні, біомеханічні, фізіолого-гігієнічні, інженерно-психологічні [2].

Всі системи «людина - машина» можна розділити на два основні класи [2]:

- системи «одна людина - одна машина»;

- системи «група людей - група машин».

Система «людина-машина-пожежа», про яку піде мова - складна система, що складається з двох підсистем (рис. 1).

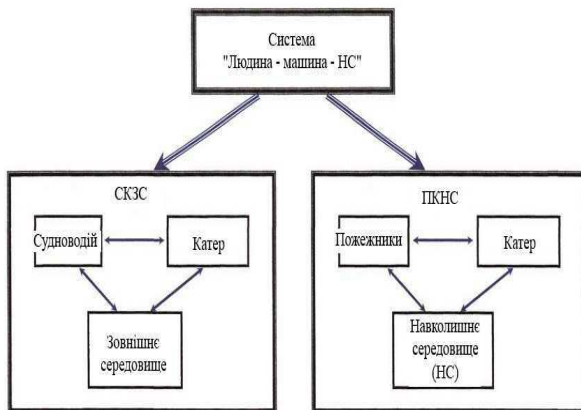


Рис. 1. – Система «Людина - машина – надзвичайна ситуація»:

СКЗС - підсистема «судноводій – катер - зовнішнє середовище»;

ПКНС - підсистема «пожежники - катер – навколишнє середовище».

На теперішній час добре досліджено підсистему «водій - автомобіль - дорожнє середовище» (ВАДС), яку можна віднести до першого класу. Ми будемо використовувати, за аналогією підсистему «судноводій - катер - зовнішнє середовище» (СКЗС). Підсистема СКЗС обумовлює швидке, безпечне переміщення людей і вантажів, в даному випадку пожежних-рятувальників до місця ліквідації НС. Функціонування підсистеми ВАДС, її надійність описані Гавриловим Е. В. [6] та ін.

Другу підсистему складають «пожежники - катер - навколишнє середовище» (ПКНС). Ця підсистема відноситься до другого класу. Під навколишнім середовищем розуміється надзвичайна ситуація (місце пожежі).

Підсистема ПКНС функціонує при: проведенні рятувальних робіт при стихійних лихах; ліквідації аварій; гасінні пожежі і загорянь.

Людина (судноводій, пожежні) є необхідним компонентом в даних підсистемах і виступає в них як ланка системи управління. Однак управлінські функції підсистеми ПКНС складніші, ніж у підсистеми СКЗС.

У підсистемі СКЗС судноводій, реагуючи на зміну обстановки, управляє рухом катера за допомогою органів управління. Йому притаманні як функції управління, так і функції виконання.

У підсистемі ПКНС відбувається поділ функцій: одним притаманні функції управління - керівник гасіння пожежі; іншим притаманні функції виконання - особовий склад підрозділів, що бере безпосередню участь у гасінні пожежі. Поділ функцій

обумовлено необхідністю узгодження зусиль особового складу підрозділів, для їх спільних дій.

Протипожежна техніка є засобом механізації, за допомогою якої людина впливає на вогонь і від того наскільки ці засоби будуть надійними і простими при використанні, наскільки вони пристосовані до роботи з ними людини, залежить ефективність функціонування не тільки підсистеми ПКНС, але і всієї системи в цілому. Отже, протипожежна техніка є важливим компонентом системи «людина-машина-пожежа».

Якщо питання взаємодії судноводія з катером і навколишнім середовищем в підсистемі СКЗС (основні розміри катера, рубки, його робочого місця, прикладеним зусиллям до важелів і педалей, мікроклімату рубки, розмірами ширини фарватеру тощо) в якійсь мірі знайшли своє відображення в роботах [7, 8, 16], нормативних документах, то в підсистемі ПКНС питання взаємодії пожежних з катером вимагають серйозної проробки.

У роботах [9-11] викладені деякі вимоги, що пред'являються до конструктивних елементів пожежних машин: вимоги по висоті розташування підніжки для посадки пожежних в автомобіль, її ширини, глибини; вимоги до висоти кабіни-салону (КС) для пожежних, до конструкції сидіння (висоті розташування сидіння, ширини, глибини); вимоги до висоти розміщення, пожежних рукавів, пожежних драбин.

Мета роботи

Метою роботи є обґрунтування раціонального розміщення пожежних в КС під час прямування до місця НС, а також розробка методики визначення рівня пристосованості пожежних катерів до розгортання пожежного озброєння (ПО).

Виклад основного матеріалу

Задача визначення пристосованості малого пожежно-рятувального судна до дій пожежних-рятувальників вимагає більш ретельного дослідження і має бути вирішена побудовою математичної моделі та проведенням відповідних розрахунків.

Раціональне розміщення пожежних в КС під час прямування до місця НС

Відомо, що зручність пожежних при слідуванні на пожежу в значній мірі залежить від їх розміщення в КС.

Зручність розміщення пожежних в КС в достатній мірі може бути оцінена такими конструктивними розмірами КС як: довжина, ширина, висота КС; висота розташування сидіння; глибина сидіння; кут нахилу подушки сидіння; кут, утворений подушкою і спинкою сидіння; кут нахилу спинки

сидіння; відстань від подушки сидіння до стелі салону.

Відносна оцінка E_i являється, як правило, функцією двох абсолютних показників - показника, що вимірюється P_i і прийнятого за базовий показник P_i^{bas} [12, 13]:

$$E_i = f(P_i, P_i^{bas}), \quad (1)$$

При оцінці зручності розміщення пожежних в КС пожежного катера узагальнений показник пристосованості до дій пожежних (УПП): довжина, ширина, висота КС; відстань від подушки сидіння до стелі КС, глибина сидіння розраховуються за формулами (2, 3).

$$P_i^{bas} \geq \Theta_i, \quad (2)$$

$$E_i = \frac{P_i}{P_i^{bas}} \rightarrow 1,$$

$$P_i^{bas} \leq \Theta_i, \quad (3)$$

$$E_i = \frac{P_i^{bas}}{P_i} \rightarrow 1,$$

де Θ_i - мінімальна (максимальна) величина P_i^{bas} .

Груповий показник пристосованості (ГПП) та зручності посадки пожежних в ПРК - K_1 визначимо як:

$$K_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \cdot E_i \rightarrow 1, \quad (4)$$

де a_i - коефіцієнти вагомості при i -х одиничних показниках пристосованості (ОПП); n - кількість параметрів, що оцінюються.

Груповий показник пристосованості зручності розміщення пожежних в КС розраховуємо за формулою:

$$K_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i \cdot E_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i \cdot Q_i, \quad (5)$$

де: Q - ОПП, що характеризують зручність прийнятої пози пожежниками в КС під час прямування до місця пожежі; b - коефіцієнти вагомості при i -их ОПП.

Коефіцієнти вагомості ОПП - b , при визначенні ГПП зручності розміщення пожежних в КС, оскільки важко віддати перевагу якому то параметру, приймаються рівними одиниці ($b = 1$).

Пристосованість пожежних катерів до розгортання пожежного озброєння

Особливістю компоновання обладнання в спеціальних відсіках є:

- обмеження по висоті, глибині і ширині розміщення найбільш часто використовуваного обладнання;

- фіксування місць розміщення обладнання, яке виділяється експертами;

- умови неперетинання контейнерів та умови їх розміщення у відсіках плаваючого засобу;

- мінімальне відхилення центру мас системи обладнання від центру мас судна, що не перевищує заданого значення.

Розглянемо задачу, яка виникає при проектуванні відсіків водних транспортних засобів (ВТЗ) для ліквідації НС. Основною особливістю проектування ВТЗ такого типу є те, що ПО у відсіках мінімальних розмірів повинно бути розміщено таким чином, щоб час оперативного розгортання рятувальними підрозділами був мінімальним. Зазвичай кількість перевезеного обладнання становить 20-50 одиниць. Тому проаналізувати всі можливі варіанти компоновки евристичним підходом, або за допомогою існуючих інтерактивних пакетів не представляється можливим. Тому актуальними є питання розробки методів геометричного та комп'ютерного моделювання автоматичної компоновання обладнання відсіків ВТЗ, що враховує численні технологічні, експлуатаційні та ергономічні вимоги.

В якості експлуатаційних вимог розглядається розміщення ПО по контейнерах за функціональною ознакою. Весь набір ПО ділиться за функціональним призначенням на групи спорядження та обладнання для:

- особового складу рятувальників;
- подачі ствола першої допомоги;
- порятунку людей;
- розтину і розбирання конструкцій;
- прокладки та обслуговування магістральних рукавних ліній.

До експлуатаційних вимог відноситься розміщення часто використовуваного обладнання в легкодоступних місцях ВТЗ.

Зменшення відсіків ВТЗ досягається за рахунок щільного компоновання обладнання, однак ця компоновка повинна бути такою, щоб все обладнання могло легко вийматися рятувальниками, тобто одна деталь не заклинювала іншу. З цією метою мають бути витримані наскрізні рези між рядами і шарами обладнання.

В якості ергономічних вимог розглядаються вимоги, що призводять до більш зручних дій рятувальників при розгортанні. Існують певні обмеження на розміщення ПО у відсіку ВТЗ:

- по висоті;
- по глибині;
- для скорочення невиправданих переміщень особового складу;
- зі скороченням просторових пересічень рятувального розрахунку.

До технологічних вимог належать, наприклад, обмеження на розміри контейнерів і способи їх розміщення у відсіках ВТЗ. Відсік автомобіля ділиться по ширині порівну і по обидві його сторони розташовуються контейнери, а на кормі ВТЗ може бути ще один контейнер, розташований по всій ширині ВТЗ. Така схема розміщення представлена на рис. 2 (а- г).

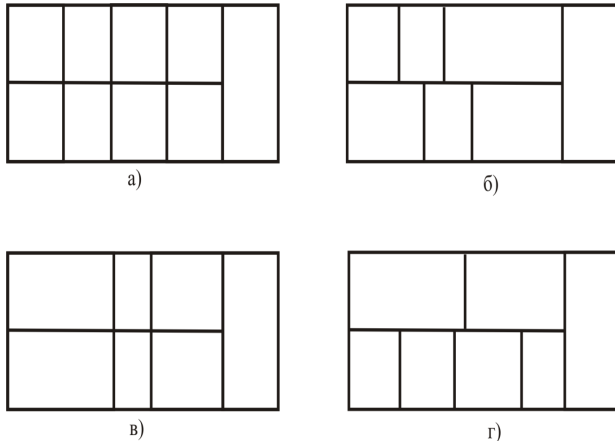


Рис. 2 – Варіанти розміщення контейнерів відповідно до технологічних вимог

За такою схемою розміщення можуть виникнути такі варіанти:

2а) кількість контейнерів з однієї й іншої сторони відсіку однакове і розміри у них однакові;

2б) кількість контейнерів з однієї й іншої сторони відсіку однакове, але довжини у них різні;

2.в) кількість контейнерів з однієї й іншої сторони відсіку однакове, але довжини у них попарно однакові;

2г) кількість контейнерів з однієї й іншої сторони відсіку різне.

Таким чином, виникає наступна задача. Необхідно розмістити набір рятувального обладнання в обсязі мінімальних розмірів спеціального ВТЗ таким чином, щоб час розгортання з використанням цього обладнання був мінімальним, при цьому повинні виконуватися наступні вимоги:

- розміщення ПО за функціональною ознакою (по відсіках);

- розміщення устаткування в контейнерах і неперетинання устаткування між собою з дотриманням:

а) наскрізних різів між їх рядами і шарами;

б) обмежень по висоті, глибині і ширині розміщення найбільш часто використовуваного обладнання;

в) фіксованих місць розміщення обладнання, яке виділяється експертами;

- неперетинання відсіків і умов їх розміщення на палубі ВТЗ;

- на мінімальне відхилення центру мас системи обладнання від центру мас розглянутого ВТЗ, що не перевищує заданого значення.

З цього постає проблема вибору необхідного ПРК, який би по максимуму був пристосований до розгортання ПО.

Дати оцінку пристосованості ПРК до розгортання ПО при гасіння пожежі - значить дати оцінку таким конструктивним елементам ПРК, як висота розташування всмоктувального і напірних патрубків на ПРК, висота розташування відсіків на ПРК, оцінку розміщенню ПО у відсіках та на катері.

Останнім часом з'явився ряд робіт, в яких здійснювалися спроби обґрунтувати раціональне розміщення пожежного озброєння [14] відповідно до принципів функціонального застосування та раціонального використання. Однак дана проблема до кінця не була вирішена. Пожежне озброєння, що вивозиться на ПРК, розміщено по висоті на різних рівнях.

Для оцінки конструктивних елементів ПРК на які розміщено ПО, зону вертикальної доступності для зручності роботи з ним при розгортанні ПО без зміни основної робочої пози розділимо на 5 зон [11]:

1. найбільш зручна зона роботи - 1060÷1360 мм (зона для розміщення найбільш важливого і часто використовуваного ПО);

2. верхня зручна зона роботи - 1360÷1520 мм (зона для розміщення основного ПО);

3. нижня зручна робоча зона - 910÷1060 мм (зона для розміщення громіздкого, найбільш важкого ПО);

4. верхня менш зручна робоча зона - 1520÷1720 мм (зона для розміщення рідко використовуваного, але не громіздкого і не важкого ПО);

5. верхня незручна робоча зона - 1720÷1920 мм (зона для розміщення допоміжного обладнання).

Груповий ергономічний показник пристосування ПРК до розгортання ПО – K_3 розраховується за формулою

$$K_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i, \quad (6)$$

де: μ_i - коефіцієнти вагомості i -х ОПШ.

Після того, як визначені ГПП: зручності та безпеки посадки пожежних в ПРК – K_1 ; зручності розміщення пожежних в КС ПРК - K_2 ; зручності роботи з ПО при проведенні розгортання - K_3 , можна дати оцінку пристосованості розглянутим ПРК до пожежних в цілому.

Узагальнений показник пристосованості (УПП) - D пожежного катера до таких дій пожежних як: збір та виїзд по тривозі; слідування до місця пожежі; розгортання ПО визначимо як середнє значення групових ергономічних показників за формулою:

$$D = \frac{\sum_{j=1}^n c_j K_j}{3} = \frac{c_1 K_1 + c_2 K_2 + c_3 K_3}{3}, \quad (7)$$

де: c_j - коефіцієнти вагомості при ГПП.

З 3-х ГПП (K_1, K_2, K_3) дуже важко віддати перевагу якомусь одному з них. При отриманні травми пожежним під час посадки в ПРК необхідний (потрібний) обсяг роботи при гасінні пожежі буде виконуватися меншим числом пожежних. Тривале перебування пожежних в КС (в не зовсім зручній позі) під час прямування до місця пожежі призведе до передчасної втоми пожежних. Як у першому, так і в другому випадках все відіб'ється на збільшенні часу розгортання ПО для гасіння пожежі. Тому коефіцієнти вагомості c , у формулі (7) при ГПП приймаються рівними одиниці ($c = 1$).

Оскільки функцією мети є час оперативного розгортання T , то визначальною задачею оптимізації розміщення ПО у відсіках ПРК є зменшення цього часу.

З метою визначення впливу чинників на час оперативного розгортання проведений чисельний експеримент за моделями, представленими в (додатку Е) з урахуванням затримок та обмежень, метою якого стало визначення залежностей:

$$T = f(S_0^i) = f(a, b, c), \quad (8)$$

$$T = f(x_n, y_n, z_n), \quad (9)$$

де a, b та c , відповідно, ширина, глибина та висота відсіку, x_n, y_n та z_n – координати відсіку.

Результати моделювання часу оперативного розгортання у залежності від розмірів відсіків ВТЗ для розміщення ПО наведено на рис. 3 – 6.

Аналіз результатів зміни часу оперативного розгортання T від ширини відсіку a на рис. 4.8 показує, що збільшення ширини відсіку у 2 рази призводить до підвищення часу оперативного розгортання на 3%, що не є суттєвим.

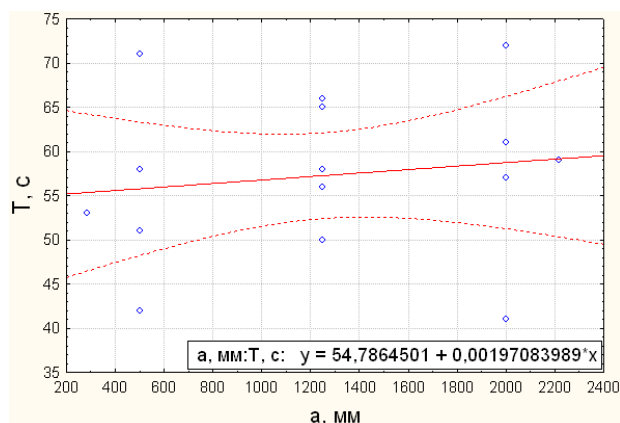


Рис. 3. – Залежність часу оперативного розгортання T від ширини відсіку a .

Залежність зміни часу оперативного розгортання T від глибини відсіку b носить лінійний характер (рис. 4). При цьому збільшення глибини відсіку b з 300 мм до 600 мм та з 600 мм до 900 мм веде до підвищення часу оперативного розгортання T на 12 % та 9 %, відповідно.

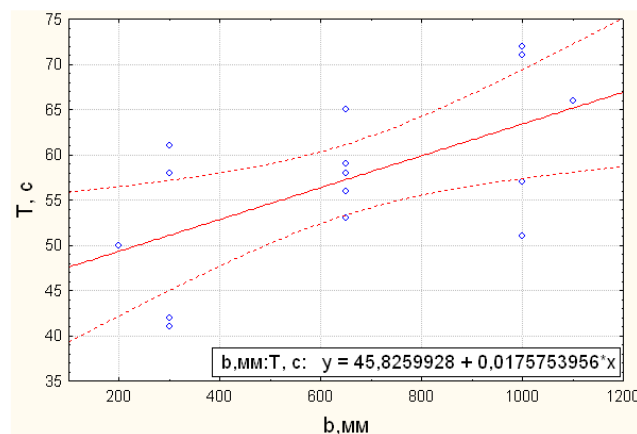


Рис. 4. – Залежність часу оперативного розгортання T від глибини відсіку b .

Аналогічну залежність можна спостерігати на рис. 5 – лінійний вплив висоти відсіку c на час оперативного розгортання T .

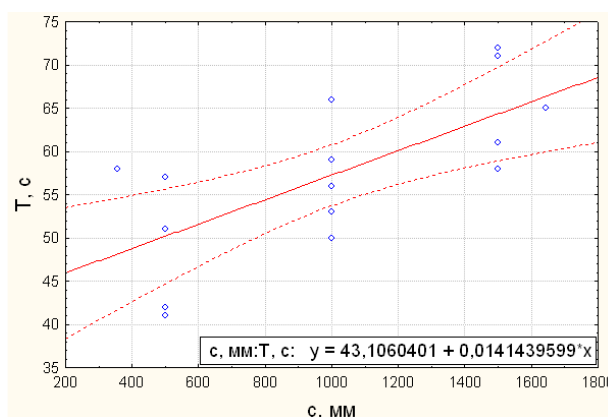


Рис. 5. – Залежність часу оперативного розгортання T від висоти відсіку c .

З метою аналізу сумісного впливу глибини b та висоти c відсіку на час оперативного розгортання T , побудуємо відповідну тривимірну поверхню (рис. 6) за допомогою прикладного пакету Statistica 6.0.

Поверхня на рис. 6 підтверджує, що зі збільшенням глибини та висоти відсіку час оперативного розгортання збільшується. При цьому вплив глибини відсіку на час розгортання тим більший, чим більшу висоту має відсік.

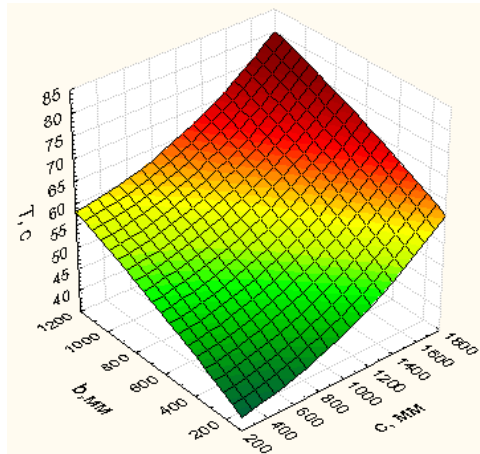


Рис. 6. – Поверхня відгуку залежності часу оперативного розгортання T від глибини відсіку b та його висоти c

Було отримано рівняння регресії, що описує залежність часу оперативного розгортання T , с, від глибини b , мм, та висоти c , мм, відсіку:

$$T = 35,4 + 0,0014 \cdot c + 0,0232 \cdot b + 6,6 \cdot c^2 \cdot 10^{-6} - 7,15 \cdot b \cdot c \cdot 10^{-7} - 3,74 \cdot b^2, \quad (10)$$

Очевидно, що характер залежностей, що було отримано, пов'язаний з особливостями розташування ПО в відсіці: чим ближче та нижче знаходиться ПО, тим час на його зняття менший. Тому практично доцільно зменшувати розміри відсіків до розмірів ПО, що укладений у ньому, намагаючись зменшити його висоту та глибину. При цьому можливо збільшувати ширину відсіку, оскільки вона не суттєво впливає на час оперативного розгортання.

Висновки

З вище сказаного можна зробити висновки, що запропонована методика оцінки ПРК дозволить визначити, який із запропонованих категорій у більшій мірі пристосовано до дій пожежних-рятувальників.

Оцінка пристосованості конструктивних елементів ПРК ще на стадії проектування, дозволить зробити висновки і за потреби внести необхідні зміни, для кращої взаємодії пожежних-рятувальників з категорією, ПО під час ліквідації наслідків НС.

Для отримання оцінок часу виконання оперативного розгортання ПРК, що залежать від можливих варіантів компоновки пожежно-рятувального та спеціального обладнання, розроблено узагальнену мережеву модель. Мережева модель формалізована вигляді 3-х мірної матриці. Класифіковані і виділені види затримок, що впливають на час оперативного розгортання.

Проведено моделювання оперативного розгортання ПРК в залежності від розмірів відсіку. Встановлено, що залежність часу оперативного

розгортання T , с, від розмірів відсіку описується рівнянням в натуральних значеннях чинників $T = 35,4 + 0,0014 \cdot c + 0,0232 \cdot b + 6,6 \cdot c^2 \cdot 10^{-6} - 7,15 \cdot b \cdot c \cdot 10^{-7} - 3,74 \cdot b^2$, де b – глибина відсіку, мм, c – висота відсіку, мм. Встановлено, що для підвищення часу оперативного розгортання доцільно зменшувати розміри відсіків до розмірів ПО, що укладені у ньому, забезпечуючи висоту та глибину.

Список літератури

1. **Кропивницький, В. С.** Аналіз вимог, що пред'являються до пожежних суден / **В. С. Кропивницький** // *Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Х. : НТУ «ХП» – 2015. – №39 (1148) – С. 34 - 40.
2. **Монмолен, М.** Системы «человек и машина» / **М. Монмолен**; [пер. с франц.]. – М.: Мир. – 1973. – 255 с.
3. **Даниляк, В. И.** Эргодизайн, конкурентноспособность / **В. И. Даниляк, П. М. Мунипов, М. В. Федоров.** – М.: Изд. Стандартов. – 1990. – 201 с.
4. Вопросы эргономики: [сборник - хрестоматия]. – М.: ВНИИТЭ. – 1968. – 79 с.
5. **Bowker, G.** Social science, technical systems, and cooperative work: Beyond the great divide / **G. Bowker et al.** // *Psychology Press.* – 2014.
6. **Гаврилов, В. Э.** Эргономика на автомобильном транспорте / **В. Э. Гаврилов.** – К.: Техника. – 1976. – 152 с.
7. **Бадю, Б. Е.** Стандартизация в автомобилестроение / **Б. Е. Бадю** – М.: Изд. Стандартов. – 1975. – 52 с.
8. **Bobbert, G.** Konstruktive Massnahmen Minderung in Personenkraftwagen / **G. Bobbert, E. Vindelholz** – VDI – Z. – 1964.
9. **Безбородько, М. Д.** Эргономические свойства пожарных автомобилей / **М. Д. Безбородько, Ю. П. Самохвалов** – М.: ГИЦ МВД СССР. – 1989. – 127 с.
10. ГОСТ 12.2.037-78 ССБТ Техника пожарная. Требования безопасности. – М.: Изд. Стандартов. – 1978. – 13 с.
11. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – М.: Изд. Стандартов. – 1978. – 9 с.
12. Методика применения экспертных оценок для оценки качества продукции. – М.: Изд. Стандартов. – 1977. – 56 с.
13. Рекомендации по оценке технического уровня и качества пожарных автомобилей. – М.: ВНИИПО МВД СССР. – 1978. – 50 с.
14. **Тесленко, Г. Л.** Исследование компоновочной схемы пожарного автомобиля : дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. / **Тесленко Г. Л.** – М. – 1977. – 198 с.
15. **Nunamaker, J. F.** Systems development in information systems research / **J. F. Nunamaker, M. Chen** // *System Sciences. Proceedings of the Twenty-Third Annual Hawaii International Conference on.* – IEEE. – 1990. – Т. 3. – С. 631 - 640.
16. **Ohle N.** Konstruktive Maßnahmen zur Stabilisierung von Deichen / **N. Ohle, S. Dunker** // Univ., Franziusus-Inst. für Wasserbau und Küsteningenieurwesen. – 2001.

Bibliography (transliterated)

1. **Кропівницький, В. С.** Analiz vymoh, shcho pred'yavlyayut'sya do pozheznykh suden / **V. S. Kroпивnytsky** // *Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh*. Kharkiv: NTU«KhPI», 2015, **39** (1148), – 34 - 40.
2. **Monmolen, M.** Sistemy «chelovek i mashina» [per. s franc.]. Moskov: Mir, 1973, 255 p.
3. **Daniljak, V. I., Munipov, P. M., Fedorov, M. V.** Jergodizajn, konkurentnosposobnost'. Moskov: Izd. Standartov, 1990, 201 p.
4. Voprosy jergonomiki: [sbornik - hrestomatija]. Moskov: VNIITJe, 1968, 79 p.
5. **Kennedy, J. L.** Psychology and systems development. - In: Psychological principles in system development. Ed. by R. M. Gagne. N. Y., 1962, 13 - 32.
6. **Gavrilov, V. Je.** Jergonomika na avtomobil'nom transporte Kyiv: Tehnika, 1976, 152 p.
7. **Bado, B. E.** Standartizacija v avtomobilstroenie. Moskov: Izd. Standartov, 1975, 52 p.
8. **Bobbert, G., Vindelholz, E.** Konstruktive Massnahmen Minderung in Personenkraftwagen. VDI, Z, 1964.
9. **Bezborod'ko, M. D., Samohvalov, Ju. P.** Jergonomicheskie svojstva pozharnykh avtomobilej. Moskov: GIC MVD SSSR, 1989, 127 p.
10. GOST 12.2.037-78 SSBT Tehnika pozharnaja. Trebovanija bezopasnosti. Moskov: Izd. Standartov, 1978, 13 p.
11. GOST 12.2.033-78 SSBT Rabochee mesto pri vypolnenii rabot stoja. Obshhie jergonomicheskie trebovanija. Moskov: Izd. Standartov, 1978, 9 p.
12. Metodika primenenija jekspertnykh ocenok dlja ocenki kachestva produkcii. Moskov: Izd. Standartov, 1977, 56 p.
13. Rekomendacii po ocenke tehničeskogo urovnja i kachestva pozharnykh avtomobilej. Moskov: VNIPO MVD SSSR, 1978, 50 p.
14. **Teslenko, G. L.** Issledovanie komponovochnoj shemy pozharnogo avtomobilja: dis. na soisk. uch. stepeni kand. tehn. nauk. Moskov, 1977, 198 p.

Відомості про авторів (About authors)

Кропивницький Віталій Станіславович – Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, начальник Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту, м. Київ, Україна, e-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Kroпивnitsky Vitaly S. - Ukrainian Scientific Research Institute of Civil Protection, Head of Ukrainian Scientific Research Institute of Civil Protection, city of Kyiv, Ukraine, e-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кропивницький, В. С. Пристосованість малого пожежно-рятувального судна до дій пожежних-рятувальників / **В. С. Кропивницький** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 70 - 76. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Kroпивnitsky, V. S. Fitness small fire-rescue vehicles to fire rescuers action. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 70 - 76, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кропивницький, В. С. Приспособленность малого пожарно-спасательного судна к действиям пожарных-спасателей / **В. С. Кропивницький** // *Вестник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 70 - 76. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ В роботі розглядається питання визначення пристосованості малого пожарно-спасательного судна к действиям пожарных-спасателей. Предложенная методика оценки пожарно-спасательных катеров (ПСК), которая позволит определить, какой из катеров в большей степени приспособлен к действиям пожарных-спасателей. Оценка приспособленности конструктивных элементов ПСК еще на стадии проектирования, позволит сделать выводы и при необходимости внести необходимые изменения, для лучшего взаимодействия пожарных-спасателей с катером, пожарным оборудованием во время ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: пожарно-спасательный катер, приспособленность для работы, система «человек - машина», показатель приспособленности.

Надійшла (received) 12.12.2015

УДК 614.84

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ МІСТА ХАРКОВА НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО БЛОКУ «ПРОГНОЗ НС»

О. М. ЛАРИН, А. Я. КАЛИНОВСЬКИЙ*, Р. І. КОВАЛЕНКО

Кафедра ІтаАРТ, НУЦЗУ, м. Харків, УКРАЇНА
*email: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

АНОТАЦІЯ Метою дослідження було проведення аналізу основних показників функціонування пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП). Дослідження проводилося методами математичної статистики та системного аналізу. В ході проведення дослідження було виявлено, що: ПРП м. Харкова здійснюють в середньому 15 виїздів на виклики впродовж доби; найбільше виїздів зафіксовано у Дзержинському, Московському та Київському районах міста, які мають найбільшу кількість населення серед адміністративних районів Харкова, тобто спостерігається кореляційна залежність між кількістю населення в певному районі міста та кількістю викликів ПРП в ньому; середній час прибуття ПРП на виклик складає 9 хвилин, що не перевищує нормативні показники (<10 хвилин); найбільшу кількість викликів зафіксовано у серпні місяці, серед днів тижня у суботу та п'ятницю; впродовж доби найбільше викликів спостерігається у другій половині дня з 13:00 до 24:00 години, вночі та зранку викликів порівняно менше. Результати отримані в роботі в подальшому будуть використані для побудови програмного блоку «ПРОГНОЗ НС» для автоматизованої системи управління ОДС ОКЦ ГУ ДСНС України у Харківській області.

Ключові слова: показники функціонування пожежно-рятувальних підрозділів, кількість викликів, час прибуття, пожежно-рятувальні автомобілі, автоматизовані системи управління, прогнозування надзвичайних ситуацій.

STUDY PARAMETERS OF FIRE AND RESCUE UNITS KHARKIV CITY AT THE PRESENT STAGE TO DEVELOP SOFTWARE BLOCK «FORECAST OF EMERGENCIES»

О. М. LARIN, А. Y. KALYNOVSKY, R. I. KOVALENKO

Department EandRE, NUCPU, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT In recent years there has been a significant increase in the number of fires that accompanied the increasing number of visits to the challenges of operational outlets fire-rescue units. The result is increased pressure on operational and operational-dispatching service coordination center, as well as personnel of fire-rescue units. The aim was analyzing the performance of the basic fire-rescue units Kharkiv city, to develop a predictive model of emergency. The study was conducted by methods of mathematical statistics and system analysis. During the study it was found that: Fire and rescue units city Kharkiv carry an average of 15 visits to the challenges throughout the day; most trips recorded in Dzerzhinsky, Moscow and Kyiv city areas that have the largest population among the administrative districts of Kharkov, is there is correlation between the population in a certain area of the city and the number of calls fire-rescue units in it; the vast number of challenges associated with the aftermath of fires and explosions, as well as the provision of care for different reasons; the average arrival time of fire-rescue units of the call is 9 minutes, no more than standard rates (<10 minutes); the largest number of calls recorded in the month of August, days of the week on Saturday and Friday; throughout the day there is the greatest challenge in the afternoon from 13:00 to 24:00 hours, at night and in the morning call relatively less; 87% of calls serviced by personnel not exceeding two branches of fire-rescue units, and the most popular technique is to call fire tanker. The results obtained in the subsequently will be used to build software block «FORECAST OF EMERGENCIES» for automated control system operatively-dispatching service quickly clearing the Main Department of State Service of Ukraine of Emergencies in Kharkiv region, which has the following functions: automation of receiving and processing Posts duty dispatchers immediate dispatching services operational and coordination center; transmission in automatic mode message to the challenge of operational and dispatch service quickly clearing house to fire-rescue units in the area of exit which the place of call; make recommendations to the head of the emergency on choosing the shortest route; fire and rescue vehicles to the place of call with regard to road conditions and providing him information about the sources of water that are near the facility where there was an emergency.

Keywords: performance indicators fire-rescue units, the number of calls, time of arrival, fire and rescue vehicles, automated control system, forecasting emergencies.

Вступ

У 2012 році [1] було збільшено площу міста Харкова на 4450,58 гектара і на сьогоднішній день вона становить 35002,26 гектара (рис. 1). Також за останній період значно змінилася чисельність

населення міста, яка за даними Головного управління статистики у Харківській області [2] скоротилася майже на 40 тис. осіб у порівнянні з 2001 роком і станом на 1 січня 2015 року становила 1431,025 тис. осіб. У 2013 році було прийнято нормативний документ [3], відповідно до якого крім двох

© О. М. ЛАРИН, А. Я. КАЛИНОВСЬКИЙ, Р. І. КОВАЛЕНКО, 2015

попередніх критеріїв утворення пожежно-рятувальних підрозділів затверджених ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» [4] – це нормативний радіус обслуговування, який не повинен перевищувати для одного підрозділу 3 км та визначення кількості та типу пожежних та аварійно-рятувальних автомобілів (ПРА) з урахуванням кількості жителів у населеному пункті, додався ще норматив прибуття ПРА до місця виклику, який не повинен перевищувати в місті 10 хвилин. Відповідно постає питання достатності наявних сил та засобів пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) для адекватного реагування на різного роду надзвичайні ситуації (НС), які можуть виникати в місті Харкові, за умови що розрахунки їхньої граничної чисельності та розміщення проводилися під час забудови території міста [5, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У рамках роботи [7] проводився аналіз чинників, які впливають на час прибуття ПРП на виклик та аналіз часових характеристик процесу обслуговування виклику. Статистичні дані, що були приведені в роботі на сьогодні є застарілими, а тому не можуть бути використані для побудови прогнозної моделі виникнення НС, хоча виявлені чинники впливу на час прибуття ПРП на виклик і на сьогодні є актуальними.

У роботі [8] було проведено аналіз впливу часу прибуття ПРП на збитки від пожеж, при цьому інші НС до уваги не бралися. Було досліджено 307 пожеж, що відбулися впродовж 1994 - 1997 років у Лондоні.

У роботі [9] було проведено аналіз збитків від пожеж у 2012 році в США. В США величину збитків оцінюють страхові організації в яких вже впродовж тривалого часу відпрацьовані методики оцінки, а в нашій державі, значна частина майна є по-перше не застраховано, по-друге збитки від пожеж у переважній більшості випадків оцінюють працівники органів державного пожежного нагляду (ДПН). Величина збитків оцінена працівниками органів ДПН базується на їх суб'єктивних висновках, тому що ніяка методика при цьому не використовується, а тому дані які формуються в нашій державі стосовно збитків від пожеж мають сумнівну достовірність, а тому не можуть бути ніяким чином використані для побудови прогнозної моделі.

У роботі [10] було проведено порівняння інтервалів реагування на виклики пожежно-рятувальних підрозділів та служб швидкої медичної допомоги. Дане порівняння проводилося для визначення, який підрозділ швидше прибуває на місце виклику. У випадку визначення того, що підрозділ ПРП прибуває швидше на місце виклику обґрунтовувалася можливість встановлення дефібриляторів в ПРА, так як від швидкості надання допомоги хворому у якого виявлена серцева недостатність залежить його життя. Справа в тім, що

в окремих ПРП зарубіжних держав однією із функцій є надання невідкладної медичної допомоги і частка викликів їх з цих причин навіть перевищує кількість викликів їх виклику на ліквідацію пожеж. В нашій державі ПРП таких функцій не виконують, тому проводити дослідження з такою метою необхідності не має.

У роботі [11] зібрані докладні статистичні дані про пожежі за 2009 - 2013 роки з 32 країн і 32 міст світу. В даній роботі відсутні дані стосовно залучення ПРА на виклики, наведені статистичні дані в цілому по окремим країнам світу, або лише тільки по їх столицях.

У роботі [12] наведені статистичні дані стосовно кількості загиблих людей на пожежах, причини пожеж та місця виникнення пожеж в Австрії впродовж 1979 - 2008 року. Переважна більшість пожеж в Австрії, як і в Україні трапляється в житлових будинках. Найбільша кількість загиблих на пожежах в них була зафіксована у 2000 році, причиною цього стала масштабна пожежа, яка трапилася у місті Зальцбург, коли загинуло 155 осіб. В даній роботі відсутні дані стосовно динаміки виникнення пожеж впродовж 1979 - 2008 років.

У роботі [13] наведені статистичні дані стосовно пожеж, що сталися в Китаї у 1998 році, а також проведений аналіз причин їх виникнення, наведена щомісячна частота їх виникнення та частота виникнення по годинам доби, проведений детальний аналіз деяких масштабних пожеж.

У роботі [14] були проаналізовані основні проблеми пов'язані з впровадженням та використанням геоінформаційних технологій (ГІС-технологій) в оперативній діяльності ПРП. Авторами даної роботи було відзначено, що використання ГІС-технологій у діяльності оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру (ОДС ОКЦ) дає змогу скоротити час прийняття рішень черговим диспетчером стосовно вибору ПРП, які повинні бути направлені на ліквідацію НС, а також визначити маршрути їх прямування, що скорочує час прибуття сил та засобів до місця виклику.

У роботі [15] наведено перелік та короткі характеристики основних програмно-розрахункових комплексів, які використовуються в оперативній діяльності пожежно-рятувальних підрозділів Російської Федерації. В переважній більшості випадків такі програмні комплекси виконують лише функції збору статистичних даних та формують звіти по встановленим формам, а функція прогнозування в них відсутня.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження основних параметрів функціонування ПРП міста Харкова для розробки прогнозної моделі виникнення

надзвичайних ситуацій, яка в подальшому буде використана для розробки програмного блоку «ПРОГНОЗ НС» для автоматизованої системи управління ОДС ОКЦ ГУ ДСНС України у Харківській області.

Виклад основного матеріалу

Охороною міста Харкова від НС займаються 22 ПРП (враховуючи об'єктові) та підрозділи аварійно-рятувального загону спеціального призначення (АРЗСП) (рис. 1). Чисельність особового складу підрозділів складає 1359 чоловік. На сьогодні у ПРП міста Харкова нараховується 106 ПРА, з них щоденно в оперативному розрахунку знаходяться – 49. Середній термін експлуатації ПРА становить 21 рік, тобто значна частина техніки є фізично та морально застарілою.

В останні роки зафіксовано зростання кількості пожеж (рис. 2), причиною чого може бути обмеження перевірок органами ДПН стосовно додержання (виконання) вимог законодавства у сферах пожежної і техногенної безпеки, цивільного захисту, контролю за діяльністю аварійно-рятувальних служб [16, 17]. Як видно з діаграми зображеної на рис. 2 максимальна кількість пожеж була саме зареєстрована у 2010 та 2014 роках, коли саме були введені обмеження на перевірки.

З ростом кількості пожеж зростає відповідно і кількість викликів, яких за період 2014 року по місту Харкову зафіксовано 5404, тобто в середньому за добу ПРП здійснюють 15 виїздів на виклики. Найбільша кількість викликів зафіксована у Дзержинському, Московському та Київському районах міста (рис. 3). Найбільш «виїзними» ПРП являються ДПРЧ-18, ДПРЧ-9 та ДПРЧ-5 (рис. 4). Як і раніше переважна кількість викликів пов'язана з ліквідацією наслідків пожеж та вибухів – майже 41%, виїзди підрозділів на перевірки і ті випадки, коли їх допомога не знадобилася та оперативні дії за призначенням не проводилися – 37,29%, виїзди на дорожньо-транспортні пригоди становлять – 0,63%, виїзди на відкривання дверей будинків, квартир, підвалів – 8,14%, чергування з різних причин (проведення громадських зібрань, футбольні матчі, концерти, чергування під час перевірки піротехніками підозрілих предметів) – 5,51%, проведення демеркурації – 3,96%, інші причини викликів – 3,47% (вилучення транспортних засобів з ям, снігових заметів, їх буксирування; допомога працівникам швидкої медичної допомоги у транспортуванні хворих; вилучення людей, які застрягли; хибні виклики та ін.).

Аналізуючи статистичні дані за 2014 рік можна стверджувати, що у переважній більшості випадків час прибуття підрозділів у місті Харкові не перевищує 10 хвилин (рис. 5). Показники зображені на діаграмі (рис. 5) є дещо завищеними по тій причині, що при їх розрахунку враховувалися

випадки виїздів ПРП коли «поспішати їм було нікуди» - це виїзди пов'язані з плановими чергуваннями або навчаннями. Середній час прибуття ПРП на виклики складає 9 хвилин, що не перевищує нормативний (<10 хвилин згідно [3]). Значний середній час прибуття підрозділів АРЗСП (22 хвилини) можна пояснити тим, що у переважній більшості випадків вони залучалися на планові чергування та навчання місця проведення, яких мали значну віддаленість від місця дислокації підрозділу.



— землі, які були включені в межі міста Харків у 2012 році

Рис. 1 – Дислокація ПРП м. Харкова

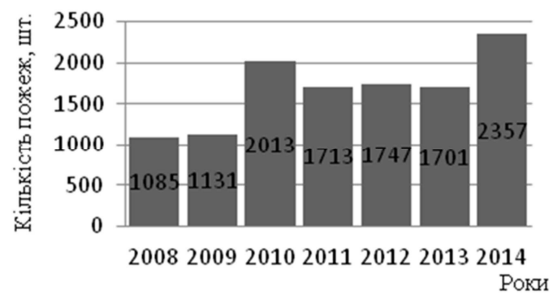


Рис. 2 – Статистика кількості пожеж в м. Харків за період з 2008 по 2014 рр.

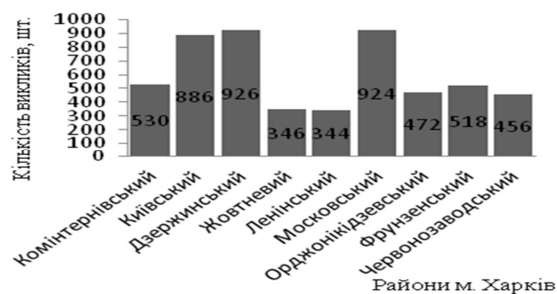


Рис. 3 – Розподіл кількості викликів по районах м. Харкова за 2014 р.

другій половині дня з 13:00 до 24:00, вночі та зранку викликів порівняно менше. Територіально найбільше викликів трапляється у Дзержинському, Московському та Київському районах міста (рис. 3).

Рис. 4 – Розподіл кількості викликів по ПРП м. Харкова за 2014 р.

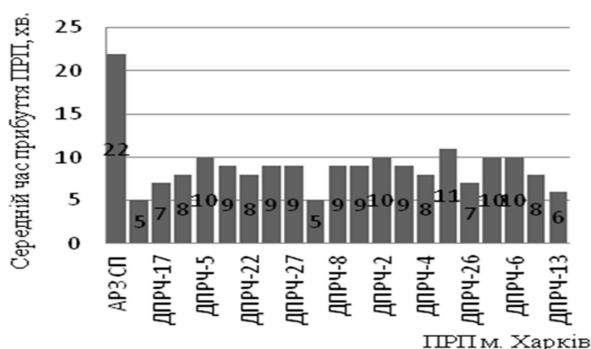
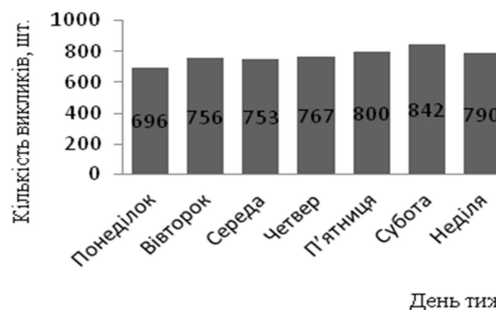


Рис. 5 – Середній час прибуття ПРП м. Харкова на виклики за 2014 р.

Рис. 7 – Розподіл кількості викликів по дням тижня за 2014 р.

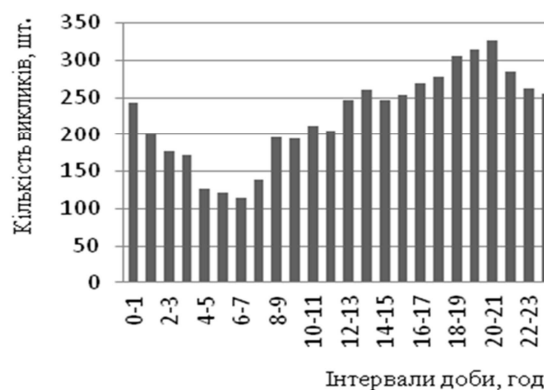


Рис. 8 – Розподіл кількості викликів по годинам доби за 2014 р.

Основним параметром процесу функціонування ПРП вважається щільність потоку викликів. У теорії ймовірностей потоком подій називають послідовність подій, які виникають у випадкові моменти часу [18]. Відповідно під потоком викликів оперативних підрозділів варто розуміти послідовність викликів, повідомлень про пожежу, загорання, аварії, які надходять одне за іншим в якісь випадкові моменти часу до ОДС ОКЦ. Розподіл викликів за 2014 рік по місяця, дням тижня, годинах доби показано на рис. 6 – 8.

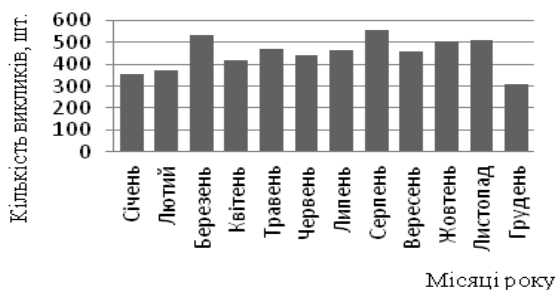


Рис. 6 – Розподіл кількості викликів по місяцям за 2014 р.

Найбільшу кількість викликів зафіксовано у серпні місяці, серед днів тижня у суботу та п'ятницю. Впродовж доби найбільше викликів спостерігається у

Число викликів, які надходять в одиницю часу, являється дискретною випадковою величиною, яка залежить від тривалості інтервалу часу. Тому для вивчення закономірностей процесу надходження викликів використовуються ймовірісно-статистичні методи. Потоки викликів мають певні закономірності і, зокрема добре описуються законом Пуассона [18].

Число викликів в одиницю часу являється випадковою величиною, однак, аналізуючи характер розподілу числа викликів впродовж періоду часу (по місяцям року, дням тижня, годинах доби), і в просторі (по районам міста), можна виявити загальні ймовірісно-статистичні закономірності, використання яких дозволяє досить точно оцінювати очікувану кількість викликів оперативних підрозділів і тенденції його зміни на різних часових інтервалах і територіальних одиницях для вирішення задач управління ПРП і оцінки їх можливостей.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що 87% викликів обслуговуються особовим складом не більш як двох відділень ПРП, а найбільш затребуваною технікою на виклики є пожежні автоцистерни. Результати досліджень зображені на рис. 9.

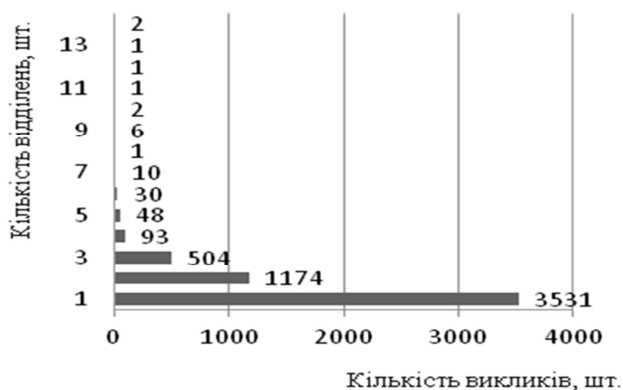


Рис. 9 – Розподіл частоти використання техніки (залучення відділень ПРП на виклики) в м. Харкові у 2014 р.

В процесі дослідження було прийнято рішення розробити автоматизовану систему управління (АСУ) для ОДС ОКЦ ГУ ДСНС України у Харківській області основними функціями якої є:

- 1) автоматизація процесу прийому та обробки повідомлень черговими диспетчерами ОДС ОКЦ;
- 2) передача в автоматизованому режимі повідомлення на виклик з ОДС ОКЦ до ПРП в районі виїзду якого знаходиться місце виклику;
- 3) надання рекомендацій керівнику ліквідації надзвичайної ситуації стосовно вибору найкоротшого маршруту прямування ПРП до місця виклику з врахуванням дорожньої обстановки, а також надання йому інформації про джерела водопостачання, що знаходяться поблизу об'єкта де сталася НС.

Також було прийнято рішення розробити до АСУ для ОДС ОКЦ програмний блок «СТАТИСТИКА», який забезпечує збір оперативної інформації про виклики ПРП у чітко структурованому вигляді та у зручному форматі, що значно полегшує обробку великих масивів статистичних даних. Блок-схема, що відображає роботу ОДС ОКЦ при впровадженні АСУ відображена на рис. 10.

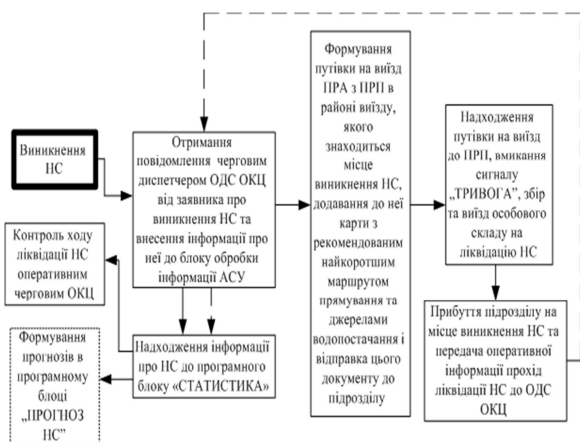


Рис. 10 – Блок-схема, що відображає роботу ОДС ОКЦ при впровадженні АСУ

Для прогнозованої оцінки кількості НС, які можуть виникнути на території адміністративних районів міста Харкова було прийнято рішення побудувати прогнозну модель на основі проведення багатofакторного аналізу [19].

В прогнозній моделі планується врахувати наступні фактори впливу: щільність населення, щільність забудови адміністративного району, кількість багатоповерхових будинків, кількість перевірок органами державного пожежного нагляду та інші.

Висновки

В роботі було проведено аналіз основних показників функціонування ПРП м. Харкова, а також оперативної обстановки пов'язаної з виникненням НС на території міста. Розроблено АСУ для ОДС ОКЦ ГУ ДСНС України у Харківській області, яка дозволяє автоматизувати процес прийняття і обробки повідомлень черговими диспетчерами, забезпечує передачу команд на виїзд ПРП, а також забезпечує зберігання статистичної інформації, що є необхідною умовою для формування звітів, проведення досліджень та розробки на їх основі прогнозів. В майбутньому планується побудувати прогнозну модель виникнення НС на території адміністративних районів міста Харкова, яка буде покладена в основу програмного блоку «ПРОГНОЗ НС».

Список літератури

1. **Постанова ВР України № 5215-VI** від 06.09.2012 року «Про зміну і встановлення меж міста Харків, Дергачівського і Харківського районів Харківської області».
2. Чисельність постійного населення: (офіційний сайт Головного управління статистики у Харківській області) [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://kh.ukrstat.gov.ua>
3. **Постанова КМУ № 874** від 27.11.2013 року «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)».
4. **ДБН 360-92**** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень».
5. **Глебова И. Н.** Испытание огнем: Очерк истории Харьковской пожарной охраны / **Глебова И. Н.** – Х.: Прапор. – 1991. – 127 с.
6. **Клюс П. П.** Пожарные Харьковщины (очерки, посвященные 350-летию г. Харькова) / **Клюс П. П., Палюх В. Г.** – Х. – 2006. – 332 с.
7. **Мамон В. П.** Разработка метода определения маршрутов следования пожарных автомобилей к очагам пожаров: дис. на соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.26.03 / **Мамон Вадим Полиевктович** – Х. – 1998. – 187 с.
8. Correlation Between Firefighting Operation and Fire Area: Analysis of Statistics [Web] // Fire Technology. –

2000. – № 2. – 36 p. – <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1015450308130>
9. **Michael J. Karter, Jr.** Fire loss in the United States during 2012 [Web] // National Fire Protection Association. – 2013: http://www.greaternashville.net/FireFact2012_FullReport.pdf
 10. **Bruce D. Jermyn** Response interval comparison between urban fire departments and ambulance services [Web] / **Bruce D. Jermyn** // *Prehospital Emergency Care*. – 1999. – Issue 1. - Volume 3. – P. 15 - 18. - Access to the magazine: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10903129908958899>
 11. World Fire Statistics: (Report №20) [Web] // *Center of Fire Statistics*. – 2015. – №20. – 63 p. Access to the magazine: http://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report20_world_fire_statistics_2015.pdf.
 12. **Giselbrecht K.** Brandstatistik als Informationsmedium [Web] - Zugang: <http://brandschutzjahrbuch.at/2010/Beitraege2010/86Statistik.pdf>
 13. **Lizhong Y.** Fire situation and fire characteristic analysis based on fire statistics of China / **Yang Lizhong, Zhou Xiaodong, Deng Zhihua, Fan Weicheng, Wang Qing'an** // *Fire Safety Journal*. – 2002. – Volume 37, Issue 8. – P. 785-802
 14. **Ларин, А. Н.** Проблемы использования геоинформационных технологий в пожарно-спасательных подразделениях Украины / **А. Н. Ларин, А. Я. Калиновский, Р. И. Коваленко** – К.: КТИ КЧС МВД РК. – 2015. – 97 с. – (Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан № 2 (18)).
 15. **Алехин, Е. М.** Пожары в России и в мире. Статистика, анализ, прогнозы / **Алехин Е. М., Соколов С. В.** и др.; под. ред. Н. Н. Брушлинского. – М.: Академия ГПС. – 2002. – 158 с.
 16. **Постанова КМУ № 408** від 13 серпня 2014 року «Питання запровадження обмежень на проведення перевірок державними інспекціями та іншими контролюючими органами».
 17. **Постанова КМУ № 502** від 21 травня 2009 року «Про тимчасові обмеження здійснення заходів державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності на період до 31 грудня 2010 року».
 18. **Барковський В. В.** Теорія ймовірностей та математична статистика / **Барковський В. В., Барковська Н. В., Лопатін О. К.** - [5-е видання] . – Київ: Центр учбової літератури. – 2010. – 424 с.
 19. **Харман Г.** Современный факторный анализ / **Гарри Харман**; [пер. с англ. В. Я Лумельский; ред. Браверман Э. М]. – М.: СТАТИСТИКА. – 1972. – 484 с.
 20. **pozhezhno-ryatuvальnykh pidrozdiliv (chastyn) Operativno-ryatuvальnoyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu v administrativno-terytorial'nykh odynitsyakh ta pereliku sub'yektiv hospodaryuvannya, de utvoryuyut'sya taki pidrozdiliv (chastyny)».**
 4. **DBN 360-92**** «Mistobuduvannya. Planuvannya i zabudova mis'kykh i sil'skykh poselen'».
 5. **Glebova, I. N.** Ispytanie ognem: Ocherk istorii Har'kovskoj pozharnoj ohrani, Kharkiv: Prapor, 1991, 127 p.
 6. **Klyus, P. P., Palyukh, V. H.** Pozharnye Khar'kovshchyny (ocherky, posvyashchennye 350-letyuu h. Khar'kova), Kharkiv, 2006, 332 p.
 7. **Mamon V. P.** Razrabotka metoda opredeleniya marshrutov sledovaniya pozharnykh avtomobyley k ochaham pozharov: dys. na soyskanyya uch. stepeny kand. tekhn. nauk: 05.26.03, Kharkiv, 1998, 187 p.
 8. Correlation Between Firefighting Operation and Fire Area: Analysis of Statistics. *Fire Technology*, 2000, **2**, 36 p. [Web] <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1015450308130>
 9. **Michael J. Karter, Jr.** Fire loss in the United States during 2012. *National Fire Protection Association*, 2013: [Web] http://www.greaternashville.net/FireFact2012_FullReport.pdf
 10. **Bruce D. Jermyn** Response interval comparison between urban fire departments and ambulance services. *Prehospital Emergency Care*, 1999, **3**(1), 15 - 18. [Web] <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10903129908958899>
 11. World Fire Statistics: (Report №20) *Center of Fire Statistics*, 2015, **20**, 63 p. [Web] http://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report20_world_fire_statistics_2015.pdf.
 12. **Giselbrecht K.** Brandstatistik als Informationsmedium [Electronic resource] - Zugang: <http://brandschutzjahrbuch.at/2010/Beitraege2010/86Statistik.pdf>
 13. **Lizhong Yang, Zhou Xiaodong, Deng Zhihua, Fan Weicheng, Wang Qing'an** Fire situation and fire characteristic analysis based on fire statistics of China. *Fire Safety Journal*, 2002, **37**(8), 785 - 802.
 14. **Larin, A. N., Kalinovskij, A. Ja., Kovalenko, R. I.** Problemy ispol'zovaniya geoinformacionnyh tehnologij v pozharно-spasatel'nyh podrazdelenijah Ukrainy. Kyiv: KTI KChS MVD RK, 2015, 97 p. – (Vestnik Kokshetauskogo tehnicheskogo instituta Komiteta po chrezvychajnym situacijam MVD Respubliki Kazahstan № 2 (18)).
 16. **Postanova KМУ № 408** vid 13 serpnja 2014 roku «Pytannya zaprovadzhenja obmezhen' na provedennja perevirok derzhavnymy inspektsiyamy ta inshymy kontrolyuyuchymy orhanamy».
 17. **Postanova KМУ № 502** vid 21 travnja 2009 roku «Pro tymchasovi obmezhenja zdiysnennja zakhodiv derzhavnogo nahlyadu (kontrolyu) u sferi hospodars'koyi diyal'nosti na period do 31 hrudnja 2010 roku».
 18. **Barkovsk'kyj, V. V., Barkovsk'ka, N. V., Lopatin, O. K.** Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka [5-e vydannya], Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury, 2010, 424 p.
 19. **Harman G.** Sovremennyj faktornyj analiz [per. s angl. V. Ja Lumel's'kij; red. Braverman Je. M]. – Moskov: STATISTIKA, 1972, 484 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Postanova VR Ukrayiny № 5215-VI** vid 06.09.2012 roku «Pro zminu i vstanovlennja mezh mista Kharkiv, Derhachivsk'oho i Kharkivsk'oho rayoniv Kharkivsk'oyi oblasti».
2. Chysel'nist' postynnoho naselennja: (ofitsynnyy sayt Holovnoho upravlinnja statystyky u Kharkivsk'iy oblasti) [Web] <http://kh.ukrstat.gov.ua>
3. **Postanova KМУ № 874** vid 27.11.2013 roku «Pro zatverdzhennja kryteriyiv utvorennja derzhavnykh

Відомості про авторів (About authors)

Ларін Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України, професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки, м. Харків, Україна, e-mail: O.M.Larin@gmail.com

Larin Aleksandr Nikolaevich - Doc. of Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Engineering and rescue equipment, National University of Civil Protection of Ukraine, city of Kharkov, Ukraine, e-mail: O.M.Larin@gmail.com

Калиновський Андрій Якович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, начальник кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки, м. Харків, Україна, e-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Kalynovsky Andriy Ya. - Cand. of Sc (Eng.), Docent, Head of Department of Engineering and rescue equipment, National University of Civil Protection of Ukraine, city of Kharkov, Ukraine, e-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Коваленко Роман Іванович - Національний університет цивільного захисту України, ад'юнкт, м. Харків, Україна, e-mail: pandora.kr@mail.ru

Kovalenko Roman Ivanovich – adjunct, University of Civil Protection of Ukraine, city of Kharkov, Ukraine, e-mail: pandora.kr@mail.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ларін, О. М. Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «прогноз НС» / **О. М. Ларін, А. Я. Калиновський, Р. І. Коваленко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 77-83. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Larin, O. M., Kalynovsky, A. Y., Kovalenko, R. I. Study parameters of fire and rescue units kharkiv city at the present stage to develop software block «forecast of emergencies». *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, 62 (1171), 77 - 83, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ларин, А. Н. Исследование параметров функционирования пожарно-спасательных подразделений города харькова на современном этапе для разработки программного блока «прогноз НС» / **А. Н. Ларин, А. Я. Калиновский, Р. И. Коваленко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 77 - 83. – ISSN 2079-5459

АННОТАЦИЯ Целью исследования было проведение анализа основных показателей функционирования пожарно-спасательных подразделений (ПСП). Исследование проводилось методами математической статистики и системного анализа. В ходе проведения исследования было выявлено, что: ПСП г. Харькова осуществляют в среднем 15 выездов на вызовы в течение суток; наиболее выездов зафиксировано в Дзержинском, Московском и Киевском районах города, которые имеют наибольшее количество населения среди административных районов Харькова, то есть наблюдается корреляционная зависимость между количеством населения в определенном районе города и количеством вызовов ПСП; среднее время прибытия ПСП на вызов составляет 9 минут, что не превышает нормативные показатели (<10 минут); наибольшее количество вызовов зафиксировано в августе, среди дней недели в субботу и пятницу; в течение суток наибольшее количество вызовов наблюдается во второй половине дня с 13:00 до 24:00, ночью и утром вызовов сравнительно меньше. Результаты полученные в работе в дальнейшем будут использованы для построения программного блока «ПРОГНОЗ ЧС» для автоматизированной системы управления ОДС ОКЦ ГУ ГСЧС Украины в Харьковской области.

Ключевые слова: показатели функционирования пожарно-спасательных подразделений, количество вызовов, время прибытия, пожарно-спасательные автомобили, автоматизированные системы управления, прогнозирование чрезвычайных ситуаций.

Поступила (received) 14.12.2015

УДК 658.012.32

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ В ПРОЕКТІ

М. І. РИЧ

Управління проектами, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, УКРАЇНА
e-mail: maryna.rych@gmail.com

АНОТАЦІЯ Для досягнення заданих короткострокових та довгострокових цілей проекту необхідно проведення моніторингу з метою контролю за ходом виконання проекту, періодична оцінка досягнень проекту та інформування відповідальних осіб щодо його результатів для того, щоб вони могли за допомогою різних засобів покращити результативність виконання проекту. З урахуванням того, що зацікавлені сторони можуть впливати на хід розвитку проекту та давати в результаті оцінку успішності проекту, то така складова як їх відношення до проекту є одним з важливих показників, значення якого не можна недооцінювати. Саме тому був запропонований метод формування показників в проекті на основі динамічних показників, який дозволяє зрозуміти важливість та доцільність проекту.

Ключові слова: динамічні показники, зацікавлені сторони, визначеність, відношення, оцінка проекту.

PARTICULARITIES OF METHOD OF FORMING INDICATORS IN PROJECT

MARYNA IVANIVNA RYCH¹

Project management, Kyiv National University of Construction and architecture, Kyiv, UKRAINE
e-mail: maryna.rych@gmail.com

ABSTRACT To achieve the set short-term and long-term goals of the project it is necessary to make monitoring with the purpose of controlling the progress of the project, periodic assessment of project achievements and informing those responsible for its results so that they can through various means to improve the effectiveness of the project performance in general. Given the fact that stakeholders can influence the course of the project fulfillment and give due assessment of the success of the project, therefore such component as their relationship to the project is one of the important parameters, whose value can not be underestimated and not taken into account. One of the main criteria for evaluating the project as successful is a high positive assessment of the project by various stakeholders, who are involved during project fulfillment. The ability to see the trend and determine the pattern of relation change to different project aspects or the entire project by stakeholder allows to develop flexible project management and change (speed up or slow down) certain project work depending on requirements and circumstances, make any necessary corrective actions in progress and short-term planning in regards to the project. Analysis of dynamic indicators series is the most effective means of assessing the trends and patterns of different events and that is why is actively used in different spheres of life. It therefore proposed a method of forming parameters of the project on the basis of dynamic performance that allows us to understand the importance and feasibility of the project and with little relation to the positive aspects of the project or the entire project on the part of the subjects choose the appropriate list of actions to ensure successful implementation of the projects elements as the result.

