

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

ISSN 2079-5459

Збірка наукових праць

9'2012

***Тематичний випуск "Нові рішення в сучасних
технологіях"***

Видання засноване Національним технічним університетом «ХПІ» в 2001 году

Держвидання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики

України КВ №5256 від 02.07.2001 р.

КООРДИНАЦІЙНА РАДА

Голова

Л.Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф.

Секретар координаційної ради

К.А. Горбунов, канд. техн. наук

Координаційна рада

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.
Є.І. Сокіл, д-р техн. наук, проф.
Е.Е. Олександров, д-р техн. наук, проф.
А.В. Бойко, 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. Дмитрієнко, 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.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.
С.І. Кондрашев, д-р техн. наук, проф.
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.
В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.
Г.В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.
В.С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.
О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.
В.І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.
В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.
Ю.В. Тимофєєв, д-р техн. наук, проф.
Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.І. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар

Івахненко А.В. ст.викладач,
Коворотний Т.Л., асистент.,

Члени редколегії

Г.І. Львов, д-р техн. наук, проф.;
О.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.;
Л.Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;
В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.;
В.Я. Терзіян, д-р техн. наук, проф.;
М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.;
Л.Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.;
В.І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.;
В.І. Тошинський, д-р техн. наук, проф.;
Р.Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.;
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;
Н.Н. Олександров, д-р техн. наук, проф.;
В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.;
Б.В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.;
П.Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;
М.І. Погорелов, канд. екон. наук, проф.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 НТУ
«ХПІ», РМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ» -
2012. - №9. - 156 с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ", Протокол №3 від 02.03.2012

Національний технічний університет „ХПІ" 2012

УДК 669.018.025

М.О. ЮРЧУК, канд.техн.наук, Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М.Бакуля НАН України, Київ,
І.М. ДІОРДІЦА, асис., НТУУ «КПІ», Київ

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СЕРЕДНЬОЗЕРНИСТОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ ВК11 ЗА ТЕМПЕРАТУРИ ІСНУВАННЯ РІДКОЇ ФАЗИ

В статті описуються особливості формування структури твердого сплаву ВК11 за температури існування рідкої фази, сформульовані основні принципи отримання в серійних умовах двофазних твердих сплавів групи ВК з оптимальною структурою.

Ключові слова: твердий сплав, рідка фаза, структура

В статье описываются особенности формирования структуры твердого сплава ВК11 при температуре существования жидкой фазы, сформулированы основные принципы получения в серийных условиях двухфазных твердых сплавов группы ВК с оптимальной структурой.

Ключевые слова: твердый сплав, жидкая фаза, структура

This article describes the features of formation of the hard alloy ВК11 structure under the temperature of the existence of a liquid phase. Also we formulated the basic principles of obtaining two-phase solid alloy of ВК with the optimal structure in serial conditions.

Keywords: hard alloy, the liquid phase, the structure

1. Вступ

Проблема формування структури при спіканні твердих сплавів є до сих пір дискусійною. Це обумовлено тим, що на формування структури твердих сплавів впливає дуже багато суб'єктивних і об'єктивних факторів. Особливо дискусійним є механізм формування структури в процесі спікання.

Автори більшості досліджень схилиються до того, що при спіканні діють два механізми: перекристалізація через рідку фазу і коалесценція [1,2]. Так відомо з [3], що перекристалізація через газову і рідку фазу проходить з прийнятною швидкістю, тоді, коли розмір частинок менше 10^{-5} см, тобто менше 10^{-1} мкм. При виготовленні твердих сплавів вихідний розмір частинок WC складає 1-3 мкм, тобто більший від вказаного. Тому якщо процес перекристалізації і проходить, то з невеликою швидкістю.

Крім того, не зважаючи на те, що при охолодженні сплаву від лінії ліквідус механізм зародження і росту монокристалів за рахунок виділення з розплаву змінюється на механізм перекристалізації через рідку фазу, на що вказують автори [4], не встановлено за якої температури спікання твердих сплавів один механізм змінюється на інший. При цьому бездоказово є механізм зародження і росту первинних кристалів із рідкої фази. Не виключно що, при охолодженні з високих температур спікання в структурі твердих сплавів повинні з'являтися первинні кристали WC-фази, що виділяються з рідкої фази, якої при високих

температурах спікання вже існує значна кількість. Тому проблема наявності різних видів кристалів карбіду вольфраму в структурі твердих сплавів досі є дискусійною і вимагає нових досліджень.

2. Постановка задачі

Процес коалесценції частинок карбіду вольфраму (WC) може протікати тільки тоді, коли вони торкаються одна одної. В твердих сплавах це відбувається тільки тоді, коли в сплаві мало зв'язки. Тому коалесценція найбільш вірогідна для малокобальтових сплавів.

Значні недоробки є і в методичному плані. Відсутність комп'ютерів в ті часи, коли проводились дослідження процесів формування структури при спіканні твердих сплавів, не дозволяла обчислювати велику кількість зерен WC, тому при обчисленні могли бути отримані значні відхилення від дійсних величин, що могло вплинути на висновки, зроблені в розглянутих роботах.

Враховуючи значні недоліки в дослідженні процесів формування структури твердих сплавів і нові методичні можливості, була проведена робота по дослідженню впливу температури спікання кобальтового середньозернистого твердого сплаву BK11 на процес формування його мікроструктури. При цьому основну увагу було звернено на виявлення механізмів зародження, росту і перекристалізацію через рідку фазу зерен WC.

3. Методика проведення досліджень

Спікання проводили за температур 1410–1750°C, при яких в твердому сплаві вже існує рідка фаза.

В якості вихідної сировини була використана серійна порошкова суміш сплаву BK11 (СТП 00196144-0727-2004), виготовлена ВАТ «Кіровоградський завод твердих сплавів».

Підготовка суміші до пресування дослідних зразків була проведена по загально прийнятій в Україні методиці. Значення середнього розміру зерна ($\bar{d}_{wc}$) карбіду вольфраму у вихідній порошковій суміші складало $1,5 \pm 0,1$ мкм. Кількість загального вуглецю ($C_{заг.}$) у суміші складала 5,60 % (по масі) при стехіометричному складі 5,45 % (по масі).

Спресовані зразки спікали в дві стадії. Перша стадія – нормалізуюче спікання проводилось за $T=900^\circ\text{C}$ в прохідній печі в контрольованому газовому середовищі. Друга стадія – остаточне спікання – в електричній вакуумній печі моделі СНВЭ-1.3.1/16-ИЗ-УХЛЧ.1 за температур 1410, 1470, 1500°C і витримці 1 година. Остаточне спікання зразків за температури 1750°C і витримці 1 година провели в прохідній печі з графітовою трубою в середовищі водню.

Стереологічні параметри структури сплаву визначали по шліфах зразків (шліфи робилися на торцях зразків). Обстеженню піддавали приблизно 2000 зерен карбіду вольфраму на шліфу в 16 точках зразка сплаву. Загальна площа знімків структури на зразку сплаву склала 80320 мкм². Фотографування структури сплаву проводили на оптичному мікроскопі МІМ-8 із збільшенням у 1350 разів з імерсійним (кедровим) маслом цифровою камерою С-120 DC6V.

Розрахунок параметрів структури проводили на комп'ютері за допомогою програми Scion Image. Попередньо зерна карбіду вольфраму обводили на комп'ютері вручну. В результаті обробки одержували наступні мікроструктурні

параметри сплавів з точністю в середньому до 2%,: середнього розміру зерна карбіду вольфраму ($\bar{d}_{WC}$) мкм, питомої поверхні міжфазних границь (ΣS_{WC-Co}) мкм²/мкм³, питомої поверхні міжкарбідних границь (ΣS_{WC-WC}) мкм²/мкм³, середнього умовного розміру товщини прошарку кобальтової фази ($\bar{L}_{Co}$) мкм, відносної частки контактної поверхні (C_{WC-WC}) — коефіцієнта суміжності і коефіцієнта варіації (V).