Keywords: dynamic indicators, stakeholders, determination, attitude, evaluation of the project.

Вступ

У нових умовах економічного розвитку активізація пошуку передумов і чинників забезпечення успіху проекту обумовлена необхідністю впровадження в бізнесову практику нових більше фективних управлінських інструментів та технологій. Серед актуальних теоретико-прикладних проблем, які очікують на своє вирішення, – виявлення принципів і механізмів управління процесом розвитку проекту.

Для досягнення заданих короткострокових та довгострокових цілей проекту необхідно проведення моніторингу з метою контролю за ходом виконання проекту, періодична оцінка досягнень проекту та інформування відповідальних осіб щодо його результатів для того, щоб вони могли за допомогою різних засобів покращити результативність виконання проекту.

Один із головних критеріїв оцінки проекту як

успішного – це висока позитивна оцінка результатів проекту різними зацікавленими сторонами. Саме тому, моніторинг та аналіз ставлення учасників проекту є важливим питанням дослідження, адже саме вони можуть впливати на хід розвитку проекту та давати в результаті оцінку ефективності проекту.

При аналізі ефективності проекту використовують наступні показники: сума інвестицій, грошовий потік, чиста теперішня вартість проекту, термін окупності проекту, внутрішня норма рентабельності, коефіцієнт вигід/витрат, індекс прибутковості. Проте з урахуванням того, що зацікавлені сторони можуть впливати на хід розвитку проекту та давати в результаті оцінку успішності проекту, то така складова як відношення зацікавлених сторін до проекту є одним з важливих показників, значення якого не можна недооцінювати.

Аналіз рядів динаміки є найефективнішим засобом оцінки тенденції і закономірностей розвитку явищ, саме тому активно використовується в різних

сферах життя. Питання розвитку систем управління проектами та забезпечення якості управління розглядають Тесля Ю. М., Коваленко Н. В., Лівинський О. М. [1 - 4].

Одним із перших ідей врахування інтересів зацікавлених сторін в управлінні компаніями сформулював відомий економіст Р. Фрімен у 1984 р., який доводив, що стратегічне управління фірмами приватного сектору може бути набагато ефективнішим і результативнішим, якщо менеджери почнуть ураховувати інтереси різних зацікавлених сторін [5-6]. Ролі зацікавлених сторін як творчого потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності територій присвячені праці А. Ткачука, В. Толкованова, С. Марковського [3-4]. Також заслуговують уваги наукові дослідження цінностей в соціальних проектах Герашенко Н.О. та Медведєвої О.М.

Питанням зацікавлених сторін в проектах займалися такі науковці як В. А. Рач, О. В. Россошанська, Л. П. Батенко намагався виявити тенденцій та узагальнити сучасні підходи до трактування цінності проекту в контексті інтересів різних його стейкхолдерів. Питання розвитку систем управління проектами та забезпечення якості управління розглядають Тесля Ю. М., Коваленко Н. В., Лівинський О. М.

Питання взаємодії суб'єктів та можливість їхнього впливу один на одного розглядає теорія несилової взаємодії, основні положення якої розроблені професором Теслею Ю. М. та викладені в роботах [1, 2].

Ціль роботи

Можливість побачити тенденцію та визначити закономірність розвитку відношення зацікавлених сторін до аспектів певного проекту чи проекту в цілому дозволяє робити управління проектами гнучким та змінити (прискорити або уповільнити) певні проектні роботи залежно від вимог та обставин, внести необхідні коригувальні дії по прогресу і короткостроковому плануванні.

Викладення основного матеріалу

Характеристики проекту, або його показники впливають з його цілей і вперше визначаються на стадії розробки концепції проекту. Показники необхідні для обґрунтування потрібності здійсненості проекту, аналізу основних аспектів, оцінки ступеня досягнення цілей та порівняння фактичних результатів здійснення проекту з запланованими.

Показники, що засновані на логічній структурі цілей проекту та причинно-наслідкових взаємовідношеннях, допомагають розробити більш продуману та логічно виважену структуру проекту. І оскільки вони

слугують вірцевими орієнтирами, відносно яких оцінюється досягнення цілей розвитку проекту, то вони забезпечують проведення більш змістовного моніторингу та оцінювання проекту [7 - 11].

Кожен керівник проекту постійно прагне покращити якість та значення своєї роботи, щоб зацікавлені сторони проекту в кінцевому результаті були задоволені, саме тому важливо більш детально розглянути показники, які мають суб'єктивну складову, які визначаються суб'єктивною катюго-рією [12 - 13].

Нижче представлений опис методу формування системи показників в проекті. В основі якого лежать динамічні показники.

1) *Визначення списку всіх зацікавлених сторін проекту та їх основних цілей.*

Розуміння хто є зацікавленими сторонами проекту дозволить урахувати думки всіх учасників, хто може вплинути на хід проекту та відчує результати впровадження проекту. Описати очікувані результати проекту та критерії вимірювання даних показників.

2) *Визначити відношення зацікавлених сторін до початку проекту.*

Одним із показників вимірювання результатів проекту є відношення до проекту його учасників. Виміряти його можливо такою величиною, як визначеність (d).

Це можливо здійснити за допомогою:

- Проведення зустрічі із кожною з зацікавлених сторін та визначення інформаційних потреб зацікавлених сторін, їх відношення до основних положень та цілей проекту
- Онлайн опитування
- Опитування по телефону

Під час збору інформації, провести ранжування відношення до аспектів проекту від 100 до -100, при позитивному відношенні 100, при абсолютно негативному -100 і 0 - при невизначеності.

Занести дані показники в таблицю 1.

Таблиця 1- Динамічний ряд визначеності під впливом різних дій

Період	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	m _k
Субект z ₁	d ₁₁	d ₁₂	d ₁₃	d ₁₄	d ₁₅	d _{1k}
Субект z ₂	d ₂₁	d ₂₂	d ₂₃	d ₂₄	d ₂₅	d _{2k}
Субект z ₃	d ₃₁	d ₃₂	d ₃₃	d ₃₄	d ₃₅	d _{3k}
Субект z _n	d _{n1}	d _{n2}	d _{n3}	d _{n4}	d _{n5}	d _{nk}
Оцінка проекту	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₉

3) *Визначення відношення зацікавлених сторін до проекту на протязі його виконання*

Під впливом певних дій та плином часу, визначеність суб'єктів може змінюватись. Аналіз закономірностей такої діяльності дозволяє охарактеризувати напрямок та інтенсивність зміни визначеності в часі.

Збір інформації важливо проводити з однаковою періодичністю, наприклад один раз в місяць. Занести дані в таблицю 1.

4) *Розрахунок оцінки проекту*

Для розрахунку оцінки проекту скористаємося формулами описаними нижче. Оцінка проекту буде виражатись як сума всіх визначеностей за певний період.

Наприклад, оцінка проекту за перший період (D1) матиме вигляд:

$$D_i = d_{11} + d_{21} + d_{31} + \dots + d_{n1} \quad (1)$$

В загальному вигляді це можливо зобразити таким чином:

$$D = \sum_{i=1}^n d_i \quad (2)$$

де D – оцінка проекту

де d_i – визначеність суб'єктів за проміжок часу

5) *Визначення абсолютної зміни відношення до проекту*

На основі формул ланцюгового та базисного абсолютних приростів можливо розрахувати зміну визначеності різних зацікавлених сторін.

При розрахунку базисної зміни визначеності за базу приймемо початкову визначеність суб'єктів, тобто d1.

Отже, абсолютні зміни визначеності для суб'єкту z1 зображено в Таблиці 2.

Таблиця 2 - Абсолютні зміни визначеності

Період	Ланцюгові зміни	Базисні зміни
m ₂	$\Delta l = d_{12} - d_{11}$	$\Delta b = d_{12} - d_{11}$
m ₃	$\Delta l = d_{13} - d_{12}$	$\Delta b = d_{13} - d_{11}$
m ₄	$\Delta l = d_{14} - d_{13}$	$\Delta b = d_{14} - d_{11}$
m _k	$\Delta l = d_{1k} - d_{1(k-1)}$	$\Delta b = d_{1k} - d_{11}$

В загальному вигляді для суб'єкту $Z_i, i = 1, n$ це можливо зобразити в наступному вигляді:

Ланцюгові зміни

$$\Delta l = d_t - d_{t-1},$$

де t – момент часу.

Даний показник характеризує зміну визначеності за одиницю часу в абсолютному виразі.

Базисні зміни

$$\Delta b = d_t - d_{t-1}$$

Базисна абсолютна зміна відповідно показує зростання або зменшення визначеності в абсолютному виразі порівняно з рівнем, прийнятим за базу.

6) *Визначення середньої абсолютної зміни відношення*

Середня абсолютна зміна визначеності відображає середній розмір зміни визначеності за одиницю часу:

$$\Delta = \frac{\sum \Delta l}{t-1} = \frac{d_t - d_1}{t-1} \quad (3)$$

7) *Розрахунок зміни оцінки проекту*

На прикладі розрахунку зміни визначеності окремих суб'єктів можливо розрахувати зміну оцінки проекту загалом.

Ланцюгові зміни

$$\Delta l = D_t - D_{t-1},$$

де t - період часу.

Базисні зміни

$$\Delta b = D_t - D_1$$

8) *Розрахунок середньої абсолютної зміни оцінки проекту*

$$\Delta D = \frac{\sum \Delta l}{t-1} = \frac{D_t - D_1}{t-1} \quad (4)$$

Обговорення результатів

Розглянемо використання даного методу на прикладі впровадження системи лояльності в магазині роздрібною торгівлі.

Серед основних зацікавлених сторін проекту були визначені директор компанії, впроваджувач від компанії, розробник системи від виконавця проекту, спеціаліст по роботі з клієнтами від виконавця проекту. Тривалість проекту згідно плану виконавця складає 4 місяці. У кожного із зазначених учасників проекту склалось своє певне відношення до даного проекту, яке вони за допомогою онлайн опитування вказали по шкалі від 100 до -100. На протязі виконання проекту, думка та ставлення до самого проекту змінювалось у учасників проекту, що

знаходило своє відображення в місячному опитуванні. Дані буди внесені в таблицю 3.

На основі формули 2 визначимо загальну оцінку проекту для кожного місяця:

$$D_1 = 60 - 20 - 40 + 80 = 80$$

$$D_2 = 45 - 5 - 50 + 85 = 75$$

$$D_3 = 30 + 30 + 0 + 60 = 150$$

$$D_4 = 50 + 35 + 10 + 40 = 135$$

Знайдемо абсолютну зміну визначеності зацікавлених сторін і зобразимо це в таблиці 4. Дані зміни є важливими для аналізу ефективності виконання проекту та зміни ставлення зацікавлених сторін на протязі проекту. Адже саме відношення учасників проекту впливає на хід проекту і в результаті на його успішність.

Таблиця 4 - Абсолютні зміни відношення до проекту

Період	Директор компанії		Впроваджувач		Розробник системи		Спеціаліст	
	Ланцюго ві зміни	Базисні зміни	Ланцюго ві зміни	Базисні зміни	Ланцюго ві зміни	Базисні зміни	Ланцюго ві зміни	Базисні зміни
m ₂	-15	-15	15	15	-10	-10	5	5
m ₃	-15	-30	35	50	50	40	-20	-20
m ₄	20	-10	5	55	10	50	-40	-40

Використовуючи формули 2 та 3 визначимо середній розмір зміни відношення за один місяць та відповідно середню зміну оцінки проекту загалом (табл. 5).

Таблиця 5 - Приклад середнього розміру зміни відношення та оцінки проекту

Зацікавлена сторона	Середній розмір зміни відношення зацікавленої сторони за один місяць
Директор компанії	-3.3
Впроваджувач від компанії	18.3
Розробник системи від виконавця проекту	16.6
Спеціаліст по роботі з клієнтами від виконавця проекту	-18.3
Середню зміну оцінки проекту	18.3

Як видно із табл. 5 проект впровадження системи лояльності в магазині роздрібної торгівлі є успішним, оскільки середня зміна оцінки проекту була позитивною та по мірі виконання проекту

Таблиця 3 - Динамічний ряд визначеності для проекту впровадження системи лояльності

Період	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄
Директор компанії	60	45	30	50
Впроваджувач від компанії	-20	-5	30	35
Розробник системи від виконавця проекту	-40	-50	0	10
Спеціаліст по роботі з клієнтами від виконавця проекту	80	85	60	40
Оцінка проекту	80	75	150	135

впевненість учасників в ефективному та успішному його впровадженні зростала.

Висновки

На основі системи показників, які характеризують напрямок та інтенсивність зміни у часі досліджуваної ознаки був описаний метод формування системи показників в проекті, який дозволяє зрозуміти важливість та доцільність проекту і при недостатньому позитивному відношенню до аспектів проекту чи проекту в цілому зі сторони суб'єктів підібрати належний перелік дій, щоб забезпечити в результаті успішність виконання.

Список літератури

1. **Тесля, Ю. Н.** Введение в информатику Природы / Ю. Н. Тесля // Монография, Киев: Кондор. – 2010. – 256 с.
2. **Тесля, Ю. Н.** Несиловое взаимодействие: монография / Ю. Н. Тесля – К: Кондор. – 2005 – 196 с.
3. **Ливинский, А. М.** Многовариантные модели систем управления качеством в проектно-ориентированных компаниях / А. М. Ливинский, Н. В. Коваленко // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2008. – № 47, – С. 358 - 363.
4. **Коваленко, Н. В.** Процесний підхід до забезпечення якості управління проектами проектно-орієнтованих

- компаній / **Н. В. Коваленко** // *Техніка будівництва: Науково-технічний журнал* – Київ: Вид-во КНУБА. – 2008. – № 21. – С. 161 - 166.
5. **Donaldson T.** The stakeholder theory of the corporation: Concepts, evidence, and implications / **T. Donaldson, L. E. Preston** // *Academy of Management Review*. – 2005. – № 20. – P. 65-91.
 6. **Freeman, R. E.** Strategic Management: A stakeholder approach / R. E. Freeman. – Boston: Pitman. – 2001.
 7. **Hofstede, G.** Cultures and organizations: software of the mind / **Geert Hofstede**. – McGraw-Hill. – 2001.
 8. **Hofstede, G.** Cultural Dimensions [Web], available at: <http://www.geert-hofstede.com>. Title from the screen.
 9. **Pells, D.** Seven good reasons for the rapid growth of PM in the IT. – 2010 [Web]. http://www.maxwideman.com/guests/7_reasons/intro.htm. - Title from the screen.
 10. **Highsmith J.** Agile Project Management: Creating Innovative Products / **Jim Highsmith**. 2nd Edition. - Addison-Wesley Professional. – 2009. – 432 p.
 11. **Michael D. Baer** Uneasy Lies the Head that Bears the Trust: The Effects of Feeling Trusted on Emotional Exhaustion / **Michael D. Baer, Rashpal K. Dhensa-Kahlon, Jason A. Colquitt, Jessica B. Rodell, Ryan Outlaw, David M. Long** // ACAD MANAGE J. – December 2015.
 12. **Monique Aubry** Project Management Office Transformations: Direct and Moderating Effects That Enhance Performance and Maturity / **Monique Aubry** // *Project Management Journal*. – 2015. – №46/5.
 13. **Julija N. Mell** The Catalyst Effect: The Impact of Transactive Memory System Structure on Team Performance / **Julija N. Mell, Daan van Knippenberg, Wendy P. van Ginkel** // ACAD MANAGE J. – 2014.
 3. **Lyvynskyu, A. M., Kovalenko, N. V.** Multivariate model of quality management in the project-oriented company. *Construction, material science, mashine science. Sb. scientific. labor*, Dnepropetrovsk: PHASA, 2008, **47**, 358 - 363.
 4. **Kovalenko, N. V.** Process approach to quality project management of design-oriented companies. *Construction Equipment: Scientific and technical journal*, Kyiv: KNUCA, 2008, **21**, 161 - 166.
 5. **Donaldson T., Preston, L. E.** The stakeholder theory of the corporation: Concepts, evidence, and implications. *Academy of Management Review*, 2005, **20**, 65 - 91.
 6. **Freeman, R. E.** Strategic Management: A stakeholder approach. Boston: Pitman, 2001.
 7. **Hofstede Geert** Cultures and organizations: software of the mind, McGraw-Hill, 2001.
 8. **Hofstede Geert** Cultural Dimensions [Web], <http://www.geert-hofstede.com>.
 9. **Pells, D.** Seven good reasons for the rapid growth of PM in the IT. [Web], 2008, published december 2010: http://www.maxwideman.com/guests/7_reasons/intro.htm. - Title from the screen.
 10. **Highsmith J.** Agile Project Management: Creating Innovative Products. 2nd Edition. - Addison-Wesley Professional, 2009, 432 p.
 11. **Michael D. Baer, Rashpal K. Dhensa-Kahlon, Jason A. Colquitt, Jessica B. Rodell, Ryan Outlaw, David M. Long** Uneasy Lies the Head that Bears the Trust: The Effects of Feeling Trusted on Emotional Exhaustion. ACAD MANAGE J, December 2015.
 12. **Monique Aubry** Project Management Office Transformations: Direct and Moderating Effects That Enhance Performance and Maturity. *Project Management Journal*, 2015, **46/5**.
 13. **Julija N. Mell, Daan van Knippenberg, Wendy P. van Ginkel** The Catalyst Effect: The Impact of Transactive Memory System Structure on Team Performance ACAD MANAGE J, August 2014.

Bibliography (transliterated)

1. **Teslya, Y. N.** Introduction to Informatics nature. Monograph, Kiev: Condor, 2010, 256 p.
2. **Teslya, Y. N.** Non force Interaction: monograph Kiev: Condor, 2005, 196 p.

Відомості про авторів (About authors)

Рич Марина Іванівна, Управління проектами, аспірант, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна, e-mail: maryna.rych@gmail.com

Rych Marina Ivanivna, Postgraduate student of project management department, Kyiv National University of Construction and architecture, Kyiv, e-mail: maryna.rych@gmail.com

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Рич, М. І. Особливості методу формування показників в проєкті / **М. І. Рич** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 84 - 88. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Rych, M. I. Particularities of Method of forming indicators in project. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 84 - 88, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Рыч, М. И. Особенности метода формирования показателей в проекте / **М. И. Рыч** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 84 - 88. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ Для досягнення заданих краткосрочних и долгосрочных целей проекта необходимо проведение мониторинга с целью контроля за ходом выполнения проекта, периодическая оценка достижений проекта и информирования ответственных лиц по его результатов для того, чтобы они могли с помощью различных средств улучшить результативность выполнения проекта. С учетом того, что заинтересованные стороны могут влиять на ход развития проекта и давать в результате оценку успешности проекта, то такая составляющая как их отношение к проекту является одним из важных показателей, значение которого нельзя недооценивать. Именно поэтому был предложен метод формирования показателей в проекте на основе динамических показателей, который позволяет понять важность и целесообразность проекта.

Ключевые слова: динамические показатели, заинтересованные стороны, определенность, отношение, оценка проекта.

Надійшла (received) 15.12.2015

УДК 65.012.3: 316.422

РОЗРОБКА ТЕРМОДИНАМІЧНИХ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

О. С. САВЕЛЬЄВА^{1*}, І. І СТАНОВСЬКА², А. В. ТОРОПЕНКО¹, К. І. БЕРЕЗОВСЬКА¹,
И. ХЕБЛОВ¹

¹ Кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

² Кафедра вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: okssave@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуто застосування термодинамічних залежностей для підтримки прийняття рішень в проектній діяльності. Для цього проаналізовано множину елементів проектної діяльності, виділено термодинамічні аналоги перенесення та їхні параметри і критерії, здійснено адаптування множини потенціалів та потоків до моделювання за типом термодинамічних функцій та критеріїв, запропоновано термодинамічні когнітивні моделі перенесення матеріально-фінансових ресурсів між елементами проектної діяльності на основі аналітичних критеріальних рівнянь теплофізичних процесів.

Ключові слова: управління проектами, термодинамічні когнітивні моделі, проектна діяльність

DEVELOPMENT OF THERMODYNAMICS COGNITIVE MODEL OF PROJECT ACTIVITIES

O. S. SAVELEVA^{1*}, I. I. STANOVSKA², A. TOROPENKO¹, K. BERESOVSKA¹, I. HEBLOV¹

¹ Department of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

² Department of Mathematics and Modeling Systems, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Application of thermodynamic relations for decision support project activities. For this analysis of multiple elements of project activity, highlighted thermodynamic analogues transfer and their parameters and criteria made to adapt the set potentials and flows to modeling the type of thermodynamic functions and criteria proposed thermodynamic cognitive models transfer material and financial resources among elements of project activity based on analytical criterion equations thermal processes.

It was the assertion that if the project management process is organized so that during its life cycle followed by criteria similarity between changes its settings and changes of parameters of a thermodynamic processes, the result is extreme project management feasibility. By the appropriateness of such parameters can be assigned, such as financial, material and time costs, the characteristics of the human factor, and more. For thermodynamic cognitive models project an analysis of analytic functions of physical processes in the form of relationships between the dimensionless complexes - similarity criteria. A conventional analogy between the thermodynamic potentials and flows and available means and financial flows in project management. Similarly obtained depending criterion for project activities, assets criterion that characterizes intensity fondoobminu on border project environment - dynamic environment; fondoobminu unregulated criterion that characterizes the attitude and spontaneous managed resource flows; criterion that characterizes the ratio of circumstances that prevent fondoobminu a resource stream. An expression characteristics of the financial capacity of the project environment. Posed and solved in the task proposed as the basis for further research and practical implementation with a view promoted by project activities at various stages.

Keywords: project management, cognitive thermodynamic model, the project activity

Вступ

Управління навіть простим проектом є задачею складною і багатовимірною. Ризики, які є непередбачуваними і незапланованими подіями, здійснюють свій негативний вплив на процеси управління проектами і спонукають до проведення перерозподілу наявних ресурсів або залучення нових, що, в результаті, може зробити неможливим виконання управлінських зобов'язань, призвести до зриву проекту або втрати його конкурентоспроможності [1]. Команді проекту

необхідно мати на увазі, що пропозицій по проектах завжди більше, ніж можливості наявних ресурсів, а для прийняття швидких та ефективних управлінських рішень при змінах в динамічному оточенні проекту, виборі проектних дій, які найкраще відповідають меті організації в рамках наявних ресурсів, необхідна відповідна система підтримки прийняття рішень [2].

Завдання «на поширення» внутрішніх і зовнішніх збурень, що виникають в об'єктах, вирішуються, наприклад, в термодинаміці, електротехніці, гідравліці, де цьому сприяє наявність відповідних законів природи. Більш того, між

описами перерахованих завдань існують аналогії, які дозволяють, наприклад, моделювати теплові процеси за допомогою електричних або гідравлічних і навпаки [3, 4]. На жаль, поширення ресурсних потоків в управлінні проектами підпорядковується зовсім іншим, нефізичним законам і, тому, побудова подібних аналогій в рамках розв'язання управлінських задач неможлива без розроблення відповідних правил та прийняття нагальних припущень і обмежень [5, 6].

Мета роботи

Метою роботи є розробка термодинамічних когнітивних моделей перенесення матеріально-фінансових ресурсів між елементами проектною діяльності на основі аналітичних критеріальних рівнянь теплофізичних процесів.

Для досягнення цієї мети в роботі були поставлені та вирішені наступні завдання: виділити термодинамічні аналоги перенесення та їхні параметри і критерії; розробити когнітивні моделі для інформаційної підтримки процесів управління проектами і програмами, які засновані на аналогах теплофізичних процесів перенесення.

Викладення основного матеріалу

Терміни теплофізичних процесів, які описують критеріальні рівняння, наразі все ширше проникають в моделі процесів управління проектами. В роботах, які стосуються питань методології процесу управління, зустрічаються, наприклад, такі терміни, як турбулентне зовнішнє оточення, дифузія операційної діяльності в проектну, принципи взаємності, еквівалентності, симетрії, суперпозиції в ресурсообміні при компенсації ризикових подій тощо [7 - 9].

Для процесів, які можуть бути описані законами термодинаміки властива відсутність поняття мети і доцільності, оскільки вони завжди самовільні і однозначні з точки зору інтенсивності і напрямку протікання, незмінні при сталих термодинамічних умовах. Процеси в управлінні проектами такими якостями не володіють. Сама інтенсивність протікання та напрям розподілу ресурсів при зміні обставин, перенесенні граничних термінів виконання робіт повністю визначаються менеджером проекту, який на власний розсуд вирішує ці питання в рамках свого розуміння і оцінювання поточної ситуації проекту та можливостей.

Оскільки процеси перенесення описуються в термодинаміці аналітичними рівняннями, проведення аналогій між останніми та процесами в управлінні проектами потребує побудови подібних рівнянь. Очевидно, що в проектній діяльності такі моделі можуть бути тільки когнітивними [10]. Тому їх побудова починається з визначення елементів досліджуваної системи і встановлення зв'язків між

ними. На рівні когнітивної моделі кожен зв'язок між елементами описується відповідним рівнянням, яке може містити як кількісні (вимірювані) змінні, так і якісні (невимірювані). Кількісні змінні входять в модель у вигляді їх чисельних значень. Кожній якій змінній може бути поставлена у відповідність сукупність лінгвістичних змінних, які відображають різні підсистеми цієї якісної змінної [10].

Описання процесів управління проектами за допомогою термодинамічних аналогій дозволяє скористатися відомою спільністю між гідравлічними, тепловими і електричними процесами та вибрати зручну форму представлення моделі, в залежності від області її застосування в проектній діяльності: планування, власне управління, реагування на зовнішні виклики, тощо.

В якості прикладу розглянемо структуру наступних схем (рис. 1).

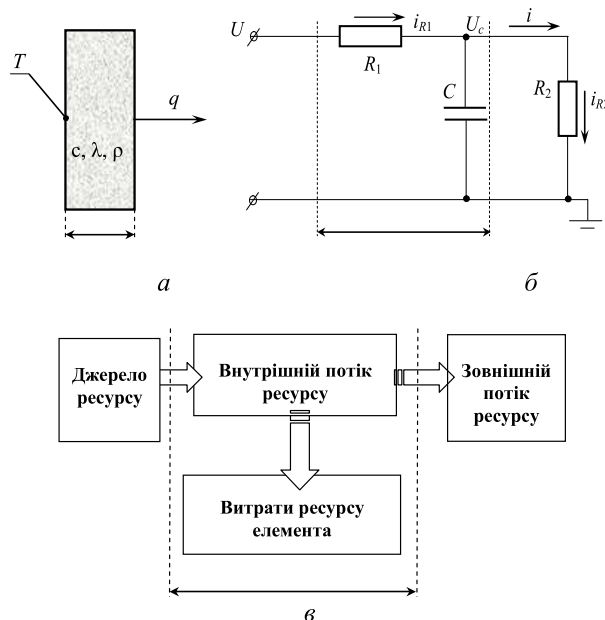


Рис. 1 – Схеми процесів: а – теплообміну, б – електрообміну, в – перерозподілу фінансового забезпечення між елементами управління проектом

З рисунку видно, що схеми мають певну структурну аналогію: елементи передачі/поглинання та елементи зв'язку з оточуючим середовищем.

В підсумку, можна стверджувати, що коли процес управління проектом організовано так, щоб під час його життєвого циклу дотримувалася критеріальна подібність між змінами його параметрів і змінами параметрів одного з термодинамічних процесів, то результат управління проектом досягає екстремальної доцільності.

Покращення цих параметрів тільки за рахунок застосування подібності в інформаційній системі підтримки проектною діяльності може свідчити про вірність висунутого твердження.

Введемо наступну умовну аналогію між термодинамічними (електро-, тепло- і гідравлічними) потенціалами і потоками, а також доступними засобами і фінансовими потоками в управлінні проектом (табл. 1).

Таблиця 1 – Аналогія між потенціалами і потоками

Вид	Електро-техніка	Тепло-техніка	Гідравліка	Проект
Потенціал	$U, В,$ напруга	$T, К,$ температура	$P, Па,$ тиск	ДЗ, грн, доступні засоби
Потоки	$I, А,$ струм	$q, Дж/с$ тепловий потік	$Q, м^3/с$ витрати	ФП, грн/доб, фінансові потоки

Теплові, електричні і гідравлічні потоки в табл. 1 пов'язані з причинами, які їх викликають, відомими співвідношеннями:

$$U = U(\Gamma, \Lambda, E); \quad I = I(\Gamma, \Lambda, E); \quad (1)$$

$$T = T(\Gamma, \Lambda, E); \quad q = q(\Gamma, \Lambda, E); \quad (2)$$

$$P = P(\Gamma, \Lambda, E); \quad Q = Q(\Gamma, \Lambda, E); \quad (3)$$

де Γ – геометричні характеристики; Λ – властивості середовища розповсюдження; E – потужність зовнішнього або внутрішнього джерела відповідного потенціалу.

Переходячи до когнітивної моделі фінансових потоків, по аналогії з (1) – (3) та у відповідності до позначень в табл. 1 маємо:

$$ДЗ = ДЗ(\Phi, \Pi, O); \quad \Phi\Pi = \Phi\Pi(\Phi, \Pi, O), \quad (4)$$

де Φ – фаза життєвого циклу проекту (початкова, розробка, реалізація, завершення, тощо); Π – складові проекту (підпроект, що входить в проект); O – область проекту (зміст, терміни, витрати, ризики, персонал, сторони, поставки, якість, інформація та ін.) [12].

Для отримання аналітичних функцій при експериментальному вивченні фізичних процесів дослідні дані представляють у вигляді залежностей між безрозмірними комплексами – критеріями подібності. Зокрема, для процесів передачі тепла використовують наступні критерії:

– тепловіддачі Нуссельта (характеризує інтенсивність теплообміну на границя потік – стінка)

$$Nu = \frac{\alpha l_0}{\lambda}, \quad (5)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, $Дж/м^2 \cdot с \cdot К$; l_0 – характерний лінійний розмір поверхні теплообміну, м; λ – коефіцієнт теплопровідності, $Дж/м \cdot с \cdot К$;

– конвективного теплообміну Пекле (є мірою відношення теплоємності і теплопровідності системи):

$$Pe = \frac{wl_0}{\alpha}, \quad (6)$$

де w – швидкість рідини або газу, м/сек;

– Рейнольдса (характеризує відношення сил інерції та в'язкості в потоці)

$$Re = \frac{wl_0}{\nu}, \quad (7)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, коефіцієнт в'язкості, $м^2/с$;

– Прандтля (характеризує теплофізичні властивості середовища)

$$Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{\alpha}. \quad (8)$$

Враховуючи (4) отримуємо по аналогії з (5 – 8) нові термодинамічні критеріальні залежності для проектної діяльності:

– критерій фондovіддачі

$$\Phi O = \frac{\alpha_{np} l_0}{\lambda_{np}}, \quad (9)$$

який характеризує інтенсивність фондообміну на границі проектне середовище – динамічне оточення; тут α_{np} – середній коефіцієнт фондovіддачі, l_0 – характерний розмір ділянки фондообміну; λ_{np} – коефіцієнт передачі;

– критерій нерегульованого фондообміну

$$HE = \frac{w_{np} l_0}{\alpha_{np}}, \quad (10)$$

який характеризує відношення керованих і спонтанних ресурсних потоків; тут w_{np} – швидкість передачі ресурсів;

– гальмівний критерій

$$TK = \frac{w_{kp} l_0}{\nu_{kp}}, \quad (11)$$

що характеризує відношення обставин, які перешкоджають фондообміну в ресурсному потоці; тут ν_{kp} – кінематичний коефіцієнт гальмування; μ_{np} – динамічний коефіцієнт гальмування.

Відношення

$$PP = \frac{HE}{TK} = \frac{\nu_{np}}{\alpha_{np}} \quad (12)$$

характеризує фінансові можливості проектного середовища.

На відміну від прямих задач термодинаміки, когнітивні моделі проектної діяльності дозволяють розв'язувати обернені задачі проектного менеджменту. Їх суть така: відомі – закони менеджменту, граничні умови, властивості навколишнього середовища, конфігурація об'єктів і доступні фінанси, знайти – оптимальні рекомендації з розподілу фінансових потоків.

Зворотні задачі по суті своїй некоректні: вони можуть не мати рішення взагалі або мати декілька рішень. У цьому випадку термодинамічна критеріальна підтримка когнітивних моделей перенесення ресурсних потоків в управлінні проектами та програмами може виявитися єдиною основою для прийняття рішень менеджером проекту.

Обговорення результатів

Дослідження, представлені в роботі, дозволили запропонувати новий ефективний і нетрадиційний метод термодинамічної критеріальної підтримки когнітивних моделей перенесення ресурсних потоків в управлінні проектами та програмами. Він дозволяє в складних малопередбачуваних і стохастичних умовах проектної діяльності знаходити ефективні рішення з оптимізації матеріальних і фінансових потоків.

Отримані результати означають, що проектний менеджмент отримує в своє розпорядження новий інструмент інформаційної підтримки пошуку проектних рішень перерозподілу ресурсних потоків, які опираються на аналітичні залежності в моделях термодинамічних процесів.

Завдяки такому підходу, коли змістом проектної діяльності є, наприклад, організація обміну різними матеріальними ресурсами між окремими підсистемами, які входять до проекту, може бути досягнуто найбільшої ефективності управління.

Висновки

Розглянуто застосування термодинамічних залежностей для підтримки прийняття рішень в проектній діяльності. Для цього проаналізовано множини елементів проектної діяльності, а також видів і субстанцій переносу (потенціалів та потоків), здійснено адаптування цієї множини до моделювання за типом термодинамічних функцій та критеріїв.

Було висловлено твердження про те, що коли процес управління проектом організовано так, щоб під час його життєвого циклу дотримувалася критеріальна подібність між змінами його параметрів і змінами параметрів одного з термодинамічних процесів, то результат управління проектом досягає екстремальної доцільності.

Поставлені і вирішені в роботі завдання є основою для подальшого продовження наукових досліджень та практичного впровадження термодинамічних когнітивних моделей з метою інформаційної підтримки проектної діяльності на різних її етапах.

Список літератури

- 1 **Aubert, B. A.** A framework for information technology outsourcing risk management / **B. A. Aubert** // *The Data Base for Advances in Information Systems*. – 2006. – V. 13(2). – p. 122 – 127.

- 2 EIA-649-B. Configuration Management Standard. *TechAmerica*. – 2011.
- 3 **Akhlagh, E.** A rough-set based approach to design an expert system for personnel selection / **E. Akhlagh** // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. – 2011. – Vol. 54. – P. 202 – 205.
- 4 **Sadiq, R.** Fuzzy cognitive maps for decision support to maintain water quality in ageing water mains / **R. Sadiq, Y. Kleiner, B. B. Rajani** / *4th International Conference on Decision-Making in Urban and Civil Engineering*, Porto. – 2004. –P. 1 – 10.
- 5 **Atkinson, R.** Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria / **R. Atkinson** // *International journal of project management*. – 2000. – V.17, Issue 6. – P. 337 – 342.
- 6 **Nasir, R.** Offshore country selection risk management model: Systematic literature Review Protocol / **Nasir Rashid, Siffat Ullah Khan** // *Journal of Computer Engineering*. – 2012. – Vol. 3, Issue 4. – P. 46 – 55.
- 7 **Квашук, В. П.** Механізми управління розподілом ресурсів у проектах розвитку складних соціально-економічних систем / **В. П. Квашук, Ю. П. Рак, В. В. Бондаренко** // *Управління розвитком складних систем*. – 2013. – № 15. – С. 25 – 29
- 8 **Колесникова, Е. В.** Фрактальная размерность как мера трансформации серийной проектной деятельности в операционную / **Е. В. Колесникова, И. И. Становская** // *Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб.* – 2013. – Вип. 2(41). – С. 282 – 288
- 9 **Савельева, О. С.** Управление рисками трансформации серийных проектов в операционную деятельность / **О. С. Савельева, И. И. Становская, И. Н. Щедров** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – № 2/3(22). – С. 12 – 17
- 10 Основные задачи, модели и методы технологии когнитивного моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://studme.org/1186112625057/menedzhment/osnovnye_zadachi_modeli_metody_tehnologii_kognitivnogo_modelirovaniya. – 3.06.2015.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Aubert, B. A.** A framework for information technology outsourcing risk management. *The Data Base for Advances in Information Systems*, 2006, **13**(2), 122 – 127.
- 2 EIA-649-B. Configuration Management Standard. *TechAmerica*, 2011.
- 3 **Akhlagh, E.** A rough-set based approach to design an expert system for personnel selection. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011, **54**, 202 – 205.
- 4 **Sadiq, R., Kleiner, Y., Rajani, B. B.** Fuzzy cognitive maps for decision support to maintain water quality in ageing water mains. *4th International Conference on Decision-Making in Urban and Civil Engineering*, Porto, 2004, 1 – 10.
- 5 **Atkinson, R.** Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International journal of project management*, 2000, **17**(6), 337 – 342.
- 6 **Nasir, R., Siffat U. K.** Offshore country selection risk management model: Systematic literature Review Protocol. *Journal of Computer Engineering*, 2012, **3**(4), 46 – 55.
- 7 **Kvashuk, V. P., Rak, Yu. P., Bondarenko, V. V.** Mehanizmy upravlinnya rozpodilom resursiv u proektah

- rozvitku skladnih sotsialno-ekonomichnyh system. *Upravlinnya rozvitkom skladnih system*, 2013, **15**, 25 – 29
- 8 **Kolesnikova, E. V., Stanovskaya, I. I.** Fraktalnaya razmernost kak mera transformatsii seriyonoy proektnoy deyatel'nosti v operatsionnuyu. *Pratsi Odesk. politehn. un-tu: nauk. ta nauk.-virobn. zb.*, 2013, **2(41)**, 282 – 288
- 9 **Saveleva, O. S., Stanovskaya, I. I., Schedrov, I. N.** Upravlenie riskami transformatsii seriyoniyh proektov v operatsionnuyu deyatel'nost. *Tehnologicheskii audit i rezervyi proizvodstva*, 2015, **2/3(22)**, 12 – 17
- 10 **Osnovnyie zadachi, modeli i metodyi tehnologii kognitivnogo modelirovaniya** – Available: http://studme.org/1186112625057/menedzhment/osnovnyie_zadachi_modeli_metody_tehnologii_kognitivnogo_modelirovaniya, 2015.

Відомості про авторів (About authors)

Савельєва Оксана Стенанівна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: okssave@gmail.com.

Saveleva Oksana – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; okssave@gmail.com.

Становська Іраїда Іванівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем; м. Одеса, Україна; e-mail: dashasweet2007@gmail.com.

Stanovska Iraida – Candidate of Technical Sciences, Docent of Mathematics and Modeling Systems Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; dashasweet2007@gmail.com.

Торопенко Алла Володимирівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Toropenko Alla – Candidate of Technical Sciences, Docent of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; alla.androsyk@gmail.com.

Березовська Катерина Ігорівна – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: beresovska@gmail.com.

Beresovska Kateryna – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; beresovska@gmail.com.

Хеблов Ісмаїл – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: heblov@gmail.com.

Heblov Ismail – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; heblov@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Савельєва, О. С. Разработка термодинамических когнитивных моделей проектной деятельности / **О. С. Савельєва, И. И. Становская, А. В. Торопенко, Е. И. Березовская, И. Хеблов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 89-93. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Saveleva, O., Stanovska, I., Toropenko, A., Beresovska, K., Heblov, I. Development of thermodynamics cognitive model of project activities. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 89 - 93, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Савельєва, О. С. Розробка термодинамічних когнітивних моделей проектної діяльності / **О. С. Савельєва, І. І. Становська, А. В. Торопенко, К. І. Березовська, І. Хеблов** // *Вестник НТУ «ХПІ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 89 - 93. – ISSN 2079-5459

АННОТАЦИЯ Рассмотрено применение термодинамических зависимостей для поддержки принятия решений в проектной деятельности. Для этого проанализированы множество элементов проектной деятельности, выделено термодинамические аналоги переноса и их параметры и критерии, осуществлено адаптации множества потенциалов и потоков к моделированию по типу термодинамических функций и критериев, предложено термодинамические когнитивные модели переноса материально-финансовых ресурсов между элементами проектной деятельности на основе аналитических критериальных уравнений теплофизических процессов.

Ключевые слова: управление проектами, термодинамические когнитивные модели, проектная деятельность

Поступила (received) 14.12.2015

УДК 514.18:536.3

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ІОНІЗАЦІЇ

О. В. СТРОКАНЬ*, М. А. СТРЕЛКОВА

Кафедра інформаційних технологій, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, УКРАЇНА
* email: oksana.strokan@yandex.ua

АНОТАЦІЯ У статті проаналізовано процес іонізації виробничих приміщень, зокрема розглянуті такі типи іонізаторів, як розсіювальний та іонізатор спрямованого аеріонного випромінювання. Наведено опис проектування програмного засобу, який дозволяє в автоматизованому режимі визначати аеріонне розподілення від штучних джерел аеріонізації в заданій робочій зоні. В залежності від отриманої картини аеріонного розподілення користувач має змогу наочно отримати зони аеріонного комфорту і дискомфорту і на основі цього розташовувати робочі місця. Особливістю запропонованого програмного засобу є можливість користувача самостійно за допомогою користувацького інтерфейсу пересувати (встановлювати) джерела аеріонізації у заданій зоні з метою отримання необхідної картини розподілення концентрації аеріонів від цих джерел. Також розроблений програмний засіб надає можливість варіювати кількість, потужність і типом джерел аеріонного випромінювання, застосовувати їх комбінацію. У статті наведені робочі зони програмного засобу з докладним поясненням, а також основні функції, які повинні виконуватися. Розроблено діаграма варіантів використання з поясненням користувачів і функціями, які вони можуть виконувати.

Ключові слова: іони, іонізатор, концентрація, програмне забезпечення.

PROGRAM REALIZATION TASK OF PROVIDING DESIGN PROCESS OF IONIZATION

O. V. STROKAN*, M. A. STRIELKOVA

Department of information technology, Tavria state agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT The article analyzes the process of ionization of the production facilities, in particular the following types of ionizers as the scattering and directional ionizer aeroionic radiation. The widespread use of air ionizers is associated with awareness of their important role in the natural delusion of man's existence, with more modern appeal of preventive and curative medicine to the natural regulators of vital functions of the human body. Therefore, it is shown a need to develop software that would allow to automatically determine the ion distribution on the basis of which it would be possible to optimize the location of ionizers in the premises, in order to ensure regulatory indicators aeroionization. The description of the design software tool that allows in automatic mode to determine aeroionic distribution of artificial sources of air ionization in a given work area. Depending on the distribution of the resulting picture aeroionic user can visually obtain aeroionic zone of comfort and discomfort, and on this basis have jobs. The peculiarity of the proposed software tool is the possibility of self-user via the user interface to move (to install) sources of air ionization in a given area in order to obtain the required distribution pattern of concentration of ions from these sources. Is also developing a software tool allows you to vary the number, size and type of radiation sources aeroionic apply a combination thereof. The article presents the work areas of software tools with a detailed explanation of the basic functions that must be performed. Designed use case diagrams with the main users and the functions they can perform.

Keywords: ionsionizer, concentration, software.

Вступ

Нині спостерігається поживлення інтересу до процесу іонізації повітря побутових приміщень. Широке застосування іонізаторів пов'язано з усвідомленням їх важливої ролі в природному середовищі існування людини, з усе більшим зверненням сучасної профілактичної і лікувальної медицини до природних регуляторів життєдіяльності людського організму. Тому, постає необхідність у розробці програмного забезпечення, яке б дозволило автоматично визначити іонне розподілення, на основі якого можна було б оптимізувати місце розташування іонізаторів в приміщенні, з метою

забезпечення нормованих показників аеріонізації. Рішення поставленої задачі по моделюванню розподілення концентрації аеріонів в закритому просторі від існуючих джерел аеріонного випромінювання доцільно виконувати у геометричному вигляді, тому що вихідний результат досліджень повинен бути представлений графічно: сім'єю ізоліній або ізоповерхонь концентрації аеріонів. Геометричний спосіб розміщення аеріонізаторів наочно показує аналіз розподілу концентрації негативно заряджених іонів від комбінованих джерел аеріонного випромінювання в приміщенні [8]. При розміщенні аеріонізатора на площині автоматично відбувається визначення

концентрації аероіонів і наочно це представлено в якості ізоліній в різних кольорах, в залежності від концентрації. На даний момент існує система геометричного проектування тільки розсіювальних аероіонізаторів. Розроблене програмне забезпечення дозволяє автоматизувати процес визначення концентрації аероіонів не тільки розсіювальних, але і джерел спрямованого аероіонного випромінювання, а також комбінованих, коли в одному і тому ж приміщенні можуть працювати і джерело спрямованого аероіонного випромінювання і розсіювальних аероіонізаторів одночасно.

Виклад основного матеріалу

Джерелом від'ємних аероіонів є аероіонізатори, від яких концентрація від'ємних аероіонів розподіляється у вигляді хвиль. В залежності від типу і потужності джерел аероіонного випромінювання визначається картина аероіонного розподілення [6]. На сьогодні існує безліч різноманітних аероіонізаторів, але всі вони поділяються на два основних типи – розсіювальні та аероіонізатори спрямованого аероіонного випромінювання [9]. Розсіювальні аероіонізатори дозволяють отримувати аероіонне розподілення однакове у всіх напрямках у вигляді сфери, а аероіонізатори спрямованого аероіонного випромінювання дають змогу направити потік концентрації аероіонів в задану зону. При цьому ступінь аероіонізації приміщення посилюється й збільшується обсяг іонізованого повітря, а «стікання» аероіонів з іонізуючих голок джерела відбувається по довшій траєкторії переміщення аероіонів в обсязі приміщення без додаткових заходів [6 - 7]. Дане рішення дозволяє розширити область, охоплювану аероіонізацією.

Як показують дослідження в області аероіонізації [3], комбіноване поєднання наведених типів джерел аероіонного випромінювання може надати найбільш оптимальне (необхідне з точки зору забезпечення нормованих параметрів аероіонізаційного режиму у робочих зонах) аероіонне розподілення.

Геометричний спосіб розміщення аероіонізаторів та автоматичний спосіб, створений Дубініної О. В. [7] не дає можливість комбінувати аероіонізатори, тому не повною мірою розкриває досліджувану тему. Отже, створене програмне забезпечення дозволить наочно розглянути та вивчити концентрацію аероіонів при різних видах джерел аероіонного випромінювання [12]. Саме від розташування аероіонізаторів залежить розміщення зон аероіонного комфорту і дискомфорту.

Для оптимізації розміщення аероіонізаторів у виробничих приміщеннях необхідні такі вхідні параметри: геометричні розміри виробничого приміщення або робочої зони, вид і потужність аероіонізатора [3].

Особливістю пропонованого способу оптимізації розміщення аероіонізаторів є можливість одночасного використання розсіювальних

аероіонізаторів з джерелом спрямованого аероіонного випромінювання і отримання комбінованої картини аероіонного розподілення, за допомогою розробки відповідного програмного забезпечення.

Відповідно до предметної області використовуване програмне забезпечення для оптимізації аероіонного режиму повинно забезпечувати такі функції:

- 1) зручний і зрозумілий інтерфейс;
- 2) швидкодія;
- 3) легкість в освоєнні;
- 4) можливість вибору типу та потужності використовуваних іонізаторів(розсіювальний або джерело спрямованого аероіонного випромінювання), а також їх кількість;
- 5) наявність засобів наочності аероіонного розподілення у заданій робочій зоні;
- 6) зберігання та імпортування нормативних і розрахункових у даних у базі;
- 7) експорт звіту в систему автоматизованого проектування.

Головними користувачами системи є (рис. 1) адміністратор, який відповідає за перевірку працездатності, корегування налаштувань і користувач, що являє собою проектувальника, який має право здійснювати функцію ручного керування, що включає у себе завантаження даних, задання даних з клавіатури та функцію перегляду результатів.

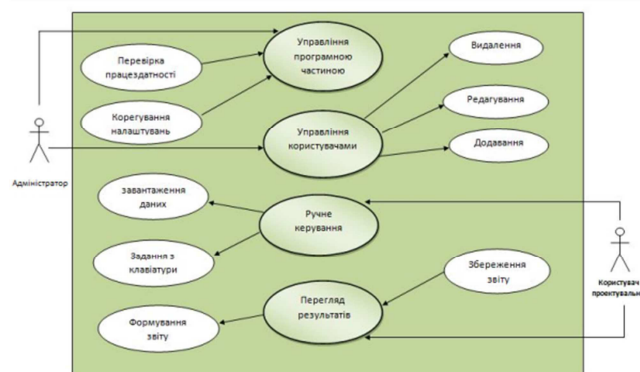


Рис. 1 – USECASE діаграма

Створене програмне забезпечення[2], отримуючи такі значення, як тип іонізатора, їх кількість та параметри приміщення, виконує розрахункові дії і видає в результаті такі дані: картину аероіонного розподілення від обраних джерел аероіонного випромінювання у вигляді ізоліній концентрації аероіонів, координати джерел. Програма має зв'язок з базою даних та інтерфейсом користувача, за допомогою якого відбувається діалог між користувачем системи і самою системою. Взаємозв'язок між управляючою програмою і БД має двосторонній характер, тобто відбувається зчитування нормативної інформації з БД і запис поточних значень вимірюваних величин.

Основними завданнями розроблюваного програмного продукту є оптимізація процесу розміщення іонізаторів в виробничому приміщенні [2]. Найважливішим фактором при роботі програмного забезпечення є точність розрахунків.

Кінцевий користувач може звернутися до системи з метою отримання такої інформації:

- тип іонізатора;
- отримання координат розміщення іонізаторів;
- побудова ізолінії від іонізаторів;
- рекомендації щодо нормативних значень концентрації іонів у приміщенні;
- звіт у системі автоматизованого проектування «КОМПАС» щодо виконаних дій.

Загальний вигляд користувацького інтерфейсу програмного забезпечення щодо оптимізації процесу іонізації наведений на рис. 2. Інтерфейс користувача розбитий на три робочі зони: зона інструментів, зона вводу даних (рис. 3.), зона відображення результатів (рис. 4.).

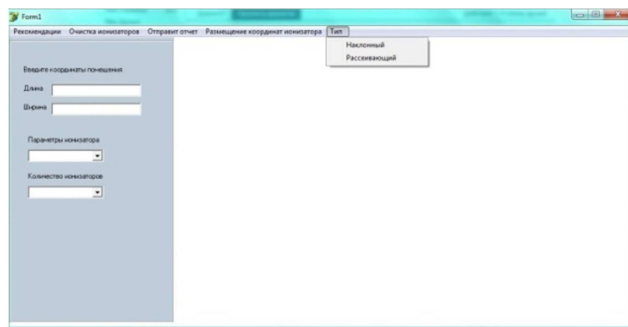


Рис.2– Інтерфейс системи

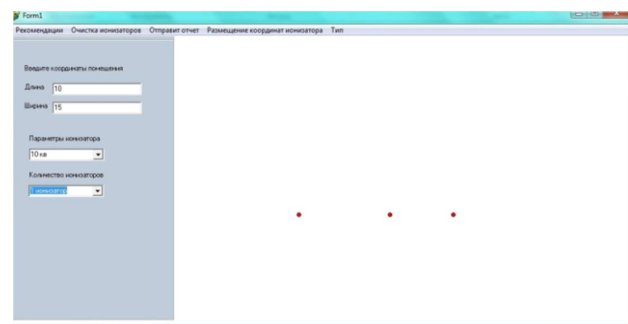


Рис. 3 – Інтерфейс користувача до початку роботи

У зоні інструментів можна переглянути відповідність концентрації аероіонізуючого випромінювання щодо нормативно-правових актів, очистити форму від будь-яких даних, а також обрати тип іонізатора з наданого списку.

Зона вводу даних відповідає за внесення необхідних даних для подальших розрахунків. У цій зоні вводяться параметри приміщення - довжина і ширина, параметри іонізатора - його потужність та їх кількість.

У зоні відображення формуються аероіонізатора та у подальшому концентрація від'ємно заряджених іонів у вигляді ізоліній.

Пропоноване програмне забезпечення має засоби для формування звіту по проектуванню розміщення джерел аероіонізаційного випромінювання. Для цього при натиску на вкладку «Отправить отчет» усі розрахунки експортуються до системи автоматизованого проектування «КОМПАС». При цьому відбувається автоматичне заповнення основного надпису на форматі А4, виводиться інформація про виробниче приміщення, кількість іонізаторів, їх потужність та координати розміщення іонізаторів.

Натискаючи на вкладку «Размещение координат ионизаторов» на форму автоматично виводиться таблиця з координатами по осі абсцис та ординат розміщених іонізаторів.

На рис. 4. представлено відображення розміщення трьох розсіювальних іонізаторів з потужністю 15 кВт та параметрами виробничого приміщення відповідно 15 та 10 метрів.

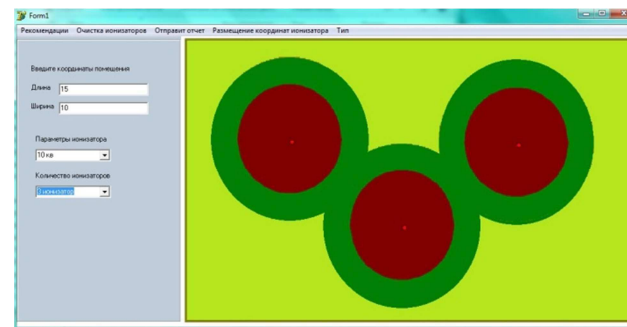


Рис.4 – Інтерфейс користувача після введення та обробки даних

Фрагменти основних блоків програми:

Блок програмного модуля, що відповідає за створення форми:

```

TMat = class(TForm)
StringGrid1: TStringGrid;
BitBtn1: TBitBtn;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label13: TLabel;
OpenDialog1: TOpenDialog;
Image1: TImage;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

```

Блок програмного модуля, у якому відбувається підключення змінних до програми КОМПАС та змінних для роботи з документами:

```

Mat: TMat;

```


Doc:ksDocument3D; // ссылка на текущий документ

КОМПАСа

KompasHandle:THandle; // ссылка на окно программы

КОМПАСа

mas: TPartVars;

s: TStringList;

Блок програмного модуля, який відповідає за перевірку вхідних умов:

```
function TMat.CheckReal(str: string): boolean;  
var i, j: integer;  
    z: byte;  
begin  
    Result := TRUE;  
    for i := 1 to Length(str) do  
        begin  
            z := 1;  
            for j := 0 to 18 do  
                // proverka, 4to v stroke 4islo  
                if (str[i] = MasReal[j]) then  
                    begin  
                        z := 0;  
                        break;  
                    end;  
                // proverka, 4to posle zapyatoj ne bolee 1 znaka  
                if (str[i] = '.') then  
                    if (((Length(str)-i)>1)or(str[i+1] = '.')) then z := 1;  
                if (z = 1) then  
                    begin  
                        Result := FALSE;  
                        break;  
                    end;  
                end;  
            end;  
        end;  
end;
```

Блок програми, який перевіряє допустимість роботи та відповідає за завершення

```
procedure TMat.StringGrid1Click(Sender: TObject);  
var i: integer;  
    z: byte;  
begin  
    try  
        // priem proverki opredelennoj (1) ja4ejki  
        if  
            ((StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,2]))<(StrToFloat(StringGrid1.Cells[1,1])))  
            then CheckArray[2] := 1;  
        except  
            end;  
        // proverka dopyspimosti raboti  
        z := 0;  
        for i := 0 to Length(CheckArray)-1 do  
            if (CheckArray[i] = 1) then  
                begin  
                    z := 1;  
                    break;  
                end;  
            end;  
        end;  
    end;  
end.
```

Спроектований інтерфейс користувача є інформативним, відповідає ергономічним і психологічним вимогам, які пред'являються до розробок такого типу.

Висновки

Іонізатори відіграють важливу роль у природному середовищі існування людини – вони насичують повітря негативними іонами. Проектування процесу оптимізації іонізації має дуже важливе значення. Завдяки йому можна автоматично визначити найбільш підходящі робочі зони з оптимальною концентрацією негативно заряджених іонів, що сприятливо позначається на працездатності.

Було поставлено завдання створити програмне забезпечення, яке б дозволило автоматично визначати концентрацію іонів, в наслідок чого можна було б розташувати робочі місця. Програмний модуль має зрозумілий і зручний інтерфейс, здатне відправляти звіт за отриманими даними в систему автоматизованого проектування "Компас", а також зберігати результати в базу даних для подальшої з ними роботи. Програмний засіб виконує заявленим функціям і відповідає усім вимогам.

Список літератури

1. Пат. 31059 Україна, МПК H01J547/00. Пристрій для іонізації повітря / А. Я. Чураков, О. В. Строкань; заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. – заявка №2007 12763; заявлено 19.11.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. №6.
2. **Тейксейра, С.** Delphi5. Руководство разработчика. Основные методы и технологии программирования / С. **Тейксейра, К. Пачеко**– 2000. – Том 1. – 832 с. – ISBN 5-8459-0016-6.
3. Влаштування і обладнання кабінетів комп'ютерної техніки в навчальних закладах та режим праці учнів на персональних комп'ютерах: ДСанПіН 5.5.6.009-98. - [Чинний від 24.07.98]. – К. Держспоживстандарт України]. – 1998]. – 18 с. – (Національний стандарт України).
4. **Байдевятов, Ю. А.** Аероіонізація у технології інкубації / Ю. А. **Байдевятов** // *Тваринництво України*. – 2003. – №3. – С. 7 - 8.
5. **Жуков, В. В.** Отзывы врачей об аэроионотерапии. – М: Медицинская литература. – 2006. – 135 с.
6. **Котляр, А. А.** Средства измерения аэроионов. Генераторы аэроионов / МИФИ
7. **Истомин, Н.** Радио. – 1997. – №11. – 36 с.
8. **Дубініна, О. В.** Автоматизація процесу проектування розташування штучних джерел у приміщеннях з горизонтальною площиною / **О. В. Дубініна, О. В. Строкань** // *Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування»*. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2014. – С. 43 - 49.
9. "Airionizerswipeout hospital infections". The New Scientist. Retrieved 2006-08-30.
10. **Chris Woolston** (2004-08-20). "Ionic purifiers' dirty secret - Los Angeles Times". Articles.latimes.com. Retrieved 2014-02-10.
11. "Title 21–food and drugs; chapter i-food and drug administration department of health and human services;

12. Kurtzweil, P. Ozone generators generate prison terms for couple. FDA Consum. – 2007. – 33 (6), – 36 - 7. PMID 10628316.
13. "Ozone: Good Up High, Bad Nearby". Environmental Protection Agency (EPA) Website. Retrieved 2006-08-30.
6. Kotlyarov, A. A. Sredstva izmereniya aeroionov. *Generatory i aeroionov / MIFI*
7. Istomin, N. Radio, 1997, 11, 36 p.
8. Dubinina, O. V., Strokan, O. V. Avtomatyzatsiya protsesu proektuvannya roztashuvannya shtuchnykh dzherel u prymishchennyakh z horizontal'noyu ploshchynoyu. Zbirnyk naukovykh prats' mahistrantivta studentiv «Informatsiyni tekhnolohiyi proektuvannya». Melitopol': TDATU, 2014, 43 - 49.
9. "Air ionizers wipe out hospital infections". The New Scientist. Retrieved 2006-08-30.
10. Chris Woolston (2004-08-20). "Ionic purifiers' dirty secret - Los Angeles Times". Articles.latimes.com. Retrieved 2014-02-10.
11. "Title 21—food and drugs; chapter i—food and drug administration department of health and human services; subchapter h—medical devices". US Food & Drug Administration (FDA) website. Retrieved 2006-08-30.
12. Kurtzweil, P. "Ozone generators generate prison terms for couple". FDA, 2007, 33(6), 36–7. PMID 10628316.
13. "Ozone: Good Up High, Bad Nearby". Environmental Protection Agency (EPA) Website. Retrieved 2006-08-30.

Bibliography (transliterated)

1. Pat. 31059 Ukraine, MPKN01J547/00. Pristrydlyaionizatsiyipovitrya / A. Ya. Churakov, O. V. Strokan; zayavnikI patentovlasnik Tavriyskiy derzhavniy agrotekhnologichniy unIversitet. – zayavka #2007 12763; zayavleno 19.11.2007; opubl. 25.03.2008, Byul. #6.
2. Teykseyra, C., Pacheko, K. Delphi 7. Rukovodstvo razrabotchika. Tom 1. Osnovnye metody i tekhnologii programirovaniya, ISBN 5-8459-0016-6 2000.
3. Vlastuvannyaiobladnannyakabinetivkomp'yuternoyitehniki vnavchalnihzakladahtarezhimpratsiuchnivnapersonalnihkom p'yuterah: DSanPIN 5.5.6.009-98. - [ChinniyvId 2.07.98]. Kyiv, Derzhspozhivstandart Ukrayini, 1998, 18 p.
4. Baydevlyatov, Yu.A. Aeroionizatsiya u tekhologiyi inkubatsiyi, Tvarinnitstvo Ukrayini, 2003, 3, 7 - 8.
5. Zhukov V.V. Otzyivyi vrachey ob aeroionoterapii. Moskov Meditsinskaya literatura, 2006, 135 p.

Сведения об авторах (About authors)

Строкань Оксана Вікторівна - кандидат технічних наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри "Інформаційні технології", м. Мелітополь, Україна. E-mail: oksana.strokan@yandex.ua

Oksana Strokan - Ph. D., Docent, Docent of Information Technology's Department, Tavria state agrotechnological university, Melitopol, Ukraine, Khmel'nitskogo, 18. e-mail: oksana.strokan@yandex.ua

Стрелкова Марія Андріївна - студентка другого курсу магістратури Таврійського державного агротехнологічного університету, м. Мелітополь, Україна. E-mail: marya23.09@mail.ru

MariyaStrielkova - second-year student of Magistracy of Tavria state agrotechnological university, Melitopol, Ukraine. E-mail: marya23.09@mail.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Строкань, О. В. Програмна реалізація задачі забезпечення проектування процесу іонізації / **О. В. Строкань, М. А. Стрелкова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 94 - 98. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Strokan, O. V., Strielkova, M. A. Program realization task of providing design process of ionization. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, 62 (1171), 94 - 98, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Строкань, О. В. Программная реализация задачи обеспечения проектирования процесса ионизации / **О. В. Строкань, М. А. Стрелкова** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 94 - 98. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ В статье проанализирован процесс ионизации производственных помещений, в частности рассмотрены следующие типы ионизаторов, как рассеивающий и ионизатор направленного аэроионного излучения. Приведено описание проектирования программного средства, позволяющего в автоматизированном режиме определять аэроионный распределения от искусственных источников аэроионизации в заданной рабочей зоне. В зависимости от полученной картины аэроионного распределения пользователь может наглядно получить зоны аэроионного комфорта и дискомфорта и на основе этого располагать рабочие места. Особенностью предлагаемого программного средства является возможность пользователя самостоятельно с помощью пользовательского интерфейса передвигать (устанавливать) источники аэроионизации в заданной зоне с целью получения необходимой картины распределения концентрации аэроионов от этих источников. Также разрабатываемое программное средство позволяет варьировать количеством, мощностью и типом источников аэроионного излучения, приманять их комбинацию. В статье приведены рабочие зоны программного средства с подробным объяснением, основные функции, которые должны выполняться. Разработана диаграмма вариантов использования с основными пользователями и функциями, которые они могут выполнять.

Ключевые слова: ионы, ионизатор, концентрация, программное обеспечение.

Поступила (received) 08.12.2015

УДК 004.434

ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В САПР

С. В. ЧОПОРОВ*, С. И. ГОМЕНИЮК, Б. Г. М. АЛЬ-АТЕМНЕХ, М. А. В. АЛЬ-ОМАРИ,
Х. Х. АЛАТЕМНЕХ

Кафедра математического моделирования, Запорожский национальный университет, Запорожье, УКРАИНА
*email: s.choporoff@znu.edu.ua

АННОТАЦИЯ В работе рассмотрена проблема формализации задач исследования напряженно-деформированного состояния многослойных тонкостенных конструкций. Предложен соответствующий проблемно-ориентированный язык описания тонких многослойных пластин и их исследования с использованием метода конечных элементов в системах автоматизированного проектирования. В основу проблемно-ориентированного языка заложен стандарт ECMA-262, что позволяет использовать относительно несложный в изучении синтаксис и упрощает описание сложных моделей.

Ключевые слова: многослойные конструкции, проблемно-ориентированный язык, метод конечных элементов, САПР, ECMA-262

LAYERED THIN PLATES FORMALIZATION IN CAE SYSTEMS

S. CHOPOROV*, S. GOMENYUK, B. AL ATHAMNEH, M. AL-OMARY, H. ALATAMNEH

Department of Mathematical Modelling, Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, UKRAINE

ABSTRACT In the herein paper is decried the domain specific language for the finite element analysis of thin layered plates using computer aided engineering. The main objective of the paper is development of domain specific language for thin plates and shells analysis using the Finite element method. The first-order shear deformation theory of thin layered plates is used. The domain specific language is based on ECMA-262. This language allows users to describe geometric model and simulation parameters (nodal and distributed loads, boundary conditions). Implicit functions are used for definition of geometric models. Loads and boundary conditions can be defined using a special class of the language objects. Logical functions are parameters of this class. These functions should be defined in terms of logical expressions that true for a set of points in which condition or load is applied. Developed domain specific language is embedded in computer aided engineering -software. Examples of layered circular plate stress-strain analysis are written. Scientific novelty of the paper is development of new principles of building and application of the domain specific language for analysis of thin layered plates using the Finite element method.

Keywords: layered plate, domain specific language, the Finite element method, computer aided engineering, ECMA-262

Введение

Одним из наиболее сложных этапов проектирования инженерных конструкций и сооружений является анализ их прочностных характеристик. При разработке современных объектов аэрокосмической, судостроительной и др. отраслей возникают задачи определения характеристик многослойных тонкостенных конструкций: параметров их напряженно-деформированного состояния (НДС), критических или разрушающих нагрузок и т.п. Автоматизации их решения приводит к проблеме формализации соответствующих математических моделей в форме, пригодной для компьютерной обработки.

Анализ литературы

Наиболее распространенным способом решения проблемы формализации исходных данных в САПР является разработка лингвистического обеспечения – специализированных входных языков, состоящих из двух частей: языка описания объектов и

языка описания заданий [1]. Язык описания объектов в контексте поставленной задачи должен предоставлять средства описания геометрических моделей и физико-механических свойств объекта. Язык описания заданий должен включать средства выполнения определенных проектных операций и процедур.

На сегодня для описания геометрических моделей представлены визуальные средства и проблемно-ориентированные языки. Визуальные средства описания геометрических моделей (например, AutoCAD, Компас-3D и др.), как правило ориентированы на оформление проектной и конструкторской документации. Проблемно-ориентированные языки для описания геометрических моделей (AML/X [2-3], PlaSM [4], BDRY [5] и другие) [6-7], представляют собой декларативные или функциональные языки, основанные на твердотельном (CSG) или граничном (BRep) представлении объекта. Их основным недостатком является сложность организации прямой и обратной связи с процессом конечно-элементного анализа.

Также активно разрабатываются средства формализации задач, решаемых с помощью метода конечных элементов (МКЭ) на основе проблемно-ориентированных языков [8]. В частности, предложены средства создания встраиваемых проблемно-ориентированных языков (embedded domain specific languages) путем трансляции кода в программы на языке C++ (например, трансляция кода программ языка Scala [9]), основанные на прототипизировании и шаблонах проблемно-ориентированные расширения C++ [10 - 11], которые упрощают разработку программ и модулей на базе МКЭ. Основным недостатком такого подхода является необходимость знания соответствующих подмножеств C++.

Существуют также работы по созданию универсальных языков для описания задач с использованием МКЭ [12 - 13]. Основным недостатком указанных работ является возможность использования только треугольников для плоских задач и тетраэдров для трехмерных, а также отсутствие средств описания многослойных конструкций.

Цель работы

Таким образом, целью работы является разработка способа формализации тонкостенных конструкций в САПР.

Объект исследования – процесс проектирования сложных технических объектов.

Предмет исследования – методы и средства формализации моделей сложных технических объектов.

Изложение основного материала

В общем случае принципиальная схема автоматизированного проектирования многослойных тонкостенных конструкций может быть представлена в виде следующего алгоритма (рис. 1). Обработкой входных параметров занимается блок работы проблемно-ориентированного языка (DSL). Затем в блоке компьютерного анализа (CAE) препроцессор формирует соответствующую дискретную модель объекта, процессор МКЭ получает необходимые для модуля оптимизации данные (параметры НДС, критические или разрушающие нагрузки и т.п.). По результатам обработки в модуле оптимизации вносятся изменения в дискретную и расчетные модели. Следовательно, при таком подходе лингвистическое обеспечение САПР должно позволять описывать геометрическую модель, физико-механические характеристики (ФМХ) слоев и нагрузки.

Одним из возможных путей решения задачи создания проблемно-ориентированного языка может быть расширение синтаксиса, определенного стандартом универсального языка программирования.

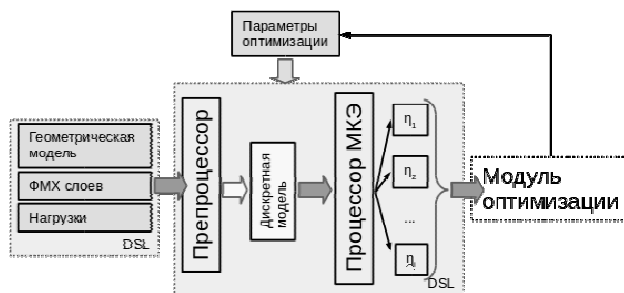


Рис. 1 – Принципиальная схема автоматизированного проектирования

Использование в качестве базы стандарта, на котором основываются популярные языки программирования, позволяет упростить изучение синтаксиса проблемно-ориентированного языка. В настоящей работе предложен язык моделирования дискретных объектов, основанный на стандарте ЕСМА-262 [14]. В основе стандарта ЕСМА лежат несколько исходных технологий, наиболее известными из которых является JavaScript. Среди его преимуществ можно выделить динамическую типизацию, которая позволяет существенно сократить код моделей.

Стандарт ЕСМА определяет спецификации объектно-ориентированного языка для прикладных вычислений и манипулирования вычислительными объектами хост-окружения. Базовый синтаксис такого языка можно представить при помощи расширенной формы Бэкуса-Наура (рис. 2). Программа представляет собой набор предписаний и деклараций функций, с помощью которых определяются геометрические модели и параметры расчета. В качестве алфавита для идентификаторов используются латинские буквы. Строковые константы могут состоять из произвольного набора символов таблицы Unicode, заключенных в двойные или одинарные кавычки.

Все переменные при таком синтаксисе (рис. 2) рассматриваются как объекты, для которых можно определить поля и методы с заданными областями видимости. Объявление переменной начинается с ключевого слова var, за которым после пробельного символа следует список переменных, разделённых запятыми с необязательной инициализацией.

Особенности создания проблемно-ориентированного языка на базе приведенного синтаксиса для определения геометрических моделей путем логического конструирования, используя неявные функции, рассмотрены в предыдущих работах авторов [15-16]. Соответственно к формальному описанию базового синтаксиса языка (рис. 2) необходимо добавить синтаксические конструкции для описания задач исследования тонкостенных конструкций при помощи МКЭ.

Для расчета НДС многослойных пластин и оболочек в современных САПР активно используется теория сдвиговых деформаций первого порядка [17], которая является обобщением теории Тимошенко-

```

программа = { предписание | декларация функции } ;
предписание = блок | пустое выражение | ( объявление переменных, ';' ) | ( выражение, ';' ) |
  условное выражение | циклическое выражение | стоп итерация | стоп цикл | выражение возврата
  | выражение переключения | пробел ;
пустое выражение = ';' ;
блок = '{', { предписание }, '}' ;
объявление переменных = 'var', пробел, идентификатор, [ '=', выражение ], { ',', идентификатор,
  [ '=', выражение ] ] ;
выражение = вызов функции | декларация функции | ( идентификатор, присваивание, ( вычислимое
  выражение | вызов функции ) ) | создание объекта | инкремент | декремент ;
условное выражение = 'if', '(', выражение, ')', предписание, { 'else', предписание } ;
циклическое выражение = ( 'do', предписание, 'while', '(', выражение, ')', ';' ) |
  ( 'while', '(', выражение, ')', предписание ) |
  ( 'for', '(', ( ( выражение, ';', выражение, ';', выражение ) | ( инициализация переменной,
    ';', выражение, ';', выражение ) | ( выражение, 'in', выражение ) | ( инициализация
    переменной, 'in' выражение ), ')', предписание ) ;
стоп итерация = 'continue', ';' ;
стоп цикл = 'break', ';' ;
выражение возврата = 'return', { выражение }, ';' ;
выражение переключения = 'switch', '(', выражение, ')', '{'
  { 'case', выражение, ':', [ предписание ] }, [ 'default', ':' [ предписание ] ], '}' ;
вычислимое выражение = простое выражение | условное выражение | логическое выражение ;
условное выражение = '(', выражение, ')', '?', выражение, ':', выражение ;
инициализация переменной = 'var', пробел, идентификатор, '=', вычислимое выражение ;
присваивание = '=' | '+=' | '-=' | '*=' | '/=' ;
создание объекта = 'new', пробел, идентификатор, ( выражение ) ;
декларация функции = 'function', { пробел, идентификатор, } '(' [ идентификатор, [ { ',',
  идентификатор } ], ')', предписание ;
вызов функции = идентификатор, '(', [ выражение, [ { ',', выражение } ], ')' ;
инкремент = ('++', идентификатор) | (идентификатор, '++') ;
декремент = ('--', идентификатор) | (идентификатор, '--') ;
логическое выражение = лог_и [ { '||', лог_и } ] ;
лог_и = простое выражение, [ '&&', простое выражение ] ;
простое выражение = арифметическое выражение, [ оператор отношения, арифметическое выражение ] ;
оператор отношения = '<' | '<=' | '>' | '>=' | '==' | '!=' | '===' | '!==' ;
арифметическое выражение = [ '+' | '-' ] терм { ('+' | '-'), терм } ;
терм = фактор { ('*' | '/' | '%'), фактор } ;
фактор = идентификатор | константа | строка | выражение | ('!', фактор) ;
константа = [ '+' | '-' ] число [ '.' [число] ] [ ('e' | 'E') [ '+' | '-' ] число ] ;
число = цифра { цифра } ;
цифра = '0' | '1' | '2' | '3' | '4' | '5' | '6' | '7' | '8' | '9' ;
идентификатор = буква { буква | цифра | '_' } ;

```

Рис. 2 – РБНФ базового синтаксиса языка

Миндлина для пластин и базируется на следующих гипотезах: а) слои материала идеально соединены друг с другом; б) материал каждого слоя является упругим и ортотропным; в) каждый слой обладает постоянной толщиной; г) перемещения и деформации малы; д) слои материала несжимаемые; е) нормаль к срединной поверхности не остается перпендикулярной к ней после деформации. Локальная матрица жесткости билинейного четырехугольного элемента в предположении, что плоскость xOy совпадает со срединной плоскостью недеформированной пластинки, может быть представлена в виде

$$\begin{aligned}
\mathbf{K}_e = & \sum_{k=1}^n \left\{ (z_k - z_{k-1}) \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}_m^T \mathbf{D}^{(k)} \mathbf{B}_m |\mathbf{J}| d\xi d\eta + \right. \\
& + \frac{1}{2} (z_k^2 - z_{k-1}^2) \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [\mathbf{B}_m^T \mathbf{D}^{(k)} \mathbf{B}_b + \mathbf{B}_b^T \mathbf{D}^{(k)} \mathbf{B}_m] |\mathbf{J}| d\xi d\eta + \\
& + \frac{1}{3} (z_k^3 - z_{k-1}^3) \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}_b^T \mathbf{D}^{(k)} \mathbf{B}_b |\mathbf{J}| d\xi d\eta + \\
& \left. + (z_k - z_{k-1}) \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \mathbf{B}_s^T \mathbf{D}_s^{(k)} \mathbf{B}_s |\mathbf{J}| d\xi d\eta \right\}, \quad (1)
\end{aligned}$$

где n – количество слоев;
 $[z_{k-1}; z_k]$ – границы k -го слоя по толщине;
 $|\mathbf{J}|$ – Якобиан перехода в местную систему координат;

\mathbf{B}_m , \mathbf{B}_b и \mathbf{B}_s – матрицы связей между перемещениями и деформациями;

$\mathbf{D}^{(k)}$ и $\mathbf{D}_s^{(k)}$ – матрицы связей между напряжениями и деформациями для k -го слоя;

m – количество узлов в конечном элементе ($m=3$ – треугольник, $m=4$ – четырехугольник).

Пусть вектор обобщенных перемещений имеет вид

$$\mathbf{d}_e^T = \{ u_1 \ v_1 \ w_1 \ \theta_{x1} \ \theta_{y1} \ \dots \ u_m \ v_m \ w_m \ \theta_{xm} \ \theta_{ym} \}, \quad (2)$$

где u_i и v_i – перемещения i -го узла вдоль оси x или y , соответственно;

w_i – прогиб i -го узла;

θ_{xi} и θ_{yi} – повороты нормали к срединной плоскости пластинки i -го узла относительно оси x

или y , соответственно.

Тогда матрицы связей между перемещениями и деформациями примут вид

$$\mathbf{B}_m = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\partial N_m}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{\partial N_m}{\partial y} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\partial N_m}{\partial y} & \frac{\partial N_m}{\partial x} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, (3)$$

$$\mathbf{B}_b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial N_m}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial N_m}{\partial y} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial N_m}{\partial y} & \frac{\partial N_m}{\partial x} \end{bmatrix}, (4)$$

$$\mathbf{B}_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial x} & N_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \frac{\partial N_m}{\partial x} & N_m & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & 0 & N_1 & \dots & 0 & 0 & \frac{\partial N_m}{\partial y} & 0 & N_m \end{bmatrix}, (5)$$

где N_i – функция формы i -го узла конечного элемента.

Матрицы связей между напряжениями и деформациями соответствуют плосконапряженному состоянию и принимают вид

$$\mathbf{D}^{(k)} = \frac{E^{(k)}}{1 - (\mu^{(k)})^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu^{(k)} & 0 \\ \mu^{(k)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - \mu^{(k)}}{2} \end{bmatrix}, (6)$$

$$\mathbf{D}_s^{(k)} = \begin{bmatrix} \kappa_1 G^{(k)} & 0 \\ 0 & \kappa_2 G^{(k)} \end{bmatrix}, (7)$$

где $E^{(k)}$, $\mu^{(k)}$ и $G^{(k)}$ – соответственно, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и модуль сдвига k -го слоя;

коэффициенты κ_1 и κ_2 являются поправочными коэффициентами для сдвиговых деформаций, которые могут быть получены при помощи специальных методов [18].

Таким образом, исходными данными приведенной выше конечно-элементной модели являются сетка конечных элементов, толщины и ФМХ слоев, а также условия закрепления и нагрузки. Толщины и ФМХ слоев, в общем случае, являются массивами выражений. Формально лингвистические конструкции, необходимые для описания таких задач, используя РБНФ, можно описать в виде рис. 3.

При этом ввод граничных условий можно формализовать в виде, представленном на рис. 4: при определении граничного условия необходимо указать направление действия, условие отбора и начальное значение (в общем случае оно может быть отличным от нуля).

```
пластинка Миндлина = 'MindlinPlate', '(' ,
сетка2д, толщина, модуль Юнга, коэффициент
Пуассона, (граничное условие | нагрузка),
',', (граничное условие | нагрузка), ')'
;
сетка2д = ('Triangles2D' | 'Quads2D'), '(' ,
n, m, origin, ширина, высота, функция
области, ')' ;
n = выражение ; (* количество узлов вдоль оси
абсцисс *)
m = выражение ; (* количество узлов вдоль оси
ординат *)
origin = 'Point2D', '(' выражение, выражение,
')' ;
ширина = выражение ; высота = выражение ;
функция области = декларация функции |
идентификатор ;
толщина = выражение | массив ;
модуль Юнга = выражение | массив ;
коэффициент Пуассона = выражение | массив ;
```

Рис. 3 – РБНФ определения модели расчета

```
граничное условие = 'var', пробел, '=',
'new', 'BoundaryCondition', '(' ,
направление, ',', условие отбора, ',',
начальное значение, ')', ';';
направление = 'ALL' | 'FIRST' | 'SECOND' |
'THIRD' ;
условие отбора = предписание | декларация
функции ;
начальное значение = выражение ;
```

Рис. 4 – РБНФ определения граничного условия

Аналогично можно определить нагрузки (рис. 5): для каждого типа нагрузки необходимо указать направление действия, необязательную функцию-условие отбора узлов и выражение или функцию для определения интенсивности в точке.

В качестве примера рассмотрим задачу исследования НДС круглой трехслойной пластинки радиуса 0,4 м, находящейся под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки. Заполнитель: толщина – 0,016 м, модуль Юнга – 72017,3326914 МПа, коэффициент Пуассона – 0,29995185363. Внешние слоя: толщина – 0,001 м, модуль Юнга – 203200 МПа, коэффициент Пуассона – 0,27. Такая задача может быть представлена кодом, приведенным на рис. 6. В первой строке задан радиус пластинки. В строках 2 - 4 заданы, соответственно, толщина, модуль Юнга и коэффициент Пуассона в виде массивов из трех элементов каждый (значения элементов соответствуют характеристикам слоев материала). Строка 5 содержит значение интенсивности нагрузки. В строках 6 - 7 определяется геометрическая модель (детальное описание в работах [15 - 16]). Далее в строках 8 - 13 в соответствии РБНФ (рис. 4) определено условие закрепления (защемление края). В строке 14 указано, что действует равномерно распределенная нагрузка в третьем направлении (в направлении прогиба). В последней строке все

определенные параметры передаются в функцию расчета на базе модели (1) - (5).

```
нагрузка = 'var', пробел, '=', 'new',
('PlateDistributedForce' | 'NodalForce'),
(' ', направление, ', ' [условие отбора,
', '], начальное значение, ')', ';';
условие отбора = предписание | декларация
функции ;
начальное значение = предписание | декларация
функции ;
```

Рис. 5 – РБНФ определения нагрузки

```
1. var r = 0.4; // радиус
2. var h = new Array(0.001, 0.016, 0.001);
3. var E = new Array(203200, 72017.3326914,
203200); // модули Юнга слоев
4. var nu = new Array(0.27, 0.29995185363,
0.27); // коэффициенты Пуассона слоев
5. var q = 0.05; // интенсивность нагрузки
6. function shape(x, y) {
7.     return circle(x, y, r);
8. }
9. var mesh = new Quads2D(151, 151, new
Point2D(-r, -r), 2*r, 2*r, shape); //
генерация дискретной модели
10. var fixed = new BoundaryCondition( ALL,
11. function(x, y){
12.     if (approx(shape(x, y), 0))
13.         return true;
14.     return false;
15. },
16. 0);
17. var force = new
PlateDistributedForce(THIRD, q);
18. MindlinPlate( mesh, h, E, nu, fixed,
force );
```

Рис. 6 – Пример определения модели расчета

В приведенном на рис. 6 коде формализован случай защемления границы. В строках 9 - 10 определена функция-критерий для отбора узлов, на которых определено граничное условие (в основе описания геометрических моделей лежит функциональный подход на базе неявных функций: функция, описывающая форму области равна нулю на границе). В строке 13 указано, что начальное перемещение в узлах, на которые действует граничное условие, равно 0. На рис. 7 последовательно приведены прогибы, поворот θ_x (θ_y эквивалентно с точность до поворота на 90°) и напряжения Мизеса, полученные в результате интерпретации программы. Для решения этой задачи в случае свободного опирания необходимо в определении граничного условия (строка 8) изменить ALL на FIRST|SECOND|THIRD (запретить перемещения в обоих направлениях и прогибы).

Также необходимо отметить, что в соответствии с РБНФ (рис. 5), определение нагрузок в общем случае состоит из двух пользовательских функций: необязательная функция отбора точек, на которые действует нагрузка и функция интенсивности

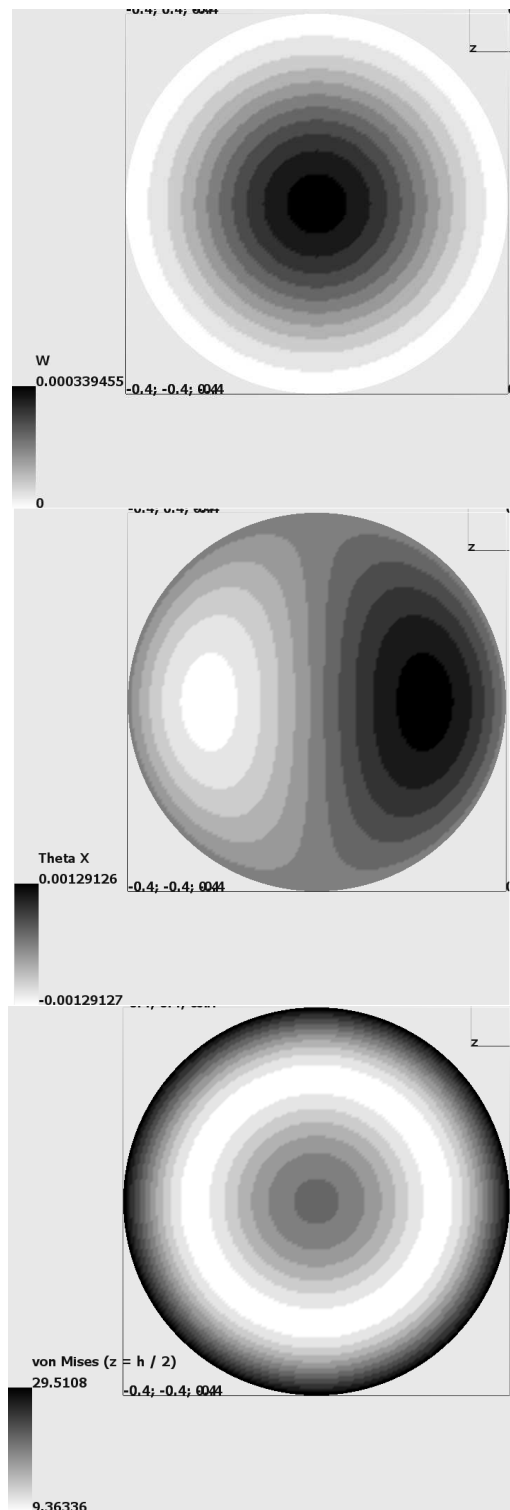


Рис. 7 – Компоненты НДС круглой пластинки

(для решения задач с неравномерной интенсивностью нагрузки). Например, если в рассмотренной задаче равномерная нагрузка должна действовать по кольцу (r_a и r_b – внешний и внутренний радиусы кольца), то, используя логическую конъюнкцию двух круглых областей (операция con), определение такой нагрузки

примет вид, представленный на рис. 8 (нагрузка равна q внутри кольца и 0 – снаружи).

```
var force = new PlateDistributedForce(THIRD,
function(x, y) {
    if (con(circle(x, y, ra), -circle(x, y,
rb)) >= 0)
        return q;
    return 0;
});
```

Рис. 8 – Пример задания нагрузки, распределенной по кольцу

Аналогично можно исследовать НДС пластинки в форме прямоугольника со скругленными углами. Предположим, что пластинка шарнирно оперта по границе. В этом случае код описания задачи примет вид, представленный на рис. 9. Для описания формы такой пластин использован соответствующий геометрический примитив языка (строка 9). В строках 12-18 определено граничное условие, указывающее, что запрещены перемещения на границе области (а пороты, соответственно, разрешены).

```
1. var a = 1; // ширина
2. var b = 0.7; // высота
3. var r = 0.3; // радиус скругления
4. var h = new Array(0.001, 0.016, 0.001);
5. var E = new Array(203200, 72017.3326914, 203200); // модули Юнга слоев
6. var nu = new Array(0.27, 0.29995185363, 0.27); // коэффициенты Пуассона слоев
7. var q = 0.05; // интенсивность нагрузки
8. function shape(x, y) {
9.     return rectangle(x, y, a, b, r);
10. }
11. var mesh = new Quads2D(151, 151, new Point2D(-a/2, -a/2), a, a, shape);
12. var fixed = new BoundaryCondition(FIRST|SECOND|THIRD, // шарнир
13. function(x, y){
14.     if (approx(shape(x, y), 0))
15.         return true;
16.     return false;
17. },
18. 0);
19. var force = new PlateDistributedForce(FIRST, q);
20. MindlinPlate(mesh, h, E, nu, fixed,
```

Рис. 9 – Пример определения модели расчета

На рис. 10 приведены компоненты НДС, полученные в результате выполнения программы с рис. 9. Сверху вниз последовательно приведены распределения значений прогиба, поворота θ_x и напряжения Мизеса.

Обсуждение результатов

В САПР, разрабатываемой на базе предложенного языка, абсолютно аналогично можно задавать узловые и объемные нагрузки. В основу рассмотренного выше синтаксиса заложен стандарт ЕСМА, который с одной стороны

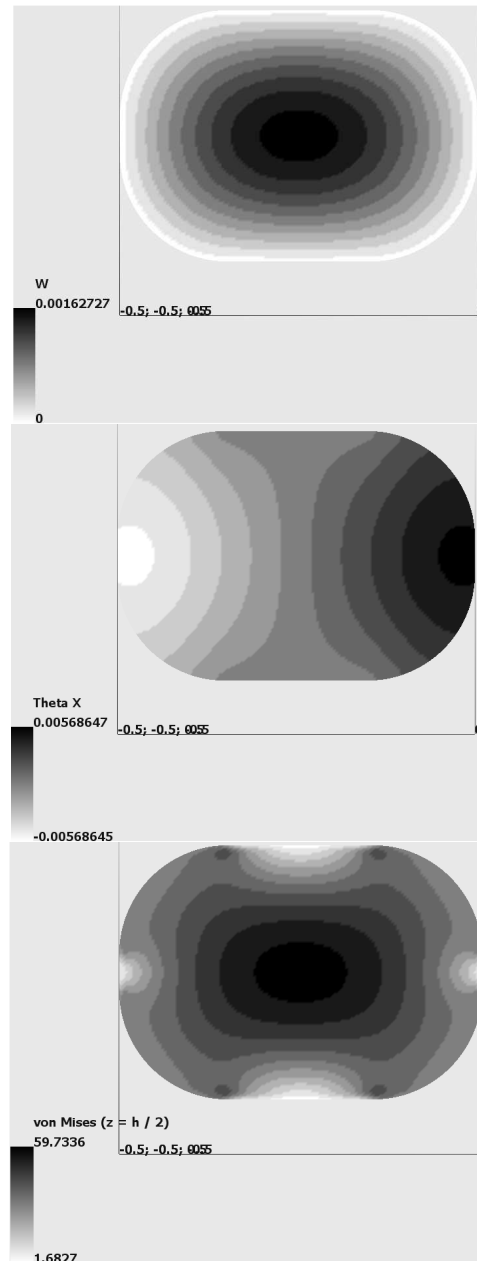


Рис. 10 – Компоненты НДС прямоугольной пластинки

ограничивает возможности в модификации синтаксиса производных языков, с другой стороны – позволяет упростить изучение, т.к. используется в получивших широкое распространение технологиях и языках программирования. Предложенные синтаксические конструкции (в части определения сил и граничных условий) также могут быть использованы при формализации моделей напряженно-деформированного состояния тонких оболочек.

Выводы

Таким образом, предложенный способ формализации моделей тонкостенных конструкций позволяет описывать задачи исследования НДС

пластин и оболочек (добавив незначительные модификации) в САПР. Представленный проблемно-ориентированный язык обладает сравнительно простым в изучении синтаксисом. Научная новизна работы состоит в том, что предложены принципы построения и применения проблемно-ориентированного языка для решения задач исследования многослойных тонкостенных конструкций в САПР.

Список литературы

- 1 **Норенков, И. П.** Основы теории и проектирования САПР / **И. П. Норенков, В. Б. Маничев.** – М.: Высшая школа. – 1990. – 335 с.
- 2 **Nackman, L. R.** AML/X: A Programming Language for Design and Manufacturing / **L. R. Nackman, M. A. Lavin, R. H. Taylor, W. C. Dietrich, D. D. Grossman** // *ACM Fall Joint Computer Conference: National Computer Conference*, Dallas, Texas, November 1986 : proceedings. – Dallas: ACM. – 1986. – P. 145-159.
- 3 **Rossignac, J. R.** Constraints in Constructive Solid Geometry / **J. R. Rossignac** // *Interactive 3D Graphics.* – 1986. – P. 93-110.
- 4 **Paoluzzi, A.** Geometric programming for computer aided design / **A. Paoluzzi.** – Chichester: Wiley. – 2003. – 776 p.
- 5 GRUMMP – Generation and Refinement of Unstructured, Mixed-Element Meshes in Parallel. [*Электронный ресурс*] : – <http://tetra.mech.ubc.ca/GRUMMP>.
- 6 **Croft, H. T.** Unsolved Problems in Geometry / **H. T. Croft, K. J. Falconer, R. K. Guy.** – London: Springer-Verlag. – 1991. – 220 p.
- 7 **Pasko A.** Function-Based Shape Modeling: Mathematical Framework and Specialized Language / **A. Pasko, V. Adzhiev** // *Lecture Notes in Computer Science.* – 2004. – Vol. 2930. – P. 132-160.
- 8 **Japheth, B. R.** Supporting engineering design modeling by domain specific modeling language / **B. R. Japheth, E. E. Ogheneovo** // *American Journal of Software Engineering and Applications.* – 2013. – № 2(3). – P. 86-91.
- 9 **DeVito, Z.** Liszt: A Domain Specific Language for Building Portable / **Z. DeVito, N. Joubert, F. Palacios, S. Oakley, M. Medina, M. Barrientos, E. Elsen, F. Ham, A. Aiken, K. Duraisamy, E. Darve, J. Alonso, P. Hanrahan** // *High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis.* – 2011. – P. 1-12.
- 10 **Janssens, B.** Finite Element Assembly Using an Embedded Domain / **B. Janssens, T. Bányai, K. Limam, W. Bosschaerts** // *Scientific Programming.* – 2015. – Vol. 2015. – P. 1-22.
- 11 **Prud'Homme, C.** Advances in Feel++: a domain specific embedded language in C++ for partial differential equations / **C. Prud'Homme, V. Chabannes, V. Doyeux, M. Ismail, A. Samake, G. Pena, C. Daversin, C. Trophime** // *Eccomas'12: European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering.* – Vienna, Austria: proceedings. – Vienna: HAL. – 2012. – 21 p.
- 12 **Гоменюк, С. И.** Вычислительный комплекс для автоматизации проектирования сложных инженерных конструкций и сооружений / **С. И. Гоменюк** // *Вестник Херсонского государственного технического университета.* – 2004. – № 1. – С. 339-342.
- 13 **Гоменюк, С. И.** Инструментальный подход к построению универсальной САПР в машиностроении и строительстве FORTU-FEM / **С. И. Гоменюк,**

- В. В. Мухин, Д. Н. Морозов** // *Вестник Херсонского национального технического университета.* – 2005. – № 2. – С. 107 - 113.
- 14 Standard ECMA-262. ECMAScript Language Specification [*Электронный ресурс*] – 2009. – 252 p. Режим доступа: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-262.pdf>
- 15 **Чопоров, С. В.** Проблемно-ориентированный язык геометрического моделирования на базе теории R-функций / **С. В. Чопоров, С. И. Гоменюк** // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 17. – С. 181 - 189.
- 16 **Чопоров, С. В.** Проблемно-орієнтована мова для моделювання геометричних об'єктів при функціональному підході / **С. В. Чопоров** // *Вестник Херсонского национального технического университета.* – 2014. – № 3(50). – С. 532-539.
- 17 **Reddy, J. N.** Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells Theory and Analysis / **J. N. Reddy.** – Florida: CRC Press LLC. – 2004. – 854 p.
- 18 **Birman, V.** On the Choice of Shear Correction Factor in Sandwich Structures / **V. Birman, Ch. W. Bert** // *Journal of Sandwich Structures and Materials.* – 2002. – vol. 4. – P. 83-95.
- 19 **Кудин, А. В.** Аналитический и численный анализ изгиба круглой трехслойной пластины под действием локальных нагрузок / **А. В. Кудин, Ю. Н. Тамуров, С. В. Чопоров** // *Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки.* – 2014. – № 1. – С. 67-81.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Norenkov I. P., Manichev, V. B.** Osnovy teorii i proektirovaniya SAPR, Moskov: Vysshaja shkola, 1990, 335 p.
2. **Nackman, L. R., Lavin, M. A., Taylor, R. H., Dietrich, W. C., Grossman, D. D.** AML/X: A Programming Language for Design and Manufacturing. *ACM Fall Joint Computer Conference: National Computer Conference*, Dallas, Texas, November 1986 : proceedings. – Dallas: ACM, 1986, 145-159.
3. **Rossignac, J. R.** Constraints in Constructive Solid Geometry. *Interactive 3D Graphics*, 1986, 93-110.
4. **Paoluzzi, A.** Geometric programming for computer aided design. Chichester: Wiley, 2003, 776 p.
5. GRUMMP – Generation and Refinement of Unstructured, Mixed-Element Meshes in Parallel, [Web]: <http://tetra.mech.ubc.ca/GRUMMP>.
6. **Croft, H. T., Falconer, K. J., Guy, R. K.** Unsolved Problems in Geometry. London: Springer-Verlag, 1991, 220 p.
7. **Pasko, A., Adzhiev, V.** Function-Based Shape Modeling: Mathematical Framework and Specialized Language. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, 2930, 132-160.
8. **Japheth, B. R., Ogheneovo, E. E.** Supporting engineering design modeling by domain specific modeling language. *American Journal of Software Engineering and Applications*, 2013, 2(3), 86-91.
9. **DeVito, Z., Joubert, N., Palacios, F., Oakley, S., Medina, M., Barrientos, M., Elsen, E., Ham, F., Aiken, A., Duraisamy, K., Darve, E., Alonso, J., Hanrahan, P.** Liszt: A Domain Specific Language for Building Portable. *High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, 2011, 1-12.

10. **Janssens B., Bányai, T., Limam, K., Bosschaerts, W.** Finite Element Assembly Using an Embedded Domain, *Scientific Programming*, 2015, **2015**, 1-22.
11. **Prud'Homme, C., Chabannes, V., Doyeux, V., Ismail, M., Samake, A., Pena, G., Daversin, C., Trophime, C.** Advances in Feel++: a domain specific embedded language in C++ for partial differential equations. *Eccomas'12 : European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, Vienna, Austria: proceedings. – Vienna: HAL, 2012, 21 p.
12. **Gomenjuk, S. I.** Vychislitel'nyj kompleks dlja avtomatizacii proektirovaniya slozhnyh inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. *Vestn. Herson. gos. tehn. un-ta*, 2004, **1**, 339-342.
13. **Gomenjuk, S. I., Muhin, V. V., Morozov, D. N.** Instrumental'nyj podhod k postroeniju universal'noj SAPR v mashinostroenii i stroitel'stve FORTU-FEM. *Vestn. Herson. nac. tehn. un-ta*, 2005, **2**, 107-113.
14. Standard ECMA-262. ECMAScript Language Specification, 2009, 252 p. [Web] <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-262.pdf>
15. **Choporov, S. V., Gomenjuk, S. I.** Problemno-orientirovan-nyj jazyk geometricheskogo modelirovaniya na baze teorii R-funkcij. *Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkiv's'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovij prac'. Tematičnij vipusk: Informatika i modeljuvannja.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2011, **17**, 181-189.
16. **Choporov, S. V.** Problemno-orientirovana mova dlja modeljuvannja heometryčnykh ob'yektiv pry funktsional'nomu pidkhodi. *Vestnyk Khersonskoho natsional'noho tekhnicheskoho unyversyteta*, 2014, **3(50)**, 532-539.
17. **Reddy, J. N.** Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells Theory and Analysis. Florida: CRC Press LLC, 2004, 854 p.
18. **Birman, V., Bert, Ch. W.** On the Choice of Shear Correction Factor in Sandwich Structures. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 2002, **4**, 83-95.
19. **Kudin, A. V., Tamurov, Ju. N., Choporov, S. V.** Analiticheskij i chislennyj analiz izgiba krugloj trehslojnoj plastiny pod dejstviem lokal'nyh nagruzok. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh statei. Fyzyko-matematyčnij nauky*, 2014, **1**, 67-81.

Сведения об авторах (About authors)

Чопоров Сергей Викторович – кандидат технических наук, Запорожский национальный университет, доцент кафедры математического моделирования; г. Запорожье, Украина; e-mail: s.choporoff@znu.edu.ua.

Sergey Choporove – Candidate of Technical Sciences (Ph. D. in Engineering), Associate Professor, Department of Mathematical Modelling, Zaporizhzhya National University, Zhukovsky str., 66, Zaporizhzhya, Ukraine, 69600, Ukraine; e-mail: s.choporoff@znu.edu.ua.

Гоменюк Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, декан математического факультета, Запорожский национальный университет, Запорожье; e-mail: serega@znu.edu.ua.

Sergey Gomenyuk – Doctor of Technical Sciences (D. Sc. in Engineering), Professor, Dean of mathematical faculty, Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine; e-mail: serega@znu.edu.ua.

Аль-Атамнех Белаль Ганим Мохаммад – аспирант кафедры математического моделирования, Запорожский национальный университет, Запорожье; e-mail: kmm@znu.edu.ua.

Belal Al-Athamneh – postgraduate, Department of Mathematical Modelling, Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine; e-mail: kmm@znu.edu.ua.

Аль-Омари Мохаммад Атеф Вади – аспирант кафедры математического моделирования, Запорожский национальный университет, Запорожье; e-mail: kmm@znu.edu.ua.

Mohammad Al-Omari – postgraduate, Department of Mathematical Modelling, Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine; e-mail: kmm@znu.edu.ua.

Алатамнех Хамзе Халед – аспирант кафедры математического моделирования, Запорожский национальный университет, Запорожье; e-mail: kmm@znu.edu.ua.

Hamze Al-Athamneh – postgraduate, Department of Mathematical Modelling, Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine; e-mail: kmm@znu.edu.ua.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чопоров, С. В. Формализация моделей многослойных тонкостенных конструкций в САПР / **С. В. Чопоров, С. И. Гоменюк, Б. Г. М. Аль-Атамнех, М. А. В. Аль-Омари, Х. Х. Алатамнех** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 99 - 106. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Choporov, S., Gomenyuk, S., Al-Athamneh, B., Al-Omari, M., Al-Athamneh, H. Layered thin plates formalization in CAE systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 99 - 106, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чопоров, С. В. Формалізація моделей багатошарових тонкостінних конструкцій у САПР / **С. В. Чопоров, С. І. Гоменюк, Б. Г. М. Аль-Атамнех, М. А. В. Аль-Омарі, Х. Х. Алатамнех** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 99 - 106. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ В роботі розглянута проблема формалізації завдань дослідження напружено-деформованого стану багатошарових тонкостінних конструкцій. Запропоновано відповідну проблемно-орієнтовану мову для опису тонких багатошарових пластин та їх дослідження з використанням методом скінченних елементів у системах автоматизованого проектування. В основі проблемно-орієнтованої мови покладено стандарт ECMA-262, що дозволяє використовувати відносно простий у вивченні синтаксис та спрощує опис складних моделей.

Ключові слова: багатошарові конструкції, проблемно-орієнтована мова, метод скінченних елементів, САПР, ECMA-262

Поступила (received) 15.12.2015

УДК 661.872

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ФЕРРАТОВ(VI) ИЗ СУЛЬФАТА ЖЕЛЕЗА(II)

Д. А. ГОЛОВКО^{1*}, И. Д. ГОЛОВКО²

¹Кафедра Технологий неорганических веществ и экологии, ГВУЗ "УГХТУ", Днепрпетровск, УКРАИНА

²Кафедра Аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, ГВУЗ "УГХТУ", Днепрпетровск, УКРАИНА

*e-mail: golovkod@mail.ru

АННОТАЦИЯ Исследованы особенности получения ферратов(VI) щелочных и щелочноземельных металлов из сульфата железа(II) гипохлоритным способом. Изучено влияние некоторых факторов (концентраций OH^- и ClO^- -ионов, температуры, мольного соотношения $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe(II)}]$) на выход целевого продукта. Установлено, что с ростом температуры выход ферратов(VI) уменьшается, поэтому синтез рекомендовано проводить в области низких температур. Выявлено, что степень превращения солей Fe(II) в Fe(VI) растет в ряду $\text{FeSO}_4 - \text{FeCl}_2 - \text{Fe}(\text{NO}_3)_2$. Установлено, что часть железа(II) переходит в магнетит. Показано, что при получении твердых K_2FeO_4 , CaFeO_4 и BaFeO_4 они загрязняются анионами SO_4^{2-} . Предложены технологические решения для увеличения эффективности процесса синтеза и снижения содержания примесей в целевом продукте.

Ключевые слова: синтез ферратов(VI), сульфат железа(II), гипохлоритный метод, ферраты калия и бария.

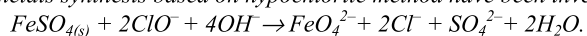
PECULIARITIES OF FERRATES(VI) SYNTHESIS FROM FERROUS SULFATE

D. GOVLOVKO^{1*}, I. GOLOVKO²

Department of Inorganic Technology Department, USUCT, Dnepropetrovsk, UKRAINE

Department of Analytical Chemistry and Chemical Technology of food additives and cosmetics, USUCT, Dnepropetrovsk, UKRAINE

ABSTRACT High cost of ferrates(VI) – new promising oxidants – stimulates enhancement of Fe(VI) derivatives obtaining technology based on usage of available cheap raw materials. In present paper peculiarities of ferrates(VI) of alkaline and alkaline-earth metals synthesis based on hypochlorite method have been investigated:



This reaction should be quantitative based on thermodynamic analysis. Nevertheless it was found during carried out experiments that yield of Fe(VI) compounds less than 100%. Influence of operating parameters (hydroxide and hypochlorite concentrations, temperature, molar ratio $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe(II)}]$) on yield of product has been investigated. It was found out than generation of ferrate decreases with increase of temperature so it is advisable to carry out synthesis in low temperature field (0-5 °C). It is necessary at least twice greater excess of oxidant comparing to stoichiometry to achieve the completeness of the conversion raw material to wanted product. It was found that degree of conversion ferrous salts to ferrates during hypochlorite oxidation increases in row ferrous sulfate - ferrous chloride - ferrous nitrate. It was stated by experiment that magnetite formation occurs (no more 7% of total Fe) during ferrate synthesis from $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ by hypochlorite way. It was demonstrated solid ferrates (K_2FeO_4 , CaFeO_4 и BaFeO_4) have been wasted by sulfate anions during synthesis, lowest (<4%) content of it ones has been fix in potassium ferrate, highest (~18%) – in barium salt. New technological decisions for synthesis efficiency improvements and decreasing impurities content (mainly sulfates) have been proposed.

Keywords: ferrate(VI) synthesis, ferrous sulfate, hypochlorite method, potassium and sodium ferrates

Введение

Ферраты(VI) – это уникальный класс новых перспективных окислителей с широким спектром применения для очистки воды и воздуха, органического синтеза, производства источников тока и др. [1 – 4]. Однако все еще высокая себестоимость ферратов, сдерживающая их широкомасштабные выпуск и применение, стимулируют совершенствование технологий получения производных Fe(VI), основанных на доступном и дешевом сырье. Последним критериям вполне удовлетворяет сульфат железа (II), который в больших объемах производится из отходов

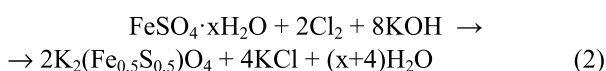
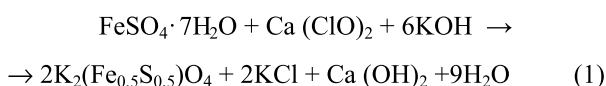
металлообрабатывающих заводов и предприятий сернокислотной переработки ильменитовых руд. В литературе описано несколько примеров синтеза ферратов на его основе, в частности: окисление твердого $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ газообразным хлором [5], электрохимический синтез в растворе сульфата железа на модифицированном алмазном электроде [6], твердофазная реакция кристаллогидрата с гипохлоритом кальция [7], окисление анионом гипохлорита в концентрированном щелочном растворе [3, 8]. Важно отметить, что гипохлорит также является достаточно дешевым реагентом и в силу ряда причин ему можно отдать предпочтение по сравнению с такими распространенными для синтеза

ферратов окислителями, как хлор, озон или пероксид натрия.

Изучение условий синтеза ферратов, основанных на применении доступных, недорогих и безопасных веществ, широко выпускаемых отечественной промышленностью, стали предметом данного исследования.

Анализ литературных данных, постановка цели и задач исследования

Поскольку ферраты относительно стабильны в твердом состоянии или в щелочной среде с высоким содержанием OH^- ионов, то для промышленного применения синтез, основанный на водном растворе сульфата железа(II) [6], не пригоден. Известно [5, 7], что при получении производных Fe(VI) в твердой фазе с применением сульфатов железа, образуются не чистые ферраты, а т.н. смешанные сульфатоферраты:



Однако, для классического гипохлоритного метода в концентрированных щелочных растворах такие данные отсутствуют вовсе. Так, в [8] сообщается только о высоком выходе ферратов, но нет информации об их чистоте. Более того, нет даже сведений о возможном загрязнении синтезированных ферратов сульфатами, а последнее можно было бы предположить, принимая во внимание высокую концентрацию сульфатов в растворе и учитывая изоструктурные свойства анионов FeO_4^{2-} и SO_4^{2-} . Поэтому представляло интерес установить количественные характеристики возможного загрязнения кристаллических ферратов щелочных и щелочноземельных металлов сульфатами.

Кроме сульфата железа (II), для синтеза ферратов, также широко используются и соединения Fe(III) [1, 3]. Однако, до настоящего времени отсутствуют данные для солей Fe(II) и Fe(III), полученные в сравнимых условиях, на основании которых можно было бы судить о целесообразности применения тех или иных веществ, анализируя, например, степень превращения их в ферраты, качество целевого продукта, состав отходов и т.п. Кроме того, причины относительно невысоких выходов Fe(VI) и существенные различия в порядке этих величин для гипохлоритного метода синтеза, полученные разными авторами, до сих пор не установлены.

Множество нерешенных вопросов, связанных со спецификой синтеза ферратов гипохлоритным

методом, обуславливают продолжение исследований в данном направлении.

Целью данной работы было изучение особенностей синтеза ферратов щелочных и щелочноземельных металлов из сульфата железа(II) гипохлоритным методом. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние различных факторов на процесс окисления сульфата железа анионом ClO^- ,
- сравнить выход Fe(VI) для некоторых соединений Fe(II) и Fe(III)
- разработать практические рекомендации для синтеза ферратов щелочных и щелочноземельных металлов на основе сульфата железа(II).

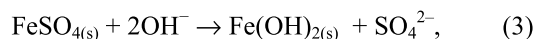
Материалы и методы для получения и исследования ферратов

Ферраты(VI) синтезировали из реактивов FeSO_4 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, BaCl_2 , CaCl_2 , KOH , NaOH квалификации х.ч. гипохлоритным способом по методикам, описанным в [1, 3].

Концентрацию анионов FeO_4^{2-} в растворе устанавливали спектрофотометрически при длине волны $\lambda=505$ нм. Методика определения концентрации аниона гипохлорита принципиально не отличалась от приведенной в [9]. Содержание сульфатов в синтезированных ферратах определяли гравиметрическим способом.

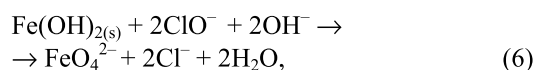
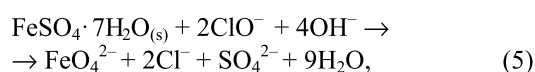
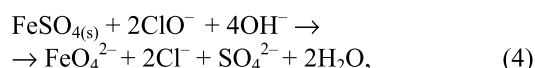
Результаты исследований по изучению синтеза ферратов(VI) гипохлоритным способом

При внесении навески твердого сульфата железа в водный раствор, содержащий кроме аниона гипохлорита значительное количество анионов OH^- (14–16 М), следует учитывать протекание химической реакции, в результате которой образуется гидроксид железа(II):



который далее взаимодействует с ClO^- .

Теоретическое значение степени превращения безводного сульфата Fe(II), его кристаллогидрата и гидроксида железа(II) в анион FeO_4^{2-} при окислении их гипохлорит-анионом в ходе реакций:



оценивали по значению стандартной константы равновесия, которую рассчитывали по уравнению:

$$K^0 = \exp(-\Delta G^0_{\text{T}}/RT) \quad (7)$$

с использованием известных значений изменения энергии Гиббса:

$$\Delta G^0_{298} = \sum n_i \Delta G^0_{298, \text{f прод.}} - \sum n_i \Delta G^0_{298, \text{f исх.}} \quad (8)$$

Значения термодинамических величин, вычисленных по (7, 8) приведены в табл. 1

Таблица 1 – Термодинамические характеристики реакций образования ферратов(VI)

Термодинамические характеристики	№ реакции		
	(4)	(5)	(6)
ΔG^0_{298} , кДж	-279,75	-248,9	-192,06
$\ln K^0$	112,9	100,46	77,5

Опытным путем зафиксированы существенно меньшие значения выхода целевого продукта, что согласуется с данными, ранее полученными в [3, 8].

Для оптимизации процесса синтеза было изучено влияние некоторых факторов, в частности концентраций ионов OH^- и ClO^- , температуры, мольного соотношения $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe(II)}]$ и времени синтеза. Результаты этих исследований представлены на рис. 1 и рис. 2.

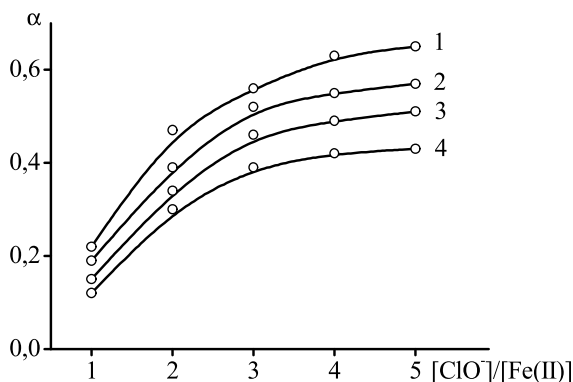


Рис. 1 – Зависимость степени превращения α $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в Fe(VI) от соотношения концентраций реагентов при различных температурах: 1–0°С, 2–10°С, 3–20°С, 4–30°С. 14,2 М NaOH.

Следует заметить, что независимо от условий эксперимента некоторая часть железа так и не переходит в раствор в виде аниона FeO_4^{2-} , а сосредоточена в мелкодисперсном буром осадке, который ускоряет разложение как Fe(VI) , так и ClO^- .

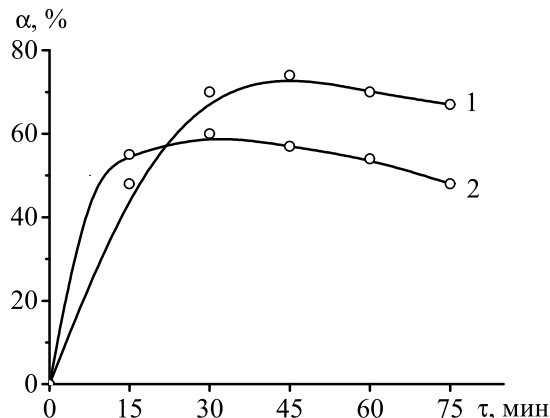


Рис. 2 – Зависимость степени превращения α , % $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в Fe(VI) от времени синтеза в 14,2 М NaOH при двух температурах: 1–0°С, 2–20°С.

Полученный осадок с помощью магнитной сепарации был разделен на две части. Одна из них – рентгеноаморфная и с учетом данных, изложенных в [10], предположительно состоит из основных солей и оксигидроксидов железа(III). А вторая – черного цвета, тяжелая фракция, обладающая ярко выраженными ферромагнитными свойствами, может быть идентифицирована, как магнетит Fe_3O_4 , что подтверждено с помощью рентгенофазового анализа.

Представляло интерес сравнить выход Fe(VI) при использовании наиболее востребованных для синтеза ферратов гипохлоритным способом солей железа (сульфатов, хлоридов и нитратов). В табл. 2 приведены значения выходов ферратов и магнетита, которые получены при окислении одинакового количества молей некоторых солей двукратным избытком ClO^- в 14,2 М NaOH.

Таблица 2 – Выход ферратов и магнетита при окислении некоторых солей Fe(II) анионом ClO^-

Соль Fe(II)	FeSO_4	FeCl_2	$\text{Fe(NO}_3)_2$
$\alpha(\text{Fe(VI)})$, %	62	66	73
$\alpha(\text{Fe}_3\text{O}_4)$, %	6,9	5,2	3,4

Естественно, что образование магнетита является особенностью только синтезов, основанных на соединениях железа(II) и не наблюдается при использовании солей Fe(III) . Следует добавить, что выход Fe(VI) в последнем случае всегда выше: например, при использовании сульфатов он больше на 5–9 % для $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, чем для $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в зависимости от условий синтеза.

Как было упомянуто выше, в процессе синтеза ферратов из сульфата железа(II) в качестве промежуточных продуктов образуются такие соединения, как гидроксид железа(II), магнетит и оксигидроксид железа(III), поэтому изучено их окисление анионом ClO^- в изолированных условиях (табл. 3).

Таблица 3 – Степень превращения некоторых соединений Fe в Fe(VI)

Вещество	Fe(OH) ₂	Fe ₃ O ₄	FeO(OH)
α	0,48	0,01	0,56

При анализе синтезированных на основе сульфата железа(II) твердых ферратов в них было зафиксировано повышенное содержание сульфат-аниона (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание SO₄²⁻ в твердых ферратах

Вещество	K ₂ FeO ₄	CaFeO ₄	BaFeO ₄
[SO ₄ ²⁻], %	3,7	9,2	17,8

Очевидно, что включение сульфатов в кристаллические ферраты обусловлено наличием анионов SO₄²⁻ в исходном растворе, источником которых служил сульфат железа.

Обсуждение результатов

Очевидно, что большие значения константы равновесия (табл. 1) должны свидетельствовать о количественном протекании предполагаемых реакций (4)–(6). Однако, как видно из рис. 1 и рис. 2, значения выхода Fe(VI) не достигают и 80% даже в лучших опытах. Исходя из данных приведенных выше, можно предположить, что это является следствием образования промежуточных нерастворимых соединений, переход которых в ферраты затруднен. Одним из таких соединений, которое удалось идентифицировать, является магнетит. Несмотря на то, что факт образования магнетита в ходе химических синтезов ферратов ранее не упоминался, появление Fe₃O₄ в системе можно объяснить если принять во внимание последовательный механизм окисления железа(II), например по схеме: FeSO₄·7H₂O → Fe(OH)₂ → Fe₃O₄ → FeO(OH) → FeO₄²⁻. Подобные превращения имеют место при электрохимических синтезах ферратов [1]. Кроме того, образование магнетита широко известно при осаждении его аммиаком или щелочами из растворов, одновременно содержащих соли Fe(II) и Fe(III). В [10] приводятся также сведения об образовании примесей магнетита при получении различных модификаций FeO(OH) из производных Fe(II) путем окисления последних кислородом или пероксидом водорода.

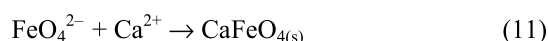
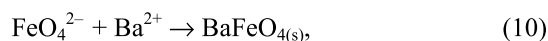
В результате экспериментов установлено (табл. 3), что в изученных условиях магнетит практически не переходит в ферраты, а выход Fe(VI) при окислении гипохлоритом увеличивается в ряду Fe₃O₄ – Fe(OH)₂ – FeO(OH). Кроме того, было зафиксировано, что магнетит и другие компоненты осадка, образующегося в системе при внесении сульфата железа(II) в гипохлоритный раствор с высоким содержанием OH⁻ ионов (14–16 М), способствуют ускорению разложения ферратов и снижению концентрации ClO⁻. При сравнении эффективности процесса окисления для различных

солей железа(II) (табл. 2) было выявлено, что степень превращения солей Fe(II) в Fe(VI) растет в ряду FeSO₄ – FeCl₂ – Fe(NO₃)₂. Причем в такой же последовательности снижается количество образовавшегося магнетита. Таким образом прослеживается обратно пропорциональная зависимость между количеством магнетита и выходом ферратов. Однако было бы неверно связывать значения степени превращения <100% только с накоплением Fe₃O₄ в системе, поскольку и для соединений Fe(III) выход ферратов, хотя и выше, но также не достигает 100%.

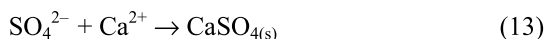
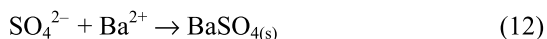
Изучение влияния различных факторов на выход FeO₄²⁻ (рис. 1 и рис. 2) позволили установить оптимальные условия для синтеза ферратов(VI) из сульфата железа(II) гипохлоритным способом. Показано, что с ростом температуры выход ферратов(VI) уменьшается, поэтому синтез рекомендовано проводить в области низких температур (0–5° С). Для повышения полноты превращения исходного сырья в целевой продукт необходим как минимум двукратный избыток окислителя по сравнению со стехиометрическим количеством. В классических химических синтезах [3] рекомендуется выдерживать навески соответствующих солей в гипохлоритном растворе в течение 1–2 часов. Однако, как следует из рис. 2, этот интервал не является оптимальным в изучаемых условиях – так после 30–45 минут (в зависимости от температуры) наблюдается заметное снижение выхода целевого продукта. Поэтому рекомендуется время контакта железосодержащего сырья с окислителем поддерживать в указанном интервале.

По данным [3], в качестве источника железа предпочтение отдано нитратам перед хлоридами и сульфатами, что объясняется большей их устойчивостью к воздействию анионов FeO₄²⁻. Действительно, при использовании нитратов железа выход продукта максимален (табл. 2), однако, это связано не со стабильностью рассматриваемых анионов (ни один из них не окисляется в условиях эксперимента), а с образующимися осадками основных солей, количество которых минимально при использовании нитратов.

При анализе твердых ферратов, получаемых в результате следующих реакций:



в них выявлено повышенное содержание сульфатов (табл. 4). Следует заметить, что анионы FeO₄²⁻ и SO₄²⁻ присутствуют в системе в соизмеримых количествах, поэтому образование малорастворимых ферратов бария и кальция сопровождается также образованием их сульфатов:



Вероятно, что меньшее количество побочных продуктов в феррате кальция связано с меньшим значением произведения растворимости CaSO_4 по сравнению с BaSO_4 . Небольшое количество примесных сульфатов в феррате калия возможно обусловлено проявлением изоморфных свойств у анионов SO_4^{2-} и FeO_4^{2-} . Для уменьшения негативного влияния сульфатов на качество целевого продукта необходимо ввести в технологический цикл дополнительные стадии перекристаллизации в органических и неорганических растворителях (для K_2FeO_4) и исключить получение ферратов щелочноземельных металлов путем непосредственного взаимодействия реакционной массы с солями бария или кальция.

Важно заметить, что немаловажную роль играет также чистота применяемого сульфата железа(II), который в зависимости от условий получения может быть загрязнен различными солями тяжелых металлов, в частности марганца, хрома, никеля, кобальта и др. [1, 11, 12]. Даже незначительные примеси этих металлов оказывают ощутимое влияние: так, Mn и Cr переходя в раствор в виде MnO_4^{2-} и CrO_4^{2-} , осаждаются вместе с FeO_4^{2-} и снижают устойчивость кристаллических ферратов; напротив, Co и Ni, не загрязняя ни раствор, ни твердые ферраты, уменьшают выход Fe(VI) в процессе синтеза.

Выводы

Экспериментально установлено, что при получении ферратов(VI) из сульфата железа(II) гипохлоритным способом образуется магнетит Fe_3O_4 в количестве не превышающем ~7% от общего Fe.

Выведено, что степень превращения солей Fe(II) в Fe(VI) при окисления гипохлоритом растет в ряду $\text{FeSO}_4 - \text{FeCl}_2 - \text{Fe}(\text{NO}_3)_2$.

Показано, что в процессе синтеза твердых K_2FeO_4 , CaFeO_4 и BaFeO_4 целевые продукты загрязнены анионами SO_4^{2-} . Наименьшее содержание зафиксировано в феррате калия (<4%), а наибольшее в феррате бария (~18%).

Для увеличения выхода ферратов синтез рекомендуется проводить в области низких температур при наличии как минимум двукратного избытка окислителя.

В заключение следует отметить, что сульфат железа(II) по многим характеристикам подходит в качестве доступного сырья для синтеза ферратов(VI) щелочных и щелочноземельных металлов гипохлоритным способом. В дальнейшем актуальными представляются эксперименты, направленные на получение оксогидроксида

железа(III) из $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ для последующей его переработки в ферраты. В перспективе планируется провести полный факторный эксперимент для построения математической модели процесса синтеза соединений Fe(VI).

Благодарности

Авторы статьи признательны инженеру Арлекинову Э.А. за помощь в создании пилотной установки для получения ферратов.

Список литературы:

1. **Sharma, V. K.** Ferrates: Synthesis, Properties, and Applications in Water and Wastewater Treatment / **V. K. Sharma.** – ACS Symposium Series. – 2008. – 524 p.
2. **Yang, X.** Effect of pH on the formation of disinfection byproducts in ferrate(VI) pre-oxidation and subsequent chlorination / **X. Yang, W. Gan, X. Zhang** [et al.] // *Separ. Purif. Tech.* – 2015. – vol.156, part 3. – P. 980-986
3. **Delaude, L.** Novel Oxidizing Reagent Based on Potassium Ferrate(VI) / **L. Delaude, P.A. Laszlo** // *J. Org. Chem.* – 1996. – Vol. 61, № 18. – P. 6360 – 6370
4. **Farmand, M.** Super-iron nanoparticles with facile cathodic charge transfer / **M. Farmand, D. Jiang, B. Wang** [et al.] // *Electrochem. Comm.* – 2011. – vol.13, №9. – P. 909-912.
5. **Kanari, N.** Utilization of a waste from titanium oxide industry for the synthesis of sodium ferrate by gas-solid reactions / **N. Kanari, I. Filippova, F. Diot** [et al.] // *Termochim. Acta.* – 2014. – vol. 575. – P.219-225.
6. **Lee, J.** Electrochemical generation of ferrate in acidic media at boron doped diamond electrodes / **J. Lee, D. Truk, A. Fujishima** [et al.] // *Chem. Commun.* – 2002. – №5. – P. 486-487.
7. **Aubertin, N.** Synthese d'un sulfatoferrate de potassium et son efficacite dans le traitement des eaux / **N. Aubertin, N. Neveux, R. Gerardin** [et al.] // *Rev. Sci. Eau* – 1996. – vol. 1. – P.17-30.
8. **Maghraoui, A.** Effect of degree of ClO⁻ hypochlorite on the wet synthesis of ferrate(VI) / **A. el Maghraoui, A. Zerouale, M. Ijjaali** // *Adv. Mat. Phys. Chem.* – 2015. – vol.5. – P.133-139.
9. **Golovko, D.** Determination of submillimolar concentration of ferrate(VI) in alkaline solutions by amperometric titration / **D. Golovko, V.K. Sharma, O. Pavlova** [et al.] // *Centr. Europ.J. Chem.* – 2011. – vol. 9, №5. – P.808-812.
10. **Чальий, В. П.** Гидроокиси металлов. – К.: Наукова думка. – 1972. – 159 с.
11. **Licht, S.** Toward efficient electrochemical synthesis of Fe(VI) Ferrate and super-iron battery compounds / **S. Licht, R. Tel-Vered, L. Halperin** // *J. Electrochem. Soc.* – 2004. – 151(1). – P. A31-A39.
12. **Головко, Д. А.** Влияние соединений марганца на синтез ферратов(VI) / **Д. А. Головко, И. Д. Головко** // *Технол. аудит и резервы производства.* – 2015. – №3/4 (23). – С. 69-73.

Bibliography (transliterated):

1. **Sharma, V. K.** Ferrates: Synthesis, Properties, and Applications in Water and Wastewater Treatment ACS Symposium Series, 2008, 524 p.