4. Результати дослідження і їх обговорення

З фрагментів структури сплаву рис. 1, отриманих за різних температур спікання, можна зробити висновок, що за температури 1410°C в сплаві присутні три типи структурних елементів карбідної фази: досконало огранені невеликі одиночні зерна WC, недосконалої форми незначно крупніші „хмаркоподібні” утворення і досконало оформлені більш крупні окремі зерна WC. При цьому слід відмітити, що „хмаркоподібні” утворення складаються з кількох недосконало сформованих зерен WC, тобто периметр таких зерен і утворень має хвилясту форму. На ньому є кілька виступів і впадин. Границі між зернами WC у „хмаркоподібних” утвореннях вирізняються по різному. В деяких випадках їх можна навести з більшою або меншою імовірністю. В такому разі можна стверджувати, що „хмаркоподібні” утворення є мікроагрегатами зерен WC, які утворилися в сплаві після завершення ущільнення при появі в об’ємі сплаву рідкої фази. За температури 1410°C, такі мікроагрегати мають певні розміри. При підвищенні температури спікання до 1470°C вони збільшуються у розмірах. В указаному інтервалі температур (1410–1450°C) поступово збільшуються в розмірах і досконало ограновані зерна WC. Особливо крупних зерен в цьому інтервалі температур ще не спостерігається. Лише за температури 1470°C (рис. 1б) починають з’являтися окремі великі зерна. При цьому кількість „хмаркоподібних” утворень різко зменшується, а ті, що залишилися, мають крупні розміри. Очевидно, при підвищенні температури від 1410°C до 1470°C мікроагрегати за рахунок коалесценції перетворюються в більш крупні зерна WC, які потім придбають досконалу огранку. При подальшому збільшенні температури спікання до 1500°C з’являються зерна WC аномально крупного розміру. При цьому за температури спікання 1500°C в структурі майже відсутні зерна чи скупчення зерен, що не мають правильної огранки. В структурі сплаву, спеченого при температурі 1750°C, присутня велика кількість аномально крупних зерен, але збереглося і багато дрібних досконало ограних зерен WC.

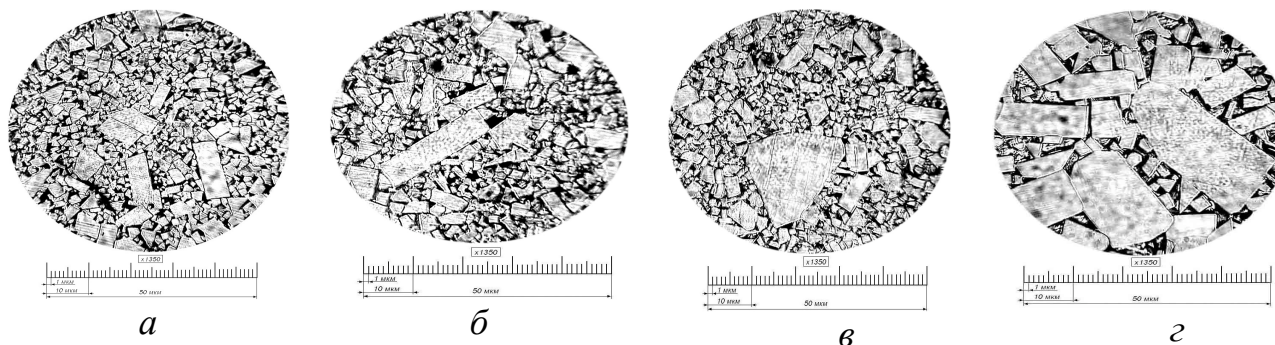


Рис. 1. Структура сплаву VK11, спеченого за: а–1410°C; б–1470°C; в–1500°C; г–1750°C

На відміну до малокобальтових сплавів ВК3 та ВК6 [5, 6] у сплаві ВК11 збільшення кількості як аномально крупних зерен так і зерен основної фракції відбувається більш плавно. Важливо відмітити, що найменша кількість зерен правильної геометричної фігури в сплаві спостерігається за температури спікання 1410°C, рис. 1а, а найбільш досконалу, за температури спікання 1750°C (рис. 2), але при цьому в сплаві присутня значна кількість аномально крупних зерен WC.