2. Yang, X., Gan, W., Zhang, X. [et al.] Effect of pH on the formation of disinfection byproducts in ferrate(VI) pre-oxidation and subsequent chlorination *Separ. Purif. Tech.*, 2015, **156**(3), 980-986
3. Delaude, L., Laszlo, P. A. Novel Oxidizing Reagent Based on Potassium Ferrate(VI) *J. Org. Chem.*, 1996, **61** (18), 6360 – 6370
4. Farmand, M., Jiang, D., Wang, B. [et al.] Super-iron nanoparticles with facile cathodic charge transfer. *Electrochem. Comm.*, 2011, **13**(9), 909-912.
5. Kanari, N., Filippova, I., Diot, F. [et al.] Utilization of a waste from titanium oxide industry for the synthesis of sodium ferrate by gas-solid reactions *Termochim. Acta.*, 2014, **575**, 219-225.
6. Lee, J., Truk, D., Fujishima A., [et al.] Electrochemical generation of ferrate in acidic media at boron doped diamond electrodes. *Chem. Commun.* 2002, **5**, 486-487.
7. Aubertin, N., Neveux, R., Gerardin, R. [et al.] Synthèse d'un sulfatoferrate de potassium et son efficacité dans le traitement des eaux. *Rev. Sci. Eau*, 1996, **1**, 17-30.
8. el Maghraoui, A., Zerouale, A., Ijjaali, M. Effect of degree of ClO^- hypochlorite on the wet synthesis of ferrate(VI). *Adv. Mat. Phys. Chem.* 2015, **5**, 133-139.
9. Golovko, D., Sharma, V.K., Pavlova O [et al.] Determination of submillimolar concentration of ferrate(VI) in alkaline solutions by amperometric titration. *Centr. Europ. J. Chem.*, 2011, **9**(5), 808-812.
10. Chalyj, V. Гидроокиси металлов. Киев: Naukova dumka. – 1972, 159 p.
11. Licht, S., Tel-Vered, R., Halperin, L. Toward efficient electrochemical synthesis of Fe(VI) Ferrate and super-iron battery compounds *J. Electrochem. Soc.*, 2004, **151**(1), A31-A39.
12. Golovko, D., Golovko I. Vlijanje soedinenij marganca na sintez ferratov(VI) *TARP*, 2015, **3/4**(23), 69-73.

Сведения об авторах (About authors)

Головко Дмитрий Аркадьевич – кандидат химических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение "Украинский химико-технологический университет", доцент кафедры Технологии неорганических веществ, г. Днепропетровск; e-mail: golovkod@mail.ru.

Dmitriy Golovko – Ph. D., Associated Professor, Inorganic Substances Department, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: golovkod@mail.ru.

Головко Игорь Дмитриевич – Государственное высшее учебное заведение "Украинский химико-технологический университет", ассистент кафедры Аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепропетровск; e-mail: e20@ua.fm

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Головко, Д. А. Особенности синтеза ферратов(VI) из сульфата железа(II) / **Д. А. Головко, И. Д. Головко** // *Вестник НТУ "ХПИ", Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2015. – №62 (1171). – С. 107 - 112 – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Golovko, D., Golovko, I. Peculiarities of ferrates(VI) synthesis from ferrous sulfate. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 107 - 112, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Головко, Д. А. Особливості синтезу фератів(VI) із ферум(II) сульфату / **Д. А. Головко, И. Д. Головко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 107-112. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Досліджені особливості отримання фератів(VI) лужних та лужноземельних металів із ферум(II) сульфату гіпохлоритним способом. Вивчено вплив деяких факторів (концентрації OH^- и ClO^- -іонів, температури, мольного співвідношення $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe(II)}]$) на вихід цільового продукту. Встановлено, що із зростанням температури вихід фератів(VI) зменшується, тому рекомендовано проводити синтез у низькотемпературній області. Виявлено, що ступінь перетворення солей Fe(II) у Fe(VI) зростає у ряду $\text{FeSO}_4 - \text{FeCl}_2 - \text{Fe(NO}_3)_2$. Встановлено, що частина ферум(II) перетворюється на магнетит. Показано, що при отриманні твердих K_2FeO_4 , CaFeO_4 і BaFeO_4 вони забруднюються аніонами SO_4^{2-} . Запропоновано технологічні рішення для підвищення ефективності процесу синтезу та зниження вмісту домішок у цільовому продукті.

Ключові слова: синтез фератів(VI), ферум(II) сульфат, гіпохлоритний метод, калій та барій ферати.

Поступила (received) 08.12.2015

УДК 663.2:634.84

СИСТЕМА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ВИНОГРАДНИХ ВИН

Е. Ж. ІУКУРІДЗЕ^{1*}, В. М. КУЧЕРЕНКО², О. Б. ТКАЧЕНКО³, Т. С. ЛОЗОВСЬКА⁴

¹ ТОВ «Промислово-торгівельна компанія «Шабо», Одеса, УКРАЇНА

² Корпорація «Укрвінпром», НЦ «Український інститут винограду та вина», Київ, УКРАЇНА

³ Кафедра безпеки, експертизи та товарознавства, ОНАХТ, Одеса, УКРАЇНА

⁴ Кафедра технології вина та енології, ОНАХТ, Одеса, УКРАЇНА

*email: office@shabo.ua

АННОТАЦІЯ Представлено аналіз основних систем контролю якості у виробництві столових виноградних вин, переваги та недоліки в реальних умовах виробництва, інформативність показників в аспекті прийняття технологічних рішень. Обговорено результати комплексної оцінки вин, вироблених з використанням різних систем внутрішнього контролю та управління якістю. Встановлено, що введення додаткових показників контролю не впливає на рівень органолептичної оцінки вина і значення основних показників якості, визначених існуючою нормативною документацією.

Ключові слова: методи аналізу, якість, виноградне вино, виробництво, система показників

SYSTEM PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF ANALYSIS AS A MANAGEMENT TOOL QUALITY DURING PRODUCTION WINES

E. IUKURIDZE^{1*}, V. KUCHERENKO², O. TKACHENKO³, T. LOZOVSKA⁴

¹ LLC «Industrial-trading company» Shabo», Odessa, UKRAINE

² Corporation «Ukrwineprom» SC «Ukrainian Institute of grapes and wine», Kyiv, UKRAINE

³ Department of Security and commodity expertise, ONAFT, Odessa, UKRAINE

⁴ Department of Technology wine and oenology, ONAFT, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Quality wine – is the extent to wine organoleptic perception of the physical and chemical parameters that characterize a particular type of wine. Analysis of existing monitoring systems in the world production of wines of the highest category of quality showed that the responsibility for the implementation process fully falls upon the manufacturer, which is the main quality of the finished product, and consequently the reputation of the manufacturer. This approach is new for our country. The manufacturer declares that the high quality of its products should be able to develop a system of internal controls in accordance with terroir characteristics that affect the quality of the finished product, or use an existing control system under the current legislation. The appearance in the legislative field of Ukraine of a new category of wines - controlled items originally set scientists on the appropriateness division control. The system provides for the introduction of new control parameters for the industry, and therefore it was necessary to conduct a comprehensive analysis on key criteria in terms of rationale and effectiveness of such differentiation. Each of the indicators should give more information technologist for a decision at some stage of the process. As a result of the analysis of physical-chemical parameters and tasting was found that the impact of the two presented internal control systems of technological process in the production of wines of controlled origin names of the quality of the finished product can be assessed as negligible. Thus, the effectiveness of the proposed control system can be considered sufficient to provide the claimed level of product quality. Proposed to amend the existing technological instructions changes to exclude some indicators do not provide prompt and informative production control system controlled wine category names by origin.

Keywords: methods of analysis, quality, grape, wine production, a system of indicators

Вступ

Аналіз світової практики виноробства в аспекті оперативного менеджменту якості показує, що система виробничого контролю якості складалася протягом останніх 150 років, зазнаючи періоди ускладнення і посилення контролю і сьогодні демонструє зворотну тенденцію. Це несподіване відкриття надихнуло нас на дослідження сучасного стану питання як інструменту, що виявляє вплив на менеджмент якості виноградних вин в аспекті диференціації показника.

Якість вина – це ступінь відповідності вина органолептичному сприйняттю і фізико-хімічним показникам, які характеризують конкретний тип (марку) вина. Оцінюється в балах за прийнятою у виноробстві системою [1].

Історія розвитку технохімічного та мікробіологічного контролю процесу виробництва виноградних вин невід'ємно пов'язана зі специфікою розвитку самого виробництва в цілому. У збірнику-каталозі 1913-1914 року перераховані наступні методи аналізу вина як необхідні для контролю їх якості: об'ємна частка етилового спирту, концентрація титрованих і летких кислот, сірчистої кислоти, сухого

© Е. Ж. ІУКУРІДЗЕ, В. М. КУЧЕРЕНКО, О. Б. ТКАЧЕНКО, Т. С. ЛОЗОВСЬКА, 2015

екстракту, таніну та цукрів у суслі [2, 13]. Радянський період розвитку галузі відбувався приблизно однаково у всіх республіках, де вирощували технічні сорти винограду, і полягав в поступовому укрупненні виробництва і його виведенні з системи простеження якості в системі «виноградник - готова продукція», з'явився поділ на «первинне» і «вторинне» виноробство, який визначив необхідність розвинутої системи контролю якості на всіх етапах виробництва [3]. Так, наприклад, Радгосп-завод Шабо в радянський період, потужність якого з переробки винограду становила 10,2 тис. тонн в сезон виробляв 700-800 тис. дал виноматеріалів і був великим постачальником шампанських виноматеріалів для багатьох заводів шампанських вин міст-мільйонників. Транспортування здійснювалося на відстань в тисячі кілометрів в основному залізничним транспортом і займало значний час [4, 11]. У цей період перелік показників для контролю істотно розширюється, з'являються метали, в т.ч. залізо, кисень і окислювально-відновний потенціал (Eh), кисневе число, водневий показник (pH), компоненти фенольного комплексу винограду і т.д. Окремо розглядається контроль якості виноматеріалів, що надходять на заводи вторинного виноробства за наступними додатковими показниками – водневий показник (pH), титровані кислоти, вміст металів, кальцій, винна, яблучна і молочна кислоти, азот аміний, азот аміаку, альдегіди, оцтово-етиловий ефір.

Регламент Комісії ЄС від 14.07.2009 р. № 607/2009 містить детальні положення стосовно захищених позначень місця походження продукції та географічних вказівок, традиційних термінів, маркування при постачанні на ринок окремої продукції виноробної галузі, зокрема, статтею 26 регламентовано аналітичні та органолептичні випробування, які цілком відповідають вимогам нормативної документації України.

Крім цього, статтею 41 Регламенту Комісії ЄС від 27.06.2008 р. про встановлення докладних положень для імплементації Регламенту Ради (ЄС) № 479/2008 про загальну організацію ринку вина щодо програм підтримки, торгівлі з третіми країнами, виробничого потенціалу та про заходи контролю в секторі вина, визначено перелік аналізів, які вносяться до протоколу аналізів. Протокол аналізів містить таку інформацію: у випадку вин та виноградного сусла в процесі ферментації – сукупний вміст алкоголю від об'єму, фактичний вміст алкоголю від об'єму; у випадку виноградного сусла та виноградного соку – щільність; у випадку вин, виноградного сусла та виноградного соку – сукупний сухий залишок, сукупна кислотність, вміст легких кислот, вміст лимонної кислоти, загальний вміст двоокису сірки.

Зважаючи на зазначене, перелічені показники є обов'язковими в країнах ЄС, а в рамках наукової діяльності їх коло може бути розширене.

Мета роботи

Сучасна вітчизняна система технохімічного і мікробіологічного контролю виробництва виноградних вин сформувалася в результаті багаторічних наукових досліджень фахівців відділу хімії і біохімії НІВіВ «Магарач», практичним результатом яких є Збірник «Методи технохімічного і мікробіологічного контролю у виноробстві», що витримав вже кілька перевидань [5] і який ліг в основу чинного зводу галузевих нормативів, в т.ч. контролю якості виробництва виноградних вин [6, 10].

Необхідність постійного удосконалення організації і структури технохімічного контролю зумовлюється, з одного боку, переходом на інтенсивні способи обробки та переробки винограду, зміною технології, і, з іншого боку, розширенням наших знань про закономірності біохімічних і фізико-хімічних процесів, що протікають при виробництві вин, і їх взаємозв'язку з якістю готової продукції [5, 12]. Умовами ефективності в реалізації контролю є: доступність методів в умовах виробничої лабораторії, їх максимальна простота і експресність; наявність бази даних значень основних контрольованих показників для оперативного прийняття технологічного рішення.

Виклад основного матеріалу

Донедавна схема внутрішнього виробничого контролю була єдиною для всіх категорій якості виноградних вин, в структурі якої розглядалися об'єкти, місце і періодичність контролю, параметри і їх граничні значення, методи і засоби контролю [6-8, 14]. Поява в законодавчому полі України нової категорії вин – контрольованих найменувань за походженням (далі КНП) поставило перед вченими питання про доцільність поділу контролю, в результаті чого була розроблена нова система контролю виробництва вин КНП, структура якої представлена на рис. 1.

Обговорення результатів

Розроблена система передбачає введення нових для галузі параметрів контролю, у зв'язку з чим виникла необхідність проведення її комплексного аналізу за основними критеріями в аспекті обґрунтування доцільності та ефективності такої диференціації. Кожен з показників повинен давати технологу додаткову інформацію для прийняття рішення на певному етапі технологічного процесу.

Результати аналізу вин «Каберне Шабо» і «Шардоне Шабо» у процесі їх виробництва за 2007-2011 р.р. за розробленою системою контролю представлені в табл. 1.

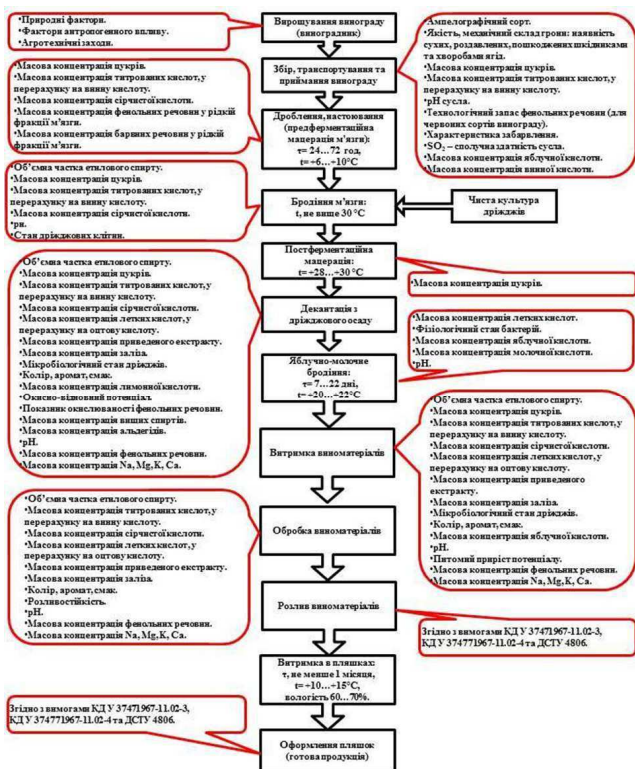


Рис. 1 – Система контролю виробництва вин КНП

Таблиця 1 – Результати фізико-хімічних досліджень виноматеріалів для вин категорії КНП, виготовлених ТОВ «ПТК Шабо» за 2007-2011 р.р.

Контрольований параметр	Методи та засоби контролю	«Каберне Шабо»	«Шардоне Шабо»
Масова концентрація цукрів, г/дм ³	ДСТУ 7669:2014 ДСТУ 412.5	2,0-3,0	2,0-3,0
Об'ємна частка етилового спирту, %	ДСТУ 4112.3, ДСТУ ГОСТ 13191	12,0-14,0 13,0	12,0-14,0 13,0
Масова концентрація титрованих кислот, г/дм ³	ДСТУ ГОСТ 14252	5,0-7,0	5,0-7,0
Масова концентрація барвних речовин у рідкій фракції м'язги, мг/дм ³	ДСТУ 4112.40	100,0-400,0 250,0	-
Масова концентрація фенольних речовин, мг/дм ³	ДСТУ 4112.41, КД 10.04.05.31.15	1500,0-2500,0 2000,0	-
Характеристика забарвлення, у.о.	ДСТУ 4112.40	G=10,4-51,4 T=0,71-1,35 I=0,5-1,0	-
Масова концентрація сірчистої кислоти, мг/дм ³	ДСТУ 4112.25, ДСТУ ГОСТ 14351	200,0 (20,0)	200,0 (20,0)
Масова концентрація заліза, мг/кг	ДСТУ 4112.30	3,0-15,0	3,0-15,0
Масова концентрація	ДСТУ 4112.26	Na:4-23 13,5	Na:4-20 12

металів (Na, Mg, K, Ca), мг/дм ³	ДСТУ 4112.28 ДСТУ 4112.27 ДСТУ 4112.29	Mg:118-168 143 K:600-800 700 Ca: 37-57 47	Mg:64-106 85 K:330-820 575 Ca: 45-105 75
Масова концентрація альдегідів, мг/дм ³	ДСТУ ГОСТ 12280	50,0-150,0	45,0-70,0
Масова концентрація винної кислоти, г/дм ³	ДСТУ 4112.16	1,5-5,0	1,5-3,0
Масова концентрація вищих спиртів, мг/дм ³	ДСТУ ГОСТ 14138	300,0-420,0	150,0-280,0
Масова концентрація летких кислот, г/дм ³	ДСТУ 4112.14	0,6-0,9	0,6-0,8
Масова концентрація лимонної кислоти, г/дм ³	ДСТУ 4112.17	0-0,8	0-0,8
Масова концентрація молочної кислоти, г/дм ³	ДСТУ 4112.18	0,5-3,5	-
Масова концентрація яблучної кислоти, г/дм ³	ДСТУ 4112.21	0-5,0	0-5,0
Масова концентрація приведенного екстракту, г/дм ³	ДСТУ 7278	17,0-22,0	15,0-20,0
Окисно-відновний потенціал, мВ	КД 00334830.014	194-272 233	180-260 220
Питомий приріст потенціалу, мВ/см ³		15,9-29,5 22,7	43,0-74,0 58,5
Показник окиснюваності фенольних речовин, мВ*дм ³ /мг	КД 10.04.05.31.15	0,035-0,07	-
pH	ДСТУ 4112.24	2,9-3,5 3,2	2,9-3,5 3,2

Наступні 3 сезони виноробства 2012 – 2015 р.р. контроль якості в процесі виробництва вина продовжували вести відповідно до розробленої системи. Значення додаткових показників контролю стабільно залишалися в визначених раніше діапазонах.

Таким чином, значення додаткових показників контролю якості в процесі виробництва вин КНП стабільні і не виходять за рамки визначених у ході проведених досліджень діапазонів. Стабільність системи показників може свідчити про стабільність контрольованого місця походження, проте не несе додаткової інформації оперативного характеру в реалізації технологічного процесу. Крім того, визначення додаткових показників (порахувати, наприклад 5-10 показників на кожній технологічній операції) істотно знижує загальну оперативність

виробничого контролю та прийняття рішення для визначення режимів і параметрів наступної технологічної операції.

У 2013 році вперше в Україні у виробництві виноградних вин компанії Шабо впроваджена європейська система «Traçabilité», завдання якої забезпечити простежуваність якості продукту в процесі його виробництва. Даний факт послугував підставою для розробки схеми експерименту, що передбачав проведення виробничого процесу в двох варіантах операційного контролю – існуючого для категорії вин КНП та експериментального. При експериментальному варіанті контролю було виключено наступні показники: SO₂-сполучна здатність суслу, масова концентрація яблучної та винної кислоти (у винограді); масова концентрація яблучної кислоти (у м'яззі під час настоювання); об'ємна частка етилового спирту, масова концентрація цукрів, титрованих кислот, сірчистої кислоти, яблучної кислоти (під час бродиння); масова концентрація приведенного екстракту, заліза, вищих спиртів, Na, Mg, K, Ca, окисно-відновний потенціал, питомий приріст потенціалу (у виноматеріалах до обробки); масова концентрація цукру, приведенного екстракту, заліза, альдегідів, Na, Mg, K, Ca, питомий приріст потенціалу (виноматеріали під час обробки); масова концентрація приведенного екстракту, заліза, Na, Mg, K, Ca (виноматеріали після обробки) у зв'язку з тим, що зазначені показники не забезпечують оперативність і інформативність системи контролю виробництва виноградних вин категорії КНП контрольованих найменувань за походженням

Схема експериментального варіанту контролю виробництва червоних та білих вин категорії КНП ТОВ «ПТК Шабо» наведено на рис. 2.

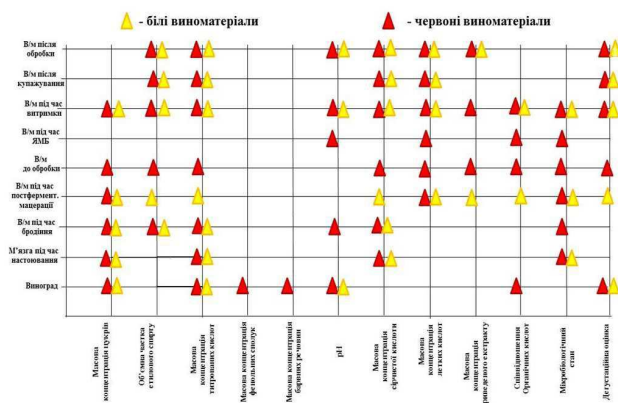


Рис. 2 – Схема технохімічного та мікробіологічного контролю процесу виробництва вин КНП

Вина, вироблені у відповідності до прийнятої та експериментальної систем оперативного контролю були представлені НЦ «Український інститут винограду і вина» на закритій дегустації засідання Центральної галузевої дегустаційної комісії виноробної промисловості корпорації «Укрвинпром»

16 липня 2015 року на базі ТОВ «Промислово-торговельна компанія «Шабо» (протокол № 20).

В дегустації взяли участь 21 член Центральної галузевої дегустаційної комісії Корпорації та 11 фахівців від виноробних підприємств з різних регіонів України.

Згідно з Положенням про ЦГДК корпорації «Укрвинпром» дегустація проводилася в закритому режимі без повідомлення учасникам найменування продукції та її виробника за загальною прийнятою бальною оцінкою.

Таблиця 2 – Найменування експериментальних зразків продукції та фактично отримані середньозважені дегустаційні оцінки членів ЦГДК корпорації «Укрвинпром»

№ з/п	Найменування продукції	Оцінка за 10-ти бальною системою*	
		Для випуску бал, не нижче	Фактично отриманий середній бал
1.	Вино контрольованого найменування за походженням ординарне витримане столове сухе сортове біле «Шардоне Шабо» («Chardonnay Shabo» Appellation of Controlled Origin)	8,4	8,49
2.	Вино контрольованого найменування за походженням ординарне витримане столове сухе сортове біле «Шардоне Шабо» («Chardonnay Shabo» Appellation of Controlled Origin) (експериментальний зразок до зміни до технологічної інструкції)	8,4	8,53
3.	Вино контрольованого найменування за походженням ординарне витримане столове сухе сортове червоне «Каберне Шабо» («Cabernet Shabo» Appellation of Controlled Origin)	8,4	8,52
4.	Вино контрольованого найменування за походженням ординарне витримане столове сухе сортове червоне «Каберне Шабо» («Cabernet Shabo» Appellation of Controlled Origin) (експериментальний зразок до зміни до технологічної інструкції)	8,4	8,49

*Представлені зразки вин оцінювались, як ординарні вина з метою дотримання умов конфіденційності.

Результати закритої дегустації вказують, що різниця між контрольними і експериментальними зразками склала 0,03 та 0,04 бала. Вплив двох представлених систем внутрішнього контролю технологічного процесу при виробництві вин контрольованих найменувань за походженням на якість готової продукції можна оцінити як незначний.

Висновки

Система контролю якості вина в процесі його виробництва є невід'ємною частиною загального процесу розвитку галузі з урахуванням історичних, соціально-економічних умов розвитку регіону.

Аналіз існуючих у світі систем контролю виробництва вин вищої категорії якості показує, що відповідальність за реалізацію процесу повністю лягає на виробника, де головною є якість готового продукту, і відповідно репутація виробника. Такий підхід є новим для нашої країни.

Виробник, що декларує високу якість своєї продукції, повинен мати можливість розробити систему внутрішнього контролю відповідно до особливостей теруару, які впливають на якість готової продукції, або використовувати вже існуючу систему контролю в рамках діючого законодавства.

В результаті аналізу фізико-хімічних показників та дегустації було встановлено, що вплив двох представлених систем внутрішнього контролю технологічного процесу при виробництві вин контрольованих найменувань за походженням на якість готової продукції можна оцінити як незначний. Таким чином, ефективність запропонованої системи контролю можна вважати достатньою для забезпечення заявленого рівня якості готової продукції.

Запропоновано внести в діючі технологічні інструкції зміни щодо виключення деяких показників, які не забезпечують оперативність і інформативність системи контролю виробництва виноградних вин категорії контрольованих найменувань за походженням.

Список літератури

1. **Полищук, Т. Н.** Об основах организации производства вин высшей категории качества в Украине / **Т. Н. Полищук** // *Вісник Одеського державного екологічного університету*. – 2013. – Вип. 16. – С. 39-44.
2. **Алиев, Р. З.** Новые стандарты на производство вин контролируемых наименований по происхождению / **Р. З. Алиев** // *Виноделие и виноградарство*. – 2002. – №3. – 7 с.
3. Техническое регулирование производства и оборота винодельческой продукции и спиртных напитков. Регламенты Европейского союза / Под ред. **Л. А. Оганесянца, А. Л. Панасюка** – М.: Промышленно-консалтинговая группа «Развитие» по заказу ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности. – 2009. – 200 с.
4. **Закон України** «Про виноград і виноградне вино» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2662-15>.
5. Institut national de l'origine et de la qualite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inao.gouv.fr>.
6. **Домине, А.** Вино / Перевод **Н. В. Матвеевой, Н. П. Панкратовой, Л. И. Кайсаровой**. – ООО «Издательство Астрель». – 2010. – 930 с.
7. Положення про виноградні вина контрольованих найменувань за походженням (КНП) КД У 37471967-

- 11.02-3:2012. – Міністерство аграрної політики та продовольства України. – 2012. – 12 с.
8. Методика контролю якості винограду, процесу виробництва, якості та ідентифікації виноградних вин контрольованих найменувань за походженням (КНП) КД У 37471967-11.02-4:2012. – Міністерство аграрної політики та продовольства України. – 2012. – 14 с.
9. **Ткаченко, О. Б.** Особенности состава минерального комплекса белых столовых виноматериалов агроклиматической зоны Шабо / **О. Б. Ткаченко, В. Г. Иукурдидзе** // *Пищевая наука и технология*. – 2014. – №4(29). – С. 55-59.
10. **Егоров, Е. А.** Анализ правоустанавливающей практики организации систем производства вин высшей категории качества / **Е. А. Егоров, Т. И. Гугучкина, И. В. Оселедцева** // *Научные труды ГНУ СКЗНИИСУВ*. – 2013. – Т.4. – С. 219-229.
11. **Cuadrado, U. M.** Study of spectral analytical data using fingerprints and scaled similarity measurements / **U. M. Cuadrado, L. M. D. de Castro, M. A. Gomez Nieto** // *Anal. Bioanal. Chem.* – 2005. – 381. – P. 953-963.
12. **Kilcast, D.** Instrumental assessment of food sensory quality / **D. Kilcast** // *Woodhead Publishing Limited*. – 2013. – 656 p.
13. **Pilar Pérez-Álvarez, E.** Grape yield to soil N-NO₃- ratio can explain the different levels of biogenicamines in wine from two vineyards in the AOC Rioja (Spain) / **E. Pilar Pérez-Álvarez, T. Garde-Cerdán, P. Santamaría, [et al.]** // *Geophysical Research Abstracts*. – 2014. – Vol. 16. – P. 114-122.
14. **Catarino, S.** Grape Mustmineralization by high pressure microwave digestion for trace element analysis: development of a procedure / **S. Catarino, I. M. Trancoso, R. Bruno de Sousa, A. S. Curvelo-Garcia** // *Ciência e Técnica Vitivinícola*. – 2010. – № 25(2). – P. 87-93.
15. **Kment, P.** Differentiation of Czech wines using multielement composition A comparison with vineyard soil / **P. Kment, M. Mihaljevic, V. Ettler [et al.]** // *Food Chemistry*. – 2005. – № 91. – P. 157-165.

Bibliography (transliterated)

1. **Polischuk, T. N.** Ob osnovah organizatsii proizvodstva vin vysshey kategorii kachestva v Ukraine. *Visnyk Odeskogo derzhavnogo ekologichnogo universytetu*, 2013, **16**, 39-44.
2. **Aliiev, R. Z.** Novyye standarty na proizvodstvo vin kontroliruemyyh naimenovaniy po proishozhdeniyu. *Vinodelie i vinogradarstvo*, 2002, **3**, 7 p.
3. **Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L.** Tehnicheskoe regulirovanie proizvodstva i oborota vinodelcheskoy produktsii i spirtnykh napitkov. Reg-lamenty Evropeyskogo soyuza. Promyishlenno-konsaltingovaya gruppa «Razvitie» po zakazu VNIИ pivovarennoy, bezalkogolnoy i vinodelcheskoy promyishlennosti, 2009, 200 p.
4. **Zakon Ukrainy** «Pro vynohrad i vynohradne vyno» [Web]: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2662-15>.
5. **Institut national de l'origine et de la qualite** [Web]: <http://www.inao.gouv.fr>.
6. **Domine, A.** Vино. ООО «Izdatelstvo Astrel», 2010, 930 p.
7. Polozhennya pro vynogradni vyna kontrolovanykh najmenuvan za poxodzhennyam (KNP) KD U 37471967-11.02-3:2012. Ministerstvo agrarnoyi polityky ta prodovolstva Ukrayiny, 2012, 12 p.
8. Metodyka kontrolyu yakosti vynogradu, procesu vyrobnyctva, yakosti ta identyfikaciyi vynogradnykh vyn kontrolovanykh najmenuvan za poxodzhennyam (KNP) KD

- U 37471967-11.02-4:2012. Ministerstvo agrarnoyi polityky ta prodovolstva Ukrainy, 2012, 14 p.
9. **Tkachenko, O. B., Iukuridze, V. G.** Osobennosti sostava mineralnogo kompleksa belyih stolovyih vinomaterialov agroklima-ticheskoy zony Shabo. *Pischevaya nauka i tehnologiya*, 2014, 4(29), 55-59.
 10. **Egorov, E. A., Guguchkina, T. I. Oseledtseva, I. V.** Analiz pravoustanavlivayushey praktiki organizatsii sistem proizvodstva vin vyisshey kategorii kachestva. *Nauchnyie trudyi GNU SKZNIISiV*, 2013, 4, 219-229
 11. **Cuadrado, U. M., Castro, de L. M. D., Gomez Nieto, M. A.** Study of spectral analytical data using fingerprints and scaled similarity measurements, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2005, **381**, 953-963.
 12. **Kilcast, D.** Instrumental assessment of food sensory quality, Woodhead Publishing Limited, 2013, 656 p.
 13. **Pilar Pérez-Álvarez, E., Garde-Cerdán, T., Santamaría, P. [et al.]** Grape yield to soil N-NO₃- ratio can explain the different levels of biogenicamines in wine from two vineyards in the AOC Rioja (Spain). *Geophysical Research Abstracts*, 2014, **16**, 114-122.
 14. **Catarino, S., Trancoso, I. M., Bruno de Sousa, R., Curvelo-Garcia, A. S.** Grape Mustmineralization by high pressure microwave digestion for trace element analysis: development of a procedure. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 2010, **25(2)**, 87-93.
 15. **Kment, P., Mihaljevic, M., Ettlér, V. [et al.]** Differentiation of Czech wines using multielement composition A comparison with vineyard soil. *Food Chemistry*, 2005, **91**, 157-165.

Сведения об авторах (About authors)

Іукурідзе Елдар Жорайович – кандидат технічних наук, голова правління, ТОВ «Промислово-торговельна компанія Шабо», office@shabo.ua, 048-734-07-90, м. Одеса, Україна,

Eldar Iukuridze – Ph. D., Chairman, LLC "Industrial-trading company Shabo», office@shabo.ua, contact. Tel. 048-734-07-90, Lidersovskyy Boulevard, 3 Odessa, Ukraine, 65014

Кучеренко Володимир Михайлович – генеральний директор, корпорація «Укрвинпром», НЦ «Український інститут винограду та вина», ukrvinprom_kyiv@ukr.net, 044-257-39-19, м. Київ, Україна

Volodymyr Kucherenko – Chairman, Corporation "Ukrwineprom" SC "Ukrainian Institute of grapes and wine», ukrvinprom_kyiv@ukr.net, 044-257-39-19, Kyiv, Ukraine

Ткаченко Оксана Борисівна – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри безпеки, експертизи та товарознавства, Одеська національна академія харчових технологій, 050-390-53-65, oksana_tkachenko@mail.ru, м. Одеса, Україна

Oksana Tkachenko – Doctor of Science, associate professor, head of security expertise and commodity, Odessa National Academy of Food Technologies, 050-390-53-65, oksana_tkachenko@mail.ru, .Odessa, Ukraine

Лозовська Тетяна Сергіївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології вина та енології, Одеська національна академія харчових технологій, 097-493-13-52, tanya.lozovskaia@ukr.net, м. Одеса, Україна

Tetyana Lozovskaya – Ph.D., senior lecturer in wine technology and Ethnology, Odessa National Academy of Food Technologies, 097-493-13-52, tanya.lozovskaia@ukr.net, c. Odessa, Ukraine.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Іукурідзе, Е. Ж. Система фізико-хімічних методів аналізу як інструмент управління якістю в процесі виробництва виноградних вин / **Е. Ж. Іукурідзе, В. М. Кучеренко, О. Б. Ткаченко, Т. С. Лозовська** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 113 - 118. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Iukuridze, E., Kucherenko, V., Tkachenko, O., Lozovskaya, T. The system of physical and chemical methods of analysis as a tool for quality control in the production of wines. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 113 - 118, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Иукуридзе, Э. Ж. Система физико-химических методов анализа как инструмент управления качеством в процессе производства виноградных вин / **Э. Ж. Иукуридзе, В. М. Кучеренко, О. Б. Ткаченко, Т. С. Лозовская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 113 - 118. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦИЯ Представлен анализ основных систем контроля качества в производстве столовых вин, преимущества и недостатки в реальных условиях производства, информативность показателей в аспекте принятия технологических решений. Обсуждены результаты комплексной оценки вин, произведенных с использованием различных систем внутреннего контроля и управления качеством. Установлено, что введение дополнительных показателей контроля не влияет на уровень органолептической оценки вина и значения основных показателей качества, определенных существующей нормативной документацией.

Ключевые слова: методы анализа, качество, виноградное вино, производство, система показателей

Надійшла (received) 20.12.2015

УДК 502/504

ПОСИЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇНИ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТОВОЇ СИРОВИНИ

О. Ю. МІШИНА

*Кафедра інженерної екології, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, УКРАЇНА
email: elenamishina@meta.ua*

АНОТАЦІЯ Досліджено вплив антиоксидантної присадки Борін на хімічні процеси, що відбуваються у нафтовій сировині за високих температур як спосіб підвищення екологічної безпеки за рахунок інтенсифікації переробки нафти. Продемонстровано суттєві відмінності якісного та кількісного складу нафтових сумішей, отриманих внаслідок перегонки за відсутності добавок та в присутності вказаного антиоксиданту. Підтверджено позитивну роль присадки Борін у інтенсифікації первинної нафтопереробки та встановлено збільшення частки насичених вуглеводнів на 5 об. % у світлому нафтопродукті.

Ключові слова: екологічна безпека, первинна нафтопереробка, світлі фракції нафти, Борін, антиоксидантна активність, газова хроматографія

INCREASE OF ECOLOGICAL SECURITY BY THE PETROLEUM PROCESSING INTENSIFICATION

O.Y. MISHYNA

Institute of energy saving and energy management, National Technical University of Ukraine "KPI", Kyiv, Ukraine

ABSTRACT The way of increasing of ecological security due to petroleum refining intensification was described in this article. It was reached by adding of antioxidant Borin to raw oil material at the stage of its atmospheric distillation and achieved the result of increasing light petroleum fractions yield up to 14 vol %. This effect became possible because of preventing the mechanism of radical oxidation reactions, which used to go in petroleum under high temperatures (mainly after 250 °C). Radical oxidation reactions cause hydrocarbon condensation, which prevent their evaporation under normal temperatures of atmospheric refining process. Confirmation of these mechanisms was obtained in investigation of compositions of diesel fractions, which were received in atmospheric distillation of oil with Borin additive and without it. Method of gas chromatography was used for evaluation of petroleum product composition. Significant differences in quantitative composition of petroleum products were shown – decreasing of content of aromatic hydrocarbon to 3 %, halogenated hydrocarbons to 2 % and increasing of content of saturated hydrocarbons up to 5 % in sample of diesel fraction received from oil treated with Borin additive. Such good influence of Borin is caused by its high stability above 250 °C, which allows keeping its antioxidant ability during distillation process. Important is that offered solution of petroleum distillation intensification can be provided without additional use of energy sources and significant changes in technological equipment. Nowadays such type of petroleum processing is actual as a way of sustainable development of our environment.

Keywords: ecological security, primary oil refining, light oil fraction, Borin, antioxidant activity, gas chromatography

Вступ

Стрімкий науково-технічний розвиток сучасного суспільства, постійний приріст населення на планеті і, як наслідок, невпинне збільшення особистісних потреб та потреб соціуму в цілому роблять проблему раціонального використання природних ресурсів як ніколи актуальною. Головним чином це стосується основи усіх видів людської діяльності – енергії. На сьогодні, не зважаючи на прогрес у галузі пошуку й застосування альтернативних джерел енергії, економічно доцільним все ще є використання традиційних джерел енергії. Серед них найбільш універсальними й

значимими через масштабність їх застосування є паливні матеріали, в першу чергу нафта. Це підтверджується даними Energy Information Administration [1], згідно яких видобування й споживання нафти й нафтопродуктів має постійну тенденцію до зростання.

Актуальність проблеми

Активне споживання нафти породжує чимало проблем. Передусім, нафта – невідновлювальний ресурс. Є кілька теорій стосовно походження нафти (найбільш визнаною з яких є біогенна), але усі вони

єдині в питанні значної тривалості процесу її утворення в природі [2]. Термін, на який людству вистачить світових запасів нафти точно вказати важко, оскільки, окрім можливої зміни темпів споживання, не можна не враховувати також ще не відкриті родовища. Але, навіть якщо вірною виявиться найбільш оптимістична оцінка обсягів природних покладів нафти, є набагато серйозніша проблема, що потребує вирішення уже сьогодні: це екологічні аспекти масового видобування й використання нафти та продуктів нафтопереробки. Мінімізація негативного впливу на екологію є невід'ємною складовою раціонального природокористування, направленою на забезпечення потреб суспільства, адже збалансоване, безпечно довкілля і є першочерговою потребою кожної людини.

Енергетична, паливна та хімічна промисловість, тобто, основні сфери застосування нафтосировини, – надзвичайно потужні антропогенні фактори, що, спричиняють переважно вкрай негативний вплив на стан біосфери. Теплове забруднення, викиди в атмосферу продуктів згоряння (переважно вуглекислоти), парниковий ефект та зміна клімату – і це лише у випадку "ідеального" виробництва. На практиці ми маємо справу із токсичними продуктами неповного згоряння палива, забрудненими стічними водами, колосальною кількістю непридатних до подальшої переробки відходів нафтової промисловості, важкими наслідками аварій на виробництві (особливо небезпечною у цьому сенсі є хімічна промисловість), а також аваріями при транспортуванні продукції [3]. Усвідомлюючи необхідність термінового поліпшення екологічної ситуації, розвиненими країнами застосовано низку заходів, направлених на раціоналізацію природокористування та екологізацію усіх галузей народного господарства.

Аналіз попередніх досліджень

Первинна нафтопереробка полягає у розділенні нафти шляхом дистиляції за атмосферного тиску на фракції. Серед основних продуктів первинної переробки нафти [4] є вуглеводневий газ, бензинова (діапазон температур википання 28–180 °C), керосинова (120–240 °C) й дизельна фракції (240–340 °C), масляні фракції та мазут (> 340 °C), гудрон (твердий залишок). Найбільш вартісні – низькокиплячі (світлі) фракції нафти, які не лише є основою для палива з високим октановим числом, але й мають більшу цінність для хімічної промисловості як вихідна сировина для синтезу чисельних органічних матеріалів. Натомість, вартість мазуту та гудрону невисока, останній може бути застосований після процедур поглиблення переробки нафти (деасфальтизації, коксування), або у виробництві бітумів та залишкових базових мастил. Отже, збільшення виходу світлих фракцій дасть змогу

забезпечити потребу у цінних продуктах меншою кількістю видобутої нафти й, таким чином, зменшити як вартість продукції, так і навантаження на екосферу. Одним із шляхів досягнення цієї мети є створення більш досконалих установок для перегонки нафти, зокрема, ефективних ректифікаційних колонок; інший напрям – це збільшення долі низькокиплячих (тобто, низькомолекулярних) компонентів нафти шляхом риформінгу, термічного та каталітичного крекінгу. Але модернізація виробництва потребує значних капіталовкладень і, знову таки, ресурсів для створення нового обладнання й засобів утилізації старого; а вказані вище хімічні процеси є досить енерговитратними, що зменшує позитивний екологічний ефект. Способом збільшення виходу світлих фракцій нафти без змін обладнання і виробничих процесів, є застосування добавок в процесі первинної перегонки нафти.

Більшість попередніх досліджень цього питання були направлені на оперування фізичними характеристиками нафти [5] завдяки добавкам речовин переважно поверхнево-активної природи (ПАР). Нафта, як суміш речовин, далека від стану ідеального розчину, вона являє собою складну систему міцелярної будови, яка, завдяки організованому розташуванню молекул і сильній міжмолекулярній взаємодії, характеризується досить високою в'язкістю та поверхневим натягом, що і перешкоджає повному википанню речовин навіть при досягненні температури, вищої за температуру кипіння індивідуального компоненту. Добавки ПАР впливають саме на колоїдно-дисперсну структуру нафти, зменшуючи її поверхневий натяг і таким чином полегшуючи википання вуглеводнів нафти. Іншим механізмом дії добавок може бути вплив на хімічні процеси, що зменшують частку низькокиплячих сполук, що утворюються під час термічних процесів у нафті. Найбільш ефективною буде протидія процесам автоокиснення – комплексу реакцій, переважно радикальних, що обумовлені наявністю в середовищі під час перегонки окисників (в першу чергу атмосферного кисню) та інтенсифікуються при підвищенні температури [6]. Вільні вуглеводневі радикали, що утворюються внаслідок окиснення, здатні до ізомеризації, подальшого окиснення тощо, але все ж основною причиною зменшення виходу світлих фракцій є рекомбінація таких радикалів з утворенням сполук з вищою молекулярною масою та температурою кипіння. Таким чином, можна очікувати, що добавки речовин, здатних сповільнити процеси радикального окиснення, сприятимуть збільшенню долі низькокиплячих нафтових продуктів в процесі нафтопереробки. Гарним прикладом антиоксидантів, що задовольняють необхідним умовам, є просторово утруднені феноли з високою термічною стійкістю (вище 250°C).

Мета роботи

Метою даної статті є дослідження запропонованого нами раціонального способу використання ресурсів нафти, згідно якого збільшення виходу світлих фракцій досягається шляхом додавання під час первинної нафтопереробки антиоксиданту Боріну. Для підтвердження участі добавки Боріну у хімічних процесах, що відбуваються під час атмосферної дистиляції нафти, потрібно встановити наявність змін у якісному та кількісному складі нафти, яку піддали термічному навантаженню у присутності добавки антиоксиданту, порівняно із нафтою, що нагрівали без добавок.

Викладення основного матеріалу

Використання під час атмосферної дистиляції нафти добавок антиоксидантів – ефективна методика збільшення виходу світлих фракцій нафти шляхом протидії реакціям радикального окиснення, що було нами підтверджено раніше [7–8]. Найбільш дієвою речовиною, серед протестованих нами просторово утруднених фенолів з антиоксидантними властивостями, була основа Маніха Борін. Зокрема, це пов'язано з тим, що ця сполука, порівняно з іншими фенолами, більш стійка за високих температур. Борін – це 50 %-ий розчин в базовій олії модифікованого борною кислотою продукта конденсації (за реакцією Манніха) суміші 2,6-ди(*трет*-бутил)фенола й алкілфенолів (алкільний радикал містить від 8 до 12 атомів карбону, найчастіше – ізонільний радикал) з уротропіном чи з формаліном й амоніаком [9]. Цікаво, що присутність подібних добавок змінює також і міцелярно-дисперсну структуру нафти [7], що так само полегшує відділення низькокиплячих речовин шляхом перегонки. Вплив добавки Боріну на процеси автоокиснення виражається в першу чергу зниженням кислотного числа нафтової суміші – показника, за яким можна спрогнозувати вихід світлих фракцій: високе значення кислотного числа нафти, яку піддали термічному навантаженню, свідчить про більший вміст продуктів окиснення і меншу частку низькомолекулярних (низькокиплячих) речовин [7]. У даній статті представлено результати більш детального вивчення впливу добавок Боріну на хімічні процеси: а саме порівняння якісного та кількісного складу дизельної фракції нафти, яку відібрали у результаті атмосферної дистиляції нафти з добавкою та без добавки антиоксиданту.

У дослідженні використовували нафту з вихідними характеристиками $t_{\text{поч.кип.}} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, потенціал світлих фракцій = 58 об. %. Один зразок був отриманий при перегонці нафти без добавок, другий – внаслідок перегонки нафти з добавкою Борін (1 мас. %). У попередніх дослідженнях [7] було отримано збільшення виходу світлих фракцій при перегонці в присутності Боріну на 14 %. Для визначення окремих

складових нафтопродукту та їх частки у суміші використовували газову хроматографію з детектуванням часу виходу й відношення m/z та ідентифікацією компонентів досліджуваних проб з використанням бібліотеки мас-спектрів NIST 02 [10]. Аналіз проводили на хромато-мас-спектрометричній системі Agilent 6890N/5973 inert (Agilent Technologies, USA). Колонка капілярна HP-5MS, довжина 30 м, внутрішній діаметр 0,25 мм, товщина фази 0,25 мкм. Розділення проводили в градієнтному режимі. Початкова температура $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ витримувалась впродовж 5 хв з наступним градієнтом $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, газ-носії – гелій, швидкість потоку через колонку складала 1,0 мл/хв. Температура випаровувача $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, режим вводу проби з поділом потоку (split) з коефіцієнтом 1 : 200. Досліджувану пробу розводили гептаном в 10 разів та вводили в об'ємі 0,2 мкл. Режим іонізації – електронний удар з енергією в 70 eV, хроматограму отримували в режимі SCAN в діапазоні 30–420 m/z .

Таблиця 1 – Вміст основних класів сполук у нафтової суміші в умовах атмосферної дистиляції за відсутності добавок та у присутності Боріну за результатами хромато-мас-спектрометрії

№	Клас сполук	Вміст у нафті, мол. %		Ефект добавки*
		за відсутності добавок	з добавкою Боріну	
1	<i>n</i> -алкани	44,55	51,93	↑
2	циклоалкани	8,21	6,33	↓
3	алкани розгалуженої будови	25,82	24,86	↓
Усього насичених вуглеводнів		78,58	83,12	↑
4	алкени	2,44	2,30	↓
5	ароматичні сполуки	12,63	9,38	↓
6	оксигеновмісні сполуки	2,94	3,71	↑
7	галогеновмісні сполуки	2,74	0,73	↓
8	нітрогеновмісні сполуки	0,73	0,76	↑

* ефект добавки антиоксиданту позначаємо наступним чином:

↑ – зростання вмісту класу речовин у суміші;

↓ – зниження вмісту класу речовин

Дані спектрограм подано у вигляді узагальнюючої таблиці 1, в якій розподілено виявлені речовини за належністю до певного класу сполук (алкани, алкени, оксигеновмісні сполуки тощо). Окрім відмінностей у кількості певних компонентів, зразки нафти, в якій були відсутні добавки, і нафти з

добавкою Боріну мають різний якісний склад: є сполуки, які виявлені лише у одному із зразків.

У випадку сприятливого впливу антиоксиданту на процес нафтопереробки, а саме перешкоджання процесам автоокиснення складових нафти, основними негативними наслідками яких є власне окиснення, дита полімеризація й ароматизація, ми можемо очікувати зниження загального вмісту висококиплячих компонентів, зниження частки ароматичних та оксигеновмісних сполук.

Індивідуальні сполуки, що складають нафтову суміш, за результатами дослідження можна розділити на кілька хімічних класів (табл. 1).

Обговорення результатів

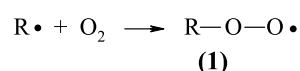
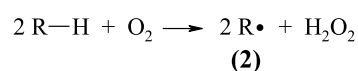
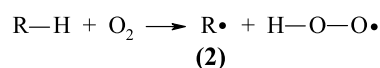
Помітні зміни вмісту компонентів у досліджуваному зразку з Боріном порівняно із нафтопродуктом, що не містить добавок, свідчить про істотний вплив даного антиоксиданта на перебіг хімічних процесів при температурному навантаженні на зразок. Окремим рядком у таблиці виділено сумарний вміст насичених вуглеводнів, що за добавки Боріну зростає з 78,58 до 83,12 % (що становить 5 % початкової кількості).

Кількість оксигеновмісних похідних, звісно, в нафті, що підлягала умовам атмосферної перегонки, є найвищою із гетероатомних сполук (сюди ми також будемо відносити галогено- та нітрогеновмісні речовини), і в наслідок додавання антиоксиданта неочікувано зростає. Цей цікавий факт, поряд зі суттєвим збільшенням частки алканів та зменшенням частки ароматичних вуглеводнів, свідчить про „компактну” форму засвоєння атмосферного кисню в присутності антиоксиданту: утворення невеликої кількості сполук з високим вмістом Оксигену замість ініціювання молекулою перекису ланцюга полімеризації (і значного зростання молекулярної маси та температури кипіння) або ароматизації об’єкту внаслідок окислювального дегідрування (що також веде до збільшення точки кипіння).

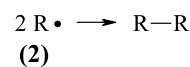
Потрібно також відмітити, що зменшення вмісту сполук ароматичної природи (з 12,63 до 9,38 %, що становить близько 25 % початкової кількості) є позитивним, в першу чергу з точки зору екології та охорони навколишнього середовища, адже більшість ароматичних вуглеводнів мають канцерогенний характер [11]. Також сприятливим для поліпшення екологічних характеристик палива є зменшення більш ніж втричі вмісту хлоро- та флуоровмісних сполук внаслідок додавання при перегонці нафти Боріну. Обґрунтоване, на наш погляд, пояснення цього явища полягає як у гальмуванні антиоксидантом радикальних процесів утворення галогеновмісних сполук через зменшення кількості вуглеводневих радикалів, що можуть взаємодіяти з присутніми у малій кількості в нафті неорганічними солями (наприклад, хлоридами), так і

зі взаємодією за функціональними групами основної складової Боріну – фенольної основи Маніха – з галогеновмісними сполуками.

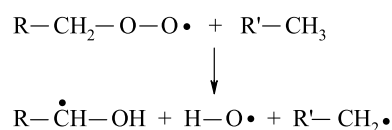
Більшість руйнівних для органічних сполук процесів пов’язують з дією органічних перекисних радикалів (1, де R – вуглеводневий радикал), що утворюються внаслідок приєднання кисню до вуглеводневих радикалів (2), які, в свою чергу, є продуктами моно- чи бімолекулярної реакції окиснення вуглеводів киснем [12]:



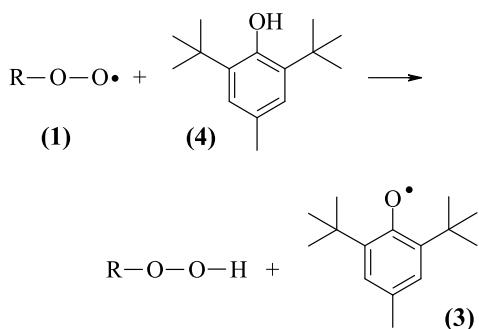
Даний процес, як більшість радикальних реакцій, має ланцюговий характер: реагуючи з іншою молекулою вуглеводню, перекис (1) знову генерує радикал (2). Рекомбінація вуглеводневих радикалів призведе до утворення сполук з вдвічі більшою молекулярною масою, що, в окремому випадку нафтових сумішей, буде означати зменшення кількості низькомолекулярних продуктів та, відповідно, зменшенню кількості світлих фракцій:



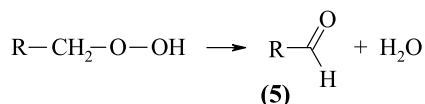
Окрім того, вуглеводневі перекиси (1), як високореакційноздатні частинки, сприяють вкрай небажаним процесам розгалуження ланцюга, тобто, збільшенню радикалів-окисників у реакційній суміші, наприклад, у випадку первинних алкільних фрагментів наступним чином:



Антиоксиданти, у т.ч. і просторово утруднені феноли, характеризуються легкістю відриву атому Гідрогену та високою, завдяки, головним чином, просторовому екрануванню об’ємними орто-замісниками, стабільністю радикалу, що внаслідок цього утворюється, тому їх інгібуюча дія на процесі автоокиснення в першу чергу полягає у перетворенні перекисних радикалів (1) на більш стабільні гідроперекиси (3) (схема процесу наведена на прикладі іонулу (4)):



Одним із шляхів розкладу гідроперексидів, в цілому сприятливим з точки зору збереження характеристик досліджуваного матеріалу, оскільки приводить до утворення стабільних молекул, а не радикалів, не збільшуючи при цьому їх молекулярну масу, є дегідратація первинних вуглеводневих гідроперексидів до альдегідів (5), що в свою чергу легко перетворюються на карбонові кислоти, естери тощо:



Такий порядок реакцій узгоджується зі збільшенням у дизельному дистиляті доли оксигеновмісних сполук при перегонці нафти в присутності Боріну. І хоча альдегіди, засвоюючи кисень, здатні ініціювати радикальні реакції, вони все ж значно меншою мірою, ніж перекисні радикали, схильні до розгалуження ланцюгових процесів.

І хоча в цілому кількість високомолекулярних та ненасичених сполук у нафтовому дистиляті після додавання Боріну зменшується, все ж не можна не помітити, що цей зразок містить незначні кількості речовин з дуже високою молекулярною масою, тобто, в зразку, що підлягав впливу антиоксиданту, присутні слідові кількості об'єктів з більшою молекулярною масою, ніж у нафті, перегнаній без добавок. Це, на перший погляд, протиріччя насправді цілком узгоджується з уже згаданою [7] зміною дисперсної структури нафти під впливом добавки Борін, що приводить до збільшення ймовірності відгонки важких високомолекулярних речовин у вигляді азеотропної суміші з більш низькокиплячими компонентами. Очевидно, що слідові кількості таких сполук не можуть помітно вплинути на якість одержаного таким чином палива та ефективність його згорання, хоча сама їх наявність у дистиляті є гарним підтвердженням фізичних аспектів нашої моделі впливу антиоксиданту Борін на процес дистиляції нафти.

Висновки

Отже, у ході досліджень позитивного впливу антиоксидантної добавки Борін на процеси первинної переробки нафти, наслідком якого є збільшення

виходу світлих фракцій, нами встановлено, що дане явище супроводжується якісними та кількісними змінами у хімічному складі дистиляту. Таким чином, досліджуваний антиоксидант бере активну участь у хімічних перетвореннях, що перебігають при високих температурах під час перегонки в присутності атмосферного кисню. В цілому, отримані нами дані узгоджуються з відомими хімічними характеристиками антиоксидантів класу просторово утруднених фенолів, і, хоча нафтові суміші є досить складними об'єктами, фізико-хімічні параметри яких і пов'язана з цим хімічна поведінка можуть змінюватись у досить широких межах, подальші дослідження у цьому напрямку беззаперечно сприятимуть більш глибокому розумінню хімізму інгібування антиоксидантами процесів автоокиснення, які відбуваються під час атмосферної дистиляції нафти. В свою чергу, можливість вплинути на інтенсивність первинної нафтопереробки буде дієвим інструментом для досягнення головної мети – економного, раціонального та екологічно безпечного природокористування.

Список літератури

- 1 US Energy Information Administration. Petroleum & other liquids. Режим доступу: <http://www.eia.gov/petroleum/>
- 2 **Wendell, H. W.** Energy Resources. Occurrence, Production, Conversion, Use / **H. W. Wendell.** – Springer, 1999. – 386 p.
- 3 **Давыдова, С. Л.** Экологические проблемы нефтепереработки: Учеб. пособие / **С. Давыдова, В. Тепляков.** – М.: РУДН. – 2010. – 175 с.
- 4 **Склябинський, В. І.** Технологічні основи нафто- та газопереробки: навч. посіб. / **В. І. Склябинський, О. О. Ляпошенко, А. Є. Артюхов.** – Суми: Сумський державний університет. – 2011. – 187 с.
- 5 **Сафиева, Р. З.** Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти / **Р. З. Сафиева.** – М.: Химия. – 1998. – 448 с.
- 6 **Денисов, Е. Т.** Окисление и стабилизация реактивных топлив / **Е. Т. Денисов, Г. И. Ковалев.** – М.: Химия. – 1983. – 269 с.
- 7 **Mishina, O. Y.** Technology of atmospheric petroleum distillation in presence of antioxidants additives for sustainability providing / **O. Y. Mishina, A. I. Vasilkevich** // *Innovative development trends in modern technical sciences: problems and prospects: Research articles.* – San Francisco: V&M Publishing. – 2013. – P. 98 - 102.
- 8 **Василькевич, О. І.** Патент 79907 Україна, МПК С 10 G 7/00. Спосіб підготовки нафти / **О. І. Василькевич, М. Б. Степанов, О. Ю. Мішина [та ін.],** заявник та патентовласник **О. І. Василькевич, М. Б. Степанов, О. Ю. Мішина [та ін.].** – № 20121103; заявл. 21.09.2012, опубл. 13.05.2013.
- 9 **Шамкина, С. С.** Антиокислительная присадка Борин. Эффективность и область использования / **С. С. Шамкина, В. В. Филинова, И. М. Василькевич** // *Мир нефтепродуктов.* – 2004. – N 3. – 4 с.
- 10 National Institute Of Standards and Technology (NIST). – Access mode: <http://www.nist.gov/>
- 11 Вредные вещества в промышленности. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том II. Органические вещества. Под

ред. засл. деят. науки проф. **Н. В. Лазарева** и докт мед. наук **Э. Н. Левинной**. – Л.: «Химия». – 1976. – 624 с.

- 12 **Carey, F. A.** Advanced Organic Chemistry. Part A: Structure and mechanisms. Fifth Edition / **F. A. Carey, R. J. Sundberg**. – Springer. – 2007. – 1199 p.

Bibliography (transliterated)

- 1 US Energy Information Administration. Petroleum & other liquids. Access mode: <http://www.eia.gov/petroleum/>
- 2 **Wendell, H. W.** Energy Resources. Occurrence, Production, Conversion, Use. Springer, 1999.
- 3 **Davydova, S., Teplyakov, V.** Environmental problems of oil refining. Moscow: RUDN, 2010.
- 4 **Sklabins'kyj, V. I., Lyaposhhenko, O. O., Artyuxov, A. Ye.** Technological bases of gas and oil refinery. Sumy: SDU, 2011.
- 5 **Safieva, R. Z.** Fizikohimija nefti. Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii pererabotki nefti. Moskov: Himija, 1998.
- 6 **Denisov, E. T., Kovalev, G. I.** Okislenie i stabilizacija reaktivnyh topliv. Moskov: Himija, 1983.
- 7 **Mishina, O. Y., Vasilkevich, A. I.** Technology of atmospheric petroleum distillation in presence of

antioxidants additives for sustainability providing. *Innovative development trends in modern technical sciences: problems and prospects: Research articles*. San Francisco: B&M Publishing, 2013.

- 8 **Vasy'Gkevych, O. I. [et al.]** "Sposib pidgotovannya nafty". Patent 79907 Ukrayina, MPK C 10 G 7/00 N 20121103; zayavl. 21.09.2012, opubl. 13.05.2013.
- 9 **Shamkina, S. S., Filinova V. V., Vasil'kevich, I. M.** Antioxidant additive Borin. The efficiency and field of application. *Mir nefteprod.*, 2004, **3**, 4 p.
- 10 National Institute Of Standards and Technology (NIST). Access mode: <http://www.nist.gov/>
- 11 Vrednye veshhestva v promyshlennosti. Izd. 7-e, per. i dop. V treh tomah. Tom II. Organicheskie veshhestva. Pod red. zasl. dejat. nauki prof. N. V. Lazareva i dokt med. nauk Je. N. Levinoj. Leningrad, «Himija», 1976.
- 12 **Carey, F. A., Sundberg, R. J.** Advanced Organic Chemistry. Part A: Structure and mechanisms. Fifth Edition. Springer, 2007.

Відомості про авторів (About authors)

Мишина Олена Юрївна – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, аспірант кафедри інженерної екології; м. Київ, Україна; e-mail: elenamishina@meta.ua

Olena Mishyna – Post-graduate student, Institute of energy saving and energy management, National Technical University of Ukraine "KPI", Kyiv, Ukraine; e-mail: elenamishina@meta.ua

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мишина, О. Ю. Посилення екологічної безпеки шляхом інтенсифікації переробки нафтової сировини / **О. Ю. Мишина** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 119 - 124. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Mishyna, O.Y. Increase of ecological security by the petroleum processing intensification. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 119 - 124, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Мишина, Е. Ю. Усиление экологической безопасности путем интенсификации переработки нефтяного сырья / **Е. Ю. Мишина** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 119 - 124. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Исследовано влияние антиоксидантной присадки Борин на химические процессы, происходящие во время высокотемпературных процессов в нефтяном сырье, как способ усиления экологической безопасности за счет интенсификации переработки нефти. Продемонстрировано существенные различия качественного и количественного состава нефтяных смесей, полученных путем перегонки при отсутствии добавок и в присутствии указанного антиоксиданта. Подтверждено положительную роль присадки Борин в интенсификации первичной нефтепереработки и установлено увеличение части насыщенных углеводородов на 5 об. % в светлом нефтепродукте.

Ключевые слова: экологическая безопасность, первичная нефтепереработка, светлые фракции нефти, Борин, антиоксидантная активность, газовая хроматография

Надійшла (received) 15.12.2015

УДК 541.128.13

ОДЕРЖАННЯ АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ З МЕТАНОЛУ ТА ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ В ПРИСУТНОСТІ СКЛАДНИХ ОКСИДНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ

Р. В. НЕБЕСНИЙ, З. Г. ПІХ, І. І. ШПИРКА, В. В. ІВАСІВ, Ю. В. НЕБЕСНА, У. В. ФУЧ

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
*email: nebesnyi@lp.edu.ua

АНОТАЦІЯ Запропоновано одностадійний процес одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти у присутності нових ефективних каталізаторів, що містять оксиди бору, фосфору, вольфраму та ванадію, нанесені на силікагель. Досліджено вплив температури та часу контакту на показники процесу одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти в присутності кисню; встановлено оптимальні умови здійснення процесу. Показано, що в умовах реакції крім акрилової кислоти утворюється інший цінний мономер – метилакрилат.

Ключові слова: акрилова кислота, метилакрилат, метанол, оцтова кислота, альдольна конденсація, окиснення, гетерогенний каталіз.

ACRYLIC ACID OBTAINING FROM METHANOL AND ACETIC ACID IN THE PRESENCE OF COMPLEX OXIDE CATALYSTS

R. NEBESNYI, Z. PIKH, I. SHPYRKA, V. IVASIV, Yu. NEBESNA, U. FUCH

Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of this work is to research process of single-stage acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid, namely: to develop effective catalysts for the process of methanol oxidation to formaldehyde with its further aldol condensation with acetic acid to acrylic acid, and to determine optimum conditions for the process. Complex oxide catalysts consisting of oxides of boron, phosphorus, tungsten and vanadium supported on the silica gel have been investigated. The effect of vanadium and tungsten oxides content on the catalytic properties of B–P–W–V–O_x catalysts in the process of aldol condensation of acetic acid with formaldehyde in gas phase was investigated. Catalytic system with W:V atomic ratio of 2:3 is the best catalytic system for the process. The possibility of combining process of methanol oxidation to formaldehyde with aldol condensation of the latter with acetic acid to acrylic acid was investigated on the best catalyst. It was determined that B–P–W–V–O_x catalytic system is effective in the process of acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid in the presence of air oxygen. It was shown that in reaction conditions another valuable monomer – methyl acrylate is formed, which is usually obtained industrially by esterification of acrylic acid with methanol in a separate reactor. The optimum conditions for single-stage acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid are temperature of 623 K and residence time of 8 s, at which overall yield of acrylic acid and methyl acrylate is 30.4 % with overall acrylates selectivity 93.4 %.

Keywords: acrylic acid, methyl acrylate, methanol, acetic acid, aldol condensation, oxidation, heterogeneous catalysis.

Вступ

Акрилова кислота (АК) є багатотоннажним продуктом органічного синтезу, сучасне світове виробництво якого перевищує 4 млн т/рік та продовжує динамічно зростати. Основним напрямком використання АК є виробництво полімерних матеріалів, які завдяки своїм цінним технічним властивостям знайшли широке застосування в різноманітних сферах людської діяльності. Так, акрилову кислоту та її похідні використовують для виробництва високоякісної лакофарбової продукції, органічного скла, модифікуючих добавок до бетонів, як проміжні речовини для тонких органічних синтезів. В останні роки значна кількість АК використовується для виробництва суперабсорбентів [1].

Основним промисловим методом одержання АК є двостадійне окиснення пропілену через проміжну стадію утворення акролеїну [2]. На даний час промислове виробництво АК в Україні відсутнє, а перспективи впровадження синтезу АК окисненням пропілену є сумнівними внаслідок відсутності власної сировинної бази. Так, пропілен є сировиною нафтового походження, потребу в якій за рахунок власного видобутку Україна забезпечує тільки на 10 %. Саме тому актуальним є питання розширення сировинної бази одержання АК - розроблення нових методів її синтезу.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

В останні роки велику зацікавленість викликає синтез АК методом альдольної конденсації

карбонільних сполук [3]. Як відомо, в промисловості формальдегід (ФА) та оцтову кислоту (ОК) синтезують з метанолу [4 - 6], який одержують з синтез-газу, а вихідною сировиною для одержання синтез-газу є метан та вугілля. Зважаючи на значно більші світові запаси (зокрема і українські) метану та вугілля порівняно з запасами нафти, використання саме цих видів сировини для органічних синтезів є більш перспективним.

На даний час одержання АК методом альдольної конденсації не має промислової реалізації, що пов'язано з низькою ефективністю відомих каталізаторів цього процесу та коротким терміном їх роботи внаслідок закоксування поверхні каталізаторів [7]. Аналіз останніх тенденцій вдосконалення каталізаторів окиснення метанолу до ФА свідчить про все частіше використання оксидних каталізаторів кислотного типу для здійснення даного процесу (оксиди заліза, молібдену, ванадію) [6]. У попередніх дослідженнях нами розроблено ряд каталітичних систем процесу альдольної конденсації ОК з ФА на основі оксидів бору, фосфору, вольфраму, які також є каталізаторами кислотного типу [8]. З цих міркувань доцільним було сумістити стадії окиснення метанолу до формальдегіду з процесом альдольної конденсації формальдегіду з ОК на одному каталізаторі в одному реакторі, де утворений внаслідок окиснення метанолу ФА далі реагуватиме з ОК з утворенням АК. В разі успіху такий крок створює перспективи зменшення кількості стадій виробництва АК.

Додатковою перевагою одержання АК сумісним окисненням та конденсацією порівняно з двома незалежними процесами також є краща енергоефективність. Так, типовим джерелом формальдегіду на стадії альдольної конденсації ОК є формалін, який є 37 % розчином ФА у воді. Таким чином, використання формаліну призводить до постійної циркуляції в реакційній системі значної кількості води, яка до того ж негативно впливає на рівноважний процес альдольної конденсації.

Мета та завдання досліджень

Метою роботи є розроблення одностадійного методу одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти. Ключем до реалізації поставленої мети є створення каталізаторів сумісного окиснення метанолу у формальдегід і альдольної конденсації формальдегіду з оцтовою кислотою в акрилову кислоту.

У роботі передбачається вирішення таких завдань:

- розроблення високоефективних складних оксидних каталітичних систем процесу одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією формальдегіду з оцтовою кислотою;

- встановлення оптимальних умов (температура, час контакту) здійснення процесу

одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією формальдегіду з оцтовою кислотою;

- дослідження впливу температури на протікання процесів деструктивного окиснення та визначення допустимого температурного режиму здійснення процесу сумісного окиснення метанолу та альдольної конденсації формальдегіду з оцтовою кислотою;

- дослідження процесу сумісного окиснення метанолу у формальдегід та альдольної конденсації формальдегіду з оцтовою кислотою в акрилову кислоту на каталізаторі, що володіє максимальним виходом цільового продукту в процесі альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом.

В попередніх дослідженнях встановлено високу ефективність каталізаторів на основі суміші оксидів бору та фосфору нанесених на силікагель марки КСС-3 промотованих оксидами молібдену, ванадію чи вольфраму [9 - 12]. Для реалізації одностадійного одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти в присутності повітря вирішено продовжити дослідження складних оксидних каталізаторів кислотного типу. З цією метою розроблено нові каталітичні системи складу $B-P-W-V-O_x$. Атомне співвідношення компонентів $B:P:(W+V)$ становило відповідно 3:1:0,3. Вміст оксидів WO_3 і V_2O_5 змінювали таким чином, щоб частка ванадію в суміші оксидів перехідних металів ($WO_3 + V_2O_5$) становила 20 % (K_1), 40 % (K_2), 60 % (K_3) та 80 % (K_4).

Матеріали та методи досліджень

Досліджували каталітичні системи на основі сумішей оксидів бору та фосфору з оксидами вольфраму і ванадію з різними їх співвідношеннями. Всі каталізатори приготовані методом просочування. Як носій використано силікагель марки КСКГ з питомою поверхнею 500 м²/г.

Дослідження здійснювали у реакторі проточного типу з імпульсною подачею реагентів і стаціонарним шаром каталізатора. Продукти реакцій аналізували методом газової хроматографії.

Процес здійснювали в інтервалі температур 563 - 683 К при еквімолярному співвідношенні вихідних реагентів; час контакту 8 с.

Як джерело ФА для дослідження процесу альдольної конденсації ОК з ФА використовували формалін, який одержували з параформу безпосередньо перед здійсненням реакції.

Результати досліджень та їх обговорення

Першим етапом досліджень було встановлення впливу вмісту оксидів ванадію і вольфраму на каталітичні властивості $B-P-W-V-O_x$ каталізаторів у процесі одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією оцтової кислоти з формальдегідом у газовій фазі.

Як видно з Рис. 1, зі збільшенням температури здійснення процесу від 563 К до 653 К вихід АК поступово зростає. При температурі 653 К спостерігається найвище значення виходу на всіх досліджених каталізаторах каталізаторів. Найнижчий вихід акрилової кислоти при цій температурі одержано на каталізаторі K_1 – 53,9 %, а найбільший на каталізаторі K_3 – 57,0 %.

Отже, найефективнішим каталізатором в процесі альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом є каталізатор K_3 , на якому спостерігається максимальний вихід АК (57,0 %); при цьому, селективність утворення АК становить 89,0 %, а конверсія оцтової кислоти – 64,1 %. Саме каталізатор $B_2O_3-P_2O_5-WO_3-V_2O_5/SiO_2$ з атомним співвідношенням $W:V = 2:3$ було використано для реалізації одностадійного одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти у присутності кисню.

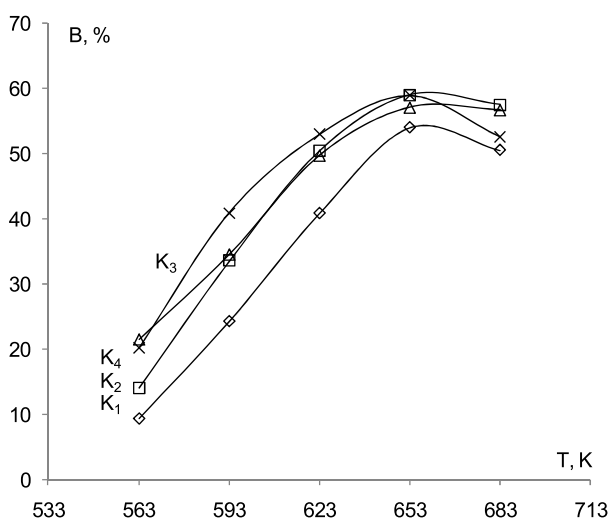


Рис. 1 – Залежність виходу АК від температури реакції в присутності каталізаторів K_{1-4} . Мольне співвідношення ОК:ФА=1:1, час контакту 8 с

Оскільки в реакційній системі присутній кисень (повітря), а температура здійснення процесу є високою (563 – 683 К), дуже ймовірним є протікання процесів повного окиснення вихідних реагентів з утворенням вуглекислого газу та води. Саме тому принципово важливим є встановлення частки протікання процесів деструктивного окиснення та визначення допустимого температурного режиму здійснення процесу одержання акрилової кислоти. З цих міркувань досліджено залежність виходу CO_2 від температури (Рис.2).

Встановлено, що при температурі 563 К вуглекислий газ не утворюється (вихід CO_2 становить 0 %), проте зі збільшенням температури його частка серед продуктів реакції зростає. Так, при 593 К вихід CO_2 становить всього 1 %, а при найвищій температурі (683 К) – близько 19 %. Допустимим

температурним інтервалом здійснення процесу вважаємо 563 – 623 К, де частка утворених продуктів деструктивного окиснення є низькою і становить 0 – 4 %.

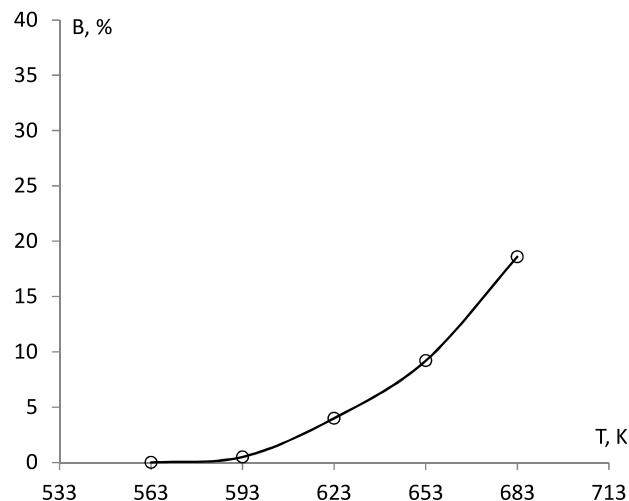


Рис. 2 – Залежність виходу CO_2 від температури реакції. Мольне співвідношення ОК:М 1:1. Час контакту 8 с.

Отже, подальші дослідження здійснювали при температурі 623 К за еквімолярного співвідношення вихідних реагентів в інтервалі часу контакту 4 – 16 с.

Наявність у системі одночасно кислоти (ОК) та спирту (метанолу) і каталізатора кислотного типу створює можливість протікання, окрім процесів окиснення та альдольної конденсації, також процесів естерифікації та альдольної конденсації утворених продуктів.

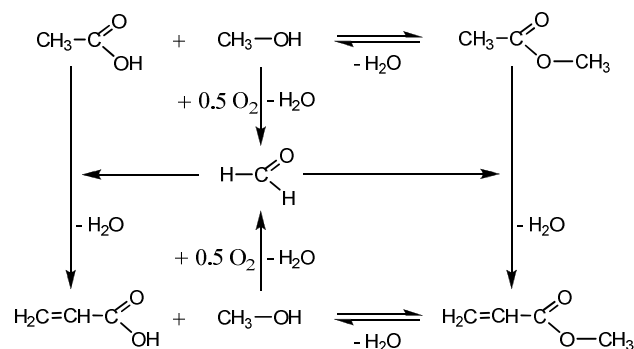


Рис. 3 – Схема перетворення реагентів та утворення цільових продуктів реакцій одностадійного синтезу АК з метанолу та ОК в присутності кисню

Так, при естерифікації ОК та метанолу утворюється метилацетат (МАц), який може вступати в реакцію альдольної конденсації з ФА, що утворився внаслідок окиснення метанолу, з утворенням цінного мономеру – метилакрилату. Метилакрилат (МАкр) може також утворюватися під час естерифікації АК та метанолу. Ще одним продуктом у даній реакції є

ацетон, що утворюється в результаті альдольної конденсації двох молекул ОК.

При виконання експериментальних досліджень встановлено, що зі збільшенням часу контакту від 4 до 16 с сумарна селективність утворення АК та МАкр дещо знижується, проте їх сумарний вихід зростає, що пов'язано з підвищенням конверсії ОК (Рис. 4). Наведена на Рис. 4 сумарна селективність утворення АК і МАкр розрахована без врахування конверсії ОК в МАц, оскільки МАц, як і ОК, є вихідною речовиною для одержання МАкр.

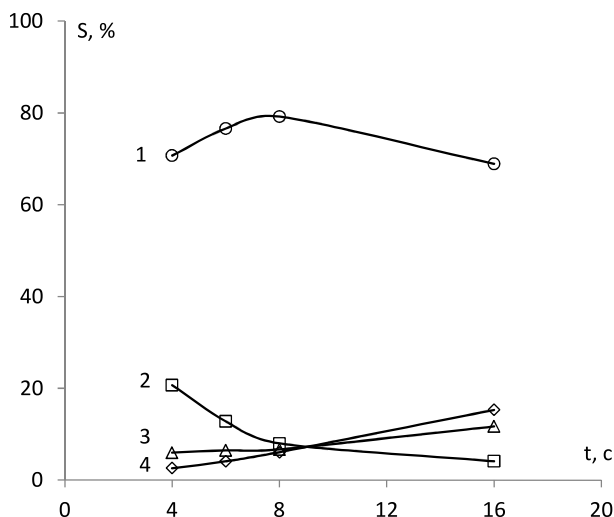


Рис. 4 – Залежність селективності утворення АК(1), МАц(2), МАкр(3), ацетону (4) від часу контакту у присутності каталізатора K_3 . Температура 623 К; мольне співвідношення ОК:М = 1:1

Критеріями при виборі оптимального часу контакту є селективність утворення АК, селективність утворення МАкр та вихід цих продуктів (Рис. 5). Максимальний сумарний вихід акрилатів (44,6 %) зафіксовано при часі контакту 16 с, проте сумарна селективність утворення акрилатів при цьому є найнижчою. Максимальна селективність утворення основного цільового продукту – АК (79,2 %) спостерігається при часі контакту 8 с, тому саме такий час контакту приймаємо за оптимальний. Сумарна селективність утворення акрилатів при цьому складає 93,4 %, а сумарний вихід акрилатів – 30,4 % при конверсії ОК за один прохід 37,7 %.

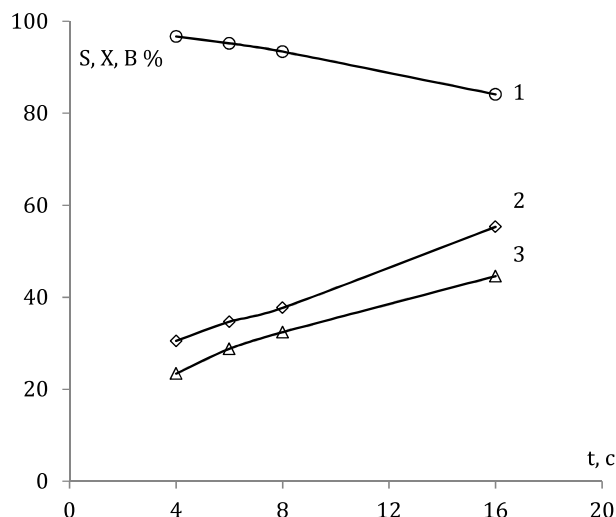


Рис. 5 – Залежність сумарної селективності утворення АК і МАкр (1), конверсії ОК (2) та сумарного виходу АК і МАкр (3) від часу контакту у присутності каталізатора K_3 . Температура 623 К

Варто зазначити, що утворення метилакрилату у процесі одностадійного одержання АК з метанолу та ОК є позитивним явищем. В промисловості значну частину АК використовують саме для синтезу метилакрилату. Таким чином, реалізація запропонованого методу виробництва АК дозволить не тільки скоротити стадію окиснення метанолу до формальдегіду в окремому реакторі, а й дозволить скоротити стадію естерифікації АК з метанолом до метилакрилату.

Висновки

Встановлено, що каталітична система складу В-Р- $W-V-O_x$ є ефективною у процесі одностадійного одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти.

Показано, що в процесі утворюється також інший цінний мономер – метилакрилат, який у промисловості одержують естерифікацією акрилової кислоти з метанолом в окремому реакторі.

Застосування розробленого каталізатора дозволяє одержувати акрилову кислоту та метилакрилат з сумарним виходом 30,4 % при сумарній селективності їх утворення 93,9 %. При рециркуляції непрореагованих речовин (оцтової кислоти та метилацетату) сумарний вихід акрилової кислоти та метилакрилату становитиме до 93,4 %.

Подяка

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом GP/F61/068.

Список літератури

Bibliography (transliterated)

1. **Patent 7964689 US**, Superabsorbent polymer made from acrylic acid / Stefan Nordhoff, Axel Kobus and others (DE). – filing date: 13.09.2010; publication date: 21.06.2011.
2. **Liu, C.-H.** SBA-15-supported highly dispersed copper catalysts: Vacuum-thermal preparation and catalytic studies in propylene partial oxidation to acrolein / **C.-H. Liu, N.-C. Lai, J.-Fu Lee, C.-S. Chen, C.-M. Yang.** // *Journal of Catalysis.* – 2014. – Vol. 316. – P. 231 - 239.
3. **Nagai, K.** New developments in the production of methyl methacrylate / **Koichi Nagai** // *Applied Catalysis A: General.* – 2001. – Vol. 221 (1 - 2). – P. 367-377.
4. **Kazemeinia, M.** Minimizing CO₂ Formation in Ir-Catalyzed Methanol Carbonylation Process / **M. Kazemeinia, V. Hosseinpour** // *Procedia Engineering, CHISA.* – 2012, Aug. 2012. – Vol. 42. – P. 1179-1188.
5. **Ormsby, G. A.** Methanol-only route to acetic acid / **G. Ormsby, J. S. J. Hargreaves, E. J. Ditzelb** // *Catalysis Communications.* – 2009. – Vol. 10 (9). – P. 1292-1295.
6. **Patent 6624332 US**, In situ formation of metal-molybdate catalysts for methanol oxidation to formaldehyde / I. Wachs, L. Briand / September 23, 2003.
7. **Patent 0343319 US**, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel et al. // BASF SE., 2014.
8. **Івасів, В. В.** Фізико-хімічні властивості поверхні В₂О₃ – Р₂О₅ – MeOx/SiO₂ каталізаторів та їх вплив на параметри процесу альдольної конденсації пропіонової кислоти з формальдегідом / **Івасів В. В., Піх З. Г. Жизневський В. М., Небесний Р. В.** // *Доповіді НАН України.* – 2011. – №11. – С. 126 - 130.
9. **Nebesnyi, R.** Acrylic acid obtaining by acetic acid catalytic condensation with formaldehyde. / **R. Nebesnyi, V. Ivasiv, Y. Dmytruk, N. Lapychak** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2013. – Vol. 6/6(66). – P. 40 - 42.
10. **Nebesnyi, R.** Complex oxide catalysts of acrylic acid obtaining by aldol condensation method. / **R. Nebesnyi** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2015. V. 1, N 6(73). – P. 13-16.
11. **Nebesnyi, R.** Determination of Optimal Parameters of Acrylic Acid Synthesis by Aldol Condensation Method on B₂O₃-P₂O₅-WO₃-V₂O₅/SiO₂ Catalysts / Roman Nebesnyi, Iryna Shpyrka, Volodymyr Ivasiv, Yulia Dmytruk // 10th International PhD Students and Young Scientists Conference "Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology 2015". – Warsaw, Poland. – 56 p.
12. **Nebesnyi, R.** Single Stage Acrylic Acid Obtaining based on Methanol and Acetic Acid / **R. Nebesnyi, I. Shpyrka, A.-B. Shatan, A. Lukiyanchuk, V. Ivasiv, Yu. Nebesna, N. Lapychak** // 4th International Academic Conference "Chemistry and Chemical Technology 2015" (CCT – 2015): Proceedings of the 5th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus". – Lviv, November 26 - 28, 2015. – P. 384-385.
1. **Patent 7964689 US**, Superabsorbent polymer made from acrylic acid / Stefan Nordhoff, Axel Kobus and others (DE). – filing date: 13.09.2010; publication date: 21.06.2011.
2. **Liu, C.-H.** SBA-15-supported highly dispersed copper catalysts: Vacuum-thermal preparation and catalytic studies in propylene partial oxidation to acrolein / **C.-H. Liu, N.-C. Lai, J.-Fu Lee, C.-S. Chen, C.-M. Yang.** // *Journal of Catalysis.* – 2014. – Vol. 316. – P. 231–239.
3. **Nagai, K.** New developments in the production of methyl methacrylate / **Koichi Nagai** // *Applied Catalysis A: General.* – 2001. – Vol. 221 (1 - 2). – P. 367-377.
4. **Kazemeinia, M.** Minimizing CO₂ Formation in Ir-Catalyzed Methanol Carbonylation Process / **M. Kazemeinia, V. Hosseinpour** // *Procedia Engineering, CHISA.* – 2012, Aug. 2012. – Vol. 42. – P. 1179-1188.
5. **Ormsby, G. A.** Methanol-only route to acetic acid / **G. Ormsby, J.S.J. Hargreaves, E.J. Ditzelb** // *Catalysis Communications.* – 2009. – Vol. 10 (9). – P. 1292-1295.
6. **Patent 6624332 US**, In situ formation of metal-molybdate catalysts for methanol oxidation to formaldehyde / I. Wachs, L. Briand / September 23, 2003.
7. **Patent 0343319 US**, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel [et al] // BASF SE., 2014.
8. **Ivasiv, V.V.** Fyzyko-khimichni vlastyvyosti poverkhni B₂O₃ – P₂O₅ – MeOkh/SiO₂ katalizatoriv ta yikh vplyv na parametry protsesu al'dol'noyi kondensatsiyi propionovoyi kysloty z formal'dehidom / **Ivasiv V.V., Pikh Z.H. Zhyznevs'kyi V.M., Nebesnyy R.V.** // *Dopovidi NAN Ukrayiny.* – 2011. – №11. – S. 126–130.
9. **Nebesnyi, R., Ivasiv, V., Dmytruk, Y., Lapychak, N.** Acrylic acid obtaining by acetic acid catalytic condensation with formaldehyde. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, 6/6(66), 40–42.
10. **Nebesnyi, R.** Complex oxide catalysts of acrylic acid obtaining by aldol condensation method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2015. V. 1, N 6(73). – P. 13-16.
11. **Nebesnyi, R.** Determination of Optimal Parameters of Acrylic Acid Synthesis by Aldol Condensation Method on B₂O₃-P₂O₅-WO₃-V₂O₅/SiO₂ Catalysts / Roman Nebesnyi, Iryna Shpyrka, Volodymyr Ivasiv, Yulia Dmytruk // 10th International PhD Students and Young Scientists Conference "Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology 2015". – Warsaw, Poland. – R. 56.
12. **Nebesnyi, R.** Single Stage Acrylic Acid Obtaining based on Methanol and Acetic Acid / **R. Nebesnyi, I. Shpyrka, A.-B. Shatan, A. Lukiyanchuk, V. Ivasiv, Yu. Nebesna, N. Lapychak** // 4th International Academic Conference "Chemistry and Chemical Technology 2015" (CCT – 2015): Proceedings of the 5th International Youth Science Forum "Litteris et Artibus". – Lviv, November 26 – 28, 2015. – P. 384-385.

Відомості про авторів (About authors)

Небесний Роман Володимирович – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Roman Nebesnyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Lviv Polytechnic National University, Habilitant, Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: nebesnyi@lp.edu.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.

Zorian Pikh – Doctor of Chemical Sciences (D.Sc.), Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: pikh@lp.edu.ua.

Шпирка Ірина Іванівна – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: irynashpirka@mail.ru.

Ірина Шпырка – PhD student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: irynashpirka@mail.ru.

Івасів Володимир Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: el.spectre.x@gmail.com.

Volodymyr Ivasiv – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Lviv Polytechnic National University, Habilitant of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: el.spectre.x@gmail.com.

Небесна Юлія Віталіївна – аспірант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: yulia.nu.lp@gmail.com.

Yulia Nebesna – PhD student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: yulia.nu.lp@gmail.com.

Фуч Уляна Василівна – аспірант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: ylankafy4@mail.ru.

Uliana Fuch – PhD student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: ylankafy4@mail.ru.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Небесний, Р. В. Одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти в присутності складних оксидних каталізаторів / **Р. В. Небесний, І. І. Шпирка, В. В. Івасів, Ю. В. Небесна, У. В. Фуч** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 125 - 130. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Nebesnyi, R. V., Shpyrka, I. I., Ivasiv, V. V., Nebesna, Y. V., Fuch, U. V. Acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid in the presence of complex oxide catalysts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 125 - 130. – ISSN - 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Небесный, Р. В. Получение акриловой кислоты из метанола и уксусной кислоты в присутствии сложных оксидных катализаторов / **Р. В. Небесный, И. И. Шпирка, В. В. Ивасив, Ю. В. Небесная, У. В. Фуч** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 125 - 130. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ Предложен одностадийный процесс получения акриловой кислоты из метанола и уксусной кислоты в присутствии новых эффективных катализаторов, состоящих из оксидов бора, фосфора, вольфрама и ванадия, нанесенных на силикагель. Исследовано влияние температуры и времени контакта на параметры процесса получения акриловоо кислоты из метанола и уксусной кислоты в присутствии кислорода; определены оптимальные условия осуществления процесса. Показано, что в условиях реакции образуется другой ценный мономер – метилакрилат

Ключевые слова: акриловая кислота, метилакрилат, метанол, уксусная кислота, альдольная конденсация, окисление, катализаторы

Надійшла (received) 08.12.2015

УДК 669.054.8

ВИЛУЧЕННЯ ВАНАДІЮ ТА СУЛЬФАТІВ ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ

А. Ю. НИКИФОРОВА*, О. В. КОЖУРА, О. О. ПАСЕНКО

Кафедра технології неорганічних речовин і екології, ДВНЗ «УДХТУ», м. Дніпропетровськ, УКРАЇНА.

*e-mail: nikiforova_anna@yahoo.com

АНОТАЦІЯ Запропонована технологічна схема переробки відпрацьованих ванадієвих каталізаторів синтезу сірчаної кислоти. Визначено кінетичні характеристики відновного вилугування ванадію діоксидом сірки при низькій кислотності розчинів, встановлено технологічні параметри максимального вилучення ванадію у розчині. Підготовку розчинів вилугування до екстракційного вилучення ванадію запропоновано здійснювати шляхом нейтралізації їх вапном у присутності оцтової кислоти. Досліджено розподіл ванадію між розчином та твердою фазою на стадії нейтралізації, визначено технологічні параметри цього процесу.

Ключові слова: ванадій, відпрацьований каталізатор, вилугування, діоксид сірки, нейтралізація, кальцію гідроксид.

EXTRACTION OF VANADIUM AND ALKALI METALS IN THE PROCESSING OF SPENT CATALYSTS

A. Y. NIKIFOROVA, O. V. KOZHURA, O. O. PASENKO

Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

ABSTRACT The authors proposed the technological scheme of complex processing of spent vanadium catalysts for the synthesis of sulfuric acid. They studied the process of reductive leaching by sulfur dioxide and estimated the effect of the acidity of the solutions, the amount of reducing agent, the catalyst particle size and temperature on the degree of vanadium removal. The main parameters affecting the completeness of removal are temperature and acidity of solutions, the role of other factors is insignificant. Optimal conditions for the leaching process at which quantitative extraction of vanadium in solution is achieved, have been estimated. The authors suggested that preparation of derived solutions for extraction removal of vanadium to be carried out by neutralizing them with lime in the presence of acetic acid. Due to formation of acetate complexes increase in stability of tetravalent vanadium compounds to hydrolysis has been achieved and the pH of leach solutions, which are sent to the stage of extraction, has been raised. The distribution of vanadium between solution and solid phase formed during neutralization the solutions with lime has been studied. The efficient conditions of this process have been determined: without loss of vanadium in sediments the acidity of the solution can be reduced to pH = 4. When using lime, the salt composition of leaching solutions remains intact that simplifies recycling schemes of promoter salts of catalytic activity and allows to return them to the production of catalysts.

Keywords: vanadium, spent catalyst, leaching, sulphur dioxide, neutralization, calcium hydroxide.

Вступ

Обмежена власна мінеральна база не дозволяє промисловості України виробляти в значних кількостях ванадій (V) та його сполуки і призводить до необхідності задовольняти свої потреби за рахунок імпорту [1]. Зростаючий попит металургії на ванадій примушує підприємства звертати увагу на вторинні джерела ванадієвої сировини, концентрація металу в яких іноді в десятки раз перевищує його вміст в традиційній рудній сировині [2]. В Україні основним таким джерелом є відпрацьовані ванадієві каталізатори (ВВК) виробництва сірчаної кислоти. Відпрацьована каталітична маса, каталізатори типу СВД, БАВ, СВС та інші, складається з інертного носія з розвиненою поверхнею (50–55 %) представленого переважно природними кристоболітами (діатомітами), активного компонента (4–8 % пентаоксиду ванадію V₂O₅), солей-проторів лужних металів (до 30 %) та домішок [3]. Завдяки високому вмісту токсичних

складових, таких як сполуки ванадію та арсену (As), ці каталізатори відносяться до першої групи небезпечних відходів. Їх захоронення є економічно затратним, призводить до забруднення навколишнього середовища та втрати цінних складових. Введення жорстких екологічних обмежень для цих відходів та низька рентабельність існуючих технологій їх переробки, примушують підприємства накопичувати відпрацьовану каталітичну масу на складах. Висока вартість основних складових відпрацьованої каталітичної маси та підвищення екологічних вимог роблять актуальною розробку технології комплексної переробки ВВК та її промислово реалізацію.

Аналіз досліджень і публікацій

При переробці ВВК використовують тільки гідрометалургійні схеми, оскільки багатоконпонентність матеріалу і низька

селективність пірометалургійних процесів не дозволяють отримати ванадієві продукти задовільної якості. Важливим елементом схеми переробки ВБК є операція вилуговування, яка може здійснюватися шляхами, що передбачають водне або кислотне вилуговування [4,5] чотирьох- (V^{+4}) і п'ятивалентного (V^{+5}) ванадію, вилуговування з використанням речовин-комплексоутворювачів [6,7], лужне вилуговування ванадію у присутності окисників [8], а також відновне вилуговування V^{+4} у кислих середовищах [9,10].

Водне вилуговування для ВБК з урахуванням гідролізу піросульфату калію ($K_2S_2O_7$) є ефективним методом вилучення сполук V^{+4} , але не дозволяє повністю вилучити V^{+5} . Високий залишковий вміст ванадію та низькі концентрації його в розчинах вилуговування не дозволяють використовувати цей метод для більшості видів ВБК.

Більш ефективним є кислотне вилуговування, при надлишковій концентрації сірчаної кислоти (H_2SO_4) = 50–80 г/л та співвідношенні Т:Р = 1:(5–6) відбувається 85–90 % вилучення ванадію [11]. Виключення становлять каталізatori, що містять у своєму складі сульфати цезію (Cs_2SO_4) та рубідію (Rb_2SO_4), або високі концентрації домішок солей трьохвалентного заліза (Fe^{+3}). Для цих каталізаторів необхідно підвищувати концентрації сірчаної кислоти, зменшувати співвідношення Т:Р або вводити у розчини речовини, що сприяють зв'язуванню ванадію у комплексні сполуки [12].

Комплексоутворення, наприклад, зі щавелевою кислотою ($H_2C_2O_4$), дозволяє вилучити V^{+4} та V^{+5} із більшості видів ВБК, проте висока вартість таких реагентів та ускладнення, що виникають на подальших операціях виділення ванадію з робочих розчинів, вносять значні обмеження на застосування цих методів.

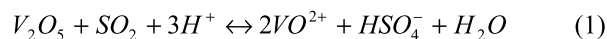
При вилуговуванні ВБК з відновниками у кислому середовищі легко досягається кількісне вилучення V^{+4} у вигляді добре розчинних сполук ванаділу. Основа каталізатору легко відмивається від залишкових кількостей ванадію, іонів домішок та солей промоторів.

Лужне вилуговування дозволяє досягти вилучення ванадію на 85 % та головне – відокремити його від сполук заліза, але супроводжується переходом в розчин сполук кремнієвої кислоти, які на стадіях осадження гідролізують та забруднюють продукт осадження, погіршують фільтрування та промивання осаду.

Серед перерахованих методів відновне вилуговування є найменш чутливим до складу ВБК і забезпечує максимальні вилучення цінних компонентів в розчин. Крім того, при використанні таких відновників, як сірчистий ангідрид (SO_2), гідразин (N_2H_4), $H_2C_2O_4$ тощо, зміни іонного складу розчинів є мінімальними, що сприяє спрощенню подальших операцій утилізації окремих компонентів контактної маси.

Виходячи з економіки процесу, найбільш зручним реагентом-відновником для вилуговування ванадію є сірчистий ангідрид.

Дані щодо взаємодії V_2O_5 зі сполуками сірчистої кислоти приведені в роботі [13]. У загальній формі при низьких рН реакція має вигляд ($K_{\text{рівн.25}^\circ\text{C}} = 9.47 \cdot 10^{28}$):



Показано, що в діапазоні рН = 0,5–1,5 та температурах 30–90 °С відновлення V_2O_5 , що не містить нерозчинних домішок, відбувається з кінетичним контролем, а зменшення рН розчину від 1,5 до 0,5 прискорює вилуговування в 4,6 рази.

У ВБК ванадій знаходиться в формі піросульфатованадатів лужних металів ($Me^1_2S_2O_7 \cdot V_2O_5$), які мають більш високу реакційну здатність порівняно з V_2O_5 . Це має сприяти зменшенню кінетичних обмежень. Натомість, наявність у вихідній сировині значної кількості домішок може призводити до погіршення показників вилуговування за рахунок дифузійних опорів.

В залежності від складу та кислотності розчинів вилуговування, ступеня окиснення ванадію, його вилучення досягають шляхом осадження декаванадієвої кислоти ($V_2O_5 \cdot xH_2O$) або її солей [14], осадження метаванадату амонію (NH_4VO_3) [15], іонного обміну [16] або екстракції [17-18].

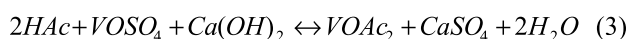
Для вирішення задач комплексної утилізації компонентів ВБК значні переваги має екстракційне вилучення V^{+4} розчинами ди-2-етилгексилфлсфорної кислоти (Д2ЕГФК) у гасі. За 3–4 стадії екстракції із слабокислих (рН = 2) розчинів, з початковою концентрацією 2–3 г/л, ванадій вилучається на 98–99 % згідно рівняння [18]:



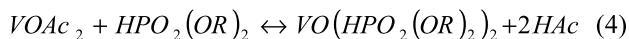
Основним ускладненням для екстракційного вилучення ванадію з розчинів вилуговування ВБК є його висока концентрація (6–12 г/л). В процесі екстракції відбувається сильне закислення таких розчинів (реакція 2), падає ступінь вилучення та зростає залишкова концентрація ванадію в рафінатах [23]. Підвищити стартову кислотність розчинів до значень рН > 2,5 не дозволяє гідроліз сульфату ванаділу (VO_{SO_4}), який утворює осад гідроксиду ($VO(OH)_2$), що призводить до емульгування водно-органічної суміші. Поряд з необхідністю корегувати кислотність перед екстракцією, з'являється необхідність нейтралізації кислоти в рафінатах першої стадії екстракції. Безпосереднє здійснення таких операцій, так само як використання у якості екстрагентів розчинів солей Д2ЕГФК у гасі, мають суттєві обмеження. Головним чином, це обмеження стосується внесення до розчинів вилуговування ВБК сторонніх катіонів натрію, чи амонію оскільки ці

домішки у подальшому істотно ускладнюють процеси утилізації солей промоторів. В свою чергу використання дорогих калієвих основ, сильно погіршує економіку процесу. Кращим варіантом є корегування кислотності розчинів вилуговування вапном, іони кальцію якого в сульфатних системах утворюють осад і виводяться із розчину.

Зменшити кількість стадій екстракції та уникнути додаткових стадій фільтрування дозволяє внесення у розчини вилуговування оцтової кислоти (HAc). При нейтралізації таких розчинів утворюються ацетатні похідні чотирьохвалентного ванадію, які за рахунок комплексоутворення мають вищу стійкість до гідролізу порівняно з вихідними сульфатами:



Більша стабільність ацетатів ванадію ($VO(As)_2$) з одного боку, має забезпечити підвищення рН початку екстракції, а з іншого створює буферну систему, яка протидіятиме надмірному зростанню кислотності рафінату. Екстракція в цьому випадку здійснюється згідно рівняння:



При нейтралізації розчинів вилуговування можливе співосадження разом з сульфатом кальцію гідроксиду ванадію. Як правило, перерозподіл іонів між розчином та твердою фазою в таких випадках залежить від складу розчину, його рН та природи осаду. Питання екстракції сполук V^{+4} в літературі досліджено достатньо повно, питання ж нейтралізації технологічних розчинів, що містять чотирьохвалентний ванадій в присутності оцтової кислоти не досліджувалися і представляють інтерес для технологічної логістики процесу переробки ВВК.

Аналіз патентної та науково-технічної літератури дозволяє запропонувати технологічну схему, що може забезпечити комплексну переробку складових ВВК (рис. 1).

Основними стадіями цієї схеми є відновне вилуговування ВВК у кислому середовищі, відокремлення нерозчинної основи каталізатору фільтруванням, нейтралізація вапняковим молоком розчинів після внесення в них оцтової кислоти або її солей, відокремлення твердих продуктів нейтралізації. Розчини нейтралізації направляють на екстракцію ванадію Д2ЕГФК, а одержані рафінати підлягають очищенню від домішок (As, Fe, Al) шляхом їх взаємодії з вапном до рН = 8–9. З очищеного рафінату, після упарювання та кристалізації, отримують сульфати лужних металів, а кубові залишки, що містять ацетати, повертають на стадію нейтралізації розчинів вилуговування. Ванадій після кислотної реекстракції можливо виділяти з розчинів у вигляді дека ванадієвої кислоти або метаванадату амонію.

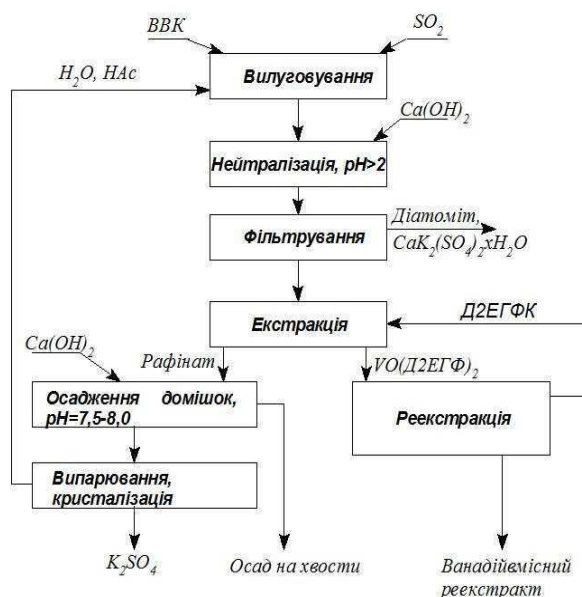


Рис. 1 – Технологічна схема переробки ВВК

Цілі і завдання досліджень

В рамках досліджень по створенню комплексної технології утилізації всіх цінних компонентів ВВК, метою даної роботи було визначення умов процесу вилуговування та підготовки отриманих розчинів до екстракційного вилучення ванадію.

Для досягнення цієї мети вирішувались наступні задачі:

- дослідження впливу початкової кислотності, температури, кількості відновника та тонини помелу на вилуговування ванадію з ВВК;
- встановлення основних технологічних параметрів процесу відновного вилуговування ВВК з використанням сірчистого ангідриду;
- встановлення раціональних параметрів процесу нейтралізації розчинів вилуговування ванадію гідроксидом кальцію в присутності оцтової кислоти.

Методика експерименту

В експериментах використовували реактиви кваліфікації не нижче „чда.” та дистильовану воду. Дослідження проводили з використанням якості сировини відпрацьованих ванадієвих каталізаторів марки СВД сірчанокислотного цеху ДП «Схід ГЗК» наступного складу (%): V_2O_5 – 6–7; K_2O – 9–10; SiO_2 – 56–62; CaO – 2–3; Fe – 1,5–2; Al – 1,7–2,3; As – 0,1–0,25; SO_3 – 18–19; H_2O – до 100.

Дослідження вилуговування проводили на зразках ВВК, що звільняли від сторонніх включень, висушували при $120^\circ C$ до постійної маси, подрібнювали та відбирали фракції <0,1 мм, 0,16–0,25 мм, 0,25–0,8 мм. У якості відновника використовували сірчисту кислоту, яку отримували

шляхом попереднього насичення дистилату двоокисом сірки.

Операції вилуговування здійснювали у трьохгорлій колбі об'ємом 500 мл, з механічною мішалкою пропелерного типу, вал якої було обладнано торцевим ущільнювачем з метою герметизації установки. Частоту обертання валу мішалки змінювали в діапазоні 300–600 об/хв. Колбу розміщували у рідинному термостаті, що підтримував температуру $\pm 0,1$ °С.

Ступінь вилучення ванадію в процесі вилуговування визначали шляхом відбору аліквоти суспензії, яку відфільтрували та аналізували вміст ванадію методом оксидиметричного титрування [19]. По завершенні вилуговування суспензію фільтрували, осад промивали дистильованою водою, просушували при 120 °С та визначали вміст ванадію в ньому.

Установка для дослідження процесу нейтралізації складалася з реактору об'ємом 250 мл та механічної мішалки з постійною частотою обертів – 300 об/хв. Всі дослідження проводили при 20 °С протягом двох годин. По завершенні нейтралізації відфільтровували осад, промивали його дистильованою водою та висушили при 120 °С протягом двох годин.

Електронні спектри поглинання (ЕСП) розчинів VO_2 та VOAc_2 одержували на приладі UV-5800 (PC).

Величину рН початку осадження гідроксиду ванадію визначали на установці, яка складалася з фотоколориметру КФК-2 обладнаного проточною кюветою з товщиною шару рідини 2,5 мм. Розчин зі склянки для титрування перистальтичним насосом безперервно прокачували через кювету фотоколориметру. Після внесення чергової порції титранту (0,5 М розчину NaOH) розчини витримували 10 хв до встановлення рівноваги, фіксували значення рН та оптичної густини при довжині хвилі 670 нм.

Експериментальні результати

При внесенні подрібненого сухого каталізатора у воду відбувається розчинення та гідроліз складових каталізатору, в першу чергу легкорозчинних $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$, та $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7 \cdot \text{V}_2\text{O}_5$, результатом цього є закислення розчину [20]. При обраному співвідношенні Т:Р = 1:6, рН розчину водного вилуговування до корегування та внесення відновника складав 1,75. На рис. 2 представлені дані вилуговування каталізатору при різних початковій кислотності.

Зменшення рН розчину призводить до зростання ступеня вилучення, однак протягом часу експерименту у використаному діапазоні кислотності повного вилучення ванадію не досягається. Витримування суспензій при рН = 0,7–1,1 протягом 24–48 год приводило до кількісного вилучення ванадію.

Збільшення температури (рис. 3) підвищує швидкість відновлення та ступінь вилучення ванадію.

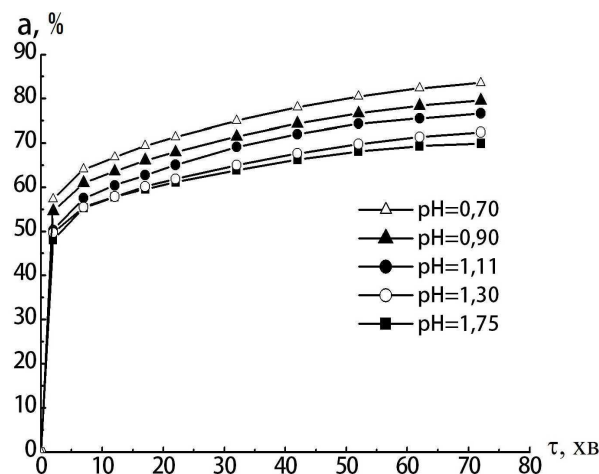


Рис. 2 – Залежність зміни ступеня вилучення ванадію від кислотності розчинів вилуговування у часі

Збільшення частоти обертів мішалки від 300 до 600 об/хв., так само як і внесення значного надлишку сірчистого газу по відношенню до ванадію (до 3 моль-екв), істотно не змінює хід кривих вилуговування. Визначення впливу розмірів зерен каталізатору на вилучення ванадію при початковому рН = 1,5, Т = 30 °С, Т:Р = 1:6 та надлишку відновника $\nu(\text{SO}_2)/\nu(\text{V}) = 1,5$ проводили для фракцій 0,8–0,25 мм, 0,25–0,16 мм, < 0,1 мм вилучення ванадію після трьох годин вилуговування для них складає 72–74 %, 82–83,5 % та 89–91 % відповідно.

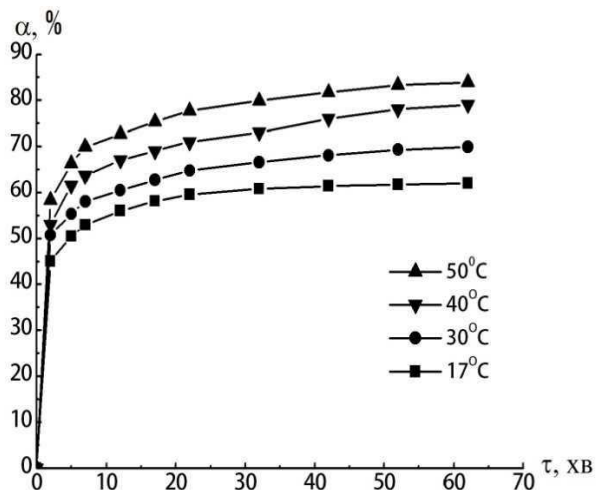


Рис. 3 – Залежність зміни ступеня вилучення ванадію від температури у часі

Форма одержаних кінетичних кривих, виражений вплив на швидкість та повноту проходження процесу розміру зерна каталізатору та початкової кислотності розчинів вилуговування, поряд з незначним впливом концентрації відновника та швидкості перемішування вказують на лімітування процесу дифузії іонів гідрогену в середину зерна та продуктів відновлення в об'єм розчину. Значний дифузійний опір при вилуговуванні матеріалу, який

має високий вміст добре розчинної солі та крупнопористу структуру носія може бути викликаний утворенням в зерні каталізатору об'ємних продуктів гідролізу іонів полівалентних металів домішок. Утворені нові конденсовані фази перешкоджають дифузії іону H^+ у середину зерна.

З метою встановлення оптимальних умов проведення операції вилуговування було застосоване центральне композиційне планування (ЦКП). Вилуговування проводили протягом трьох годин для фракції ВВК < 0,1 мм при $v(SO_2)/v(V) = 1,5$ моль–екв. Дані щодо впливу зазначених параметрів на ступінь вилучення ванадію представлені в табл. 1 та на рис. 4.

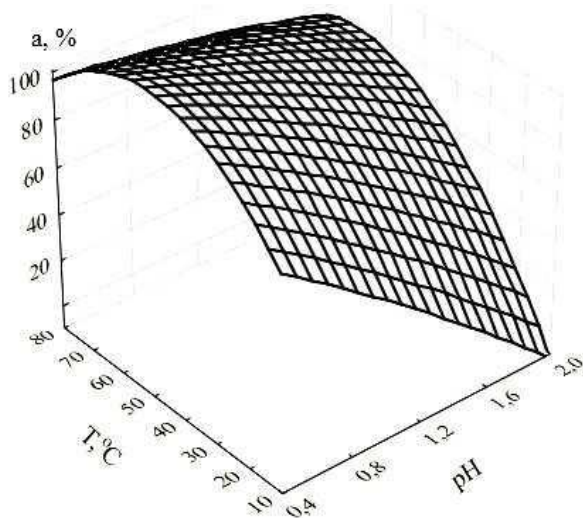


Рис. 4 – Залежність ступеня вилучення ванадію від кислотності та температури розчинів вилуговування

Таблиця 1 – ЦКП відновного вилуговування ванадію двоокисом сірки

Системи дослідів	pH	T, °C	Ступінь вилуговування (a), %
ПФЕ	1,6	66,5	85,72
	0,7	66,5	98,30
	1,6	25,5	23,67
	0,7	25,5	40,08
Досліди у «зіркових точках»	1,75	46	50,52
	0,5	46	86,74
	1,125	75	92,01
	1,125	17	40,05
Досліди в центрі плану	1,125	46	75,14
	1,125	46	75,17
	1,125	46	75,20
	1,125	46	74,95
	1,125	46	75,15

Згідно отриманих даних, повне вилучення ванадію досягається лише при достатньо високому рівні кислотності розчинів вилуговування при температурах нижче 40 °C. Підвищення температури до 50 °C дозволяє досягати 96–98 % вилучення ванадію вже при pH = 1,5.

Для запобігання непродуктивних витрат як самої сірчаної кислоти, так і основ на її подальшу нейтралізацію, бажано вести вилуговування при мінімальній кислотності.

Дослідження процесів нейтралізації продуктів вилуговування проводили на модельних розчинах з концентрацією $V^{+4} = 10$ г/л та $K_2SO_4 = 50$ г/л у які вносили визначені кількості НАс.

На рис. 5 представлені електронні спектри поглинання розчинів V^{+4} у присутності НАс при різних значеннях pH. Підвищення pH веде до збільшення фонового поглинання, та появи спочатку плеча, а потім нової смуги поглинання при $\lambda = 600$ нм, яку можна віднести на рахунок утворення ацетатного комплексу V^{+4} .

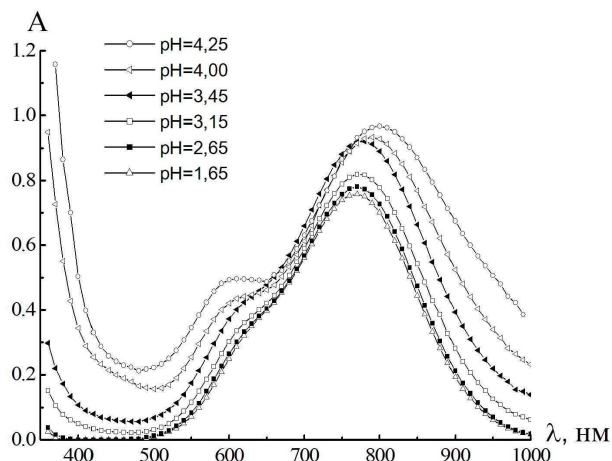


Рис. 5 – ЕСП розчинів сульфату ванадію в присутності оцтової кислоти

Вплив НАс на процес осадження $VO(OH)_2$ представлено на рис. 6. Аналіз даних щодо зміни оптичної густини розчинів від pH дозволяє встановити умови початку гідролізу $VOAc_2$.

В розчинах, що не містять НАс осадження гідроксоформ ванадію починається при $pH > 2,5$. Після внесення двократного по відношенню до ванадію надлишку оцтової кислоти осадження $VO(OH)_2$ відбувається при $pH = 4-5$.

При корегуванні кислотності розчинів вилуговування ванадію гідроксидом кальцію відбувається утворення осаду $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. У випадках, коли концентрація сульфату калію у розчині перевищує 3–6 % осаджуються також подвійні солі $K_2SO_4 \cdot 5CaSO_4 \cdot H_2O$ та $K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$. Крім часткового зв'язування іонів калію цими сполуками, також можлива сорбція частини ванадію на поверхні новоутвореної твердої фази.

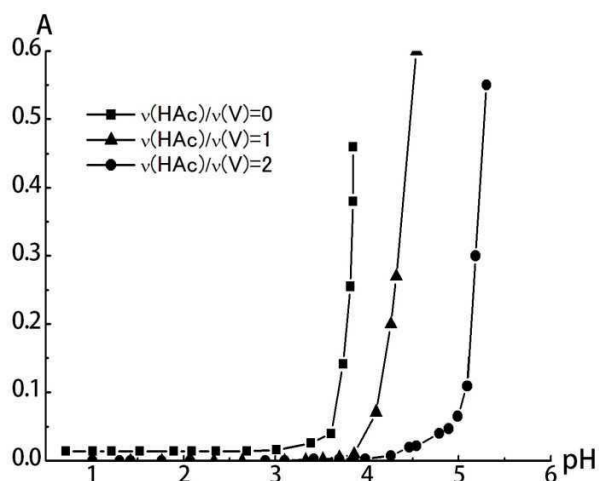


Рис. 6 – Залежність оптичної густини розчинів $VOAc_2$ від pH

Для дослідження розподілу ванадію між рідкою та твердою фазами процесу нейтралізації, в модельні розчини вносили визначену кількість HAc та $Ca(OH)_2$, після встановлення рівноваги визначали pH суспензії та вміст ванадію в розчині та осаді.

Гідроксид кальцію вносили з урахуванням його кількості, що необхідна для зв'язування вільної кислоти (до $pH = 2,5$) та часткового або повного зв'язування V^{+4} у ацетатні похідні, при цьому орієнтувалися на кінцевий рівень pH у отриманій суспензії. Дані щодо початкових умов осадження, кількості ванадію, який сорбувався твердою фазою та кінцеві значення pH розчинів після їх нейтралізації приведені в табл. 2 і на рис. 7, 8.

Аналіз одержаних даних свідчить про те, що підвищення співвідношення $v(HAc)/v(V)$ до 3 моль-екв дозволяє проводити процес нейтралізації до $pH = 4,0$ без втрат ванадію.

Таблиця 2 – ЦКП нейтралізації розчинів сульфату ванаділу в присутності оцтової кислоти

Системи дослідів	$v(Ca(OH)_2)/v(V)$	$v(HAc)/v(V)$	W(V), %	pH
ПФЕ	1,2	2	4,27	4,55
	0,7	2	0	3,80
	1,2	1	22,32	4,87
	0,7	1	12,47	3,93
Досліди у «зіркових точках»	1,69	1,5	39,79	3,49
	0,413	1,5	0	3,12
	0,95	2,82	0	4,04
	0,95	0,59	23,04	4,63
Досліди в центрі плану	0,95	1,5	1,89	4,02
	0,95	1,5	1,83	4,05
	0,95	1,5	1,92	4,00
	0,95	1,5	1,83	4,01
	0,95	1,5	1,98	4,05

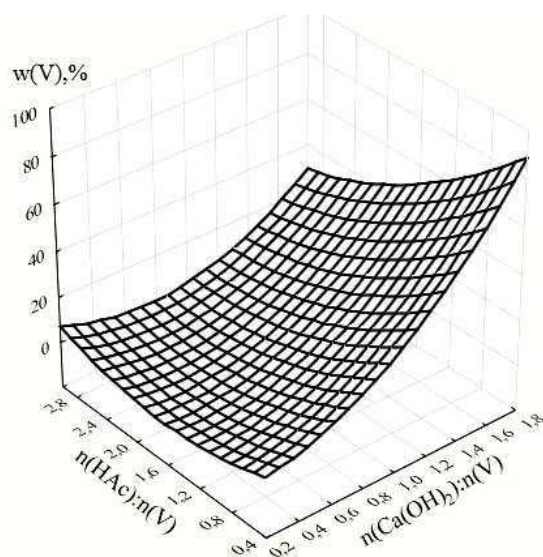


Рис. 7 – Залежність кількості V^{+4} , що осаджується від кількості HAc та $Ca(OH)_2$

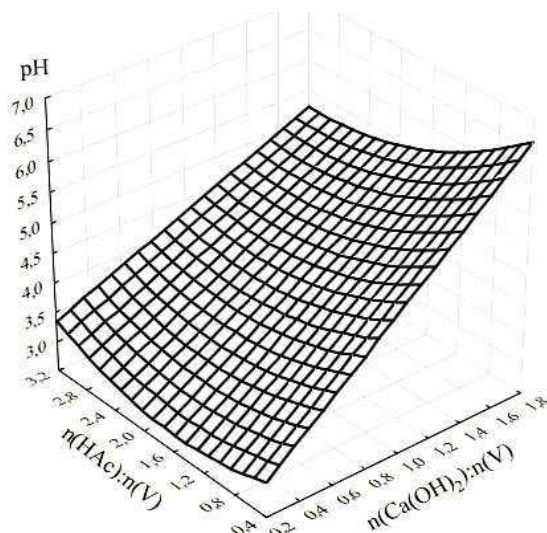


Рис. 8 – Залежність pH ванадійвмісних розчинів, від кількості HAc та $Ca(OH)_2$

Перевірка рішення на реальних розчинах вилуговування ВВК складу, г/л: $V^{+4} - 6,7$; $K_2SO_4 - 54,5$, $Fe^{3+} - 2,5$, $Al^{3+} - 3,2$, $As^{3+} - 0,19$, показала, що за умови повного відновлення іонів Fe^{3+} до Fe^{2+} внесенні 40–60 г/л оцтової кислоти та нейтралізації надлишкової кислотності гідроксидом кальцію до $pH = 4$ зв'язування ванадію твердою фазою, не відбувається.

Подальше екстрагування ванадію із підготовлених зазначеним чином розчинів дозволяє вилучити 99,2 % ванадію за чотири стадії змішування-відстоювання при співвідношенні водної та органічної ($V_v:V_o$) = 1:1 розчинами 15 % Д2ЕГФК у гасі.

Висновки

Проведено дослідження впливу початкової кислотності, температури, кількості відновника та тонини помелу ВВК на ступінь вилучення ванадію при відновному вилуговуванні його двоокисом сірки в слабокислому середовищі;

Встановлені основні технологічні параметри процесу відновного вилуговування ВВК з використанням сірчистого ангідриду: при відновленні сірчистим газом у слабокислому середовищі повне вилучення ванадію досягається при рН = 1,5 та температурі 50 °С; зі зменшенням температури необхідно підвищувати кислотність розчинів.

Визначені раціональні параметри процесу нейтралізації розчинів вилуговування ванадію гідроксидом кальцію в присутності оцтової кислоти, встановлено, що підвищення співвідношення $\nu(\text{HAc})/\nu(\text{V})$ до 3 моль-екв дозволяє проводити процес нейтралізації до рН = 4,0 без втрат ванадію.

Список літератури:

1. **Трегубенко, Г. Н.** Перспективные технологии производства в Украине / **Г. Н. Трегубенко, Г. А. Поляков, М. В. Кутина, Д. В. Лелеко.** // *МЕТАЛУРГИЯ.* – 2014. – № 2. – С. 1–5.
2. **Колобов, Г. А.** Переработка вторичного ванадийсодержащего сырья / **Г. А. Колобов, С. Г. Грищенко.** // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2012. – Т. 272, № 1. – С. 75–77.
3. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5th edition.* – 1994. – № A25. – P. 644–647.
4. **Lozano L. J.** Leaching of vanadium from spent sulphuric acid catalysts / **L. J. Lozano, D. Juan.** // *Minerals Engineering.* – 2001. – № 5. – P. 543–546.
5. **Fu-Ming, L.** Reforming catalyst made from the metals recovered from spent atmospheric resid desulfurization catalyst / **L. Fu-Ming, D. Ronald, Knudsen, [et al.]** // *Ind. Eng. Chem.* – 1992. – № 31. – P. 487–490.
6. **Mazurek, K.** Removal of vanadium, potassium and iron from spent vanadium catalyst by leaching with citric acid at atmospheric pressure / **K. Mazurek.** // *Pol. J. Chem. Tech.* 2014. – № 1. – P. 59–62.
7. **Курбатова, Л. Д.** Комплексы ванадия в растворах серной кислоты / **Л. Д. Курбатова, Д. И. Курбатов.** // *ЖНХ.* – 2006. – Т. 51, № 5. – С. 908–910.
8. **Ognyanova, A.** Metal extraction from spent sulfuric acid catalyst Through Alkaline And Acidic Leaching / **A. Ognyanova, A. T. Ozturk, I. De Michelis, [et al.]** // *Hydrometallurgy.* – 2009. – № 100. – P. 20–28.
9. **Koksalova, P.** Reprocessing of spent catalysts from the production of sulfuric acid / **P. Koksalova, M. Mrnka.** // *Chemicky Prumisl.* – 1994. – № 6. – P. 182–186.
10. **Mohanty, P. C.** Recovery of vanadium from spent catalyst / **J. Mohanty, R. C. Rath, I. N. Bhattacharya, [et al.]** // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy.* – 2011. – № 1. – P. 56–60.
11. **Кукурузенко, К. І.** Вилучення ванадію з відпрацьованих каталізаторів синтезу сірчаної кислоти / **К. І. Кукурузенко, А. Ю. Нікіфорова, О. О. Пасенко [та ін.]** // *ВХХТ.* – 2014. – № 3. – С. 84–88.
12. **Нікіфорова, А. Ю.** Вплив пероксиду водню на кислотне вилуговування ванадію з відпрацьованих каталізаторів /

- А. Ю. Нікіфорова, О. В. Кожура, О. О. Пасенко.** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2015. – Т 6, № 1. – С. 16–1.
13. **Tavakolikhaleedi, M.** Vanadium: leaching and solvent extraction: Diss PhD / **Tavakolikhaleedi Mohammadreza** – Vancouver, 2014. – 165 p.
14. **Khorfan, S.** Recovery of vanadium pentoxide from spent catalyst used in the manufacture of sulphuric acid / **S. Khorfan, A. Wahoud, Y. Reda.** // *Periodica Polytechnica Ser. Chem. Eng.* – 2001. – №45. – P. 131–137.
15. **Kozlov, V. A.** Chemical principles of a technology for making pure vanadium pentoxide / **V. A. Kozlov, A. E. Demidov.** // *Metallurgist.* – 2000. – № 44. – P. 7–8.
16. **Zeng, L.** Study on separation of vanadium from ammonium molybdate solution by ion exchange / **L. Zeng, L. S. Xiao, Q. G. Li, [et al.]** // *Rare Metal and Hard Alloy.* – 2006. – № 37. – P. 1–4.
17. **Lozano, L. J.** Solvent extraction of polyvanadates from sulphate solutions by Primene 81R. Its application to the recovery of vanadium from spent sulphuric acid catalysts leaching solutions / **L. J. Lozano, D. Juan.** // *Solvent Extract. Ion Exchange* 19. – 2001. – № 4. – P. 659–676.
18. **Moussa, A.** Solvent extraction of vanadium (IV) with di(2-ethylhexyl) phosphoric acid and tributyl phosphate / **A. Moussa, S. Habib, A. Safaa.** // *Periodica Polytechnica.* – 2008. – № 51. – P. 29–33.
19. **Vogel, A. I.** Quantitative Inorganic Analysis / **Vogel A. I.** – New York: John Wiley and Sons Inc, 1989. – 646 p.
20. **Liang, C.** Precipitation of crystallized hydrated iron (III) vanadate from industrial vanadium leaching solution / **C. Liang, L. Fengqiang, L. Dabiao.** // *Hydrometallurgy.* – 2011. – № 105. – P. 229–233.

Bibliography (transliterated):

1. **Tregubenko, G. N., Poljakov, G. A., Kutina, M. V., Leleko, D. V.** Perspektivnye tehnologii proizvodstva vanadija v Ukraine. *Metallurgij*, 2014, **2**, 1–5.
2. **Kolobov, G. A., Grishhenko, S. G.** Pererabotka vtorichnogo vanadijsoderzhashhego syr'ja. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost*, 2012, **272(1)**, 75–77.
3. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5th edition.* 1994, **A25**, 644–647.
4. **Lozano, L., D. Juan, D.** Leaching Of Vanadium From Spent Sulphuric Acid Catalys. *Minerals Engineering*, 2001, **14(5)**, 543–546.
5. **Fu-Ming, L.** et al. Reforming Catalyst Made from the Metals Recovered from Spent Atmospheric Resid Desulfurization Catalyst. *Ind. Eng. Chem.*, 1992, **31**, 487–490.
6. **Mazurek, K.** "Removal of vanadium, potassium and iron from spent vanadium catalyst by leaching with citric acid at atmospheric pressure". *Pol. J. Chem. Tech.*, 2014, **16(1)**, 59–62.
7. **Kurbatova, L. D., Kurbatov, D. I.** Kompleksy vanadija v rastvorah sernoj kisloty. *ZhNH*, 2006, **51(5)**, 908–910.
8. **Ognyanova, A., et. al.** Metal extraction from spent sulfuric acid catalyst Through Alkaline And Acidic Leaching. *Hydrometallurgy*, 2009, **100**, 20–28.
9. **Koksalova, P., Mrnka, M.** Reprocessing of spent catalysts from the production of sulfuric acid. *Chemicky Prumisl*, 1994, **44(6)**, 182 – 186.
10. **Mohanty, et al.** Recovery of vanadium from spent catalyst. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 2001, **120(1)**, 56–60.