За вказаних температур спікання в сплаві отримуємо направлений характер зміни в двох складових розподілу перерізів зерен WC. Кількісний аналіз розподілу перерізів зерен WC показано в табл. 1.

Таблиця 1. Розподіл поперечних перерізів досконало сформованих зерен WC, розміром понад 5 мкм, твердого сплаву ВК11, спеченого за різних температур

Температура спікання, °C		1410	1470	1500	1750
Розміри перерізів зерен WC, мкм:	безперервного спектру	17	17	18	37
	аномально крупні	19–24	20–30	20–31	39–46

Незначне зростання значень середнього розміру перерізів зерна WC та товщини прошарків кобальту у сплаві спостерігається за температури 1410–1500°C і суттєве за температури 1750°C. В той же час на всьому діапазоні температур від 1410°C до 1750°C спостерігається незначне зростання значення коефіцієнту варіації (рис. 3).

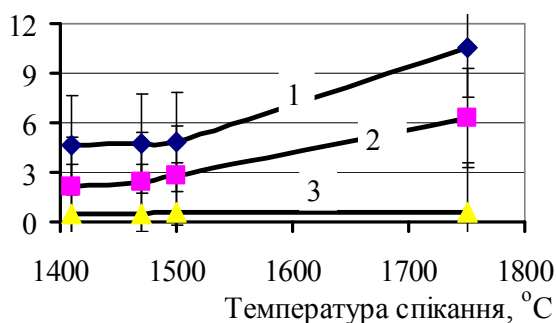


Рис. 3. Залежності за температури спікання: 1–середнього розміру $\bar{d}_{WC}$ зерен WC; 2–товщини прошарків кобальту; 3–коефіцієнта варіації перерізів зерен WC сплаву ВК11

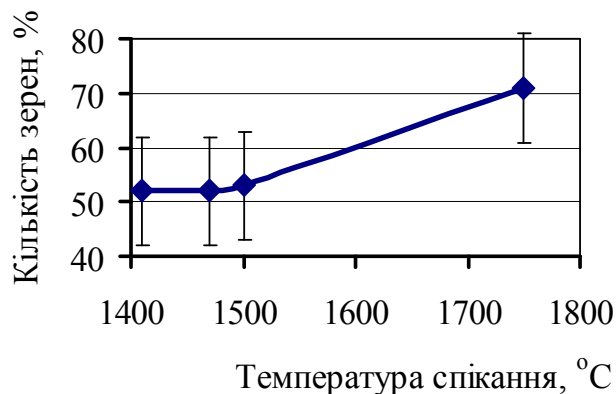


Рис. 2. Залежність кількості досконало сформованих зерен WC розміром понад 5 мкм за температури спікання у структурі твердого сплаву ВК11

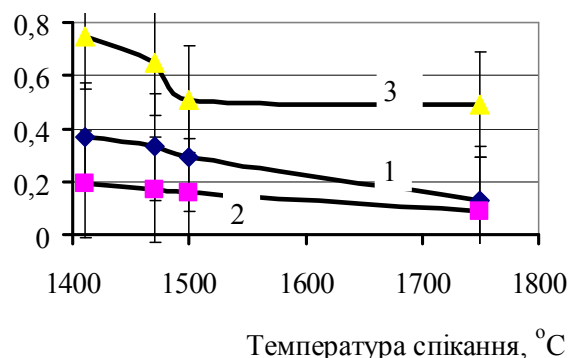


Рис. 4. Залежності за температури спікання: 1–площі питомої поверхні міжкарбідних границь; 2–міжфазних границь; 3–коефіцієнта суміжності зерен WC сплаву ВК11

Такі структурні характеристики, як площі питомої поверхні міжкарбідних та міжфазних границь і коефіцієнт суміжності зерен WC зменшуються з підвищенням температур спікання (рис. 4).

Аналіз структурних характеристик сплаву за нетравленими шліфами та визначення на травлених шліфах величини зерен вказують на те, що з підвищенням температур спікання спостерігається зріст розмірів зерен WC. Вміст включень вільного вуглецю в структурі спеченого сплаву наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Структурні характеристики твердого сплаву BK11, спеченого за різних температур

Температура спікання, °C		1410	1470	1500	1750
Кількість пор розміром	до 50мкм, %	Д-1 0,1	В-2 0,2	Д-2 0,2	0,3
	50–100мкм	–	73	54, 73, 109	54, 183, 205
Розподіл перетинів зерен WC за розмірами на шліфах сплаву, %	1,0мкм	54	45	38	21
	2,0мкм	19	20	14	15
	3,0мкм	18	16	15	11
	4,0–5,0мкм	5	8	15	20
	6,0–7,0мкм	3	8	11	16
	8,0–10,0мкм	1	2	3	7
	11,0–15,0мкм	–	–	3	4
	16,0–20,0мкм	–	1	1	3
	20,0мкм	–	–	–	3
Ширина прошарків в 10 полях зору кобальтової фази, мкм		0,5–1,0	0,5–1,0–2	0,5–1,0–2	0,5–1,0–2 *р. 3
Максимальний розмір зерен WC в одному полі зору, мкм		–	–	20	30
Вміст включень вільного вуглецю, % (по об'єму)		–	0,1 по краю	0,5 рідко	0,3–0,5 по всій поверхні

Примітка: *р. – рідко.

Дослідження вмісту вільного вуглецю у структурі сплаву визначених за нетравленими шліфами зразка (табл. 2) підтверджуються проведеним дослідженням по виявленню вільного вуглецю в структурі сплаву на нових зламах зразків, рис. 5.

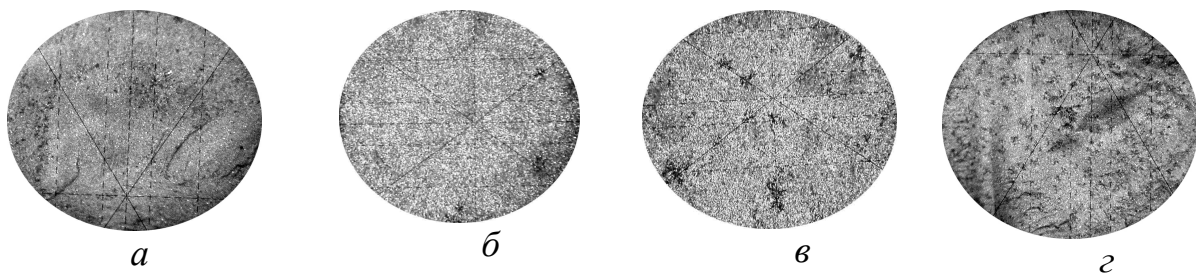


Рис. 5. Фрактографія структури сплаву BK11 спеченого за: а–1410°C; б–1470°C; в–1500°C; г–1750°C

Вміст загального вуглецю в суміші сплаву склав $5,7 \pm 0,1$. Крихкої η_1 -фази в складі сплаву не виявлено.