11. **Kukuruzenko, K. I., Nikiforova, A. Yu., Pasenko, O. O., Kozhura, O. V.** Vyluchennya vanadiyu z vidprats'ovanykh katalizatoriv syntezu sirchanoyi kysloty. *VKhKhT*, 2014, **3**, 84–88.
12. **Nikiforova A. Yu., Kozhura, O. V., Pasenko, O. O.** Vplyv peroksydu vodnyu na kyslotne vyluhovuvannya vanadiyu z vidprats'ovanykh katalizatoriv. *Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovikh tekhnolohyy*, 2015, **6**(1), 16–21.
13. **Tavakolikhaleidi, M.** *Vanadium: leaching and solvent extraction. Diss PhD.* The University Of British Columbia, 2014.
14. **Khorfan, S. et al.** Recovery Of Vanadium Pentoxide From Spent Catalyst Used In The Manufacture Of Sulphuric Acid. *Periodica Polytechnica: Ser. Chem. Eng.* 2001, **45**(2), 131–137.
15. **Kozlov, V. A., Demidov, A. E.** Chemical principles of a technology for making pure vanadium pentoxide. *Metallurgist*, 2000, **44**, 7–8.
16. **Zeng L. et al.** Study on separation of vanadium from ammonium molybdate solution by ion exchange. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 2006, **2**, 1–4.
17. **Lozano, L. J., Juan, D.** Solvent extraction of polyvanadates from sulphate solutions by Primene 81R. Its application to the recovery of vanadium from spent sulphuric acid catalysts leaching solutions. *Solvent Extract. Ion Exchange*, 2001, **19**(4), 659–676.
18. **Moussa, A., Habib, S., Safaa, A.** Solvent extraction of Vanadium (IV) with di(2-ethylhexyl) phosphoric acid and tributyl phosphate. *Periodica Polytechnica*, 2008, **51**, 29–33.
19. **Vogel, A. I.**, 1989. *Quantitative Inorganic Analysis, 5th ed.* New York: John Wiley and Sons Inc, 1989.
20. **Liang, C.** Precipitation of crystallized hydrated iron (III) vanadate from industrial vanadium leaching solution. *Hydrometallurgy*, 2011, **105**, 229–233.

Відомості про авторів (About authors)

Нікіфорова Анна Юрївна – Український державний хіміко-технологічний університет, аспірант кафедри технології неорганічних речовин і екології, м Дніпропетровськ; тел.: (066) 405-1088; e-mail: nikiforova_anna@yahoo.com.

Nikiforova Anna Yurevna – Ukrainian State University of Chemical Technology, PhD student at the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Dnepropetrovsk; tel.: 066-405-1088; e-mail: nikiforova_anna@yahoo.com.

Кожура Олег Вікторович – кандидат хімічних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, доцент кафедри технології неорганічних речовин і екології, м Дніпропетровськ; тел.: (067) 945-15-51; e-mail: kozhuraoleg@gmail.com.

Kozhura Oleg Viktorovich – candidate of chemical sciences, Ukrainian State University of Chemical Technology, associate professor at the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Dnepropetrovsk; tel.: (067) 945-15-51; e-mail: kozhuraoleg@gmail.com.

Пасенко Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, доцент кафедри технології неорганічних речовин і екології, м Дніпропетровськ; тел.: (0562) 46-63-51; e-mail: zirconia@ukr.net.

Pasenko Olexsandr Olexsandrovich – candidate of technical sciences, Ukrainian State University of Chemical Technology, associate professor at the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Dnepropetrovsk; tel.: (0562) 46-63-51; e-mail: zirconia@ukr.net.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Нікіфорова, А. Ю. Вилучення ванадію та сульфатів лужних металів при переробці відпрацьованих каталізаторів / **А. Ю. Нікіфорова, О. В. Кожура, О. О. Пасенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 131 - 138. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Nikiforova, A. Y., Kozhura, O. V., Pasenko, O. O. Extraction of vanadium and alkali metals in the processing of spent catalysts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 131 - 138, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Никифорова, А. Ю. Удаление ванадия и сульфата щелочных металлов при переработке отработанных катализаторов / **А. Ю. Никифорова, О. В. Кожура, А. А. Пасенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 131 - 138. – ISSN 2079-5459

АННОТАЦІЯ Предложена технологическая схема переработки отработанных ванадиевых катализаторов синтеза серной кислоты. Определены кинетические характеристики восстановительного выщелачивания ванадия диоксидом серы при низкой кислотности растворов, установлены технологические параметры максимального извлечения ванадия в растворы. Подготовку растворов выщелачивания к экстракционному извлечению ванадия предложено осуществлять путем нейтрализации их известью в присутствии уксусной кислоты. Исследовано распределение ванадия между раствором и твердой фазой на стадии нейтрализации, определены технологические параметры этого процесса.

Ключевые слова: ванадий, отработанный катализатор, выщелачивание, диоксид серы, нейтрализация, кальция гидроксид.

Надійшла (received) 11.12.2015

УДК 637.5

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН М'ЯСА ПЕРЕПЕЛІВ В ПРОЦЕСІ ЗАМОРОЖУВАННЯ

В. М. ПАСІЧНИЙ*, А. І. УКРАЇНЕЦЬ, АЛЬ-Х. ХАЙДЕР М., М. М. ПОЛУМБРИК

*Кафедра технологій м'яса і м'ясних продуктів, Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА
email: pasww1@ukr.net

АНОТАЦІЯ. *Описані зміни в структурі м'яса перепелів при заморожуванні і тривалому його зберіганні, протягом 6 місяців, які спричиняють порушення цілісності скелетної поперечно-м'язової тканини, з появою порожнин в міжм'язовому просторі, і ушкодження м'язових волокон. Втрати маси м'язової тканини перепелів внаслідок заморожування і зберігання склали: при заморожуванні парного м'яса - 17,7-21,1%, охолодженого - 20,3-24,8% і остиглого - 30,1-32,0%. У процесі заморожування в м'ясі перепелів спостерігається зменшення діаметра м'язових волокон в області грудки на 15,6-29,2% і стегна - на 13,9-27,1%, а також зниження їх кількості на 14,2-20,3% і 4,8-19,1% відповідно. Найменші зміни в структурі скелетної м'язової тканини відзначені у парного та охолодженого м'яса перепелів, найбільші - при заморожуванні остиглого м'яса.*

Ключові слова: м'ясо перепелів, мікроструктура, заморожування, зберігання, м'язові волокна.

INVESTIGATIONS OF QUAILS MEAT STRUCTURE CHANGES N CHILLING PROCESSES

V. PASICHNIY*, A. UKRAINETZ, AL-H. HAIDER M., M. POLUMBRYK

National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT. *Domestic quails meat production has been rised every year and has reached an industrial scale in some countries. Quails meat differs from other types of poultry meats by its chemical composition and has received much attention because of its low fat content as well as optimal essential aminoacids ratio.*

Unfortunately, quails meat chilling and further long-term storage during 6 months resulted in the disorders of the clouded muscoskeletal tissue in the forms of the hollows in the intermuscular space and damages of muscular fibers. Moreover, meat chilling considerably affects the sensory properties of meat including: surface color changes, sensory features decline and increased manufacturing losses. The meat juice release has observed during thawing due to muscular damages. According to the data of physicochemical investigations, chilling, prolonged storage and further thawing cause partial damage of muscular fibers and irreversible changes of the muscular proteins.

The losses of muscoskeletal tissue of quails during chilling and storage of the fresh-killed meat are 17,7-21,1%, and chilled and cooled are 20,3-24,8% and 30,1-32,0%, respectively. The drop of muscular fiber diameter has observed during chilling in the side area by 15,6-29,2% and thigh - by 13,9-27,1%, as well as decrease of their quantity by 14,2-20,3% and 4,8-19,1%, respectively. The least changes of the muscoskeletal tissue structure were found in fresh-killed and cooled quails meat, whereas the largest changes have observed at the frozen cooled meat.

Keywords: quail meat, microstructure, chilling, storage, muscular fibers.

Вступ

Використання одомашнених перепелів для одержання м'яса з кожним роком стає актуальнішим і в деяких країнах досягає промислових масштабів. М'ясо перепелів за своїм хімічним складом відрізняється від м'яса інших видів сільськогосподарської птиці меншим вмістом жиру і оптимальним співвідношенням незамінних амінокислот, що дозволяє віднести його до високоякісних продуктів харчування [1].

Тушки перепелів реалізують охолодженими - з терміном зберігання до 3 діб, копченими - з терміном зберігання до 15 діб, замороженими в блоках - з терміном зберігання до 6 місяців, а також використовують при виготовленні ковбас, сосисок та інших продуктів глибокої переробки.

При заморожуванні м'яса птиці помітно змінюється його властивості: змінюється колір поверхні тушки, знижуються смакові властивості, збільшуються втрати при приготуванні м'яса. Вже при розморожуванні з м'яса птиці виділяється м'ясний сік як наслідок ушкодження м'язової тканини. Фізико-хімічні дослідження м'яса показують, що заморожування, зберігання і подальше розморожування викликають часткове пошкодження м'язових волокон і незворотні зміни м'язових білків [2].

Мета роботи

Істотний вплив на збереження м'яса птиці чинять умови заморожування, у зв'язку з чим, була поставлена мета - дослідити структурні зміни в м'ясі

перепелів при заморожуванні в різному термічному стані. Крім того, ґрунтуючись на результатах дослідження дати рекомендації про найбільш оптимальні умови заморожування і зберігання м'яса перепелів.

Виклад основного матеріалу

Актуальними в умовах розвитку галузі перепілкувництва залишаються проблеми визначення умов заморожування і зберігання м'яса перепелів. При зберіганні м'язові волокна пошкоджуються кристалами льоду, що утворюються при замерзанні води в міжволокнистому просторі і розривають їх гострими гранями або розчавлюють між сусідніми кристалами льоду, тобто механічним шляхом. Розмір утворених кристалів льоду визначається швидкістю заморожування м'яса: при повільному заморожуванні утворюються крупні кристали льоду і ушкодження м'язових волокон при заморожуванні глибші, порівняно з швидким заморожуванням, коли утворюються дрібні кристали льоду [3].

Після заморожування і подальшого танення в м'ясі помітно активізуються м'язові ферменти. У кілька разів збільшується активність цитохромоксидази. Збільшення активності м'язових ферментів, як наслідок руйнування клітин при заморожуванні м'яса, є настільки характерним, що за величиною активності цитохромоксидази можна точно визначити факт заморожування м'ясної сировини [4].

Швидкість заморожування визначається властивостями, температурою і швидкістю руху теплоносія (величиною тепловіддачі), лінійними розмірами тушки. Чим нижче температура заморожування, вище швидкість руху теплоносія і менше розміри тушки, тим вище швидкість заморожування. Тому низька температура заморожування є одним з основних і обов'язкових умов швидкого заморожування і утворення дрібних кристалів льоду. Однак, під час зберігання м'яса при більш високій температурі можливий ріст великих кристалів при скороченні числа дрібних, відбувається перекристалізація льоду. Тому важливо не тільки заморозити м'ясо при низькій температурі, але і зберігати його за таких самих режимів, уникаючи навіть короткочасного її підвищення [5].

Характер кристалоутворення льоду, істотно впливає і на денатураційні зміни м'язових білків м'яса. При повільному заморожуванні кристали льоду утворюються в міжволокнистому просторі. У міру їх зростання з м'язових волокон дифундує вода, що витрачається на утворення льоду, концентрація солей у внутрішньоклітинній рідині м'язового волокна зростає настільки, що це викликає денатураційні зміни білків. Цей процес є незворотнім, оскільки денатурація білків супроводжується їх коагуляційними перетвореннями. При утворенні крупніших кристалів льоду, більшу кількість води

витрачаються на їх утворення, відповідно вище концентрація солей, що викликає більш глибокі перетворення білків [6].

При швидкому заморожуванні дрібні кристали льоду утворюються не тільки в міжволокнистому просторі, а й усередині м'язових волокон. При цьому концентрація солей у внутрішньоклітинній рідині істотно не збільшується.

Зміна забарвлення поверхні тушки також залежить від характеру кристалоутворення. Великі кристали, що утворюються при повільному заморожуванні, добре пропускають світло, яке, проходячи через шкіру і підшкірний шар, поглинається темною м'язовою тканиною, що робить всю тушку більш темною. Дрібні кристали льоду, які утворюються при швидкому заморожуванні, відображають велику частину падаючого на тушку світла, при цьому темна м'язова тканина не проглядається і поверхня тушки зберігає світле забарвлення. При надшвидкому заморожуванні птиці в рідкому теплоносії при дуже низькій температурі поверхня стає біло-кремового кольору, помітно відрізняючись від природного забарвлення поверхні тушки. При середній швидкості заморожування, наприклад, на повітрі при температурі $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ забарвлення поверхні морожених тушок стає кремово-коричневою, іноді з темно-червоним відтінком. При швидкому заморожуванні тушок на повітрі при температурі $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ і швидкості циркуляції повітря 3 м/с забарвлення поверхні тушок залишається близькою до природної [7].

Глибина змін білків, викликана заморожуванням м'яса, залежить від його стану. М'ясо, заморожене в стані посмертного задубіння, під час відтавання виділяє більшу кількість м'ясного соку в порівнянні з замороженим в парному стані або замороженим після посмертного задубіння. При заморожуванні м'яса в стані посмертного задубіння через низьку вологозв'язуючу здатність такого м'яса замерзає більша кількість води і як наслідок у внутрішньоклітинній рідині утворюється більш висока концентрація солей, що викликає більш глибокі денатураційні зміни білків [8].

Кількість м'ясного соку, що витікає при таненні заморожених тушок, визначається глибиною тих пошкоджень, що виникли в м'язових волокнах під час заморожування і зберігання та залежить від кількості поглинутої води під час обробки птиці, особливо під час охолодження зануренням у воду. Втрати від власне заморожування складають приблизно 1-3 % (залежно від умов обробки), а втрати, обумовлені поглинанням води при охолодженні зануренням, можуть досягати 10 % і більше.

Втрата м'ясного соку при розморожуванні впливає на зміну смакових властивостей м'яса. Охоложене м'ясо в порівнянні з замороженим оцінюється як більш ароматне, смачне і особливо як більш ніжне і соковите. Розморожене м'ясо значно

частіше оцінюють як жорстке, сухе, несмачне. Особливо помітно знижуються смакові властивості м'яса, замороженого в стані посмертного задубіння [9].

Заморожування на повітрі здійснюють у морозильних апаратах, тунелях і камерах з примусовою циркуляцією повітря зі швидкістю руху 0,5-5 м/с і в камерах з природною циркуляцією повітря зі швидкістю до 0,3 м/с [10].

У морозильних агрегатах і тунелях з примусовою циркуляцією швидше заморожуються незапаковані тушки птиці. Однак, у промислових умовах переважно заморожують запаковані тушки перепелів. Охолоджену або остиглу птицю упаковують в ящики і направляють на заморожування. В останньому випадку помітно погіршуються умови теплообміну, що призводить до збільшення тривалості заморожування, але дещо зменшуються витрати ручної праці на запаковування птиці. Крім того, умови праці при пакуванні охолодженої або остиглої птиці краще, ніж при пакуванні замороженої: її можна сформувати більш щільно і рівно укласти в ящики, процес проводять при низькій температурі [11].

На заморожування може надходити парна, остигла або охолоджена птиця (залежить від прийнятої технології на підприємстві). За відсутності умов для заморожування птиці у воді, краще її заморожувати в парному стані. При низькій температурі заморожування (не вище - 23 °С) і примусовій циркуляції повітря заморожене м'ясо зберігає високу вологозв'язувальну здатність, ніжність і соковитість парного м'яса. Заморожувати м'ясо в охолодженому стані, коли воно може ще перебувати в стані посмертного задубіння, по можливості, слід уникати. Краще піддати його двостадійному заморожуванню, тобто на першій стадії тушки охолодити до 0 °С, а на другий – заморозити [12-13]. При заморожуванні м'яса, упакованого в полімерну плівку (або пакети з неї), тривалість заморожування через погіршення умов теплообміну дещо збільшується, але при цьому повністю виключаються втрати при заморожуванні.

Дослідження проводилися наступним чином: частини тушки і м'якоть перепела зважували на вагах RADWAG WPS 360/c/1c точністю до 0,001 грама і заморожували в блоки по 5 штук при різному термічному стані: в парному вигляді - через 15-30 хвилин після забою, остиглому вигляді - через 4 год після забою, у стані посмертного задубіння і охолодженому вигляді - через 24 години після забою і температурі зберігання 0 - + 4 °С. Заморожування проводили в морозильній камері з функцією ноуфрост при температурі - 25 °С і швидкості руху повітря 1 м/с.

Після 6 місяців зберігання в морозильній камері м'ясо грудки і ніг зважували, а потім розморозували при температурі 0 - + 4 °С протягом 8 годин.

Обговорення результатів

Результати морфологічного аналізу напівфабрикатів з тушок перепела японського показують, що грудка перепела має масу в середньому 50,4 г і становить 47,1 % від маси тушки без шкіри. Їстівна частина (м'якоть) утворює 85,9 % грудки перепела і становить у середньому 43,3 г. Таким чином, напівфабрикат «грудинка перепела» становить майже половину тушки і характеризується високим коефіцієнтом м'ясності - 6,1.

Зміни маси м'язової тканини перепелів у процесі заморожування представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Зміни маси м'язової тканини перепелів при заморожуванні і зберіганні

№	Маса, г		
	До заморожування	Після заморожування і зберігання (протягом 6 місяців)	
		заморожене	розморожене
Грудинка перепела			
1	36,646 ± 0,957	30,787 ± 0,939	29,233 ± 0,712
2	36,174 ± 0,602	28,181 ± 1,101	25,394 ± 0,482
3	35,388 ± 0,613	29,156 ± 1,071	27,073 ± 0,590
Втрати, %			
	зберігання	розморозування	
1	15,99	5,05	
2	22,10	9,89	
3	17,61	7,14	
Ніжки перепела			
1	25,980 ± 0,328	21,459 ± 0,264	21,395 ± 0,258
2	25,310 ± 0,490	17,877 ± 0,225	17,748 ± 0,387
3	25,110 ± 0,253	20,063 ± 0,336	19,995 ± 0,694
Втрати, %			
	зберігання	розморозування	
1	17,40	0,30	
2	29,37	0,72	
3	20,10	0,34	

За даними табл. 1, маса м'язів в процесі остигання і охолодження знижується, що пов'язано з випаровуванням вологи з поверхні м'яса. Маса грудних м'язів зменшується на 1,29 % і 3,43 %, а м'язів ніг - на 2,58 % і 3,35 %, відповідно.

Ніжки перепела мають середню масу 30,0 г або по 15,0 г кожна. Вихід ніжок в тушці становить 28,1%. М'якоть утворює 76,7 % ніжок і має масу в середньому 23,0 г. Таким чином, напівфабрикат «ніжки перепела» становить трохи більше четвертої частини тушки і має коефіцієнт м'ясності вище середнього - 3,29.

Спинно-тазова частина тушки має середню масу 26,5 г і становить 24,8 % від маси тушки без шкіри. М'якоть становить 30,6 % або 8,1 г. Таким чином, напівфабрикат «спинка перепела» становить четверту частини тушки і має низький коефіцієнт м'ясності - 0,44.

Морфологічна оцінка тушок перепела японського показала, що напівфабрикати грудка і ніжки перепела складають основну частину або 75,2 % від маси тушки і мають високий відсоток їстівної частини 76,7-85,9 %.

Після заморожування і зберігання маса м'язів змінювалася не однаково, так втрати маси м'язів ніг були більш істотними і склали 17,4-29,4 %, ніж м'язів грудки, втрати яких коливалися в межах 16,0-22,1%. На нашу думку, така різниця пов'язана з більшою масою грудних м'язів і особливостями їх будови.

Найменші втрати маси в процесі зберігання встановлені у парного м'яса 16,0-17,4 % (група № 1), найбільші втрати - у остиглого м'яса 22,1-29,4 % (група № 2). Втрати маси при зберіганні охолодженого м'яса становили проміжні значення 17,6-20,1 % (група № 3).

Втрати в результаті розморожування білого і червоного м'яса перепелів також відрізнялися. Маса м'язів грудки знижувалася на 5,1-9,9 %, а м'язів ніг лише на 0,3-0,7 %. Це пояснюється наявністю в м'язах ніг більшої кількості сполучнотканинних прошарків, що утримують м'ясний сік.

Найменші втрати м'ясного соку встановлені при розморожуванні парного м'яса до 5,1% (група № 1), найбільші у остиглого м'яса - до 9,9% (група № 2). Втрати охолодженого м'яса мали середнє значення - 7,4% (група № 3).

Висновки

Таким чином, кращим для заморожування і тривалого зберігання слід вважати парне м'ясо перепелів, втрати маси якого складають 17,7-21,1%. Враховуючи складнощі при заморожуванні м'яса перепелів в парному стані, більш оптимальним для заморожування слід вважати охолоджене м'ясо, втрати маси якого складають 20,3-24,8%. Втрати маси остиглого м'яса після розморожування складають 30,1-32,0%, тому не рекомендується заморожувати м'ясо перепелів в стані посмертного задубіння.

Проведений комплекс досліджень дає можливість рекомендувати господарству використовувати для заморожування і тривалого зберігання парне або охолоджене м'ясо, що дозволить скоротити втрати м'язової маси і знизити пошкодження в процесі заморожування.

Список літератури

- 1 **Гришуткіна, С.** «Интерптица»: ставка на нетрадиционные виды / **С. Гришуткіна** // *Птицеводство*. – 2007. – №06. – С. 27 - 29.
- 2 **Антипова, Л. В.** Методы исследования мяса и мясных продуктов / **Л. В. Антипова** – М.: Легкая и пищевая промышленность. – 2000. – С. 378.
- 3 **Забашта, А. Г.** Производство замороженных полуфабрикатов в тесте: справочник / **А. Г. Забашта**. – М.: Колос. – 2006. – 551 с.
- 4 **Кайм Генрих** Технология переработки мяса. Немецкая

практика: Пер. с нем./ **Генрих Кайм**. – СПб.: Профессия. – 2006. – 487 с.

- 5 **Антипова, Л. В.** Микроструктурные изменения мяса перепелов в процессе автолиза / **Л. В. Антипова, А. В. Макаров, С. М. Сулейманов** // *Мясная индустрия*. – 2007. – № 2. – С. 54 - 56.
- 6 **Котарев, В. И.** Микроструктурная организация парного мяса перепелов / **В. И. Котарев, Н. А. Каширина, И. Н. Пономарева, С. М. Сулейманов** // *Птица и птицепродукты*. – 2010. – № 3. – 40 с.
- 7 **Ляйстнер, Л.** Барьерные технологии: комбинированные методы обработки, обеспечивающие стабильность, безопасность и качество продуктов питания / **Л. Ляйстнер, Г. Гоулд** // ВНИИ мясной промышленности. – М. – 2006. – 236 с.
- 8 **Feiner, G.** Meat Products Handbook: Practical Science and Technology / **G. Feiner** // CRC Press. – 2006. – 672 p.
- 9 **Youssef M.K., Barbut S.** Physicochemical Effects of the Lipid Phase and Protein Level on Meat Emulsion Stability, Texture, and Microstructure // *J. Food Sci.* – 2010. – v. 75. – P. 1147 - 1150.
- 10 **Кулишев, Б. В.** Технологии переработки мяса птицы / **Б. В. Кулишев** // *Пищевая промышленность*. – № 12. 2000. – С. 16 - 17.
- 11 **Casey, M. Owens.** Poultry Meat Processing, 2nd Edition / **Casey M. Owens, Christine Alvarado, Alan R. Sams** // CRC Press: Boca Raton. – 2010. – 430 p.
- 12 **Berg, Jeremy M.** Biochemistry Eighth Edition / **Jeremy M. Berg, John L. Tymoczko, Gregory J. Gatto, Lubert Stryer** // W. H. Freeman. – 2015. – 1120 p.
- 13 **Sams, A. R.** Poultry meat processing / Edited by **Alan R. Sams**. – New York. – 2001. – 432 p.

Bibliography (transliterated):

1. **Grishutkina, S.** «Interptitsa»: nontraditional raw materials. *Ptitsevodstvo*, 2007, **6**, 27-29.
2. **Antipova, L. V.** Methods of investigations of meat and meat products, Moscow: Legkaya I pischevaya promyshlennost', 2000, 378 p.
3. **Zabashta, A. H.** Handbook of frozen dough semifinished products, Moscow: Kolos, 2006, 551 p.
4. **Kaim, H.** Meat processing. German practice: Transl. from german. SanktPeterburg: Proffesiya, 2006, 487 p.
5. **Antipova, L. V., Makarov, A.V., Suleimanov, S.M.** Changes of the quails meat microstructure in autolysis process, *Myasnaya industriya*, 2007, **2**, 54 - 56.
6. **Kotarev, V. I., Kashirina, N. A., Ponomareva, I. N., Suleimanov, S. M.** Microstructural organization of the fresh-killed meat of the quails. *Ptitsa i ptitseproducty*, 2010, **3**, 40 p.
7. **Lyastner L., Gould, H.** Barrier technologies: food products stability, safety and qualitt by combined methods of processing. *VNII Myasnoi promyshlennosti*, Moscow, 2006, 236 p.
8. **Feiner, G.** Meat Products Handbook: Practical Science and Technology, CRC Press, 2006, 672 p.
9. **Youssef, M. K., Barbut, S.** Physicochemical Effects of the Lipid Phase and Protein Level on Meat Emulsion Stability, Texture, and Microstructure. *J. Food Sci*, 2010, **75**, 1147-1150.
10. **Kulishev, B. V.** Poultry meat processing. *Pischevaya promyshlennost'*, 2000, **12**, 16 - 17.
11. **Casey M. Owens, Christine Alvarado, Alan R. Sams** Poultry Meat Processing, CRC Press: Boca Raton, 2nd Edition, 2010, 430 p.

12. **Jeremy M. Berg, John L. Tymoczko, Gregory J. Gatto, Lubert Stryer** Biochemistry Eighth Edition, *W. H. Freeman*, 2015, 1120 p.
13. **Sams, A. R.** Poultry meat processing, Edited by Alan R. Sams, New York, 2001, 432 p.

Відомості про авторів

Пасічний Василь Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій, професор кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів, м. Київ, Україна; *email: pasww1@ukr.net*

Vasyl Pasichnyi – Doctor of technical science, Professor, National University of Food Technologies, Professor of the department of meat technology, Kyiv, Ukraine;

Українець Анатолій Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

Anatoliy Ukrainets – Doctor of technical science, Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine;

Аль-Х. Хайдер М. – аспірант кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

Al-H. Haider M. – post graduate student of the department of meat technology, Kyiv, Ukraine;

Полумбрик Манефа Миколаївна – аспірант кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; *email: manefaiv@mail.ru*

Manyefa Polumbryk – post graduate student of the department of meat technology, Kyiv, Ukraine;

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пасічний, В. М. Дослідження структурних змін м'яса перепелів в процесі заморожування / **В. М. Пасічний, А. І. Українець, М. Аль-Х. Хайдер, М. М. Полумбрик** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 139 - 143. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Pasichnyi, V., Ukrainets, A., Haider, M. Al-H., Polumbryk, M. Investigations of quails meat structure changes n chilling processes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 139 - 143, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пасичный, В. М. Исследование структурных изменений мяса перепелов в процессе замораживания / **В. М. Пасичный, А. И. Украинец, М. Аль-Х. Хайдер, М. М. Полумбрик** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 139 - 143. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ. Описаны процессы, которые происходят при замораживании мяса перепелов и длительном его хранении, в течение 6 месяцев. В ходе исследований обнаружены нарушения целостности поперечнополосатой мышечной ткани в виде появления полостей в межмышечном пространстве и повреждения мышечных волокон. Потери массы мышечной ткани перепелов вследствие замораживания и хранения составили: при заморозке парного мяса - 17,7-21,1 %, охлажденного - 20,3-24,8 % и остывшего - 30,1-32,0 %. В процессе замораживания в мясе перепелов наблюдается уменьшение диаметра мышечных волокон в области грудки на 15,6-29,2 % и бедра – на 13,9-27,1 %, а также снижение их количества на 14,2-20,3% и 4,8-19,1% соответственно. Наименьшие изменения в структуре скелетной мышечной ткани отмечены у парного и охлажденного мяса перепелов, наибольшие - при замораживании остывшего мяса.

Ключевые слова: мясо перепелов, микроструктура, замораживание, хранение, мышечные волокна.

Надійшла (received) 11.12.2015

УДК 664.8.038:678.048[635.649]

ВПЛИВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ДИХАННЯ ПЕРЦЮ ВПРОДОВЖ ЗБЕРІГАННЯ**О. П. ПРИСС^{1*}, Г. М. БАНДУРЕНКО²**¹ Кафедра технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, УКРАЇНА² Кафедра технології консервування, Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА

*email olesyapriss@gmail.com

АНОТАЦІЯ Досліджено вплив теплової обробки біологічно активними речовинами бактерицидно антиоксидантної дії на інтенсивність та субстрати дихання перцю впродовж зберігання. Встановлено, що сумісний вплив теплової обробки і біологічно активних речовин стабілізує інтенсивність дихання плодів перцю, що дозволяє сповільнити темпи витрачання сухих речовин, розчинних сахаридів і титрованих кислот. Зв'язок середньої сили прямої направленості між інтенсивністю дихання та цукрами та тісний обернений зв'язок з вільними кислотами вказує на важливість саме органічних кислот як дихального субстрату перцю.

Ключові слова: перець, зберігання, антиоксиданти, інтенсивність дихання, сухі речовини, цукри, титровані кислоти

EFFECT OF HEAT TREATMENT WITH BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON RESPIRATION DURING STORAGE OF SWEET PEPPERS**O. P. PRISS^{1*}, G. M. BANDURENKO²**¹ Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE² Department of Preservation Technology, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Despite the proven effectiveness of heat treatment and antioxidants to slow down the respiratory metabolism, their combined effect on it during storage of sweet bell pepper fruits was not evaluated before. The paper describes results of investigation of the simultaneous heat treatment and treatment with the complex of antioxidants and other biologically active substances on the respiration rate, total soluble solids, titratable acids, amount of saccharides and consumption of dry matter during the storage of sweet bell peppers.

It was found that heat treatment with biologically active substances stabilizes the respiration rate on 15 % lower level compared to control fruits. The combination of heat treatment and antioxidants allows to obtain on 8 % in average more total soluble solids on the 18th day of storage. Sweet bell peppers treated with antioxidants involve less sugar in the respiratory process. After 18 days of storage the total amount of sugars in the studied fruits of the Herkules hybrid is higher on 7,8% in average, and in Nikita peppers – on 8,5 % in comparison with control fruits. The amount of titratable acids in Herkules peppers is higher on 16,9% in average and in Nikita hybrid – on 8,5 % compared to control fruits. Basing on the pair correlation analysis, it was found that acids can be a major respiratory substrate during the storage of sweet bell peppers. The combination of heat treatment and exogenous biologically active substances can be an effective tool to reduce the loss of nutrients during storage of sweet bell peppers.

Keywords: sweet bell pepper, storage, antioxidants, respiration rate, solids, saccharides, titratable acidity.

Вступ

Овочевий перець (*Capsicum annuum*) вирощується у більшості регіонів світу, де є розвинене овочівництво. Плоди різних сортів роду *Capsicum* споживають у свіжому вигляді, як недостиглі (зелені) або як стиглі (наприклад, червоні, жовті, білі), широко використовують для консервування та виробництва спецій. Україна виробляє 130...150 тис. тон плодів перцю, у т.ч. 80...90 тис. тон у зоні Степу [1].

Кількість сухих речовин в солодкому перці є сортоспецифічною ознакою і може коливатись у межах 4,3...10,6 % [2, 3]. Переважаючими сахаридами у перці є глюкоза і фруктоза, сахарози у

технічно дозрілих плодах менше 0,2% [4], а в повному ступені стиглості вона не ідентифікується зовсім [5]. З органічних кислот у солодкому перці містяться лимонна, яблучна, фумарова, шикимова, щавлева піроглютамінова [4]. Однак, впродовж зберігання, внаслідок дихання та інших метаболічних процесів, запас поживних речовин швидко виснажується. Інтенсивність дихання сильно залежить від виду, сорту продукції та багатьох передзбиральних і післязбиральних факторів. З робіт багатьох науковців відомо, що серед видів і сортів перцю є клімактеричні та не клімактеричні [2]. Клімактеричні піки дихальної активності фіксовані багатьма авторами під час досліджень плодів у неповній стадії стиглості та під час вегетації на рослині [6]. Велика кількість

післязбиральних технологічних прийомів зосереджена на зниженні інтенсивності дихання, гальмуванні метаболізму, що призводить до збереження субстратів дихання та підтримання якості продукції. Зниження інтенсивності дихання і збереження якості овочів відбувається за впливу знижених температур, регулюванні газового складу атмосфери, використанні модифікованих газових середовищ, нанесенні на продукцію покриттів різного складу, використанні антиоксидантів, попередньої теплової обробки [7-9]. Встановлено, що комбінування теплової обробки та антиоксидантів гальмує інтенсивність дихання та сповільнює швидкість витрачання субстратів під час зберігання огірків [10]. Справедливо припускати, що синергетична теплових обробок та езогенних біологічно активних речовин стане ефективним заходом сповільнення дихального метаболізму для інших плодів овочів. Сумісний вплив теплової обробки та екзогенних біологічно активних речовин на процес дихання під час зберігання перцю не розглядався. Тож дослідження респіраторного метаболізму впродовж зберігання перцю допоможе визначити ефективність комбінування післязбиральних обробок для збереження якості продукції, що і зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямку.

Мета роботи

Мета досліджень полягала у виявленні впливу теплової обробки розчинами біологічно активних речовин на інтенсивність дихання та використання дихальних субстратів у плодах перцю.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- простежити динаміку виділення вуглекислого газу, сухих речовин, сухих розчинних речовин, розчинних сахаридів та титрованих кислот впродовж зберігання перцю;
- встановити кореляційні зв'язки між інтенсивністю продукування CO_2 та субстратами дихання впродовж зберігання перцю.

Матеріали та методи досліджень

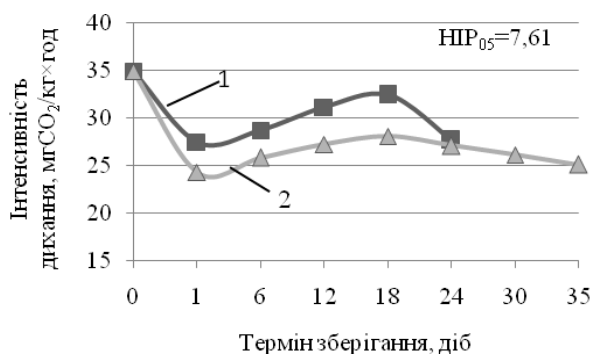
Досліджували плоди перцю гібридів Геркулес F1 і Нікіта F1, вирощені в умовах відкритого ґрунту в агропідприємствах Мелітопольського району Запорізької області. Для зберігання відбирали плоди технічного ступеня стиглості (забарвлені в основний колір на 80...90%) однорідні за розміром. Плоди занурювали в заздалегідь підготовані розчини біологічно активних речовин з температурою $45\text{ }^\circ\text{C}$ на 15 хв. Використовували комплексні композиції бактерицидно антиоксидантної дії на основі іонулу (І), лецитину (Л) та водного екстракту кореня хрону (Хр): Хр+І+Л [11]. Після висихання плоди вкладали в ящики, вистелені поліетиленовою плівкою і зберігали

при $7 \pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$ і відносній вологості $95 \pm 1\%$. Контролем слугували необроблені плоди.

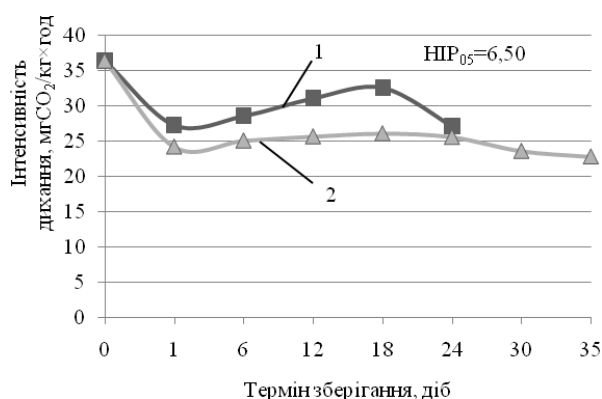
Інтенсивність дихання (ІД) визначали за кількістю виділеного вуглекислого газу, вміст сухих речовин (СР) термогравіметричним методом за ДСТУ ISO 751, вміст сухих розчинних речовин (СРР) рефрактометричним методом за ДСТУ ISO 2173, загальний вміст розчинних сахаридів за ДСТУ 4954 ферицианідним способом, масову концентрацію титрованих кислот за ДСТУ 4957, з перерахунком на лимонну кислоту.

Інтенсивність дихання перцю та витрати субстратів дихання

Динаміка дихання плодів досліджуваних гібридів солодкого перцю аналогічна та відображає відсутність дихального клімактерису під час зберігання (рис. 1 а, б).



а



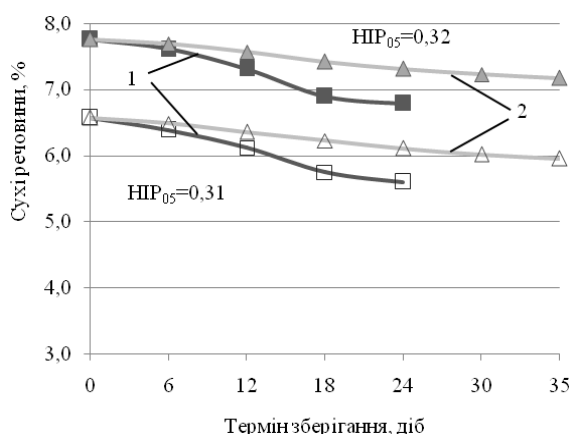
б

Рис. 1 – Динаміка інтенсивності дихання перцю: а – Геркулес; б – Нікіта; 1 – контроль; 2 – теплова обробка Хр+І+Л

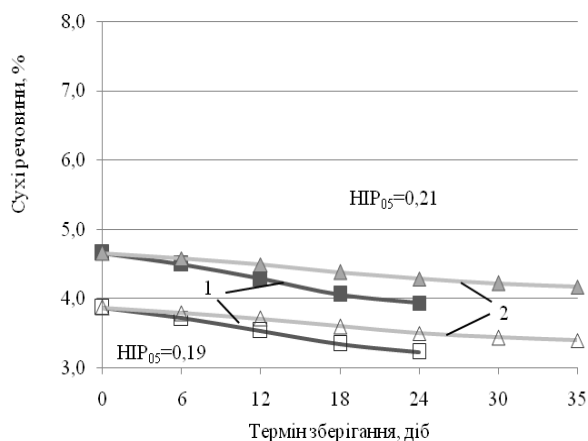
За весь період зберігання, рівень дихання дослідних перців у середньому на 15 відсотків нижче, ніж в контрольних зразках.

Рівень сухих речовин у перцю гібриду Геркулес у середньому в 1,7 рази більше, ніж у Нікіти.

Під час зберігання перцю відбувається стабільне зниження кількості СР та СРР в перцях обох гібридів (рис. 2 а, б).



а



б

Рис. 2 – Динаміка сухих речовин перцю: а – Геркулес; б – Нікіта; 1 – контроль; 2 – теплова обробка Хр+І+Л; ■, Δ – СР; □, Δ – СРР.

Початкове співвідношення СР до СРР становить 1,18 для гібриду Геркулес та 1,20 у Нікіті. Сортові особливості перців у кількості СР та СРР залишаються протягом зберігання. Однак, під час зберігання, сортова різниця у співвідношенні СР до СРР на 24 добу практично нівельована і становить 1,21 у Геркулеса та 1,22 у Нікіті.

Дія теплової обробки антиоксидантами аналогічна для обох гібридів і виражена у гальмуванні розпаду СР і СРР. Статистично достовірної різниці у кількості СР між контрольними та дослідними плодами спостерігається вже з 6 доби зберігання та надалі посилюється. На 18 добу зберігання (коли контрольні плоди втрачають товарну якість), кількість СР у дослідних екземплярах вище в середньому на 7,7 %, а СРР на 8,0 % порівняно з контролем. Через 35 днів зберігання перців з тепловою обробкою

антиоксидантами, кількість СР вища на 5,6%, ніж в контролі на 18 добу та СРР на 5,9 %.

Незважаючи на істотні сортові відмінності у кількості цукрів на початок зберігання, динаміка аналогічна для обох гібридів (рис. 3).

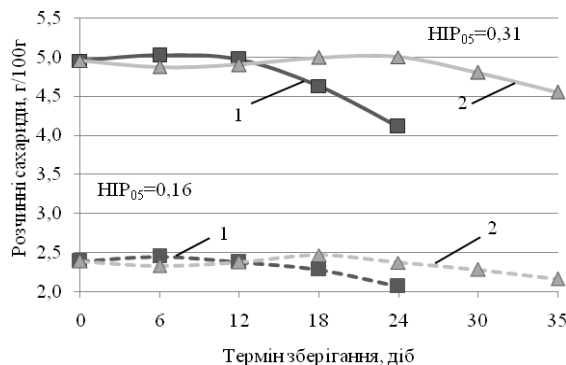


Рис. 3 – Динаміка суми сахаридів перцю: 1 – контроль; 2 – теплова обробка Хр+І+Л; — – Геркулес; - - - - Нікіта.

У титрованій кислотності досліджувані гібриди мають сортові особливості (рис. 4).

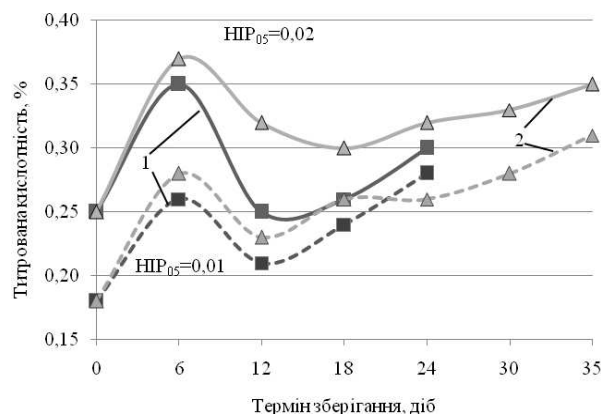


Рис. 4 – Динаміка титрованої кислотності перцю: 1 – контроль; 2 – теплова обробка Хр+І+Л; — – Геркулес; - - - - Нікіта.

До закладання на зберігання, концентрація вільних кислот в перцях гібриду Геркулес вища в 1,4 рази від Нікіті. На шосту добу обидва гібриди демонструють зростання титрованої кислотності в 1,4 рази від початкового значення. На 12 добу титрована кислотність знижується в гібриду Геркулес до того ж рівня, що і на момент закладання. Рівень кислотності у перців Нікіта при зниженні на 24 % знаходиться все ж вище, ніж початкова концентрація. Надалі відбувається постійне зростання кислотності в обох гібридах. Швидкість нарощування титрованої кислотності у перців Нікіта вища, ніж у Геркулеса. Тому вже на наступних етапах зберігання, значення титрованої кислотності в обох гібридах статистично не відрізняються.

Дослідні плоди демонстрували подібну динаміку титрованої кислотності, але з іншими темпами нарощування кислотності. Глибше гальмування ІД в дослідних плодах призвело до більшого приросту титрованої кислотності на шосту добу. Надалі швидкість зростання титрованої кислотності подібна до контрольних варіантів.

Обговорення результатів

Аналіз отриманих даних показав, що характерною рисою динаміки дихання плодів досліджуваних гібридів солодкого перцю є відсутність дихального клімактерису під час зберігання. Після закладання на зберігання, інтенсивність дихальних процесів сповільнюється, як реакція на охолодження. Надалі посилюються процеси метаболізму, що відображає стабільне зростання інтенсивності дихання. З 18 доби контрольні плоди суттєво знижують кількість виділеного вуглекислого газу, що може вказувати на старіння плодів і співпадає з втратою товарної якості. Більш глибоке гальмування ІД в оброблених перцях пояснюється сумісною дією охолодження, попередньої теплової обробки та антиоксидантів. Здатність антиоксидантів гальмувати інтенсивність дихання перцю продемонстрована американськими вченими [12], а дієвість теплової обробки китайськими дослідниками [13]. Дослідні групи перцю обох гібридів демонструють мінімальні (статистично незначимі) коливання рівня CO₂ протягом всього періоду зберігання, що сприятиме кращій, порівняно з контролем, збереженості субстратів дихання і є свідченням інгібуючої дії застосованої обробки.

Зниження вмісту СР і СРР є закономірним. Зміни в співвідношенні СР до СРР впродовж зберігання є свідченням того, що в плодах гібриду Геркулес метаболічні процеси протікають більш інтенсивно, ніж у Нікіти.

Під час зберігання кількість розчинних сахаридів у перцях може зростати на початковому етапі, що пов'язують з процесами дозрівання. Проте, при закладанні на зберігання перцю у повній стиглості відбувається поступове зменшення простих цукрів [14]. У контрольних зразках на 6 добу зберігання рівень розчинних сахаридів статистично достовірно зростає в обох гібридах навіть з урахуванням втрат маси та витрат на дихання. Таке зростання, очевидно, пов'язано з дозріванням плодів. Надалі рівень цукрів постійно зменшується. Теплова обробка багатокомпонентною антиоксидантною композицією дозволила гальмувати темпи дисиміляції цукрів. Як видно з рис. 3, у дослідних зразках максимальний рівень цукрів плоди накопичують лише на 18 і 24 добу, що може бути наслідком сповільнених темпів дозрівання через вплив екзогенних антиоксидантів [12]. Зниження кількості сахаридів у гібриду Нікіта відбувається лише з 24

доби, але порівняно з початковим значенням, різниця ледь сягає 1 %. У дослідних зразків гібриду Геркулес помітне зниження кількості цукрів (на 3 %) зафіксоване на 30 добу зберігання. Таким чином, через 30 діб зберігання, загальний вміст цукрів у плодах з тепловою обробкою біологічно активними речовинами, знаходиться на тому ж рівні, що і контрольних партій через 18 діб.

Кореляційні залежності між ІД та сахаридами мають середню силу (табл. 1), тож вони є не основними субстратами дихання.

Таблиця 1 – Кореляційні залежності між інтенсивністю дихання та розчинними сахаридами під час зберігання

Рік	Геркулес		Нікіта	
	Контроль	Теплова обробка Хл+І+Л	Контроль	Теплова обробка Хл+І+Л
2009	0,43	0,61	0,41	0,41
2010	0,45	0,30	0,41	0,49
2011	0,45	0,59	0,41	0,43

Описана динаміка титрованих кислот в цілому є характерною впродовж зберігання плодів перцю. Зростання титрованої кислотності на першому етапі зумовлене розпадом сильної шавлевої кислоти і синтезом лимонної кислоти в недисоційованій формі (протонованої) [4]. Крім того, інгібуювання дихальної активності через охолоджений стан дозволяє економити кислоти, що витрачаються на дихання. Надалі інтенсивність дихання зростає, що потребує активного залучення кислот у якості субстратів та призводить до зниження концентрації вільних кислот. Відтак зростання титрованої кислотності зумовлене утворенням протонуваних кислот з низькими константами кислотності та більш повільним залученням органічних кислот у дихальні процеси.

Теплова обробка антиоксидантами запобігла різкому зростанню титрованої кислотності, що пов'язано з плавним характером кривої інтенсивності дихання. Тісний обернений зв'язок концентрації вільних кислот та ІД вказує на те, що під час зберігання перцю, органічні кислоти є важливим дихальним субстратом (табл. 2).

Таблиця 2 – Кореляційні залежності між інтенсивністю дихання та титрованою кислотністю під час зберігання

Рік	Геркулес		Нікіта	
	Контроль	Теплова обробка Хл+І+Л	Контроль	Теплова обробка Хл+І+Л
2009	-0,74	-0,94	-0,93	-0,87
2010	-0,73	-0,88	-0,92	-0,94
2011	-0,83	-0,93	-0,88	-0,86

Висновки

1. Теплова обробка антиоксидантами стабілізує інтенсивність дихання плодів перцю, сприяє мінімальним коливанням рівня виділеного вуглекислого газу протягом зберігання. Це призводить до вищої збереженості субстратів дихання. Кількість сухих та сухих розчинних речовин в оброблених плодах вища в середньому на 8 %, розчинних сахаридів на 7,7...8,5 %, залежно від гібриду, титрованих кислот на 8,5...16,9 %, залежно від гібриду.

2. Зв'язок середньої сили прямої направленості між інтенсивністю дихання та цукрами та тісний обернений зв'язок з вільними кислотами вказує на важливість саме органічних кислот як дихального субстрату перцю.

Список літератури

- 1 Куликов, Ю. А. Перец сладкий. Выращивать перец сладкий и полезно, и экономически выгодно / Ю. А. Куликов // *Настоящий хозяин*. – 2012. – № 10. – С. 22-26.
- 2 Rattanawan, J. *Managing chilli (Capsicum spp.) quality attributes : the importance of pre-harvest and postharvest factors* : a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy at Massey University / Jansasithorn Rattanawan. – New Zealand. – 2012. – 238 p.
- 3 Nogueira, L. *Composição química e atividade antioxidante de diferentes variedades de pimento (Capsicum annum L.): Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e Segurança Alimentar / Lília Nogueira*. – Bragança. – 2013. – 76 p.
- 4 Luning, P. A. Combined instrumental and sensory evaluation of flavor of fresh bell peppers (*Capsicum annum*) harvested at three maturation stages / P. A. Luning, R. van der Vuurst de Vries, D. Yuksel [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* – 1994. – Vol. 42, №12. – P. 2855-2861.
- 5 Navarro, J. M. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity / J. M. Navarro, P. Flores, C. Garrido, V. Martinez // *Food Chem.* – 2006. – Vol. 96, №1. – P. 66-73.
- 6 Krajayklang, M. Colour at harvest and post-harvest behaviour influence paprika and chilli spice quality / M. Krajayklang, A. Klieber, P. R. Dry // *Postharvest Biol. Technol.* – 2000. – Vol. 20, №3. – P. 269-278.
- 7 Saltveit, M. E. *Respiratory metabolism* [Electronic resource] / Mikal E. Saltveit // *Agricultural handbook number 66 : The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks* / K. C. Gross, C. Y. Wang, M. Saltveit (eds.). – US Dept. Agr., Washington, DC. May 2007. – Available at: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/respiratoryMetab.pdf>
- 8 Dhall, R. K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review / R. K. Dhall // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2013. – Vol. 53, № 5. – P. 435-450.
- 9 González-Aguilar, G. A. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit / G. A. González-Aguilar, L. Gayosso, R. Cruz [et al.] //

- Postharvest Biol. Technol.* – 2000. – Vol. 18, №1. – P. 19-26.
- 10 Прісс, О. П. Вплив теплової обробки антиоксидантами на субстрати дихання огірків під час зберігання / О. П. Прісс // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Том 3, № 10 (75). – С. 19 - 25.
 - 11 Пат. 59733 України, МПК А 23 В 7/14. Антиоксидантна композиція для обробки плодів овочів перед зберіганням / О. П. Прісс, Т. Ф. Прокудіна, В. Ф. Жукова. – u 2010 13798; заявл. 19.11.10; опубл. 25.05.11, Бюл. №10.
 - 12 Purvis, A. C. Diphenylamine inhibits respiration of green bell peppers / A. C. Purvis, J. W. Gegogaine // *J Amer Soc Hort Sci.* – 2003. – Vol. 128, №6. – P. 924-929.
 - 13 Liu, L. Intermittent warming improves postharvest quality of bell peppers and reduces chilling injury / L. Liu, Y. Wei, F. Shi [et al.] // *Postharvest Biol. Technol.* – 2015. – Vol. 101, №1. – P. 18-25.
 - 14 Avalos Llana, K. R. Quality and antioxidant properties of whole and fresh cut cherry pepper during storage at 10 °C / K. R. Avalos Llana, S. C. Sgroppo // *FACENA*. – 2009. – Vol. 25. – P. 21-32.

Bibliography (transliterated)

- 1 Kulikov Y. A. Sweet pepper. Grow sweet pepper helpful and cost-effective. *Nastoyashchyy khozyayn*, 2012, 10, 22-26.
- 2 Jansasithorn, R. *Managing chilli (Capsicum spp.) quality attributes: the importance of pre-harvest and postharvest factors: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy at Massey University, New Zealand*, 2012. PhD Thesis.
- 3 Nogueira, L. *Composição química e atividade antioxidante de diferentes variedades de pimento (Capsicum annum L.): Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e Segurança Alimentar Bragança*, 2013.
- 4 Luning, P. A., van der Vuurst de Vries, R., Yuksel, D., Ebbenhorst-Seller, T., Wichers, H. J., & Roozen, J. P. Combined instrumental and sensory evaluation of flavor of fresh bell peppers (*Capsicum annum*) harvested at three maturation stages. *Journal of agricultural and food chemistry*, 1994, 42(12), 2855-2861.
- 5 Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 2006, 96(1), 66-73.
- 6 Krajayklang, M., Klieber, A., & Dry, P. R. Colour at harvest and post-harvest behaviour influence paprika and chilli spice quality. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 20(3), 269-278.
- 7 Saltveit, M. E. *Respiratory metabolism*. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. *Agriculture Handbook*, 2004, 66.
- 8 Dhall, R. K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2013, 53 (5), 435-450.
- 9 González-Aguilar, G. A., Gayosso, L., Cruz, R., Fortiz, J., Báez, R., & Wang, C. Y. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 2000, 18(1), 19-26.
- 10 Priss, O. P. Effect of heat treatment with antioxidants on respiratory substrates during storage of cucumbers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 3(10 (75)), 19-25.

- 11 **Priss, O. P., Prokudina, T. F., Zhukova, V. F.** Antioxidant composition for the treatment of fruit vegetables before storage. Pat. 59733 Ukraine, IPC A 23 7/14, 2011.
- 12 **Purvis, A. C.** Diphenylamine inhibits respiration of green bell peppers. *J Amer Soc Hort Sci*, 2003, **128** (6), 924–929.
- 13 **Liu, L., Wei, Y., Shi, F., Liu, C., Liu, X., & Ji, S.** Intermittent warming improves postharvest quality of bell peppers and reduces chilling injury. *Postharvest Biol. Technol.*, 2015, **101** (1), 18-25.
- 14 **Avalos Llana, K. R., Sgroppo K. R.** Quality and antioxidant properties of whole and fresh cut cherry pepper during storage at 10 °. *FACENA*, 2009, **25**, 21-32.

Сведения об авторах (About authors)

Прісс Оля Петрівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки і зберігання продукції сільського господарства; м. Мелітополь, Україна, e-mail: olesyapris@gmail.com.

Olesia Priss – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: olesyapris@gmail.com

Бандуренко Галина Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, завідувач кафедри технології консервування; м. Київ, Україна, e-mail: gbandurenko@yandex.ru

Galyna Bandurenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Head of Department of Preservation Technology, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, e-mail: gbandurenko@yandex.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Прісс, О. П. Вплив теплової обробки біологічно активними речовинами на інтенсивність дихання перцю впродовж зберігання / **О. П. Прісс, Г. М. Бандуренко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 144 - 149. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Priss, O., Bandurenko, G. Effect of heat treatment with biologically active substances on respiration during storage of sweet peppers. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 144 - 149, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Прісс, О. П. Влияние тепловой обработки биологически активными веществами на интенсивность дыхания перца при хранении / **О. П. Прісс, Г. М. Бандуренко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 144 - 149. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ *Исследовано вплив теплової обробки біологічно активними речовинами бактерицидно антиоксидантного діяння на інтенсивність і субстрати дихання перцю в течение хранения. Установлено, що спільне вплив теплової обробки і антиоксидантних речовин стабілізує інтенсивність дихання плодів перцю, що дозволяє замедлити темп расходовання сухих речовин, розчинимих сахаридов и титруемых кислот. Связь средней силы прямой направленности между интенсивностью дыхания и сахарами и тесная обратная связь со свободными кислотами указывает на важность именно органических кислот как дыхательного субстрата перцю.*

Ключевые слова: *перец, хранения, антиоксиданты, интенсивность дыхания, сухие вещества, сахара, титруемые кислоты.*

Надійшла (received) 14.12.2015

УДК 665.3

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ ОЛІЙНОЇ ФАЗИ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

І. Г. РАДЗІЄВСЬКА, Т. А. ПОЛОНСЬКА

Кафедра технології жирів і парфумерно-косметичних продуктів, Національний університет харчових технологій, м. Київ, УКРАЇНА
email: Logos2007@ukr.net

АНОТАЦІЯ Для оптимізації складу олійної фази косметичних кремів досліджено властивості ряду косметичних олій. Розтікання та всмоктання емоментів шкірою визначали методом Зейдлера як розповсюдження речовини по поверхні за одиницю часу. Через комплексну дію суміші трьох емоментів шкіра залишається гладкою довше, ніж при нанесенні дво- або монокомпонентної основи. Запропоновано середній склад жирової фази косметичного засобу як співвідношення трьох груп емоментів 1: 2: 1.

Ключові слова: косметика, емомент, олія, розтікання, молекулярна маса

RESEARCH OF OIL PHASE COMPOSITION COSMETIC PRODUCTS

I. RADZIEVSKA, T. POLONSKA

Department of Technology of fats and perfume and cosmetic products, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT To establish the optimal composition of the oil phase of cosmetic creams investigated the properties of traditional cosmetic oils. In the emulsion creams oils act as emollients – substances contained in the skin, changing its appearance, soften and nourish. The most important quality criterion emollients – their spreading and skin absorbability Zeydler as determined by spreading a substance on the surface per unit time. It is shown that the spreading of oil on the skin depends on the molecular weight, namely decreases with increasing average molecular weight triacylglycerols, and the dependence is described by line. Investigated emollients can be divided into three groups - high, medium and low leakage. Most traditional cosmetic oils belong to the first group and is spreading from 20 to 132 mm²/10min. This distribution groups spreading emollients correlates well with the known classification fatty oils in the degree of drying, which in turn depends on the value of iodine number. Oils with different spreading used as compositions to achieve the desired long-term effect of smooth skin. Reviewed effect these ternary compositions: 1) Coconut oil - Sesame oil - Wheat germ oil; 2) Coconut Oil - Almond oil - Sunflower oil; 3) Coconut Oil - Grape seed oil - Peanut oil. It was established as a result of the complex mixture of three steps emollients smooth skin remains longer than when applied di- or mono base. An average composition of cosmetic emulsion as a ratio of three groups emollients 1: 2: 1 (low, medium, high spreading). For heavy cream - 2: 1: 1; for light cream - 1: 1: 2; eye cream 0: 1: 1 or 0: 1: 2: Use a mixture of emollients in the proposed ratios provide the main functions of the oil phase of cosmetics: a sense of smoothness and moisture of the skin after applying the product.

Keywords: cosmetics, emollient, oil, the fluidity, the molecular weight

Введення

Натуральні косметичні олії – це один з традиційних та незамінних засобів, що застосовується як основа косметичних засобів. Склад основи головним чином визначає зовнішній вигляд та властивості кремів. Основа може знаходитись у стані рідини, гелю, пасти або порошку, однак у більшості кремів вона являє собою емульсію.

В складі емульсійних кремів олії відіграють роль емоментів – речовин, які утримуються на шкірі, змінюють її зовнішній вигляд, пом'якшують та живлять. Саме ці ефекти емоментів споживач розцінює як доказ ефективності косметичного засобу [1,2]. Бурхливий розвиток виробництва хімічних добавок призвів до створення великого переліку синтетичних емоментів з довготривалим ефектом, що всмоктуються з бажаною швидкістю. Однак у зв'язку із встановленою останнім часом участю синтетичних речовин у розвитку алергічних реакцій, деякі

виробники косметики повернулись до застосування натуральних олій [3-5].

Виробники косметичних засобів прагнуть використовувати ліпіди, близькі за хімічним складом до себуму епідерміса людини, оскільки однією з найважливіших функцій косметики є відновлення пошкоджених ліпідних шарів шкіри.

Ліпіди взаємодіють зі шкірою за двома послідовними механізмами: течуть по поверхні шкіри, просочують мертві клітини рогового шару, а потім змішуються з ліпідами епідермісу [6].

Мета роботи

Мета роботи – обґрунтувати можливість підбору такого складу жирової основи косметичного засобу, що буде поводити себе як ефективний емомент – розтікатись по поверхні шкіри і пом'якшувати її, не залишаючи відчуття липкості.

Матеріали та методи

Важливими характеристиками косметичних олій є їх всмоктуваність шкірою та розтікання [7]. Якщо олія погано всмоктується, вона тривалий час залишається на поверхні шкіри і створює відчуття жирності. Олія з низьким розтіканням повільно розподіляється по шкірі, не надає вираженого відчуття гладкості, однак відчувається на шкірі протягом тривалого часу.

Порівнювали розтікання наступних олій: кокосова, пальмова, мигдальна, виноградних кісточок, оливкова, кукурудзяна, кунжутна, зародків пшениці та інших, що традиційно застосовуються в технологіях косметичної продукції.

Розтікання визначали методом Зейдлера як розповсюдження речовини по поверхні за одиницю часу. 4 мл емолента наносили на шкіру внутрішньої поверхні передпліччя добровольця та розраховували площу його розповсюдження через 10 хв. за температури оточуючого повітря 23 °С і відносній вологості 64 %. Чисельність групи – 10 осіб віком від 18 до 63 років. При цьому фіксували суб'єктивне відчуття гладкості шкіри респондентів через 1, 5 та 10 хв. після нанесення емолента за 10-бальною шкалою (0 – суха подразнена, 10 – дуже жирна).

За допомогою описаного методу визначають відносне розтікання, оскільки абсолютні значення значною мірою залежать від типу шкіри добровольця.

Поведінку олії на шкірі передбачають за її молекулярною масою [Henkel]. Молекулярну масу триацилгліцеролів рослинних олій визначили розрахунковим способом за їх жирнокислотним складом. Склад жирних кислот встановлено згідно ДСТУ ISO 5509:2002 «Жири та олії тваринні і рослинні. Приготування метилових ефірів жирних кислот (ISO 5509:2000, IDT)». Детекція жирних кислот здійснювались на газовому хроматографі виробництва Hewlett-Packard HP6890 із полум'яно-іонізаційним детектором, інжектор S/S з діленням потоків, колонка Sp2380, довжина 100 м, внутрішній діаметр 0,25 мм, товщина покриття 0,2 мкм. Умови хроматографування: температура інжектора 280 °С, ділення потоку 100:1, температура детектора 290 °С. Колонка працює у режимі постійного потоку швидкістю 1,2 мл/хв, газ-носії гелій. Температурний градієнт термостату колонок від 60 до 250 °С.

Обговорення результатів

Жири володіють певними фізико-хімічними властивостями, характерними для кожного виду: молекулярною масою, щільністю, розчинністю, летючість, температурами спалаху, плавлення, застигання, а також йодним числом і показником заломлення. Молекулярна маса є однією з важливих характеристик чистоти речовини, вона підвищується зі збільшенням довжини ланцюга жирних кислот. Молекулярна маса являє собою суму значень атомних

мас всіх атомів, що складають молекулу речовини, на число атомів даного виду в молекулі. У основних видів рідких рослинних олій середня молекулярна маса коливається від 850 до 990, у кокосової і пальмоядрової від 635 до 700, у пальмової – 810–860, у більшості тваринних жирів від 815 до 885.

Для жирів і олій, що містять, переважно, триацилгліцероли, середню молекулярну масу жирних кислот можна передбачити за величиною числа омилення. Таким чином, число омилення є одним з показників автентичності для жирних олій. Інший важливий показник – йодне число, яке характеризує вміст подвійних зв'язків в ненасиченому з'єднанні. Його визначають при дослідженні жирів, а також при аналізі жирних кислот; йодне число визначає загальну ненасиченість жирів [8]. Чим вище йодне число, тим більше ненасичених кислот міститься в жирі і тим вище його розтікання.

В таблиці наведено ряд показників, що характеризують хімічний склад 23 досліджуваних олій.

Таблиця – Показники хімічного складу досліджуваних олій

Найменування	Молекулярна маса жирних кислот, г/моль	Розтікання, мм ² /10 хв.	Йодне число, мг I ₂ /100 г	Число омилення, мг КОН/г
Абрикосова	841,95	40	96-109	188-198
Амарантова	835,83	42	132-157	189-198
Арахісова	855,47	21	83-105	188-197
Виноградних кісточок	728,91	320	94-143	178-190
Гарбузова	836,73	41	100-110	188-198
Гірчична	840,93	39	92-123	170-184
Грецького горіха	837,48	42,5	140-162	192-200
Зародків пшениці	max 863,10	20	120-132	180-195
Кавова	812,49	45	76-101	149-195
Кедрова	807,84	57	148-165	188-194
Кокосова олія	min 636,78	550	8-10	246-268
Конопляна	838,59	42	149-167	190-194
Кукурудзяна	843,24	36	117-123	188-193
Кунжутна	768,72	220	103-117	187-197
Ляна	836,85	41,5	165-192	186-195
Мигдальна	794,07	197	92-102	189-195
Обліпихова	803,88	128	126-141	189-193
Оливкова	811,41	45	80-85	185-196
Пальмова олія	796,38	132	51-57	196-210
Рижієва	856,95	24	133-155	181-190
Ріпакова	845,22	26	108-118	179-200
Соєва	829,53	50	120-140	190-195
Соняшникова	859,59	20	125-140	188-194

З даних таблиці видно залежність між величиною молекулярної маси, йодного та числа омилення. Це добре видно на прикладі кокосової олії, молекулярна маса якої є найнижчою серед розглядуваних олій. Вона відповідає найнижчому йодному числу на рівні 8-10 мг I₂/100 г та відповідно найвищому числу омилення на рівні 246-268 мг КОН/г.