Дані про характер росту зерен WC свідчать про те, що за температури 1410°C переважно проходять процеси удосконалення огранки окремих зерен WC і формування безформних "хмаркоподібних" скупчень мікрокристалітів WC за рахунок коагуляції. Останні мають значну кількість вгнутих місць на периметрі скупчення. Але ці скупчення ще можна розділити на окремі дрібніші зерна. Можна вважати, що збільшення кількості рідкої фази в сплаві відповідно до діаграми WC-Co при підвищенні температури від 1410 до 1470°C полегшує ковзання частинок WC одна відносно одної і вони під дією сили гравітації в окремих мікронах сплаву більш щільно упаковуються. В місцях контактування двох частинок буде відбуватися розчинення WC в розплав і осадження на вільних поверхнях зерен WC. В результаті частинки будуть наближатися одна до одної, а площа поверхні контактів WC–WC збільшуватися. Ці дані вказують на те, що в даному інтервалі температур дифузійні процеси локалізовані біля границь зерен WC. Відбувається розчинення вільних виступів, виступів, що контактують з протилежним зерном, дефектних ділянок зерен і відкладення розчинених атомів на більш рівноважних ділянках зерен. Це призводить до того, що зерна WC набувають все більш рівноважної форми. При цьому спостерігається згрупування зерен WC і формування їх скупчень, хоча товщина прошарків Co мало змінилася, оскільки при зменшенні товщини прошарків в середині агломерату збільшуються прошарки кобальту між агломератами. В той же час величина коефіцієнту суміжності більш реагує на цей процес (рис. 4). Таким чином, на підставі викладеного вище можна зробити висновок, що в сплаві BK11 за температури 1410°C механізм росту зерен за допомогою перекристалізації через рідку фазу практично не проявляється.

За температури 1470°C вже активно проходить процес коалесценції частинок WC, які знаходяться в скупченнях. При цьому кількість безформних мікроагрегатів зерен WC різко зменшується, а кількість досконало огранованих зерен збільшується. Збільшуються також розміри перерізів зерен WC, але говорити про значну зміну процесу росту зерен WC ще не можливо. Цей процес активізується за температури 1500°C , коли на розподілі зерен WC за розмірами виникають аномально крупні зерна WC.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що за 1470°C проходить в основному процес коалесценції в мікроагрегатах зерен WC. Механізм збільшення кількості аномальних зерен WC за температури спікання 1500°C поки що не встановлено. В літературі [7] наведено кілька можливих причин цього явища, але поки що точних доказів не отримано. Для більш доказових висновків необхідно провести спікання при більш високих температурах і з більшим вмістом кобальту. Але можна вказати на те, що при спіканні сплаву BK11 за температури 1410 – 1500°C проявляється три механізми: перекристалізація через рідку фазу в зернах WC, яка приводить до поліпшення огранки і зближення зерен WC; коалесценція зерен в мікроагрегатах з формуванням досконало огранених зерен WC крупного розміру і невідомий механізм виникнення аномально крупних зерен WC. Ці механізми виникають переважно послідовно один за другим і

можуть частково накладатися один на другий. При підвищенні температури спікання швидкість цих процесів зростає і тому за 1 годину при більш високій температурі спостерігається більш повне проявлення високотемпературного процесу в послідовності: перенесення через рідку фазу в частинках WC → зближення частинок одна до одної за рахунок сил гравітації → формування мікроагрегатів за рахунок коагуляції → коалесценція в середині мікроагрегатів → виникнення аномально крупних зерен шляхом виділення їх з рідкої фази при охолодженні сплаву.

Зростання аномальних зерен поки що важко оцінити навіть з позицій теорії різнозернистості [8]. Тому можна вважати, що аномально крупні зерна WC виділяються з рідкої фази.

5. Висновки

У сплаві BK11 в достатньо вузькому інтервалі температур ряд розподілу перерізів зерен WC має неперервний спектр і окремі аномальні крупного розміру зерна, рис. 1, 2, табл. 1. Значення $\bar{d}_{WC}$ та $\bar{L}_{Co}$ мало зростають в сплаві до $T_{сп} = 1500^\circ\text{C}$ і стрімко зростають за температури 1750°C (рис. 3). Коефіцієнт варіації значень перерізів зерен WC сплаву безперервно зростає на всьому діапазоні температур спікання. Питома поверхня міжкарбідних, міжфазних границь та коефіцієнт суміжності зерен WC сплаву (рис. 4) мають аналогічний характер змін $\bar{d}_{WC}$, $\bar{L}_{Co}$ та коефіцієнту варіації, але в бік зниження значень.

По виявлених окремих механізмів формування структури можна стверджувати наступне.

1. Встановлено температурні границі механізмів формування структури при спіканні твердого сплаву BK11: за температури 1410°C діють механізми, що призводять до утворення зерен WC рівноважної форми за рахунок переносу атомів W і C через рідку фазу в окремих зернах WC і утворення скупчень (мікроагрегатів) дрібних зерен WC, які зв'язані між собою у вигляді ланцюжків, арок, а за температури $1470\text{--}1500^\circ\text{C}$ реалізується механізм коалесценції зерен WC в їх скупченнях з дрібних зерен рівноважної форми.

2. За температури 1500°C більше проявляється зростання аномально крупних зерен WC, але таких зерен мало і вони не створюють окремого розподілу їх за розмірами. Для виявлення механізму росту цих зерен необхідно провести дослідження при більш високих температурах і вмісту Co.

3. На основі проведених досліджень сформульовані основні принципи отримання в серійних умовах двофазних твердих сплавів групи BK з оптимальною структурою: для отримання сплаву BK11 однорідною структурою з зернами WC досконалої огранки, необхідно спікати за температури 1410°C , для отримання сплаву з наявністю аномально крупних зерен необхідно спікати за температури 1500°C .

Список літератури: 1. *Gopal S.* Cemented tungsten carbides. Indian Institute of Technology. /Uradhyaya. – Kanpur. 1998. – 403 p. 2. *Бондаренко В.П.* Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде [Текст] : учеб / Павлоцкая Э. Г. – К. : Наук. думка, 1995. – 204 с. 3. *Физическая энциклопедия* [Текст]: довідник / Гл. ред. А. М. Прохоров – М.: Сов. Энциклопедия. – 1990. – 703 с. 4. *Лившиц М.М.*, О кинетике

диффузионного распада пересыщенных твердых растворов [Текст] /Слезов В.В. // Экспериментальная и теоретическая физика. – 1998. - № 1.– С. 56-67. 5.М.О. Юрчук. Особливості формування структури середньозернистого твердого сплаву ВКЗ при температурах існування рідкої фази [Текст] : сб. науч. тр. //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.–2008.– Вып. 11.–С. 331 - 336. 6.М.О. Юрчук. Особливості формування структури середньозернистого твердого сплаву ВК6, спеченого за температури існування рідкої фази. [Текст]: сб. науч. тр. //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения –2010.– Вып. 13.–С. 543 – 550. 7.Exner H.E. Physical and chemical nature of cemented carbides // International metals reviews. – № 4. – P. 149 – 173.8.Горелик С.С. [Текст] / Рекристаллизация металлов сплавов. М.: Металлургия, 1967–404 с. *Поступила в редколлегию 15.02.2012*

УДК 539.3

Н.В.ШИРЯЕВА, ст. преп., НТУ «ХПИ», Харьков,
К.В.АВРАМОВ, докт. техн. наук, проф., ИПМАШ им. А. Н. Подгорного,
Харьков,
Д.В.БРЕСЛАВСЬКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков,
О.С. ГАЛАС, ст. преп., НТУ «ХПИ», Харьков

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАСТИ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

У статті наведено чисельний аналіз нелінійних коливань лопаті повітряної енергетичної установки. Показано, що центр тяжіння та центр зсуву знаходяться у різних точках, тому згинні та крутильні коливання пов'язані між собою. За розрахунками встановлено, що спектр вільних власних частот таких лопатей є досить щільним, самі частоти є дуже низькими. Вільні нелінійні коливання було досліджено за допомогою нелінійних нормальних форм Шоу-П'єра.