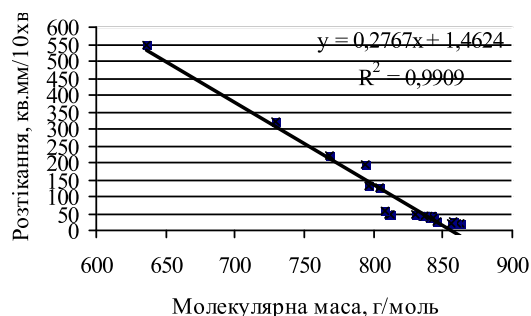


Рис. 1 – Залежність розтікання рослинних олій від середньої молекулярної маси їх триацилгліцеролів

Таким чином, розтікання зменшується з підвищенням середньої молекулярної маси триацилгліцеролів, причому встановлена залежність описується за рівнянням прямої (рис 1).

Досліджувані емоменти можна розділити на три групи:

I – з низьким розтіканням до 300 мм²/10хв. Вони:

- швидко вбираються шкірою;
- швидко створюють відчуття гладкості і м'якості;
- ефект короточасний;
- не залишають жирного блиску;
- застосовуються в рецептурах легких денних кремів та лосйонів.

II – з середнім розтіканням від 300 до 500 мм²/10хв. Вони:

- займають проміжне положення по тактильним відчуттям і тривалості впливу;
- придатні для широкого асортименту косметичних засобів.

III – з високим розтіканням більше за 500 мм²/10хв. Вони:

- тривалий час залишаються на поверхні шкіри, повільно всмоктуються;
- створюють значно менш виражене відчуття гладкості, але на тривалий період часу;
- придатні для нічних кремів, кремів навколо очей та дитячих засобів.

Таким чином, більшість традиційних косметичних олій належать до першої групи і має розтікання від 20 до 132 мм²/10хв. Такий розподіл емоментів за групами розтікання добре корелює з відомою класифікацією жирних олій за ступенем їх висихання, що залежить у свою чергу від величини йодного числа. Олії з йодним числом менше 100 мг I₂/100 г належать до невисихаючих, від 100 до 170 мг

I₂/100 г – напіввисихаючі, більше 170 мг I₂/100 г – висихаючі.

З'являється можливість використовувати олії з різним розтіканням у вигляді композицій для досягнення бажаного довготривалого ефекту гладкості шкіри. Залежно від величини розтікання, олій, що входять до жирової фази крему, здатні створювати на шкірі різні відчуття. Легкі олії I групи добре розподіляються по поверхні шкіри і швидко створюють відчуття гладкості, яке, однак, швидко минає. Важкі олії створюють відчуття зволоженості, однак не роблять шкіру гладенькою на дотик. Якщо косметична емульсія містить тільки швидко розтікаючі емоменти, приємне відчуття м'якості виникає швидко, та не триває довго і скоро змінюється на менш приємні відчуття – шкіра втрачає гладкість і збільшує опір тертя. На противагу цьому повільно розтікаючі емоменти залишають менш виражене відчуття гладкості, однак воно залишається незмінним протягом тривалого періоду часу [9].

Виходячи з одержаних значень розтікання, запропоновано двокомпонентні композиції олій з діаметральними їх величинами:

- 1) кокосова олія – олія зародків пшениці;
- 2) олія виноградних кісточок – соняшникова олія;
- 3) кунжутна олія – арахісова олія;
- 4) мигдальна олія – рижієва олія;
- 5) пальмова олія – ріпакова олія.

Однак при нанесенні на шкіру названих двокомпонентних сумішей відчуття гладкості швидко минає і залишається лише ефект плівки, обумовлений наявністю важкої олії з низьким розтіканням (рис. 2).

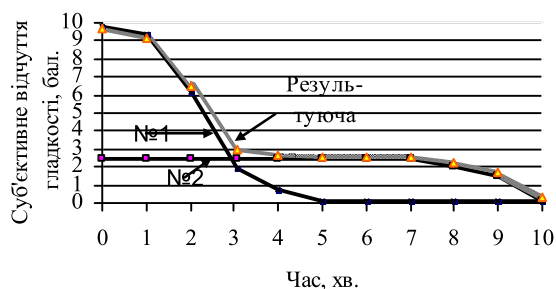


Рис. 2 – Сенсорна оцінка гладкості шкіри після нанесення суміші емоментів I та III групи:

- 1 – швидко текучий емомент;
- 2 – повільно текучий емомент

Таким чином, застосування комбінації двох олій не дозволяє досягти ефекту, якого очікують від косметичного продукту, а саме надання шкірі гладкості, що зберігається якомога довше. З рис. 2 видно, що при нанесенні на шкіру таких двокомпонентних сумішей відчуття гладкості швидко минає і залишається тільки відчуття жирності, обумовлене наявністю емоментів III групи.

Найбільш ефективним є поєднання повільно текучих емоментів з емоентами середнього і

швидкого розтікання для досягнення ефекту так званого каскаду розподілу, що дозволяє довше зберігати відчуття гладкості шкіри [10]. Оптимальний варіант – використання суміші трьох-чотирьох емоментів з різним розтіканням (рис. 3). Це дозволяє зберегти відчуття гладкості не лише протягом процесу втирання засобу, а і деякий час після нього.

Досліджено дію наступних трикомпонентних композицій:

- 1) кокосова олія – кунжутна олія – олія зародків пшениці;
- 2) кокосова олія – мигдальна олія – соняшникова олія;
- 3) кокосова олія – олія виноградних кісточок – арахісова олія.

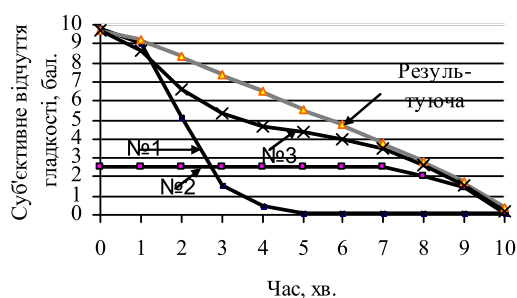


Рис. 3 – Сенсорна оцінка гладкості шкіри після нанесення суміші емоментів різного розтікання:

- 1 – швидко текучий емомент;
- 2 – повільно текучий емомент;
- 3 – емомент середнього розтікання

На рис. 3 показано, що для кожного компонента суміші існує характерний час дії на шкіру, який залежить від ступеня розтікання. Тому в результаті комплексної дії суміші трьох емоментів шкіра залишається гладкою довше, ніж при нанесенні двокомпонентної суміші. Для середнього складу емульсійного косметичного засобу співвідношення трьох груп емоментів в жировій фазі буде 1:2:1 (низьке : середнє : високе розтікання). Для важкого крему – 2: 1: 1; для легкого крему – 1: 1: 2; для крему для області навколо очей може бути 0: 1: 1 або 0: 1: 2. Використання суміші емоментів у запропонованих співвідношеннях забезпечуватиме головні функції олійної фази косметики: створення відчуття гладкості та зволоженості шкіри після нанесення засобу [11,12].

Кокосова олія – це твердий рослинний жир зі специфічним запахом; містить до 50% лаурилової і до 23% миристинової кислот, які працюють як емоменти. Утворює захисну плівку на поверхні шкіри і волосся, чудово пом'якшує шкіру, тому вводиться в рецептури косметики для сухої шкіри, захисних засобів для шкіри і волосся.

Кунжутна олія – винятковий засіб в косметичці для догляду за сухою пошкодженою шкірою, шкірою повік і дитячою шкірою, оскільки містить до 48% лінолевої кислоти, яка активізує ліпідний обмін і відновлює бар'єрні функції епідермісу. Застосовується

переважно в поживних кремах і масках для сухої пошкодженої і чутливої шкіри, масажних засобах і бальзамах для волосся.

Олія зародків пшениці містить неомілювані жири, вітаміни Е, А та фітостероли у високій концентрації, тому володіє унікальними регенеруючими і антиоксидантними властивостями. Широко застосовується в косметичці для догляду за сухою чутливою шкірою, підтримує водний баланс епідермісу. Одна з кращих олій для шкіри повік і бальзамів для губ, оскільки відновлює гідроліпідну мантію, розгладжує зморшки, знімає лущення і подразнення. Дозволено для використання в рецептурах дитячої косметики.

Біологічний ефект мигдальної олії обумовлений високою концентрацією фітостеролів і токоферолу. Мигдальна олія володіє прогестероноподібною дією, тобто регулює проникність епідермального бар'єру, ліпідний і водний баланс шкіри, активізує процес регенерації клітин. Вводиться у рецептури масажних засобів, поживних і зволожуючих лосьйонів для тіла, нічних кремів для обличчя, засоби для шиї і декольте, креми для рук.

Властивості соняшникової олії відомі людині з давніх часів. Вона широко використовується як кулінарний жир і як найдоступніший косметичний засіб в косметології та медицині. Соняшниковою олією користуються для догляду за в'янучою і сухою шкірою завдяки відмінним зволожуючим і відновлюючим властивостям.

Олія виноградних кісточок містить лінолеву кислоту у високій концентрації (до 78%), яка активізує ліпідний обмін і відновлює бар'єрні функції епідермісу. Володіє потужними антиоксидантними і регенеруючими властивостями. Застосовується переважно в поживних кремах і масках для сухої пошкодженої і чутливої шкіри, масажних засобах.

Арахісова олія містить вітаміни А і Е, бетаїн, фосфоліпіди, фіто стероли та полі феноли і застосовується в косметології для живлення і пом'якшення шкіри. Природні антиоксиданти олії відновлюють захисні функції епідермісу і допомагають шкірі довше зберегти молодість [13].

Висновки

Запропоновано використання в якості емоментів косметичних засобів композиції трьох олій, підібраних таким чином, щоб всмоктування і розтікання суміші при нанесенні на шкіру були оптимальними. Введення запропонованих сумішей в рецептури косметичних емульсій дозволяє одержати засоби з високими сенсорними властивостями: без відчуття жирності, липкості, легкі в нанесенні, що швидко розповсюджуються по поверхні шкіри і всмоктуються. В кінцевому рахунку, склад жирової фази косметичних емульсій значною мірою визначає фізико-хімічні та споживчі властивості готових косметичних виробів.

Список літератури

1. Эрнандес, Е. И. Липидный барьер кожи и косметические средства / Е. И. Эрнандес, А. А. Марголина, А. О. Петрухина. – М.: ООО «Фирма Клавель». – 2003. – 340 с.
2. Martino, G. Personal Care Applications of Starch / G. Martino, D. Solarek // *The Chemistry and Manufacture of Cosmetics* ed. by M. Schlossman. – New York, Toronto: McGraw-Hill. – 2002. – P. 703-729.
3. Smith, C. The growing demand for all things natural / C. Smith // *Personal Care Europe*. – 2014. – №6. – P. 53-54.
4. Heike Käser, NEU: Naturkosmetik selbst gemacht. Das Einsteigerbuch [Electronic resource]. – Available from: <http://www.olionatura.de>.
5. Медведєва, А. С. Исследование масла карите как сырья для производства косметических кремов / А. С. Медведєва, Н. В. Королькова // *Современные наукоемкие технологии*. – 2013. – № 8 (2). – С. 318-318.
6. Плєсовских, В. А. Физико-химические и теплофизические свойства веществ и материалов мыловарочных и косметических продуктов / А. А. Безденежных, В. А. Плєсовских. – М.: Пищепромиздат. – 2001. – 140 с.
7. Rawlings, A. V. A review on the extensive skin benefits of mineral oil / A. V. Rawlings, K. J. Lombard // *International Journal of Cosmetic Science*. – 2012. – № 34. – С. 511-518.
8. Тютюнников, Б. Н. Химия жиров / Б. Н. Тютюнников, З. И. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий и др. – М.: Колос. – 1992. – 448 с.
9. Шиков, А. Е. Растительные масла и масляные экстракты: технология, стандартизация, свойства / А. Е. Шиков, В. Г. Макаров, В. Е. Рыженков. – М.: Русский врач. – 2004. – 264 с.
10. I-Achi, A. Experimenting with a new emulsifying agent (tahini) in mineral oil / A. I-Achi, R. Greenwood, A. Akin-Isijla // *Int. J. Pharm. Compound*. – 2000. – Vol.4, № 4. – P. 315 - 317.
11. Марголина, А. Новая косметология. Том 1 / А. Марголина, Е. Эрнандес. – М.: ООО «Фирма Клавель». – 2005. – 424 с.
12. Walters, R. Designing Cleansers for the Unique Needs of Baby Skin / R. Walters et al. // *Cosmetics & Toiletries*. – 2008. – Vol. 123. – №12. – P.53-60.

13. Blue List. Cosmetic ingredient / Blue List – Aulendorf: Editio Cantor Verlag. – 2000. – 568 p.

Bibliography (transliterated)

1. Ernandes, E. I., Margolina, A. A., Petruhina, A. O. The lipid barrier of the skin and cosmetic. Moscow: «Firm Clavel», 2003, 340 p.
2. Martino, G., Solarek, D. Personal Care Applications of Starch. *The Chemistry and Manufacture of Cosmetics* / ed. by M. Schlossman. – New York, Toronto: McGraw-Hill, 2002, 703 - 729.
3. Smith, C. The growing demand for all things natural. *Personal Care Europe*, 2014, 6, 53 - 54.
4. Heike Käser NEU: Naturkosmetik selbst gemacht. Das Einsteigerbuch [Web]. <http://www.olionatura.de>.
5. Medvedev, A. S., Korolkova, N. V. The study of shea butter as a raw material for the production of cosmetic creams, *Modern high technologies*, 2013, 8 (2), 318 - 318.
6. Bezdenezhnykh, A. A., Plesovskih, V. A. Physico-chemical and thermal properties of substances and materials mylovarochnyh and cosmetic products. Moscow: Pishchepromizdat, 2001, 140 p.
7. Rawlings A. V., Lombard, K. J. A review on the extensive skin benefits of mineral oil. *International Journal of Cosmetic Science*, 2012, 34, 511 - 518.
8. Tyutyunnikov, B. N., Buchstab, Z. I., Gladky, F. F. and others Chemistry fat. Moscow: Kolos, 1992, 448 p.
9. Shikov, A. E., Makarov, V. G., Rizhenkov, V. E. Vegetable oils and oil extracts: technology, standardization, property. Moscow: Russian doctor, 2004, 264 p.
10. I-Achi, A., Greenwood, R., Akin-Isijla, A. Experimenting with a new emulsifying agent (tahini) in mineral oil. *Int. J. Pharm. Compound*, 2000, 4 (4), 315 - 317.
11. Margolina, A., Ernandes, E. Novaya kosmetologiya. Moscow: ООО «Firma Klavel», 2005, 1, 424 p.
12. Walters, R. et al. Designing Cleansers for the Unique Needs of Baby Skin. *Cosmetics & Toiletries*, 2008, 123 (12), 53 - 60.
13. Blue List. Cosmetic ingredient. Aulendorf: Editio Cantor Verlag, 2000, 568 p.

Відомості про авторів (About authors)

Радзівєвська Ірина Гіронтіївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, доцент кафедри технології жирів і парфумерно-косметичних продуктів, м. Київ, Україна; e-mail: Logos2007@ukr.net.

Iryna Radziewska – Ph. D., Docent, National University of Food Technologies, assistant professor of technology fats and perfume and cosmetic products, Kyiv, Ukraine; e-mail: Logos2007@ukr.net.

Полонська Тетяна Анатоліївна – Національний університет харчових технологій, аспірант кафедри технології жирів і парфумерно-косметичних продуктів, м. Київ, Україна; e-mail: Tanju@ukr.net.

Tetiiana Polonska – National University of Food Technologies, postgraduate student technology fats and perfume and cosmetic products, Kyiv, Ukraine; e-mail: Tanju@ukr.net.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Радзівєвська, І. Г. Дослідження складу олійної фази косметичних засобів / **І. Г. Радзівєвська, Т. А. Полонська** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 150 - 154. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Radziewska, I., Polonska, T. Research of oil phase composition cosmetic. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, 62 (1171), 150 - 154, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Радзиевская, И. Г. Исследование состава масляной фазы косметических средств / **И. Г. Радзиевская, Т. А. Полонская** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 150 - 154. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ Для оптимізації складу масляної фази косметичних кремов досліджені властивості ряду косметичних масел. Растекаємості і вбираємість емоментів кожної визначали методом Зейдлера як розповсюдження речовини по поверхні за одиницю часу. В результаті комплексного впливу суміші трьох емоментів шкіра залишається гладкою довше, ніж при нанесенні двох або монокомпонентних основ. Предложено середній склад жирової фази косметичного засобу як співвідношення трьох груп емоментів 1: 2: 1.

Ключові слова: косметика, емомент, масло, растекаємості, молекулярна маса

Надійшла (received) 05.11.2015

УДК 66: 533.9+004.9

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДОВ МЕДИ ПРИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ РАСТВОРОВ CuSO_4

О. В. СЕРГЕЕВА^{1*}, А. А. ПИВОВАРОВ²

¹ Кафедра специализированных компьютерных систем, ГВУЗ Украинский химико-технологический университет, г. Днепрпетровск, УКРАИНА

² Кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ Украинский химико-технологический университет, г. Днепрпетровск, УКРАИНА

*email: ov.sergeeva@mail.ru

АННОТАЦИЯ В данной работе проведен анализ условий для получения высокодисперсных порошков оксидов меди в разбавленных растворах. При использовании метода плазмохимической обработки раствора CuSO_4 с концентрацией не более $1,27 \times 10^{-2}$ моль/л получены расчетные данные изменения концентраций компонентов раствора в процессе обработки. Величина среднеквадратического отклонения от эксперимента 0,8, что говорит об адекватности использованной модели. Данные рентгеноструктурного анализа подтверждают образование CuO , Cu , Cu_2O . Размерные характеристик полученных осадков лежат в пределах от 8 до 110 нм. Более крупные частицы представлены в виде агломератов 0,5-5 мкм. Доказана возможность управления процессом синтеза частиц путем корректировки его параметров.

Ключевые слова: контактная неравновесная плазма, раствор, наноразмерные частицы, оксиды меди, модель

THEORETICAL ANALYSIS OF THE FINE POWDER OF THE COPPER OXIDES BY RECEIVED OF PLASMACHEMICAL BY TREATMENT OF SOLUTION CuSO_4

O. V. SERGEYEVA^{1*}, A. A. PIVOVAROV²

¹ Department of inorganic matter technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

² Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

ABSTRACT. In this study, we conducted by studying literature and experimental data analysis of the conditions for obtaining highly dispersed powders of oxides of copper in dilute solutions. When using the method of plasma-chemical processing CuSO_4 solution at a concentration not exceeding $1,27 \times 10^{-2}$ mol / l obtained estimates changes in the concentrations of solution components during processing. The value of the standard deviation of the experiment is more than 0.8, indicating that the adequacy of the model used. The X-ray analyze confirmed the formation of CuO , Cu , Cu_2O . The dimensional characteristics of the resulting precipitates are in the range from 8 to 110 nm. Larger particles are shown in the form of agglomerates 0,5-5 mm. Based on the studies it may be noted that the size of the resulting particles precipitate can vary within wide limits. At the same time the reduction of current and the decrease in the concentration of particles reduces the size of the resulting particles and improving the uniformity of sediment that is confirmed by electron microscopy studies of the synthesized cathode deposits. Consideration of additional factors reflected in the mathematical model produces estimates of rather close to the experimental data, which indicates its adequacy. Thus, we can manage the process of synthesis of particles by adjusting the process parameters of plasma-chemical processing. The constructive design allows it and along with the ability to use very dilute solutions is advantage of this method.

Keywords: nonequilibrium plasma, solution, nanosized particles, copper oxides, model

Введение

Интерес к микро- и наноразмерным частицам обусловлен, прежде всего, широким спектром возможностей их практического применения, в которых используются специфические свойства как самих частиц, так и модифицированных ими материалов. На сегодняшний день наиболее разработаны возможности использования частиц Cu_2O , CuO в различных областях [1]. При этом характеристики и варианты их практического применения в значительной степени зависят от способа получения, который обычно определяет их

структуру, размеры, физические и химические свойства и т.п.[2].

Среди способов получения микро- и наночастиц большие группы образуют методы химического [3], электрохимического [4], электроимпульсного [5] и плазмохимического [6] синтеза, основанные на восстановлении ионов металла в растворах, в условиях, благоприятных для последующей агрегации атомов и ионов с образованием наночастиц. Использование растворов сульфатов также является перспективным направлением [7] для получения субмикронных и наноразмерных порошков оксидов цветных металлов.

Каждая из этих групп имеет свои достоинства и недостатки, но использование метода с использованием обработки водных сред контактной неравновесной низкотемпературной плазмой (КННП) пониженного давления позволяет использовать преимущества каждой из групп [8], но при этом возникает необходимость в дополнительных данных, характеризующих частицы, полученные этим способом.

Цель работы

В данном исследовании рассматривался процесс получения частиц, полученных при плазмохимической обработке растворов CuSO₄ в дистиллированной воде. Концентрация по Cu²⁺ не превышала 1,3*10⁻² моль/л. Целью данной работы являлось изучение процесса получения частиц Cu, CuO, Cu₂O и определение их характеристик. Для достижения поставленной цели исследовались как литературные данные, так и изучался процесс получения осадка, образующегося на катоде, заглубленном в жидкость; проводилась оценка получившегося осадка; определялся состав и размеры полученных частиц.

Результаты исследований процесса получения и характеристик осадка

При использовании литературных данных исследовались условия, в которых целесообразно проводить синтез. С учетом того, что в процессе плазмохимической обработки раствора CuSO₄ в системе протекают как химические и электрохимические реакции, так и реакции сопряженные с плазмохимическими выходами активных частиц и радикалов рассматривались различные условия, при которых происходит образование нерастворимых осадков.

Так для нахождения условий начала образования осадка гидроксида меди (II) использовали методику [10]. Для расчетов использовались значения K_w=10⁻¹⁴ и K_s(Me(OH)₂) для Cu - ПР(Cu(OH)₂) = 2,2· 10⁻²⁰ [9]). Результаты расчетов представлены на рис.1.

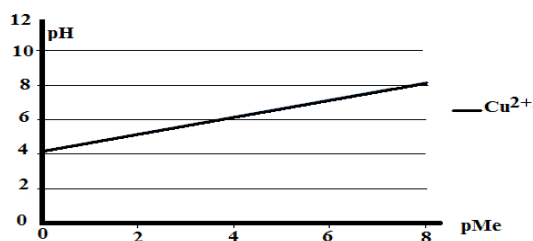
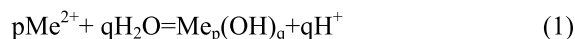


Рис. 1. – Влияние концентрации Cu²⁺ на pH начала образования осадка Cu(OH)₂ (диаграмма Рейли)

Из представленной зависимости вытекает, что с увеличением концентрации ионов Me²⁺, pH образования осадка будет смещаться в кислую область.

Медь(II) в водном растворе существует в виде различных гидроксокомплексов. Суммарно процесс гидролиза ионов Cu²⁺ можно представить уравнением:



Согласно данным работы [11], результаты можно представить в виде следующей зависимости (рис.2)

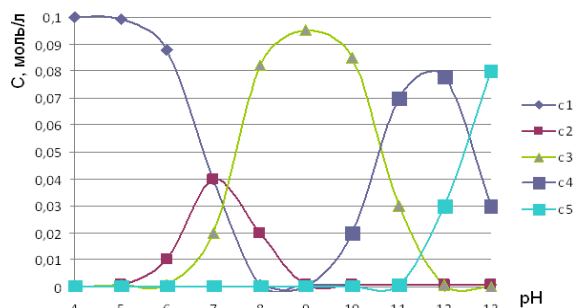


Рис. 2. – Зависимость концентрации гидроксокомплексов меди: c1 - [Cu(H₂O)₆]²⁺; c2 - [Cu(OH)(H₂O)₅]⁺; c3 - [Cu(OH)₂(H₂O)₄]; c4 - [Cu(OH)₃(H₂O)₃]⁻; c5- [Cu(OH)₄(H₂O)₂]²⁻ - от pH среды при начальной концентрации ионов меди 0.1 моль/л.

В работе [12] отмечено, что область доминирования Cu²⁺ при начальной концентрации 0, 1 моль/л от pH=3 при достижении С≤0,01 моль/л; pH=4, 15 при с=0,05 моль/л и pH=2,9 при 0,1 моль/л.

В работе [13] построена зависимость между редокс-потенциалами системы (рис.3).

В соответствии с данными рис.3. при уменьшении концентрации окисленной формы металла происходит снижение редокс-потенциала его восстановления.

При учете процессов протекающих в результате плазмохимических реакций [14], протекающих в сложных температурных условиях при участии заряженных частиц, радикалов и нейтральных компонентов использовались данные полученные нами в работе [15]. Исследование процесса включало в себя использование математической модели [16] и средств программных средств Mathcad. Результаты расчетов представлены на рис.4-5.

Дальнейший анализ полученных результатов (рис.5) свидетельствует об адекватности расчетных и экспериментальных данных. При этом величина среднеквадратического отклонения не ниже 0,8.

Данные рентгеноструктурного анализа (рис.6) подтверждают образование CuO, Cu, Cu₂O.

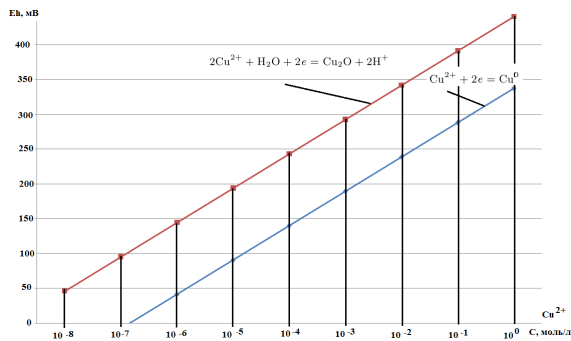


Рис. 3. – Зависимость величины редокс-потенциала Cu^{2+} от её концентрации в воде в реакциях восстановления при $pH=4$. $Eh = E_0 + 0,0985/n * \lg[Me]$, где E_0 - стандартный потенциал металла (В); n - количество электронов, принимающих участие в реакции; $[Me]$ - концентрация металла.

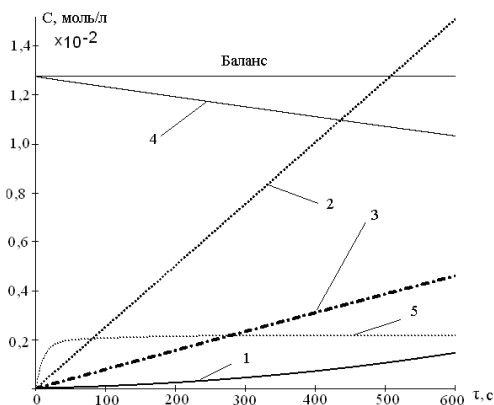


Рис.4. – Изменений концентраций $CuO, Cu, Cu_2O, Cu^{2+}, Cu^+$ при обработке контактной неравновесной плазмой модельного водного раствора $CuSO_4$ 1 – $CuO \cdot 10^3$, 2 – $Cu \cdot 10$, 3 – Cu_2O , 4 – Cu^{2+} , 5 – $Cu^+ \cdot 10^2$; Баланс – условие проверки соответствия материального баланса по $Cu, CuO, Cu^{2+}, Cu^+, Cu_2O$.

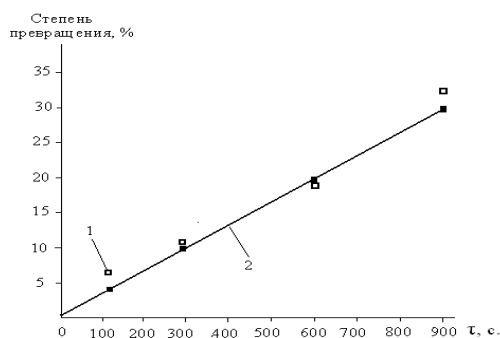


Рис.5. – Степень превращения Cu^{2+} из модельного раствора $CuSO_4$ с начальной концентрацией $Cu^{2+} = 1,27 \cdot 10^{-2}$ моль/л. 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные данные.

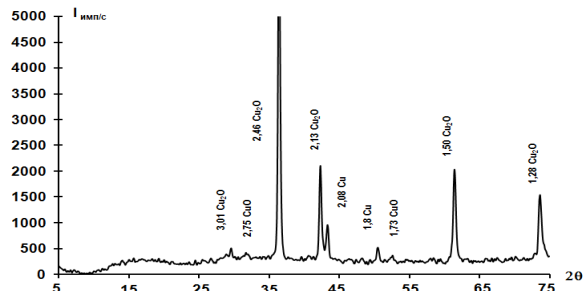


Рис. 6. – Рентгеноструктурная дифрактограмма полученного осадка

Снимки частиц осадка, представлены на рис.7

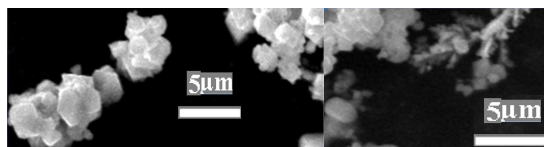


Рис. 7. – Частицы полученного осадка

Обсуждение результатов

Анализ результатов исследования литературных источников позволяют выделить как наиболее перспективный для получения максимального количества осадка CuO, Cu, Cu_2O при использовании достаточно разбавленных растворов (рис.1-3) диапазон pH от 3 до 4. При заданном давлении (P) и силе тока процесса (I), на катоде выделяются частицы, представленные на (рис.6, 7). Разработанная математическая модель позволяет рассчитать количество металла выделившегося в виде осадка, с отслеживанием концентрационных изменений в ходе процесса (рис.4, 5). Расчеты размерных характеристик частиц по данным представленным на рис.6 отображены на рис.8.

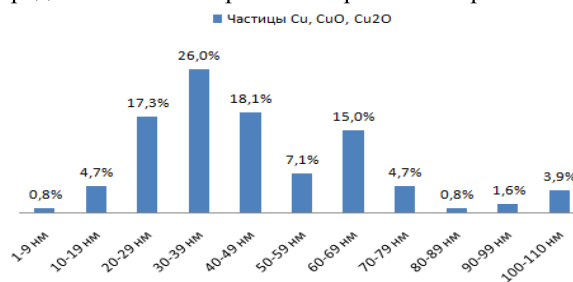


Рис. 8 – Размерные характеристики частиц осадка

В целом размерность отдельных частиц укладывается в наноразмерный диапазон, однако, учитывая снимки частиц (рис.7) можно говорить о размерах частиц большей частью входящих в более крупные агломераты величиной 0,5 - 5 мкм.

С учетом рис. 6 можно говорить о том, что при данных условиях получения осадка, поверхность образующихся частиц состоит преимущественно из Cu_2O , что подтверждается данными расчетов (в

соответствии с рис. 4) количество Cu_2O превышает суммарное количество Cu и CuO примерно в 5 раз. При этом величина среднеквадратического отклонения от данных эксперимента не менее чем 0,8.

Таким образом, можно говорить о том, что при заданных условиях в течение 900 с возможно превращение в осадок содержащий CuO , Cu , Cu_2O в пропорции 1:0,05:5 более трети ионов Cu^{2+} , содержащихся в растворе. При этом размеры частиц, согласно расчетам для: CuO находятся в диапазоне 17-110 нм, Cu – 13-45нм, Cu_2O – 8-108 нм.

Выводы

На основании проведенных исследований можно отметить, что величина полученных частиц осадка может изменяться в достаточно широких пределах. При этом существенное влияние на процесс оказывает снижение силы тока процесса и уменьшение концентрации частиц приводит к уменьшению размеров образующихся частиц и повышению однородности осадка, что подтверждается результатами исследований синтезированных катодных осадков. Учет дополнительных факторов, отраженных в математической модели позволяет получать расчетные данные достаточно близкие к экспериментальным данным, что говорит об ее адекватности. Таким образом, возможно управление процессом синтеза частиц путем корректировки параметров процесса плазмохимической обработки, что благодаря его конструктивному оформлению не вызывает затруднений и является наряду с возможностью использования сильно разбавленных растворов преимуществом данного метода.

Список литературы

1. **Ершов, Б. Г.** Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства / **Б. Г. Ершов** // *Российский химический журнал*. – 2001. – Т. XLV, № 3. – С. 20 - 30.
2. **Dhas, N. A.** Synthesis, characterization, and properties of metallic copper nanoparticles / **N. A. Dhas, C. P. Raj, A. Gedanken** // *Chemistry of Materials*. – 1998. – Vol. 10, № 5. – P. 1446–1452. doi:10.1021/cm9708269
3. **Kear, V. H.** Chemical processing and applications for nanostructured materials / **V. H. Kear, P. R. Strutt** // *NanoStructured Materials*. – 1995. – Vol. 6, № 1-4. – P. 227 - 236. doi:10.1016/0965-9773(95)00046-1
4. **He, W.** Characterization of ultrafine copper powder prepared by novel electrodeposition method / **W. He, X. Duan, L. Zhu** // *Journal of Central South University of Technology*. – 2009. – Vol. 16, № 5. – P. 708–712. doi:10.1007/s11771-009-0117-0
5. **Lee, W. M.** Metal/Water chemical reaction coupled pulsed electrical discharge / **W. M. Lee** // *Journal of Applied Physics*. – 1991. – Vol. 69, № 10. – P. 6945 - 6951. doi:10.1063/1.348931
6. **Рутберг, Ф. Г.** Исследование физико-химических свойств наночастиц, полученных с помощью

- импульсных электрических разрядов в воде / **Ф. Г. Рутберг, В. В. Гусаров, В. А. Коликов** и др. // *Журнал технической физики*. – 2012. – Т. 82, № 12. – С. 33 - 36.
7. **Лепешев, А. А.** Плазмохимический синтез нанодисперсных порошков и полимерных нанокмозитов / **А. А. Лепешев, А. В. Ушаков, И. В. Карпов**. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2012. – 328 с.
 8. **Samukawa, S.** The 2012 Plasma Roadmap / **S. Samukawa, M. Hori, S. Rauf, K. Tachibana, P. Bruggeman, G. Kroesen** // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2012. – Vol. 45, № 25. – P. 253001. doi:10.1088/0022-3727/45/25/253001
 9. **Лурье, Ю. Ю.** Справочник по аналитической химии 6-ое изд. перераб. и доп. / **Ю. Ю. Лурье**. – М.: Химия. – 1989. – 448 с.
 10. **Рузинов, Л. А.** Равновесные превращения металлургических реакций / **Л. А. Рузинов, Б. С. Гуляницкий**. – М.: Металлургия. – 1975. – 416 с.
 11. **Теслюк, Д. А.** Теоретический анализ сульфитного синтеза прекурсора для получения высокодисперсных порошков оксида кобальта(II), никеля(II) и меди(II) / **Д. А. Теслюк, М. В. Васёха** // *X международное Курнаковское совещание по физико-химическому анализу*. Сборник трудов. Самара: Самарский ГТУ. – 2013. – С. 74 - 79.
 12. **Кисленко, Л. В.** Формирование частиц оксида меди в водном растворе поливинилпирролидона / **В. Н. Кисленко, Л. П. Олейник** // *Укр. Хим. Журн.* – 2008. – Т. 74, № 4. – С. 67 - 70
 13. **Таширев, А. Б.** Термодинамическое прогнозирование редокс-взаимодействия микроорганизмов с металлами-окислителями (Hg^{2+} , CrO_4^{2-} и Cu^{2+}) / **А. Б. Таширев, Э. В. Галинкер, Е. И. Андреев** // *Доповіді Національної академії наук України*. – 2008. – №4. – С. 166 - 172.
 14. **Сергеева, О. В.** Получение микро- и наноразмерных соединений меди путем плазмохимической обработки растворов / **О. В. Сергеева** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2014. – № 5/3 (19). – С. 19 - 22. doi:10.15587/2312-8372.2014.27943
 15. **Сергеева, О. В.** Моделирование процесса плазмохимической обработки газ-жидкость / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров, Л. А. Фролова, Т. Н. Дубовик** // *Системні технології*. – 2012. – №4(81). – С. 11 - 17.
 16. **Сергеева, О. В.** Пример решения прямой задачи химической кинетики с использованием средств Mathcad Professional / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров, О. В. Овчаренко** // *Вопросы химии и химической технологи*. – 2009. – №5. – С. 166-170.

Bibliography (transliterated)

1. **Ershov, B. G.** Nanochastitsy metallov v vodnyh rastvorah: elektronnyye, opticheskie i kataliticheskie svoistva. *Rossiiskii himicheskii zhurnal*, XLV, 2001, 3, 20 - 30.
2. **Dhas, N. A., Raj, C. P., Gedanken, A.** Synthesis, characterization, and properties of metallic copper nanoparticles. *Chemistry of Materials*, 1998, Vol. 10, 5, 1446 - 1452. doi:10.1021/cm9708269
3. **Kear, V. H., Strutt, P. R.** Chemical processing and applications for nanostructured materials. *NanoStructured Materials*, 1995, Vol. 6, 1-4, 227 - 236. doi:10.1016/0965-9773(95)00046-1

4. **He, W., Duan, X., Zhu, L.** Characterization of ultrafine copper powder prepared by novel electrodeposition method. *Journal of Central South University of Technology*, 2009, Vol. 16, 5, 708 - 712. doi:10.1007/s11771-009-0117-0
5. **Lee, W. M.** Metal/Water chemical reaction coupled pulsed electrical discharge. *Journal of Applied Physics*, 1991, Vol. 69, 10, 6945 - 6951. doi:10.1063/1.348931
6. **Rutberg, F. G., Gusarov, V. V., Kolikov, V. A. et al.** Issledovanie fiziko-himicheskikh svoistv nanochastits, poluchennyh s pomoshch'iu impul'snyh elektricheskikh razriadov v vode. *Zhurnal tehnicheckoi fiziki*, 2012, Vol. 82, 12, 33 - 36.
7. **Lepeshev, A. A., Ushakov, A. V., Karpov, I. V.** *Plazmohimicheskii sintez nanodispersnyh poroshkov i polimernykh nanokompozitov*. Krasnoiar'sk: Sib. feder. un-t, 2012, 328 p.
8. **Samukawa, S., Hori, M., Rauf, S., Tachibana, K., Bruggeman, P., Kroesen, G. et al.** The 2012 Plasma Roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2012, Vol. 45, 25, 253001. doi:10.1088/0022-3727/45/25/253001
9. **Lurie Y. Y.** Handbook of Analytical Chemistry, 6th ed. Revised. and add. - Moskov: Chemistry, 1989, 448 p.
10. **Ruzinov, L. A., Gulyanitsky, B. S.** Equilibrium conversion of metallurgical reactions. Moskov: Metallurgy, 1975, 416 p.
11. **Teslyuk, D. A., Vasyoha, M. V.** Theoretical analysis sulphite precursor for the synthesis of fine powders of cobalt oxide (II), nickel (II) and copper (II). *Kurnakovskoe X International Meeting on the physical and chemical analysis. Proceedings. Samara: Samara State Tech. University*, 2013, 74-79.
12. **Kislenko, L. V., Oleinik, L. P.** The formation of the copper oxide particles in an aqueous solution polivinilpirrolidona. *Ukr. Chem. Zh.*, 2008, 74, 4, 67-70.
13. **Tashirev, A. B., Gallinger, E. V., Andreyuk, E.I.** Thermodynamic prediction of redox interaction of organisms with metallo-oxidants (Hg^{2+} , CrO_4^{2-} and Cu^{2+}). *Dopovidi Natsionalnoi akademii Sciences. Ukraïni*, 2008, 4, 166 - 172.
14. **Sergeyeva, O. V.** Obtaining of micro- and nanoscale copper compounds by plasma-chemical treatment of solutions. *Technology Audit And Production Reserves*, 2014, 5(3(19)), 19 - 22. doi:10.15587/2312-8372.2014.27943
15. **Sergeeva O.V., Pivovarov A.A., Frolov, L.A., Dubovik, T. N.** Simulation of plasma-chemical treatment of the gas-liquid interface. *Sistemni tehnologii*, 2012, 4 (81), 11-17
16. **Sergeeva O. V., Pivovarov, A. A., Ovcharenko, O. V.** Example of solving the direct problems of chemical kinetics with the use of Mathcad Professionel. Questions of chemistry and chemical technology, 2009, 5. 166-170.

Сведения об авторах (About authors)

Сергеева Ольга Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, доцент кафедры специализированных компьютерных систем, г. Днепропетровск, Украина; e-mail: ov.sergeeva@mail.ru

Sergeyeva Olga – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Affiliation, Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, ov.sergeeva@mail.ru

Пивоваров Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, Украинский государственный химико-технологический университет, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, г. Днепропетровск, Украина; e-mail: apivo@ua.fm

Pivovarov Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of inorganic matter technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: apivo@ua.fm.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сергеева, О. В. Теоретический анализ получения высокодисперсных порошков оксидов меди при плазмохимической обработке растворов $CuSO_4$ / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 155 - 159. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Sergeyeva, O., Pivovarov, A. Theoretical analysis of the fine powder of the copper oxides by received of plasmachemical by treatment of solution $CuSO_4$. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, 62 (1171), 155 - 159, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сергєєва, О. В. Теоретичний аналіз отримання високодисперсних порошоків оксидів міді при плазмохімічній обробці розчинів $CuSO_4$ / **О. В. Сергєєва, О. А. Пивоваров** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 155 - 159. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ У даній роботі проведено аналіз умов для отримання високодисперсних порошоків оксидів міді в розведених розчинах. При використанні методу плазмохімічної обробки розчину $CuSO_4$ з концентрацією не більше ніж $1,27 \times 10^{-2}$ моль/л отримані розрахункові дані зміни концентрацій компонентів розчину в процесі обробки. Величина середньоквадратичного відхилення від експерименту 0,8, що говорить про адекватність використаної моделі. Дані рентгеноструктурного аналізу підтверджують отримання CuO , Cu , Cu_2O . Розмірні характеристики осадів, які отримано лежать в межах від 8 до 110 нм. Більші частинки представлені у вигляді агломератів 0,5-5 мкм. Доведена можливість керування процесом синтезу частинок шляхом коригування його параметрів.

Ключові слова: контактна нерівноважна плазма, розчин, нанорозмірні частинки, оксиди міді, модель

Поступила (received) 15.12.2015

УДК 664.8.037.1:634.11

**ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ МАСИ ПЛОДІВ ЯБЛУНІ ПІД ЧАС
ХОЛОДИЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ****М. Є. СЕРДЮК^{1*}, І. Г. ВЕЛИЧКО², С. С. БАЙБЕРОВА¹**¹Кафедра ТПЗПСГ, ТДАТУ, м. Мелітополь, УКРАЇНА²Кафедра вищої математики та фізики, ТДАТУ, м. Мелітополь, УКРАЇНА

*email.: igorserduk@mail.ru

АНОТАЦІЯ. Встановлено, що основним компонентом хімічного складу, який має домінуючий вплив на інтенсивність втрат маси плодів яблуни є аскорбінова кислота. Регресійна модель для прогнозування втрат маси залежно від вмісту аскорбінової кислоти має вигляд: $Y=444,5X^2-11,11X+0,083$. Серед досліджених погодних чинників найбільш істотний вплив має різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами останнього місяця формування плодів. У якості регресійної моделі для прогнозування втрат маси від абіотичних чинників слід користуватися рівнянням $Y=0,110779-0,006869X_2$.

Ключові слова: погодні умови, аскорбінова кислота, органічні кислоти, плоди, яблуна, втрати маси.

PREDICTION OF MASS LOSSES OF APPLE FRUIT DURING COLD STORAGE**M. SERDYUK^{1*}, I. VELICHKO², S. BAIBEROVA¹**¹ "Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE² Department of Higher Mathematics and Physics, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT. The research dedicated to provide theoretical basis of stress weather factors and main chemical composition influence on the intensity of natural weight loss of apple fruits during long-term storage and developing a regression model to predict the process. The apple fruits of four varieties: Idared, Golden Delicious, Reinette Simirenko, Florina were selected for studies. The fruits were harvested from trees typical for this variety and the same age. The growing conditions were kept according standard technology and requirements of farming at the experimental site. The methods of variation statistics used for the analyzing, processing of experimental data and predicting the final result. Studies have found that the average weight loss of fruit apple were at 5.5%, while average losses per day of storage totaled 0.025%. The research analyzed varietal variability index that estimated as high with the fluctuation of variation coefficient from 26.5 to 64.6% during most years. It was determined that the maximum rate of constant increase was in the weight loss of Golden Delicious apples, a bit lower in Reinette Simirenko and less in the varieties Idared and Florina. The main component of chemical composition, which has a dominant influence on the intensity of apples weight loss, was ascorbic acid. Regression model to predict weight loss depending on the content of ascorbic acid, is: $Y=444,5X^2-11,11X+0,083$. Among surveyed weather factors most considerable influence has the differences between the average maximum and minimum temperatures of the last month of fruit formation. The regression model to predict the mass loss of abiotic factors described by the equation $Y=0,110779-0,006869X_2$.

Keywords: weather conditions, ascorbic acid, organic acid, fruits, apple, weight loss

Вступ

Сучасна наука про харчування розглядає плоди яблуні як життєво необхідні продукти, оскільки вони є основним джерелом багатьох вітамінів, мінеральних речовин, вуглеводів, органічних кислот, ароматичних речовин та інших біологічно-активних речовин [1].

Відповідно до існуючої програми розвитку галузі плодівництва до 2025 року [2] передбачається збільшення як виробництва плодів, так і забезпечення їх збереженості.

Однак при існуючих способах і системах організації зберігання втрати сировини досягають 25%, а у деякі роки навіть 40%, що супроводжується різким зниженням товарної якості та поживної цінності продукції [3].

Однією з основних причин погіршення якості продукції при зберіганні є природна втрата маси, яка

являє собою суму втрат вологи за рахунок транспірації з поверхні плодів та втрат маси при розкладанні органічних речовин у процесі дихання [4, 5].

Основна частка природної втрати (70-90%) припадає на випаровування вологи, тому при зберіганні плодів спостерігаються зменшення вмісту води і відносно збільшення сухих речовин. Однак за певних умов може зростати частка втрат сухої речовини на дихання (до 50% і більше) при мінімальних втратах вологи. Таке явище відзначається при зберіганні плодів в умовах підвищеної відносної вологості повітря [6, 7].

Фактори, які визначають величину природної втрати маси можна поділити на біологічні і технологічні. До біологічних відносять анатомічну та морфологічну будову і хімічний склад плодів, співвідношення вільної і зв'язаної вологи у рослинних

тканинах, їх фізіологічний стан, наявність пошкоджень, у тому ж разі механічних, шкідниками та хворобами. Ці фактори в свою чергу обумовлені особливостями виду і сорту плодів, умовами вирощування та збирання, природною стійкістю до несприятливих зовнішніх умов, у тому числі і здатністю загоювати механічні пошкодження. До технологічних факторів відносять способи та режими зберігання плодів [8].

Отже, природну втрату маси плодів яблуні можна вважати інтегральним показником, який характеризує їх здатність забезпечувати якісну стабільність при зберіганні. Точне визначення цього параметра має велике наукове і практичне значення, а його прогнозування дасть можливість визначити теоретичну лежкість плодів ще до початку зберігання.

Мета роботи

Метою наших досліджень було наукове обґрунтування впливу стресових погодних чинників і основних компонентів хімічного складу на інтенсивність природних втрат маси плодів яблуні під час тривалого зберігання та створення математичної моделі прогнозування даного процесу.

Для реалізації поставленої мети було необхідним вирішити наступні завдання: проаналізувати погодні умови вегетаційного періоду; визначити вміст основних компонентів хімічного складу плодів яблуні; визначити природні втрати маси плодів при зберіганні; встановити взаємозв'язок між інтенсивністю втрат маси яблук та стресовими погодними чинниками і компонентами хімічного складу; розробити математичні моделі для прогнозування даного процесу.

Викладення основного матеріалу

Дослідження проводилися у 2003-2012 роках в Мелітопольському районі Запорізької області. З метою вивчення впливу погодних чинників на рівень природних втрат маси плодів яблуні використано щоденні метеорологічні дані за період з 2003 по 2012 рр., зібрані на Мелітопольській метеостанції.

Для дослідження були обрані плоди яблуні чотирьох сортів, які внесені до Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні: Айдаред, Голден Делішес, Ренет Симиренка, Флоріна. Сад дослідної ділянки закладений за схемою 4x1,5. Плоди збирали з дерев, типових для сорту та одного віку. Агрофон на дослідній ділянці задовольняв вимогам агротехніки.

Розрахунок моделей прогнозування втрат маси проводили за наступною схемою [9]:

1. Визначення природних втрат маси плодів яблуні при зберіганні і створення бази даних. Втрату маси плодів визначали за методом фіксованих проб [10].

2. Створення комп'ютерної бази погодних умов у роки досліджень. При цьому відбиралися такі

показники: мінімальна, середня і максимальна температури, сума опадів, кількість днів з опадами більше одного міліметра, середня та мінімальна відносна вологість повітря. На їх основі були розраховані гідрометричні коефіцієнти, перепади температури за певні періоди, суми активних і ефективних температур, інші показники.

3. Визначення вмісту основних компонентів хімічного складу плодів яблуні: сухих речовин, загального цукру, вільних кислот, фенольних речовин, аскорбінової кислоти. Визначення виконували за стандартними методиками [10].

4. Визначення на основі парних кореляційних залежностей погодних чинників та компонентів хімічного складу, які максимально впливають на рівень природних втрат яблук при зберіганні. Для розрахунків відбирали дані за 10 років, щоб забезпечити 95-відсотковий рівень вірогідності отриманих результатів.

5. Розрахунок регресійної моделі для прогнозування втрат маси плодів яблуні в зв'язку з погодними умовами, або вмістом компонентів хімічного складу. При формуванні багатofакторної моделі використовували лінійну функцію:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n.$$

При аналізі та обробці експериментальних даних і прогнозуванні кінцевого результату використовували методи варіаційної статистики: проводили математичну обробку, парний і множинний кореляційний і регресивний аналізи - за Б. А. Доспеховим [11], використовуючи комп'ютерні програми "MS office Excel 2007", пакет "Statistica 6" і персональний комп'ютер.

Результати та їх обговорення

Результати наших десятирічних досліджень дають можливість стверджувати, що середні втрати маси плодів яблуні були на рівні 5,5%, при цьому середні втрати за добу зберігання становили 0,025% (табл.1).

Таблиця 1 - Середні втрати маси плодів яблуні після тривалого зберігання (2003 – 2012 рр.)

Помологічний сорт	Втрати маси, %	Щодобові втрати, %	$\frac{\min}{\max}$	V, %
Айдаред	4,978	0,023	$\frac{1,987}{10,942}$	56,2
Голден Делішес	6,709	0,033	$\frac{3,035}{11,072}$	34,8
Ренет Симиренка	4,829	0,023	$\frac{1,842}{11,006}$	62,5
Флоріна	5,322	0,023	$\frac{2,789}{10,679}$	42,9
Середнє за сортами	5,459	0,025	$\frac{1,842}{11,072}$	48,2
НІР ₀₅	1,447	0,001		

Слід зазначити що на втрати маси плодів яблуні урожаїв 2003, 2007 та 2008 років майже не впливали сортові особливості (коефіцієнт варіації $V=6,6...10,8$). Протягом усіх інших дослідних років рівень сортової мінливості аналізованого показнику оцінювався як високий з коливанням коефіцієнту варіації від 26,5 до 64,6%, за виключенням плодів урожаю 2009 р., коли була зафіксована середня мінливість.

Серед вивчених сортів найбільшими втратами маси характеризувалися плоди яблуні сорту Голден Делішес (6,7%) з середніми щодобовими втратами 0,033%. Втрати маси плодів інших помологічних сортів були значно нижчими та істотно не відрізнялися між собою. Мінливість даного показника аналізованих сортів була високою, та варіювала в межах від 35% у плодів яблуні сорту Голден Делішес до 63% у плодів Ренет Симиренка.

Кількісний рівень втрат маси плодів пов'язаний з їх морфологічною будовою. Так морфологічною ознакою плодів яблуні сорту Голден Делішес є шорстка «оржавлена» шкірочка, натомість для плодів інших помологічних сортів характерна наявність достатньо значного шару воскового нальоту. Для плодів з «оржавленою» шкірочкою характерна значно більша швидкість транспірації, порівняно з плодами, кутикула яких захищена восковим нальотом [13].

З метою визначення кількісного значення природних втрат маси плодів яблуні на будь-яку добу зберігання був проведений регресійний аналіз та отримані лінійні та поліноміальні рівняння залежності втрат маси плодів яблуні (Y) від терміну зберігання (x) (табл.2).

Таблиця 2 – Залежності втрат маси плодів яблуні (Y) від терміну зберігання (x)

Сорт	Рівняння	R ²	δ
Айдаред	$Y=-0,424+0,024x$	0,97	0,120
	$Y=0,628+0,005x+6,374 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$	0,99	0,007
Голден Делішес	$Y=0,628+0,005x+6,374 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$	0,97	0,199
	$Y=0,795+0,007x+0,0001 \cdot x^2$	0,99	0,177
Ренет Симиренка	$Y=-0,929+0,028x$	0,96	0,175
Флоріна	$Y=0,117+0,009x+6,335 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$	0,99	0,035
	$Y= - 0,441+0,025x$	0,98	0,079
	$Y=0,419+0,009x+5,214 \cdot 10^{-5} \cdot x^2$	0,99	0,004

Аналіз даних залежностей показує, що рівень втрат маси зростає протягом всього періоду зберігання, але швидкість зростання по етапам зберігання не однакова. Тому краще наближення до експериментальних даних досягається за допомогою поліномів 2 порядку, що підтверджено розрахованою середньою похибкою δ. З отриманих даних видно, що середня похибка для поліномів другого порядку залежно від сорту коливається в межах 0,004...0,18, а для прямої – 0,079...0,199.

Як і слід було очікувати, похибка для поліноміальної залежності менша, отже вона краще згладжує експериментальні данні.

Динаміка втрат маси плодів яблуні при зберіганні характеризується константою швидкості. Для її визначення прийємо природне допущення, що швидкість втрати маси пропорційна наявній масі плодів на даний час.

Позначимо через M(τ) втрати маси плодів в момент часу τ (від початку зберігання). Матимемо диференціальне рівняння

$$M'(\tau) = kM(\tau),$$

Загальний розв'язок якого

$$M(\tau) = Ce^{k\tau}.$$

Вкажемо спосіб визначення констант C та k за даними двох спостережень $M(\tau_1)=M_1$, $M(\tau_2)=M_2$, коли $\tau_2 > \tau_1$. Маємо систему:

$$\begin{cases} Ce^{k\tau_1} = M_1 \\ Ce^{k\tau_2} = M_2 \end{cases}$$

Звідки:

$$k = \frac{\ln \frac{M_2}{M_1}}{\tau_2 - \tau_1}$$

$$C = (M_1^{\tau_2} \cdot M_2^{-\tau_1})^{\frac{1}{\tau_2 - \tau_1}}$$

Результати розрахунків констант швидкості процесу втрат маси наведені у таблиці 3.

Таблиця 3- Константи швидкості зростання втрат маси при зберіганні плодів яблуні

Сорт	Константа швидкості, % діб ⁻¹
Айдаред	0,009094
Голден Делішес	0,010359
Ренет Симиренка	0,009533
Флоріна	0,009116

Отримані константи швидкості свідчать, що максимальною була швидкість зростання втрат маси у плодів яблуні сорту Голден Делішес, дещо меншою вона була у плодів сорту Ренет Симиренка і найменшою - у плодів сортів Айдаред та Флоріна.

З метою прогнозування втрат маси плодів яблуні під час тривалого зберігання нами був визначений вміст основних компонентів хімічного складу та розраховані коефіцієнти кореляції між показниками (рис.1).

Результати наших досліджень констатують існування тісного оберненого кореляційного зв'язку

між аналізованим показником та вмістом титрованих кислот і вітаміну С.

Отримані коефіцієнти кореляції дають можливість стверджувати, що зростання вмісту вітаміну С та вільних кислот у плодах яблуни в період знімальної стиглості супроводжуються зменшенням рівня втрат маси при зберіганні.

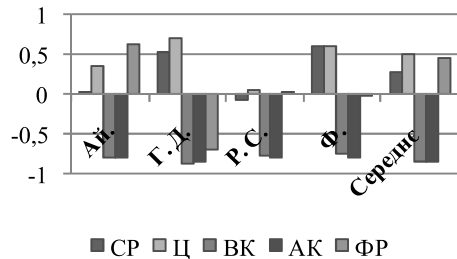


Рис. 1 – Коефіцієнти кореляції між вмістом компонентів хімічного складу плодів яблуни та втратами маси при зберіганні: СР- сухі речовини (X_1), Ц – цукри (X_2), ВК – вільні кислоти (X_3), АК – аскорбінова кислота (X_4), ФР – фенольні речовини (X_5)

Слід також зазначити, що серед аналізованих сортів найменшим вмістом АК характеризувалися плоди яблуни сорту Голден Делішес, і, як зазначено вище, втрати маси їх були максимальними.

Загальна регресійна модель взаємозв'язку процесу втрат маси плодів яблуни та вмістом компонентів хімічного складу описується наступним рівнянням:

$$Y = 0,07798 - 0,00146X_1 + 0,00174X_2 - 0,01465X_3 - 2,43753X_4 - 0,09705X_5,$$

де Y – втрати маси плодів яблуни, %

$X_1, X_2 \dots X_5$ – вміст компонентів хімічного складу, позначені на рисунку 1, %.

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,89$, коефіцієнт детермінації $R^2=0,79$, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,52, критерій $F(5,4)=2,9568$, рівень значимості – 0,15788, при стандартній помилці оцінки – 0,00745.

Після виключення факторів, які у незначній мірі впливають на результат, а також колінеарних факторів, рівняння прийняло остаточний вигляд:

$$Y = 0,05170 - 3,12977X_4,$$

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,86$, коефіцієнт детермінації $R^2=0,74$, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,71, критерій $F(1,8)=23,280$, рівень значимості – 0,00131, при стандартній помилці оцінки – 0,00580.

Таким чином, основним компонентом хімічного складу, який має домінуючий вплив на інтенсивність втрат маси плодів яблуни є вміст аскорбінової кислоти.

При подальшому проведенні регресійного аналізу було встановлено, що поліном 2 ступеня адекватно описує експериментальні дані (рис. 2).

Отже, найкраще наближення до експериментальних даних досягається функцією:

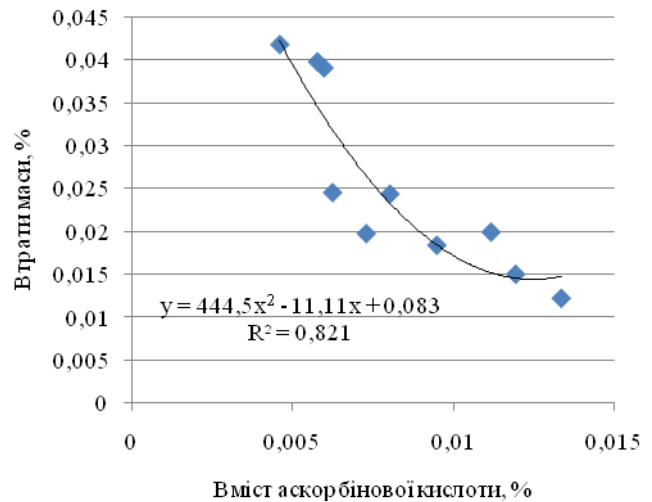


Рис. 2 – Залежність втрати маси плодів яблуни під час холодильного зберігання від вмісту АК на початку зберігання, (середні 2003 – 2012 рр.)

$$Y = 444,5X^2 - 11,11X + 0,083,$$

де Y – втрати маси плодів яблуни при зберіганні, %
 X – вміст вітаміну С, %.

Для встановлення впливу погодних умов вегетаційного періоду на рівень природних втрат при зберіганні плодів був проведений дисперсійний аналіз результатами якого встановлено, що найбільший вплив мають погодні чинники (фактор А), з долею участі 73%. Доля участі інших факторів є значно меншою і становить: фактору сорту (фактор В) – 9%, взаємодії факторів А і В – 18% (рис. 3).

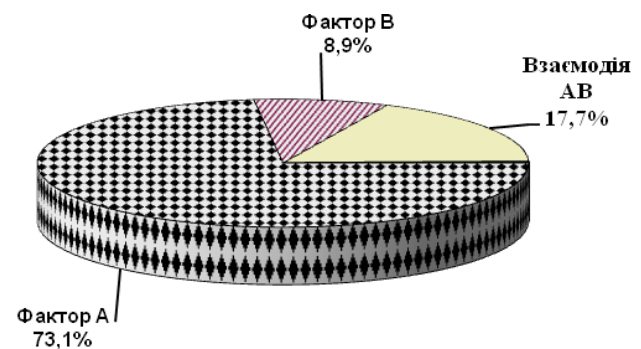


Рис. 3 – Частка впливу факторів на природні втрати маси плодів яблуни, %: фактор А – погодні умови у роки досліджень, фактор В – сорт, АВ – взаємодія факторів А і В, залишкове – випадкові та інші фактори

Отже, прогнозування втрат маси плодів яблуни можна виконувати за середньосортовим значенням.

Результатами кореляційного аналізу показано, що рівень природних втрат маси сильно обернено корелює з двома погодними чинниками: кількість днів

з опадами більше 1 мм ($r=-0,66\pm 0,24$) та різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами ($r=-0,71\pm 0,23$).

Загальна регресійна модель залежності рівня втрат маси плодів яблуни при зберіганні від погодних чинників описується наступним рівнянням:

$$Y=0,118234 - 0,000375X_1 - 0,005332X_2.$$

Де Y - втрати маси плодів яблуни, %,

X_1 - кількість днів з опадами більше 1 мм, днів (в межах 54...94 днів)

X_2 - різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами останнього місяця формування плодів, °C (в межах 10...14°C),

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,85$, коефіцієнт детермінації $R^2=0,71$, скорегований коефіцієнт детермінації - 0,63, критерій $F(2,7)=8,7162$, рівень значимості - 0,1259, при стандартній помилці оцінки - 0,00656.

Після виключення з рівняння факторів, які у незначній мірі впливають на результат, а також колінеарних факторів, воно прийняло остаточний вигляд:

$$Y=0,110779 - 0,006869X_2$$

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції $R=0,71$, коефіцієнт детермінації $R^2=0,51$, скорегований коефіцієнт детермінації - 0,44, критерій $F(1,8)=8,1983$, рівень значимості - 0,02105, при стандартній помилці оцінки - 0,00805.

Отже, в умовах Південної степової підзони України, чергування теплих днів з прохолодними ночами протягом останнього місяця формування плодів супроводжується меншими втратами маси плодів при зберіганні.

Висновки

1. Середні втрати маси плодів яблуни були на рівні 5,5%, при цьому середні втрати за добу зберігання становили 0,025%.
2. За розрахованими константи швидкості було визначено, що максимальною була швидкість зростання втрат маси у плодів яблуни сорту Голден Делішес.
3. Основним компонентом хімічного складу, який має домінуючий вплив на інтенсивність втрат маси плодів яблуни є аскорбінова кислота. Регресійна модель для прогнозування втрат маси залежно від вмісту аскорбінової кислоти, має вигляд: $Y=444,5X^2-11,11X + 0,083$.
4. Серед досліджених погодних чинників найбільш істотний вплив має різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами останнього місяця формування плодів. У якості регресійної моделі для прогнозування втрат маси від абіотичних чинників слід користуватися рівнянням $Y=0,110779-0,006869X_2$.

Список літератури:

1. **Duroňová, K.** Changes in lipid composition of apple surface layer during long-term storage in controlled atmosphere/ **K. Duroňová, I. Márová, M. Čertík, S.Obruča** // *Chemical Papers*. – 2012. – № 6. – P. 940-948. DOI: 10.2478/s11696-012-0200-0.
2. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. – К. – 2008. – 76 с.
3. **Jijakli, M. H.** State of the Art and Challenges of Post-harvest Disease Management in Apples / **M. H. Jijakli, P.Lepoivre** // *Fruit and Vegetable Diseases*. – 2004. – № 1. – P. 59 - 94. DOI: 10.1007/0-306-48575-3_3
4. **Mitropoulos, D.** "Delicious Pilafa" apple density changes as a quality index of mass loss degradation during storage/ **D. Mitropoulos, G. Lambrinos** // *J. of Food Quality*. – 2007. – № 30. – P. 527 - 537. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2007.00140.x
5. **Jan, I.** Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars / **I. Jan, A. Rab** // *J. of Animal & Plant Sciences*. – 2012. – № 22(3). – P.708 - 714.
6. **Maguire, K. M.**, Development and validation of the mass loss segregation system for apples / **K. M. Maguire, N. H. Banks, D. J. Tanner** // *Acta Hort.* – 2003. – № 604. – P. 255 - 261. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.604.26.http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.604.26
7. **El-Ramady, H. R.** Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage / **H. R. El-Ramady, É. Domokos-Szabolcsy, N. A. Abdalla, H. S. Taha, M. Fári** // *Sustainable Agriculture Reviews*. – 2015. – № 15. – P. 65-152. DOI: 10.1007/978-3-319-09132-7_2
8. **Paul, V.** Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability—a review/ **V. Paul, R. Pandey** // *J. of Food Science and Technology*. – 2014. – № 51. – P. 1223-1250. DOI:10.1007/s13197-011-0583-x
9. **Бублик, М. О.** Методологічні та технологічні основи підвищення продуктивності сучасного садівництва / **М. О. Бублик**. – К.: Нора-прінт. – 2005. – 286 с.
10. **Найченко, В. М.** Технологія зберігання і переробки плодів та овочів / **В. М. Найченко, І. Л. Заморська**. – Умань: видавець «Сочінський». – 2010. – 328 с.
11. **Доспехов, Б. А.** Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / **Б. А. Доспехов**. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
12. **Konarska, A.** The structure of the fruit peel in two varieties of *Malus domestica* Borkh. (Rosaceae) before and after storage/ **A. Konarska** // *Protoplasma*. – 2013. – № 250. – P. 701-714. DOI: 10.1007/s00709-012-0454-y

Bibliography (transliterated)

1. **Duroňová, K., Márová, I., Čertík, M., Obruča, S.** Changes in lipid composition of apple surface layer during long-term storage in controlled atmosphere. *Chemical Papers*, 2012, **66**, 940-948. DOI: 10.2478/s11696-012-0200-0.
2. Haluzeva prohrama rozvytku sadivnytstva Ukrainy na period do 2025 roku, Kyiv, 2008, 76 p.
3. **Jijakli, M. H., Lepoivre, P.** State of the Art and Challenges of Post-harvest Disease Management in Apples. *Fruit and Vegetable Diseases*, 2004, **1**, 59 - 94. DOI: 10.1007/0-306-48575-3_3.
4. **Mitropoulos D., Lambrinos G.** "Delicious Pilafa" apple density changes as a quality index of mass loss degradation during storage. *J. of Food Quality*, 2007, **30**, 527 - 537. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2007.00140.x

5. **Jan, I., Rab, A.** Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars. *J. of Animal & Plant Sciences*, 2012, **22**(3), 708 - 714.
6. **Maguire, K. M., Banks, N. H., Tanner, D. J.** Development and validation of the mass loss segregation system for apples. *Acta Horti*, 2003, **604**, 255-261. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.604.26. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.604.26>
7. **El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, E., Abdalla, N.A., Taha, H. S., Fári M.** Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage. *Sustainable Agriculture Reviews*, 2015, **15**, 65-152. DOI: 10.1007/978-3-319-09132-7_2.
8. **Paul, V., Pandey, R.,** Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability – a review. *J. of Food Science and Technology*, 2014, **51**, 1223-1250. DOI: 10.1007/s13197-011-0583-x
9. **Bublyk, M. O.** Metodolohichni ta tekhnolohichni osnovy pidvyschennia produktyvnosti suchasnoho sadivnytstva. K.: Nora-print, 2005. – 286 s.
10. **Najchenko, V. M., Zamors'ka I. L.** Tekhnolohiia zberihannia i pererobky plodiv ta ovochiv, Uman': vydavets' «Sochins'kyj», 2010, 328 p.
11. **Dospekhov, B. A.** Metodyka polevoho opyta (s osnovamy statystycheskoj obrabotky rezul'tatov yssledovanyj). M.: Ahropromyzdat, 1985, 351 p.
12. **Konarska, A.** The structure of the fruit peel in two varieties of *Malus domestica* Borkh. (Rosaceae) before and after storage. *Protoplasma*, 2013, **250**, 701-714. DOI: 10.1007/s00709-012-0454-y

Сведения об авторах (About authors)

Сердюк Марина Єгорівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: igorserduk@mail.ru

Serdyuk Marina – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: igorserduk@mail.ru.

Величко Ігор Георгійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри вищої математики та фізики, м. Мелітополь, Україна; e-mail: wig64@mail.ru

Velichko Igor – Candidate of Physico-Mathematical Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of Higher Mathematics and Physic, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: wig64@mail.ru

Байберова Світлана Сергіївна – кандидат сільськогосподарських наук, Таврійський державний агротехнологічний університет, старший викладач кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: bajberovas@gmail.com

Baiberova Svitlana – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), senior lecturer, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavia State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: bajberovas@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сердюк, М. Є. Прогнозування втрат маси плодів яблуні під час холодильного зберігання / **М.Є. Сердюк, І.Г. Величко, С. С. Байберова** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 160 - 165. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Serdyuk, M., Velichko, I., Baiberova, S. Prediction of mass losses of apple fruit during cold storage. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 160 - 165, ISSN - 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сердюк, М. Е. Прогнозирование убыли массы плодов яблони во время холодильного хранения / **М. Е. Сердюк, И. Г. Величко, С. С. Байберова** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 160 - 165. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ Установлено, что основным компонентом химического состава, который имеет доминирующее влияние на интенсивность убыли массы плодов яблони, является аскорбиновая кислота. Регрессионная модель для прогнозирования убыли массы в зависимости от содержания аскорбиновой кислоты имеет вид: $Y=444,5X^2-11,11 X+0,083$. Среди исследованных погодных факторов наиболее существенное влияние оказывают перепады средних максимальных и минимальных температур последнего месяца формирования плодов. В качестве регрессионной модели для прогнозирования убыли массы от абиотических факторов следует использовать уравнение $Y=0,110779-0,006869X_2$.

Ключевые слова: погодные условия, аскорбиновая кислота, органические кислоты, плоды, яблоня, убыль массы.

Надійшла (received) 18.12.2015

УДК 637.5.05/07

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГІДРАТОВАНИХ БІЛОКВМІСНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРЧОВИХ КОМПОЗИЦІЙ

I. М. СТРАШИНСЬКИЙ*, В. М. ПАСІЧНИЙ, О. П. ФУРСІК

Кафедра технології м'яса і м'ясних продуктів, Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА
*email: Sim2407@i.ua

АНОТАЦІЯ Харчові добавки посідають важливе місце в харчовій промисловості. Найбільш поширеними стабілізуючими добавками для м'ясної промисловості являються білкові препарати рослинного та тваринного походження, а також гідроколоїди. Проте все частіше замість індивідуальних добавок використовують комплексні.

У статті наводяться дані проведених досліджень по визначенню ефективної в'язкості у створених функціональних харчових композиціях. До їх складу входять білкові препарати рослинного та тваринного походження, а також суміші гідроколоїдів. Представлені результати доводять покращення реологічних властивостей шляхом внесення наноконструкції.

Ключові слова: гідроколоїди, білкові препарати тваринного та рослинного походження, функціональна харчова композиція, ефективна в'язкість.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HYDRATED FUNCTIONAL FOOD COMPOSITIONS CONTAINING PROTEIN

I. STRASHINSKYI, V. PASICHNIY, O. FURSIK

Department of technology of meat and meat products, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Food additives is occupied an important place in the food industry. It is impossible to imagine any manufacturing process without their use. They allow to simplify production technology, improve quality and regulate the key properties that determine it. To improve the functional technological and structural-mechanical properties of meat using protein preparations and hydrocolloids. Use of complex functional additives is much easier than making each supplement separately.

The purpose of research is creation of functional food composition based on plants and animals origin protein preparation with the use of food additives and study its rheological properties. To create a functional food compositions used complex protein preparations with hydrocolloids. Also it is composed with nanocomposite. As hydrocolloids used carrageenan, guar and xanthan gum and carboxymethyl cellulose. As protein preparations using a mixture of animal and vegetable proteins: protein pork skins brand Belkoton-S95, dry whey and soy isolate Pro-Vo 500U. Based selected ingredients developed three formulations containing protein functional food compositions with different ratios of ingredients.

For research conducted preliminary preparation of compositions was in the hydration water $t = 8-12$ °C with the following degrees of hydration 1:10, 1:15 and 1:20. After hydration protein preparations were subjected to thermal cultivation, which provides technology for manufacturing sausages. In the prepared composition defined rheological properties, namely the effective viscosity.

The effective viscosity of the composition at a ratio of hydration 1:20 ingredients given in the recipe №3 more by 21,6% compared to the recipe №2 and by 35,9% against recipes №1. Adding nanocomposite can increase the indicator effective viscosity for recipes №3 on 50% compared with the values of this index for the selected recipe without introducing additive E551.

Conducted research found that the best results of the rheological properties for the recipe number 3. The use of food additive E551 (nanocomposite) allowed to increase these properties, due to the influence of silica on the proteins available in the developed formulations. Thus, studies have proven the possibility of combining protein preparations with hydrocolloids to create compositions with high technological-functional and structural-mechanical properties and perspectives of selected nanocomposites to improve its properties.

Keywords: hydrocolloids, animal and plant origin protein preparations, the functional food composition, effective viscosity.

Вступ

Харчові добавки посідають важливе місце в харчовій промисловості. Сьогодні неможливо уявити будь-який технологічний процес без їх застосування, оскільки вони дозволяють спростити технологію виготовлення, стабілізувати якість готової продукції. Для покращення функціонально-технологічних та структурно-механічних властивостей (СМВ) м'ясних систем використовують білкові препарати та гідроколоїди.

В останні роки зріс інтерес виробників м'ясної продукції до застосування білків тваринного

походження, що отримують з м'ясної сировини. Тваринні білки володіють високою здатністю до гідратації і емульгування жиру з утворенням стійких білково-жирових емульсій [1].

Для отримання білкових гелів з покращеними функціональними характеристиками провели зміну властивостей колагенових гелів шляхом додавання інших гелеутворюючих білків. Передбачалось, що білки з меншою молекулярною масою будуть підсилювати властивості та покращувати структуру колагену за рахунок вбудовування в його матрицю.

В якості гелеутворюючих білкових препаратів використали білок плазми крові, соєвий ізолят, білок

сироватки, клейковину. На їх основі розробили комбінації сумішей, які містили 2,5–5,19 % (w/w) колагенових білків та 0,36–2,14 % (w/w) білкових препаратів.

Результати досліджень показали, що ізолят білка сироватки зменшує гелеутворюючу здатність колагенових білків, клейковина не взаємодіє з колагеновою матрицею та сприяє розділенню фаз, утворюючи окремих шар. Білки плазми крові не впливають на реологічні властивості, але змінюють мікроструктуру.

Найбільший вплив спостерігається при внесенні соєвого ізоляту, який розподіляється і вбудовується в матрицю колагенового гелю та покращує його стійкість [2].

Порівнюючи гелеутворюючі властивості ізоляту соєвого білка та протейну люпину встановили, що останній формує слабкі і нестійкі гелі, чим істотно відрізняється від попереднього. Соєвий ізолят здатний до максимального набухання з утворенням просторової сітки молекул, що сприяє стабілізації властивостей м'ясних продуктів [3].

У роботі [4] наведені результати дослідження наноструктурованого соєвого ізоляту, отриманого шляхом заморожування в рідкому азоті з наступним сублімаційним сушінням. Доведено зменшення часу для адсорбції молекул води поверхнею ізоляту та підвищення вологостійкості, гелеутворюючої і емульгуючої здатностей у порівнянні зі звичайним соєвим ізолятом.

Гідрокоолоїди належать до стабілізаторів консистенції і загущувачів. Вони являють собою високомолекулярні сполуки, що розчиняються або набухають у воді і поліпшують консистенцію виробів.

Гуарова камідь (E412) використовується у м'ясопереробній промисловості як стабілізатор, для збільшення в'язкості. Вона поліпшує консистенцію, сумісна з іншими рослинними гідрокоолоїдами [5].

Камідь ксантану при додаванні у незначній кількості (менше 1 %) здатна утворювати стійкі в'язкі розчини і покращувати реологічні показники готової продукції. Встановлено, що в'язкість 1 %-го розчину ксантанової камеді знижується з підвищенням температури до 70 °C на 36,25 % від початкового значення і стабілізується після її зниження. Додавання ксантану до гуарової камеді сприяє підвищенню в'язкості, а в поєднанні з камідю ріжкового дерева – формуванню гелеподібної структури продукту [6].

Для підбору ефективного співвідношення камедей між собою для створення суміші, яка б володіла одночасно властивостями гелеутворення і загущення вивчили функціональні властивості двох- і трикомпонентних систем гідрокоолоїдів.

Результати досліджень структурно-в'язкісних характеристик дозволили встановити наступні ефективні співвідношення камедей: суміш ксантанової, гуарової і камеді ріжкового дерева в співвідношенні 1:1:1; суміш ксантанової, гуарової і камеді ріжкового дерева в співвідношенні 5:4:1;

суміш гуарової, ксантанової і конжакової камеді в співвідношенні 1,5:1:2,5.

Вивчення особливостей структуроутворення гелів карагенану в присутності різних харчових добавок і інгредієнтів показало, що в харчових системах на його гелеутворюючу здатність значною мірою впливають компоненти не здатні самостійно утворювати гелі, але, які володіють високою розчинністю і відповідно змінюють умови гелеутворення. Так найвищі показники напруги початку руйнування (міцність) та роботи початку руйнування (пластичність) спостерігались при внесенні 2 % NaCl і становили в середньому 37 кН/м² та 49 кДж/м² відповідно.

По відношенню до інгредієнтів, які здатні до самостійного гелеутворення встановлено, що в присутності 2 % NaCl спостерігається синергізм між карагенаном і тваринними білками і навпаки, з рослинними білками і крохмалем він знаходиться в «конкуренції» при зв'язуванні води і гелеутворенні [7].

Комбінаціям каппа-карагенану із гуаровою і ксантановою камедями властивий синергічний ефект підвищення в'язкості гелю. Найкращий цей показник у суміші із співвідношенням камідь ксантану:карагенан:камідь гуару – 1:1:3 [5].

Для м'ясної промисловості найпоширенішим стало використання комплексних добавок, які, базуючись на основі синергізму, дозволяють раціонально використовувати індивідуальні харчові добавки, спростити їх внесення та вирішити основні проблеми галузі.

Мета досліджень

Метою досліджень є створення функціональної харчової композиції на основі білків рослинного та тваринного походження із застосуванням харчових добавок та вивчення її реологічних властивостей. Об'єкт дослідження – технологія використання функціональної композиції. Предмет дослідження – гідратована білоквмісна функціональна харчова композиція.

Для створення функціональних харчових композицій використали комплекс білкових препаратів із гідрокоолоїдами. Також до їх складу вносили наноккомпозит кремнезем – питомою площею поверхні $S_{\text{БЕТ}}=232 \text{ м}^2/\text{г}$, з відповідним середнім радіусом первинних наночастинок 5,88 нм та насипною густиною $\rho_0 \approx 22 \text{ г/см}^3$ [8] в кількості 0,3 % до маси гелю перед гідратацією функціональних харчових композицій. В якості гідрокоолоїдів використали карагенан, гуарову та ксантанову камеді, а також карбоксиметилцелюлозу.

В якості білкових препаратів використали суміш тваринних і рослинних білків: білка свинячої шкурки марки Белкотон-С95, сухої молочної сироватки та соєвого ізоляту Pro-Vo 500U. Комбінації

дослідних рецептур функціональних харчових композицій наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рецептури функціональних харчових композицій

Складові рецептури	Рецептура № 1, %	Рецептура № 2, %	Рецептура № 3, %
Белкотон-С95	20	35	35
Соевий ізолят	40	20	15
Гуарова камідь	15	20	20
Ксантанова камідь	5	8	8
Карбокси-метилцелюлоза	10	10	15
Суша молочна сироватка	5	7	7
Карагенан	5	-	-
Всього	100	100	100

Для досліджень провели попередню підготовку композицій, що полягала у гідратації водою $t=8-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ з наступними гідромодулями 1:10, 1:15 та 1:20. Після гідратації білкові препарати піддали термічному оброблюванню (доведення до температури $70\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), яке передбачає технологія виготовлення ковбас.

У підготовленій композиції визначили реологічні властивості, а саме ефективну в'язкість [9].

Викладення основного матеріалу

Значення вмісту вологи для гідратованих композицій змінюється в межах 91–96 % в залежності від ступеня гідратації і майже не залежить від рецептури. Активна кислотність 10 %-ї водної суспензії функціональних харчових композицій знаходиться в межах 6,8–7,8 одиниць.

Для рецептури №3 показник вологозв'язуючої здатності (BZ_3 , вміст зв'язаної вологи, у % до загальної вологи) складає 95–85 %, залежно від ступеня гідратації, що більше на 5-10 % в порівнянні з іншими рецептурами.

Функціональна харчова композиція із співвідношенням компонентів згідно рецептури № 3 також володіє найкращими показниками як емульгуючої здатності (ЕЗ), що становить 91–53 % так і стійкості емульсії (СЕ) – 45–18 % (в залежності від ступеня гідратації). Це на 3-9 % більше, ніж аналогічні показники в рецептурах № 1 та № 2 [10].

Для визначення реологічних властивостей створених композицій дослідили ефективну в'язкість підготовленого гелю. Оскільки із збільшенням ступеня гідратації відбувається зниження досліджених властивостей доцільно визначити ефективну в'язкість при максимальному ступені гідратації 1:20. Результати графічно представлені на рисунку 1.

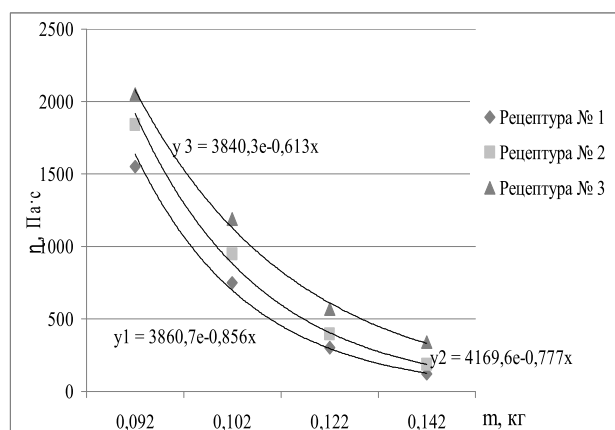


Рис. 1 – Залежність ефективної в'язкості ФХК зі ступенем гідратації 1:20 без кремнезему від маси вантажу

Перевагами за даною характеристикою володіє композиція із співвідношенням компонентів, наведених в рецептурі № 3, оскільки при максимальній гідратації для неї характерні найвищі значення ефективної в'язкості порівняно з іншими рецептурами (на 21,6 % порівняно з рецептурою №2 та на 35,9 % порівняно з рецептурою №1), що забезпечується наявністю стабілізаторів. Цю роль виконують високомолекулярні речовини (гідроколоїди), які розчинні тільки у водній фазі і мають гідрофільні групи, які більш-менш рівномірно розподілені по усій довжині молекули. При їх розчиненні у воді в'язкість і густина істотно збільшується, що впливає на реологічні показники композицій.

При спільному використанні двох або більше гідроколоїдів можливий прояв синергічного ефекту, що сприяє збільшенню в'язкості порівняно із значеннями для окремих гідроколоїдів. Так ксантанова і гуарова камеді є не лише термостабільними добавками, які забезпечують підвищення в'язкості після термічного оброблення, але при спільному використанні дозволяють значно покращити реологічні показники. Це також являється однією із причин, які обумовлюють високу ефективну в'язкість створених композицій.

Згідно досліджень наведених в роботі [11] добавка Е551 кремнезем сприяє підвищенню функціонально-технологічних властивостей білкових препаратів, тому на наступному етапі визначили її вплив на створену функціональну харчову композицію. Для аналізу зміни функціональних властивостей проведено повторні дослідження вмісту вологи, ефективної в'язкості та показників рН, BZ_3 , СЕ та ЕЗ. Активна кислотність не зазнала змін, оскільки добавка вноситься у кількості, яка суттєво не впливає на показник рН гідратованої композиції. Вміст вологи теж суттєво не змінився. Дослідженнями встановлено, що додавання кремнезему у кількості 0,3 % дозволяє покращити

показник ВЗЗ_а гідратованої композиції в середньому на 3–4 %. Показники емульгуючої здатності та стійкості емульсії підвищуються в середньому на 3-5 % порівняно із аналогічними зразками без її внесення. Найкращі показники характерні для співвідношення компонентів згідно рецептури № 3.

Виходячи із здатності харчової добавки Е551 впливати на взаємодію в системі білок-вода, найбільший інтерес полягає у зміні показника ефективної в'язкості.

Результати представлені на рисунку 2.

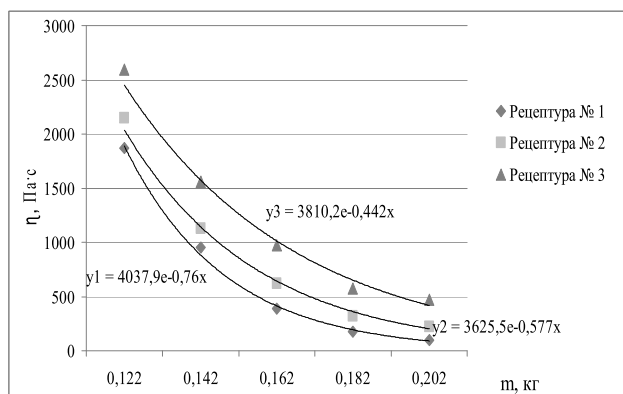


Рис. 2 – Залежність ефективної в'язкості ФХК зі ступенем гідратації 1:20 із кремнеземом від маси вантажу

Обраний наноккомпозит дозволяє підвищити ефективну в'язкість створених композицій завдяки здатності утворювати структурні конгломерати в мінімальних концентраціях з основною сировиною. Внесення кремнезему на білкові препарати призводить до ущільнення консистенції і модифікує СМВ. Це дозволяє створити сітки білкових молекул, які утримують вологу і утворюють напівжорстку структуру, що позитивно впливає на стійкість систем. Найкращими властивостями володіє рецептура № 3, оскільки даний показник більший в середньому на 35,45 % порівняно з іншими рецептурами та на 50 % у порівнянні із значеннями цього показника для вибраної рецептури без внесення добавки Е551.

Висновки

Проведеними дослідженнями встановлено, що найкращими показниками реологічних та ряду функціонально-технологічних властивостей володіє рецептура № 3, до складу якої входять білки тваринного походження (суха молочна сироватка та білок свинячої шкірки Белкотон-С95), соєвий ізолят та гідроколоїди (карбоксиметилцелюлоза, гуарова та ксантанова камеді). Використання харчової добавки Е551 (наноккомпозиту) дозволило підвищити ці властивості, що підтверджує гіпотезу про вплив кремнезему на білки, наявні у розроблених рецептурах.

Таким чином, дослідженнями доведено можливість комбінування білкових препаратів із гідроколоїдами для створення композиції з високими ФТВ і СМВ та перспективність використання обраного наноккомпозиту для підвищення її властивостей.

Список літератури

1. **Потипаева, Н. Н.** Пищевые добавки и белковые препараты для мясной промышленности: учебное пособие / **Н. Н. Потипаева, Г. В. Гуринович, И. С. Патракова, М. В. Патшина.** – Кемерово. – 2008. – С. 101–158.
2. **Anja Maria Oechslea.** Modulation of the rheological properties and microstructure of collagen by addition of co-gelling proteins / **Anja Maria Oechslea, Michaela Häupler, Monika Gibisa and etc.** // *Food Hydrocolloids.* – 2015. – V. 49. – P. 118–126. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.03.013.
3. **Berghout, J. A. M.** Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate / **J. A. M. Berghout, R. M. Boom, A. J. van der Goot** // *Food Hydrocolloids.* – 2015. – V. 43. – P. 465–472. doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.07.003
4. **Laura Acosta-Dominguez.** Modification of the soy protein isolate surface at nanometric scale and its effect on physicochemical properties / **Laura Acosta-Dominguez, Hemberto Hernandez-Sanchez, Gustavo F. Gutierrez-Lopez and etc.** // *Journal of Food Engineering.* – V. 168. – P. 105–112.
5. **Williams, P. A.** Introduction to food hydrocolloids / **P. A. Williams, G. O. Phillips** // *Handbook of hydrocolloids.* Second edition. – *Woodhead Publishing Limited.* – 2009. – С. 12.
6. **Sworn, G.** Xanthan gum / **G. Sworn** // *Handbook of hydrocolloids.* Second edition. – *Woodhead Publishing Limited.* – 2009. – С. 187–202.
7. **Семенова, А. А.** О методах исследования качества каррагинанов / **А. А. Семенова, М. В. Трифонов** // *Мясная индустрия.* – 2006. – № 10. – С. 32–34.
8. International Risk Governance Council, Policy Brief: Appropriate Risk Governance Strategies for Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, Geneva, Switzerland. – 2009.
9. **Кишенько, І. І.** Технологія м'яса і м'ясопродуктів / **І. І. Кишенько, В. М. Старцова, Г. І. Гончаров** // Практикум: Навч. посіб. – К.: НУХТ. – 2010. – 367 с.
10. **Пасічний, В. М.** Дослідження емульсій на основі білоквмісних функціональних харчових композицій / **В. М. Пасічний, І. М. Страшинський, О. П. Фурсік** // *Технологічний аудит та резерви виробництва.* – 2015. – №3/3(23). – С. 51–55.
11. **Іванов, С. В.** Вплив наноккомпозиту на функціональні показники білкових препаратів тваринного походження / **С. В. Іванов, В. М. Пасічний, І. М. Страшинський, О. П. Фурсік** // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнології імені С.З. Гжицького* – Львів. – 2014. – Т. 16, №3 (60). – С. 57–61.

Bibliography

1. **Potipaeva, N. N., Gurinovich, G. V., Patrakova, I. S., Patshina, M. V.** Pishhevye dobavki i belkovye preparaty

- dlja mjasnoj promyshlennosti: uchebnoe posobie. Kemerovo, 2008, 101 - 158.
- Oechslea, A. M., Häuplera, M., Gibisa, M., Kohlusc, R., Weissa, J.** Modulation of the rheological properties and microstructure of collagen by addition of co-gelling proteins. *Food Hydrocolloids*, 2015, **49**, 118 - 126. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.03.013
 - Berghout, J. A. M., Boom, R. M., A. J. van der Goot.** Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 2015, **43**, 465-472. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.07.003
 - Laura Acosta-Dominguez, Hemberto Hernandez-Sanchez, Gustavo F. Gutierrez-Lopez and etc.** Modification of the soy protein isolate surface at nanometric scale and its effect on physicochemical properties. *Journal of Food Engineering*, **168**, 105-112.
 - Williams, P. A., Phillips, G. O.** Introduction to food hydrocolloids. Handbook of hydrocolloids. Second edition. Woodhead Publishing Limited, 2009, 12.
 - Sworn, G.** Xanthan gum. Handbook of hydrocolloids. Second edition. Woodhead Publishing Limited, 2009, 187 - 202.
 - Semenova, A. A., Trifonov, M. V.** O metodah issledovanija kachestva karraginanov. *Mjasnaja industrija*, 2006, **10**, 32 - 34.
 - International Risk Governance Council, Policy Brief: Appropriate Risk Governance Strategies for Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, Geneva, Switzerland, 2009.
 - Ky'shen'ko, I. I., Starchova, V. M., Goncharov, G. I.** *Texnologiya m'jasa i m'jasoproduktiv. Prakty'kum: Navch. posib. Ky'yiv, NUXT*, 2010. 367 p.
 - Pasichny'j, V. M., Strashy'ns'ky'j, I. M. Fursik, O. P.** Doslidzhennya emul'sij na osnovi bilokvmisny'x funkcional'ny'x xarchovy'x kompozy'cij. *Texnologichny'j audy't ta rezervy' vy'robny'cztva*, 2015, **3/3(23)**, 51-55.
 - Ivanov, S. V., Pasichny'j, V. M., Strashy'ns'ky'j, I. M., Fursik, O. P.** Vply'v nanokompozy'tu na funkcional'ni pokazny'ky' bilkovy'x preparativ tvary'nogo poxodzhennya. *Naukovy'j visny'k L'viv's'kogo nacional'nogo universy'tetu vetery'naranoi medy'cy'ny' ta biotexnologiyi imeni S. Z. G'zhy'cz'kogo. L'viv*, 2014, **16(3)**, 57 - 61.

Відомості про авторів (About authors)

Страшинський Ігор Мирославович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, доцент кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів, м. Київ, Україна, E-mail: sim2407@i.ua

Ihor Strashinskyi – Candidate of Technical Science, Associate Professor, National University of Food Technologies, The department of technology of meat and meat products, Kyiv, Ukraine, E-mail: sim2407@i.ua

Пасічний Василь Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій, професор кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів, м. Київ, Україна, E-mail: Paswwl@ukr.net.

Vasil Pasichniy – Doctor of Technical Science, Professor, National University of Food Technologies, the department of technology of meat and meat products, Kyiv, Ukraine, E-mail: Paswwl@ukr.net

Фурсік Оксана Петрівна – аспірант, Національний університет харчових технологій, аспірант кафедри технології м'яса та м'ясних продуктів, м. Київ, Україна, E-mail: oksana.fursik@mail.ru

Fursik Oksana – graduatestudent, National University of Food Technologies, graduatestudent the department of technology of meat and meat products, Kyiv, Ukraine, E-mail: oksana.fursik@mail.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Страшинський, І. М. Реологічні властивості гідратованих білоквмісних функціональних харчових композицій / **І. М. Страшинський, В. М. Пасічний, О. П. Фурсік** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 166 - 170. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Strashinskyi, I., Pasichniy, V., Fursik, O. Rheological properties of hydrated functional food compositions containing protein. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 166 - 170, ISSN 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Страшинский, И. М. Реологические свойства гидратированных белоксодержащих функциональных пищевых композиций. / **И. М. Страшинский, В. Н. Пасичный, О. П. Фурсик** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 166 - 170. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦИЯ Пищевые добавки занимают важное место в пищевой промышленности. Наиболее распространенными стабилизирующими добавками для мясной промышленности являются белковые препараты растительного и животного происхождения, а также гидроколлоиды. Тем не менее, все чаще вместо индивидуальных добавок используют комплексные.

В статье указываются данные проведенных исследований по определению эффективной вязкости в созданных функциональных пищевых композициях. В их состав входят белковые препараты растительного и животного происхождения, а также смесь гидроколлоидов. Представленные результаты доказывают улучшение реологических свойств путем внесения нанокмппозита.

Ключевые слова: гидроколлоиды, белковые препараты животного и растительного происхождения, функциональная пищевая композиция, эффективная вязкость.

Надійшла (received) 15.12.2015

УДК 536.423+532.528

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДНО-СПИРТОВЫХ СМЕСЕЙ ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ

Ю. А. ШУРЧКОВА, И. А. ДУБОВКИНА

*Отдел теплообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики Национальной академии наук Украины, г. Киев, УКРАИНА
email: idubovkina@yandex.ru

АННОТАЦИЯ Представлены результаты исследований параметров водно-спиртовых смесей полученных в условиях знакопеременных импульсов давления. Исследованы различные температурные режимы и время обработки водно-спиртовых смесей в интервале концентраций 10-90% об. В результате проведенных исследований установлено, что водно-спиртовые смеси, полученные в условиях знакопеременных импульсов давления, содержат меньшее количество вредных примесей, растворенного кислорода, обладают улучшенными органолептическими свойствами, что свидетельствует об улучшенных физико-химических свойствах.

Ключевые слова: водно-спиртовые смеси, процесс смешивания, вредные примеси, дискретно-импульсное введение энергии, знакопеременные импульсы давления

RESEARCH PARAMETERS OF THE WATER-ETHANOL MIXTURE OBTAINED UNDER CONDITIONS OF ALTERNATING IMPULSES OF PRESSURE

J.SHURCHKOVA, I.DUBOVKINA

Department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, Kiev, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of this work is study the impact of non-reagent method, namely alternating impulses of pressure on the parameters of water-ethanol mixtures in a wide range of concentrations. Object of research is hydrodynamic processes in the processing of water-ethanol mixtures using mechanisms of discrete-pulsed input of energy. Modular system for the study selected of water-ethanol mixtures in a broad range of concentrations. In this paper used the method of electrochemical potentiometric measurements, chromatographic studies to studies micro admixtures in water-ethanol mixtures. The results of studies of the parameters of water-ethanol mixtures obtained under alternating pressure pulses. We explore different process conditions and the processing of water-ethanol mixtures in a concentration range of 10-90%. That was the set, something happening reduction quantity of oxygen in the water-ethanol mixtures and slowing oxidation reactions. The studies found that water-ethanol mixtures obtained under alternating impulses of pressure comprise a minimal number of harmful impurities, dissolved oxygen, have improved organoleptic properties, which indicates improved physicochemical properties. Analysis of experimental data has shown that the use of alternating impulses of pressure in the production of water-ethanol mixtures in a wide range of concentrations produces a mixture with improved physical-chemical indicators. In the future plan to continue investigations of obtaining water-ethanol mixtures under alternating impulses of pressure, with use of various technological modes and parameters of the process, since the application of the method of discrete-pulsed input of energy is promising for use in industrial processes in various industries: food, chemical, cosmetic and pharmaceuticals.

Keywords: water-ethanol mixture, mixing process, harmful impurities, discrete-pulsed input of energy, alternating impulses of pressure

Введение

Одной из важных задач, которая представляет интерес для научного сообщества, является разработка инновационной продукции и технологий, отвечающим мировым стандартам. Актуальным для решения этой задачи является применение малозатратных способов, требующих незначительных инвестиций и позволяющих использовать имеющиеся резервы снижения удельного энергопотребления существующего оборудования за счет интенсификации технологических процессов.

Устойчивое развитие современных пищевых предприятий невозможно без внедрения

высокотехнологичных и энергоэффективных производственных процессов.

Интенсивное развитие современных технологий приводит к поиску нетрадиционных методов и способов обработки жидких систем.

Для улучшенного качества и безопасности получаемых продуктов преимущества имеют технологии обработки с использованием безреагентных физических методов воздействий и влияний [1]. Применение различных физических воздействий позволяет значительно интенсифицировать технологические процессы и получать результаты, которых невозможно достигнуть при традиционной обработке [2].

К традиционным физическим методам обработки в технологии производства и получения жидких смесей относят смешивание, отстаивание, фильтрацию.

Нетрадиционными методами можно назвать электрофизические, акустические, метод наложения магнитных полей, центробежных сил, знакопеременных импульсов давления.

К электрофизическим методам обработки относятся:

- обработка инфракрасным излучением;
- обработка переменным электрическим током;
- обработка в электростатическом поле;
- электроконтактная обработка;
- высокочастотная и сверхвысокочастотная обработка (СВЧ).

Электрофизические методы подразумевают воздействие на объекты переменным электрическим током различной частоты и электрическими импульсами определенной частоты. В технологиях получения и пастеризации водных систем применяют пульсирующее электрическое поле, а для увеличения срока хранения такие системы обрабатывают полем высокого напряжения [3, 4].

К акустическим методам обработки, которые применяются для водных систем, относят обработку с использованием ультразвуковых и звуковых колебаний. Ультразвуковые волны обладают большой энергией и легко распространяются в жидких средах. Обработка ультразвуком может инициировать распад высокомолекулярных соединений, образование свободных радикалов, инактивировать микроорганизмы.

При таком способе обработки может возникать акустическая кавитация, вызывающая интенсивное перемешивание, переменное движение частиц, интенсификацию массообменных процессов [5]. Наиболее характерным следствием обработки бинарных систем ультразвуком является изменение их структурной организации на молекулярном уровне [6]. В результате кавитационной обработки вода приобретает ряд свойств, определяемых процессами конденсации электронов и изменениями структурных и энергетических состояний ассоциированной фазы воды.

Кавитационная обработка воды приводит к активации воды с уменьшением значений окислительно-восстановительного потенциала, увеличению концентрации биологически активных пероксидных ион-радикалов, увеличению электропроводности воды по сравнению с необработанной водой [7].

Магнитная обработка воды – это воздействие на воду постоянным магнитным полем. Цель магнитной обработки воды заключается в придании ей новых физико-химических свойств. Поскольку молекула воды это элементарный диполь, который имеет положительно заряженный и отрицательно заряженный полюс. Под действием сил взаимного

притяжения и отталкивания, а также образования водородных связей молекулы воды - диполи способны к ассоциации и образованию кластерных структур. Действие сил взаимного притяжения довольно мало, поэтому диполи могут свободно перемещаться в кластере и примыкать к другим кластерам и т.д. При наложении магнитного поля диполи попадают в резонанс, и кластерная структура молекул воды разрушается.

Вода, полученная при магнитной обработке, может сохранять свои свойства от 10-12 часов до нескольких суток.

Метод дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ) – один из современных перспективных методов безреагентной обработки, разработанный в Институте технической теплофизики НАН Украины. Основным его преимуществом является простота используемого оборудования, энергоэффективность. При помощи метода ДИВЭ можно интенсифицировать физико-химические превращения, инициировать окислительно-восстановительные процессы, процессы ионизации, высвобождение радикалов, что в свою очередь приводит к изменению физико-химических параметров водных систем [8]. При использовании оборудования, реализующего основную концепцию этого метода, воздействие на обрабатываемые и смешиваемые компоненты происходит с наложением центробежных сил и знакопеременных импульсов давления. В свою очередь это позволяет направленно изменять физико-химические параметры получаемого продукта: разрушать макромолекулы, активизировать процессы гидратации, образования водородных связей, явлений самоассоциации и другие эффекты. Следует отметить, что не все вопросы применения знакопеременных импульсов давления для обработки водных и бинарных систем достаточно изучены.

Вода и спирт, достаточно сложные ассоциированные системы и чувствительны к малейшим энергетическим воздействиям.

Образование водно-спиртовых смесей представляет собой процесс смешивания воды и спирта. При смешивании спирта с водой выделяется теплота, обусловленная образованием водородных связей смешанных ассоциатов – водно-спиртовых смесей с образованием кристаллогидратов.

Межмолекулярные связи в водно-спиртовых растворах носят сложный характер [9].

В чистой воде и в разбавленных растворах существует непрерывная трехмерная сетка водородных связей, это подтверждается многими исследованиями и численными экспериментами [10, 11].

В последнее время стало ясно, что водородная связь принципиально ничем не отличается от любой другой химической связи и определяется набором взаимодействий ядер и оболочек, участвующих в связи атомов.

Небольшая, по сравнению с химической, энергия водородной связи, обусловлена относительно большим расстоянием $\text{OH} \cdots \text{O}$ и малой электронной плотностью у атома водорода и, соответственно, эффектов, с нею связанных: перенос заряда, поляризация и др.

В водно-спиртовых смесях содержатся вредные микропримеси, которые являются токсичными веществами и растворенный кислород. От количества микропримесей: альдегидов, высших спиртов, метанола, зависит качество водно-спиртовых смесей и их органолептические свойства. Чем меньше содержание микропримесей, тем выше качество водно-спиртовых смесей и, соответственно, качество готового продукта, в состав которого эти смеси входят.

Цель работы

Цель настоящей работы – исследование влияния безреагентного метода, а именно знакопеременных импульсов давления при смешивании воды и спирта, на параметры водно-спиртовых смесей в широком диапазоне концентраций.

Изложение основного материала

Ранее проводились исследования по изучению влияния метода дискретно-импульсного ввода энергии на свойства воды и водных систем [12]. Для продолжения проведения исследований исполь-

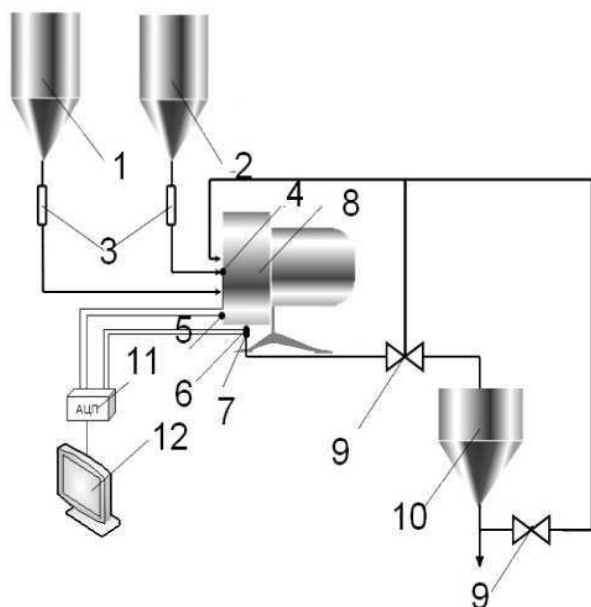


Рис. 1 – Экспериментальный стенд для получения водно-спиртовых смесей: 1 – ёмкость для спирта; 2 – ёмкость для воды; 3 – ротаметры; 4 – термомпары; 5 – преобразователь давления; 6 – термомпара; 7 – преобразователь давления; 8 – РПА; 9 – вентиль; 10 – ёмкость с готовой водно-спиртовой смесью; 11 – аналого-цифровой преобразователь; 12 – ПК;

зовался экспериментальный стенд, созданный в ИТТФ НАН Украины (рис.1) [13].

Основным рабочим узлом данного стенда является роторно-пульсационный аппарат, в котором создаются условия знакопеременных импульсов давлений, $\Delta P = 250$ кПа.

Во время проведения экспериментальных исследований варьировалось время обработки 0,5-300 с, температура исходных компонентов 10-20 °С, а также объемная концентрация полученных водно-спиртовых смесей. Интервал варьирования концентрации составлял 10-90% об.

Для проведения исследований количества растворенного кислорода в водных и водно-спиртовых смесях использовался электрохимический метод определения концентрации растворенного кислорода.

Исследование количества вредных микропримесей: альдегидов, высших спиртов, метанола в водно-спиртовых смесях проводилось методом газовой хроматографии.

Обсуждение результатов

Проведение процесса смешивания воды и спирта в условиях знакопеременных импульсов давления происходит мгновенно, непосредственно в рабочей зоне роторно-пульсационного аппарата, что позволяет проводить этот процесс непрерывным способом.

В результате проведенных исследований были получены водно-спиртовые смеси в широком диапазоне концентраций (10-90% об.).

Контроль содержания кислорода в воде остаётся важной проблемой, поскольку кислород – это сильный окислитель, взаимодействующий практически со всеми элементами таблицы Менделеева

Растворенный в воде кислород, в виде молекул O_2 , оказывает влияние на окислительно-восстановительные реакции с участием катионов и анионов органических соединений. Поэтому при определении стабильности воды и ее органолептических качеств, наряду с измерением концентрации органических и неорганических веществ, водородного показателя, важно знать и концентрацию кислорода (в мг/л) в этой воде.

Количество растворенного в водно-спиртовых смесях кислорода влияет на изменение количества микропримесей, а именно способствует окислению молекул этанола до ацетальдегида, а также способствует окислению свободных радикалов, которые содержатся в спирте.

Результаты исследований количества растворенного кислорода приведены в таблице 1.

С повышением температуры растворимость кислорода в воде снижается.

Было установлено, что снижение количества растворенного кислорода по сравнению с исходным

содержанием происходит практически на 50-55%. Такие результаты свидетельствуют о том, что

Таблица 1 – Изменение количества растворенного кислорода.

N	Температура, °С	До обработки	После обработки
1	10	12,10	6,51
2	12	11,02	5,82
3	14	10,30	5,12
4	16	10,05	5,10
5	18	9,60	4,91
6	20	9,00	4,20

проведение процесса смешивания в условиях знакопеременных импульсов давления способно замедлить окислительные реакции в водно-спиртовых смесях.

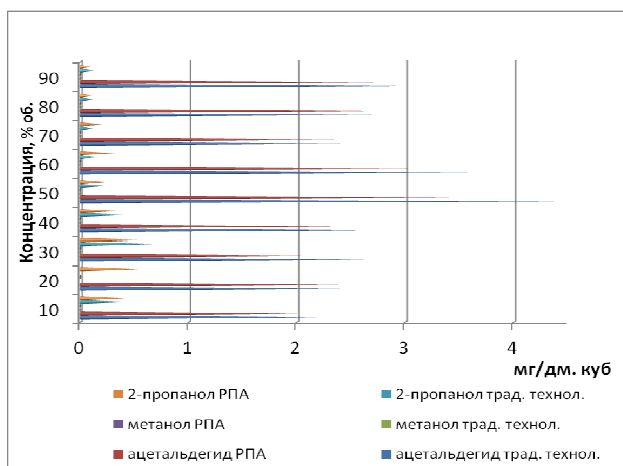


Рис. 2 – Зависимость количества: ацетальдегида, метанола, 2-пропанола в водно-спиртовых от способа получения, диапазон концентраций (10-90% об.)

В результате исследования количества вредных микропримесей было установлено, что при предлагаемом способе смешивании воды и спирта, происходит снижение содержания этих примесей рис. 2, что свидетельствует о повышении качества водно-спиртовых смесей, по сравнению с традиционным способом получения рис. 3.

При этом, чтобы воздействие было специфическим и целенаправленным, необходимо тщательно изучать влияние всех технологических параметров обработки на составляющие компоненты: воду, спирт и на конечные параметры водно-спиртовых смесей.

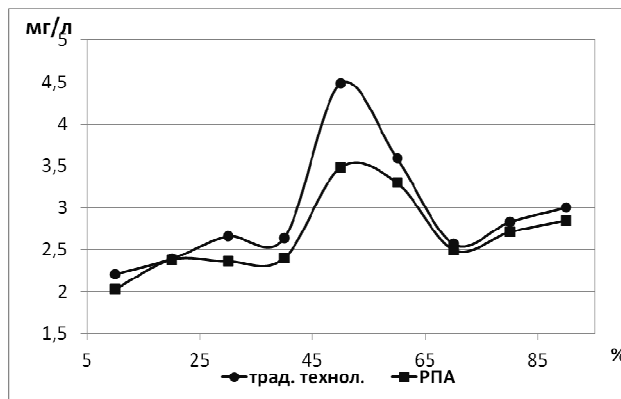


Рис. 3 – Зависимость количества микропримесей в водно-спиртовых смесях от способа получения, диапазон концентраций (10-90% об.)

Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что предложенный метод обработки водных систем и смешивания воды и спирта может в значительной степени сократить продолжительность технологического процесса смешивания, снизить энергозатраты, увеличить производительность и заменить периодический способ смешивания на непрерывный.

Анализ экспериментальных данных показал, что использование знакопеременных импульсов давлений при получении водно-спиртовых смесей в широком диапазоне концентраций позволяет получать смеси с улучшенными физико-химическими показателями.

В дальнейшем планируется продолжить исследования получения водно-спиртовых смесей в условиях знакопеременных импульсов давлений, с применением различных технологических режимов и параметров проведения процесса, поскольку применение метода дискретно-импульсного ввода энергии перспективно для использования в технологических процессах различных отраслей промышленности: пищевой, химической, косметической, фармацевтической.

Список литературы

- 1 **Kretova, Y. I.** Modern Aspects of Technological Processes Modeling to Meet the Challenges of Increasing Energy and Resource Efficiency of Food Production / **Y. I. Kretova** . *Procedia Engineering*. – 2015. – V. 129. – P. 294 - 299.
- 2 **Слесаренко, И. Б.** Исследование ресурсо- и энергосберегающих технологий в пищевой промышленности / **И. Б. Слесаренко, В. В. Слесаренко** // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – № 5. – С. 46 - 47.
- 3 **Морозов, О.** Промышленное применение СВЧ-нагрева / **О. Морозов** [и др.] // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. – 2010. – № 3. – 266 с.
- 4 **Бочаров, В. А.** Совершенствование элементов технологии сушки овощей: автореф. дис. ... канд. с.-х.

- наук : 05.18.01 / **В. А. Бочаров**. – Мичуринск-наукograd. – 2010. – 27 с.
- 5 **Paramjeet Khandpur** Evaluation of ultrasound based sterilization approaches in terms of shelf life and quality parameters of fruit and vegetable juices. / **Khandpur Paramjeet, Gogate Parag R.** // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2015. – Volume 29. – P. 337 - 353
- 6 **Baharak Sajjadi** Influence of ultrasound power on acoustic streaming and micro-bubbles formations in a low frequency sono-reactor: Mathematical and 3D computational simulation / **Sajjadi Baharak, Abdul Aziz Abdul Raman, Ibrahim Shaliza** // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2015. – Volume 24. – P. 193 - 203.
- 7 **Mahadevan, S.** High-Pressure Enhanced Infusion: Influence of Process Parameters / **S. Mahadevan, N. Nitin, D. Salvi, M. V. Karwe** // *Journal of Food Process Engineering*. – 2015. – V.38. – №6. – P. 601 - 612.
- 8 **Долинский, А. А.** Наномасштабные эффекты при дискретно-импульсной трансформации энергии / **А. А. Долинский, Б. И. Басок** // *ИФЖ*. – 2005 – Т.78. – № 1. – С. 15 - 23.
- 9 **Asenbaum, A.**, Structural changes in ethanol–water mixtures: Ultrasonics, Brillouin scattering and molecular dynamics studies / **A. Asenbaum, C. Pruner, Emmerich Wilhelm, M. Mijakovic, L. Zoranic, F. Sokolic, B. Kezic, A. Perera** // *Vibrational Spectroscopy*. – 2012. – V. 60. – P. 102 - 106.
- 10 **Mijaković, M.** Ethanol-water mixtures: ultrasonics, Brillouin scattering and molecular dynamics / **M. Mijaković, B. Kežić, L. Zoranić, F. Sokolić, A. Asenbaum, C. Pruner, Emmerich Wilhelm, A. Perera** // *Journal of Molecular Liquids*. – 2011. – V. 164 . – Issues 1 - 2. – P. 66 - 73.
- 11 **Marcin Rybicki** Influence of ions on molecular vibrations and hydrogen bonds in methanol–water mixtures: MD simulation study / **Marcin Rybicki, Ewa Hawlicka** // *Journal of Molecular Liquids*. – 2014. – V. 196. – P. 300 - 307.
- 12 **Долинский, А. А.** Исследование влияния метода ДИВЭ на свойства воды / **А. А. Долинский, Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина** // *Международный НПЖ Керамика: наука и жизнь* – 2013. – №2 (20). – С. 4 - 6.
- 13 **Долинский, А. А.**, Гидратация этанола с использованием механизмов дискретно-импульсного ввода энергии / **А. А. Долинский, Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина** // *Материалы VIII международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники»*, 8-11 октября 2013 г., Киев - <http://ittf.kiev.ua/conference>.
- Resource Efficiency of Food Production. *Procedia Engineering*, 2015, **129**, 294 - 299.
- 2 **Slesarenko, I. B., Slesarenko, V. V.** Issledovanie resurso - i ehnergosberegayushchih tekhnologij v pishchevoj promyshlennosti. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2008, **5**, 46 - 47.
- 3 **Morozov, O.** [i dr.] Promyshlennoe primenenie SVCH-nagreva. *EHlektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes*, 2010, **3**, 266 p.
- 4 **Bocharov, V. A.** Sovershenstvovanie ehlementov tekhnologii sushki ovoshchej : avtoref. dis. kand. s.-h. nauk: 05.18.01. – Michurinsk-naukograd, 2010, 27 s.
- 5 **Paramjeet Khandpur, Gogate Parag R.** Evaluation of ultrasound based sterilization approaches in terms of shelf life and quality parameters of fruit and vegetable juices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015, **29**, 337 - 353.
- 6 **Baharak Sajjadi, Abdul Aziz, Abdul Raman, Ibrahim Shaliza** Influence of ultrasound power on acoustic streaming and micro-bubbles formations in a low frequency sono-reactor: Mathematical and 3D computational simulation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015, **24**, 193 - 203.
- 7 **Mahadevan, S., Nitin, N., Salvi, D., Karwe, M. V.** High-Pressure Enhanced Infusion: Influence of Process Parameters. *Journal of Food Process Engineering*, 2015, **38**(6), 601 - 612.
- 8 **Dolinskij, A. A., Basok, B. I.** Nanomasshtabnye ehffekty pri diskretno-impul'snoj transformacii ehnergii. *IFZH*, 2005, **78**(1), 15 - 23.
- 9 **Asenbaum, A., Pruner, C., Wilhelm Emmerich, Mijakovic, M., Zoranic, L., Sokolic, F., Kezic, B., Perera, A.** Structural changes in ethanol–water mixtures: Ultrasonics, Brillouin scattering and molecular dynamics studies. *Vibrational Spectroscopy*, 2012, **60**, 102 - 106.
- 10 **Mijaković, M., Kežić, B., Zoranić, L., Sokolić, F., Asenbaum, A., Pruner, C., Wilhelm Emmerich, Perera, A.** Ethanol-water mixtures: ultrasonics, Brillouin scattering and molecular dynamics. *Journal of Molecular Liquids*, 2011, **164**(1-2), 66 - 73.
- 11 **Marcin Rybicki, Hawlicka Ewa** Influence of ions on molecular vibrations and hydrogen bonds in methanol–water mixtures: MD simulation study. *Journal of Molecular Liquids*, 2014, **196**, 300 - 307.
- 12 **Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A., Dubovkina, I. A.** Issledovaniye vliyaniya metoda DIVE na svoystva vody. *Mezhdunarodnyy NPZh Keramika: nauka i zhizny*, 2013, **2**(20), 4 - 6.
- 13 **Dolinskij, A. A., Shurchkova, Yu. A., Dubovkina, I. A.** Gidratiaciya ehtanola s ispol'zovaniem mekhanizmov diskretno-impul'snogo vvoda ehnergii. *Materialy VIII mezhdunarodnoj konferencii «Problemy promyshlennoj teplotekhniki»*, 2013, Kiev [Web] <http://ittf.kiev.ua/conference>.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Kretova, Y. I.** Modern Aspects of Technological Processes Modeling to Meet the Challenges of Increasing Energy and

Сведения об авторах (About authors)

Шурчкова Юлия Александровна – доктор технических наук, профессор, отдел теплообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики НАН Украины, главный научный сотрудник, г. Киев, Украина; e-mail: ittf_tds@ukr.net

Shurchkova Juliya – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Professor, Department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: ittf_tds@ukr.net

Дубовкина Ирина Александровна – кандидат технических наук, с.н.с., отдел теплообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики НАН Украины, старший научный сотрудник, г. Киев, Украина; e-mail: idubovkina@yandex.ru

Dubovkina Irina – Scientific Degree (Ph. D.), Associate Professor, Senior Scientist, Department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine; e-mail: idubovkina@yandex.ru

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шурчкова, Ю. А. Исследование параметров водно-спиртовых смесей полученных в условиях знакопеременных импульсов давления / **Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 171 - 176. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Shurchkova, J. Dubovkina, I. Research parameters of the water-ethanol mixture obtained under conditions of alternating impulses of pressure. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 171 - 176, ISSN 2079-5459.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шурчкова, Ю. О. Дослідження параметрів водно-спиртових сумішей одержаних в умовах знакозмінних імпульсів тиску / **Ю. О. Шурчкова, І. О. Дубовкіна** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 171 - 176. – ISSN 2079-5459.

АНОТАЦІЯ Наведені результати досліджень властивостей водно-спиртових сумішей, які були одержані в умовах знакозмінних імпульсів тиску. Досліджені різні температурні режими одержання і час оброблення водно-спиртових сумішей в інтервалі концентрацій 10-90% об. В результаті проведених досліджень було встановлено, що водно-спиртові суміші, які були одержані в умовах знакозмінних імпульсів тиску містять меншу кількість шкідливих домішок, розчиненого кисню та мають покращені органолептичні властивості, що свідчить про покращені фізико-хімічні параметри.

Ключові слова: водно-спиртові суміші, процес змішування, шкідливі домішки, дискретно-імпульсне введення енергії, знакозмінні імпульси тиску

Поступила (received) 08.12.2015

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

- Борисенко Є. А.** Применение тестовых методов для повышения точности системы обнаружения утечек волнами давления 6
- Волгушева Н. В.** Сушка плотного слоя зерновых материалов (на примере гречихи) при микроволновом нагреве 12
- Ларін О. О., Соколовський С. А., Кайдалов Р. О., Баитовой В. М., Водка О. О.** Дослідження динамічних характеристик спеціалізованого транспортного засобу, що має дворівневу нелінійну систему підресорювання 17
- Ларін О. М., Васильєв С. В., Цюлковський В. І.** Зменшення витрати палива спеціальної техніки ДСНС при виконанні ними оперативних задач 23
- Павленко А. М., Кошлак А. В., Чейлытко А. А., Носов М. А.** Параметри газа агента-порообразователя внутри замкнутой сферической поры в состоянии равновесия 28
- Трикоз Л. В., Багіянець І. В.** Дослідження баластного щебеню при перевезенні мінеральних добрив залізничним транспортом 35
- Хімічева Г. І., Куриляк В. В.** Обґрунтування можливості застосування кваліметричного підходу, щодо оцінки якості матеріалів, що знаходяться в умовах високошвидкісного навантаження 40
- Чубань М. А., Шейченко Р. І., Грабов Р. В.** Модели аппроксимации поверхности отклика в оптимизационных исследованиях машиностроительных конструкций 46

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

- Губанов А. В., Жемчужкина Т. В., Носова Т. В., Носова Я. В.** Некоторые технические решения реализации интерфейса человек-устройство 52
- Дихтяр Н. Ю., Мовсесян Я. С., Саваневич В. Е.** Метод предварительного отождествления измерений цифровых кадров одной серии 58
- Косило Н. С., Ельчанинов Д. Б., Гуца О. Н.** Консолидация информации о деятельности организации: системологический вербальный подход 64
- Кропивницький В. С.** Пристосованість малого пожежно-рятувального судна до дій пожежних-рятувальників 70
- Ларін О. М., Калиновський А. Я., Коваленко Р. І.** Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «прогноз НС» 77
- Рич М. І.** Особливості методу формування показників в проєкті 84
- Савельєва О. С., Становская И. И., Торопенко А. В., Березовская Е. И., Хеблов И.** Разработка термодинамических когнитивных моделей проектной деятельности 89
- Строкань О. В., Стрелкова М. А.** Програмна реалізація задачі забезпечення проєктування процесу іонізації 94
- Чопоров С. В., Гоменюк С. І., Аль-Атамнех Б. Г. М., Аль-Омарі М. А. В., Алатамнех Х. Х.** Формалізація моделей багатопарових тонкостінних конструкцій у САПР 99

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

- Головка Д. А., Головка И. Д.** Особенности синтеза ферратов(VI) из сульфата железа(II) 107
- Іукурідзе Е. Ж., Кучеренко В. М., Ткачкенко О. Б., Лозовська Т. С.** Система фізико-хімічних методів аналізу як інструмент управління якістю в процесі виробництва виноградних вин 113
- Мішина О. Ю.** Посилення екологічної безпеки шляхом інтенсифікації переробки нафтової сировини 119

<i>Небесний Р. В., Шпирка І. І., Івасів В. В., Небесна Ю. В., Фуч У. В.</i> Одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти в присутності складних оксидних каталізаторів	125
<i>Нікіфорова А. Ю., Кожура О. В., Пасенко О. О.</i> Вилучення ванадію та сульфатів лужних металів при переробці відпрацьованих каталізаторів	131
<i>Пасічний В. М., Українець А. І., Хайдер М. Аль-Х., Полумбрик М. М.</i> Дослідження структурних змін м'яса перепелів в процесі заморожування	139
<i>Прісс О. П., Бандуренко Г. М.</i> Вплив теплової обробки біологічно активними речовинами на інтенсивність дихання перцю впродовж зберігання	144
<i>Радзівєвська І. Г., Полонська Т. А.</i> Дослідження складу олійної фази косметичних засобів	150
<i>Сергеева О. В., Пивоваров А. А.</i> Теоретический анализ получения высокодисперсных порошков оксидов меди при плазмохимической обработке растворов CuSO_4	155
<i>Сердюк М. Є., Величко І. Г., Байбєрова С. С.</i> Прогнозування втрат маси плодів яблуні під час холодильного зберігання	160
<i>Страшинський І. М., Пасічий В. М., Фурсік О. П.</i> Реологічні властивості гідратованих білоквмісних функціональних харчових композицій	166
<i>Шурčkова Ю. А., Дубовкина И. А.</i> Исследование параметров водно-спиртовых смесей полученных в условиях знакопеременных импульсов давления	171

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

<i>Borisenko E.</i> The test methods implementation for the accuracy improvement of leak detection systems by waves of pressure	6
<i>Volgusheva N. V.</i> Drying of dense layer of corn materials (on example of buckweat) under microwave heating	12
<i>Larin O. O., Sokolovsky S. A., Kaidalov R. O., Bashtovoi V. M., Vodka O. O.</i> An investigation of the dynamic characteristics of a specialized vehicle with a double-leveled system of nonlinear suspension	17
<i>Larin A., Vasylyev S., Tsiolkovskiy V.</i> Fuel costs down special equipment civil service of emergencies in the performance of surgical problems	23
<i>Pavlenko A., Koshlak A., Cheyliitko A., Nosov M.</i> Parameters of the gas pore former agent inside the closed spherical pore at equilibrium	28
<i>Trikoz L., Bagiyanc I.</i> The research of electrical conductivity of ballast breakstone during transportation mineral fertilizers railway transport	35
<i>Himicheva A., Kuryliak V.</i> Basis of possibilities qualimetric approach for evaluation materials that are under stress high	40
<i>Chuban M., Sheychenko R., Graborov R.</i> Approximation of the response surface for using in the process of the parametric synthesis of the engineering structures	46

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

<i>Gubanov A., Zhemchuzhkina T., Nosova T., Nosova Y.</i> Some technological solutions of realization of human interface device	52
<i>Dikhtyar M., Movsesian Ia., Savaneych V.</i> Method for identification a preliminary measurements of digital frames of the one series	58
<i>Kosilo N. S., Elchaninov D. B., Gutsa O. N.</i> Information consolidation about organization activity: systemological verbal approach	64

Kropivnitsky V. S. Fitness small fire-rescue vehicles to fire rescuers action	70
Larin O. M., Kalynovsky A. Y., Kovalenko R. I. Study parameters of fire and rescue units kharkiv city at the present stage to develop software block «forecast of emergencies»	77
Rych M. I. Particularities of Method of forming indicators in project	84
Saveleva O., Stanovska I., Toropenko A., Beresovska K., Hebllov I. Development of thermodynamics cognitive model of project activities	89
Strokan O. V., Strielkova M. A. Program realization task of providing design process of ionization	94
Choporov S., Gomenyuk S., Al-Athamneh B., Al-Omari M., Al-Athamneh H. Layered thin plates formalization in CAE systems	99

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

Golovko D., Golovko I. Peculiarities of ferrates(VI) synthesis from ferrous sulfate	107
Iukuridze E., Kucherenko V., Tkachenko O., Lozovskaya T. The system of physical and chemical methods of analysis as a tool for quality control in the production of wines	113
Mishyna O. Y. Increase of ecological security by the petroleum processing intensification	119
Nebesnyi R. V., Shpyrka I. I., Ivasiv V. V., Nebesna Y. V., Fuch U. V. Acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid in the presence of complex oxide catalysts	125
Nikiforova A. Y., Kozhura O. V., Pasenko O. O. Extraction of vanadium and alkali metals in the processing of spent catalysts	131
Pasichniy V., Ukrainets A., Haider M. Al-H., Polumbryk M. Investigations of quails meat structure changes n chilling processes	139
Priss O., Bandurenko G. Effect of heat treatment with biologically active substances on respiration during storage of sweet peppers	144
Radzievska, I., Polonska, T. Research of oil phase composition cosmetic	150
Sergeyeva O., Pivovarov A. Theoretical analysis of the fine powder of the copper oxides by received of plasmachemical by treatment of solution CuSO ₄	155
Serdyuk M., Velichko I., Baiberova S. Prediction of mass losses of apple fruit during cold storage	160
Strashinskyi I., Pasichniy V., Fursik O. Rheological properties of hydrated functional food compositions containing protein	166
Shurchkova J., Dubovkina I. Research parameters of the water-ethanol mixture obtained under conditions of alternating impulses of pressure	171

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 62 (1171) 2015

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор канд. техн. наук А. В. Грабовський

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Обл.-вид. № 2-16

Підп. до друку «25» грудня 2015 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,0. Облік.вид.арк. 10,0.
Тираж 300 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