В статье приведен численный анализ нелинейных колебаний лопасти ветровой энергетической установки. Показано, что центр тяжести и центр сдвига находятся в разных точках, потому изгибные и крутильные колебания связаны между собой. В результате расчетов установлено, что спектр свободных частот довольно-таки тесный, а сами частоты очень низкие. Свободные нелинейные колебания исследовались с помощью метода нелинейных нормальных форм Шоу-Пьера.

Numerical analysis of rotating blade of wind power system is presented in the paper. It was established that the center of gravity and the shear center are located in different points. That's made flexural and torsional vibrations to be coupled. Calculations showed that spectrum of free eigenfrequencies of such blades is quite compact, and frequencies are very low. Free nonlinear oscillations are investigated by Shaw-Pierre method.

Введение. Ветровые установки используются человеком в течение длительного времени. Энергия ветра является одним из приоритетных альтернативных источников электроэнергии, поскольку не несет вреда окружающей среде и никогда себя не исчерпает. Размер современных ветрогенераторов имеет широкий диапазон: от малых 100 кВт-ных, предназначенных для обеспечения электроэнергией отдельных домов или коттеджей, до огромных установок мощностью более 1 МВт, диаметр лопастей которых превышает 50 м. Установка мощных стационарных ветрогенераторов требует предварительных исследований и проведения ряда электромонтажных,

грунтовых и строительных работ. Подавляющее большинство работающих ветроэнергетических установок (ВЭУ) представляет собой горизонтально-осевые конструкции с тремя лопастями диаметром 15-40 метров и обладают мощностью 50-600 кВт и более.

Среди основных конструктивных элементов современных ВЭУ лопасти имеют наиболее сильное влияние на производительность ветровой турбины. Поэтому исследование именно этого элемента ветровой установки является наиболее важным.

Лопастей ВЭУ проектируются так, чтобы избежать резонансных колебаний. Экспериментальные исследования свидетельствуют, что в процессе колебаний деформирование лопастей подобного типа является геометрически нелинейным [1,2]. Сложность исследования колебаний лопастей заключается в том, что они имеют несимметричные поперечные сечения. Поэтому центр тяжести и центр сдвига находятся в разных точках [3]. А.П.Филиппов [4] вывел уравнения связанных линейных изгибно-изгибно-крутильных колебаний стержней с произвольным поперечным сечением с учетом деформации сдвига и инерции поворота. Джанелидзе [5] предложил уравнения связанных изгибно-крутильных колебаний тонких стержней. Hodges and Dowell [6] получили систему уравнений в частных производных, описывающую геометрически нелинейные изгибно-изгибно-крутильно-продольные колебания вращающегося стержня, предполагая, что центр тяжести поперечного сечения и центр жесткости находятся в одной точке.

В представленной работе приведен численный анализ нелинейных колебаний лопасти ВЭУ. Используя систему уравнений в частных производных, описывающую изгибно-изгибно-крутильные колебания вращающихся закрученных стержней [7], получен спектр собственных частот и собственные формы линейных колебаний невращающегося незакрученного стержня. Этот анализ выявил связанность изгибных и крутильных колебаний. Для анализа нелинейных колебаний в работе был применен метод нелинейных нормальных форм Шоу-Пьера [8].

1 Линейные колебания невращающейся лопасти. Рассмотрим колебания лопасти ветровой турбины, поперечное сечение которой имеет профиль NREL

S809 [9, 10]. На рис. 1 (в метрах) представлен эскиз поперечного сечения профиля, на котором указаны центры тяжести и жесткости, а также расстояния между ними. Рассматриваемая лопасть является равномерно закрученной, тогда угол закрутки определяется так:

$\alpha(x) = \alpha_0 + \tau_0 x = 0 - 0.003x$. В работах [7, 11] представлена система трех уравнений, описывающих изгибно-изгибно-крутильные колебания подобных стержневых элементов конструкций, которая будет использована для анализа рассматриваемой лопасти.

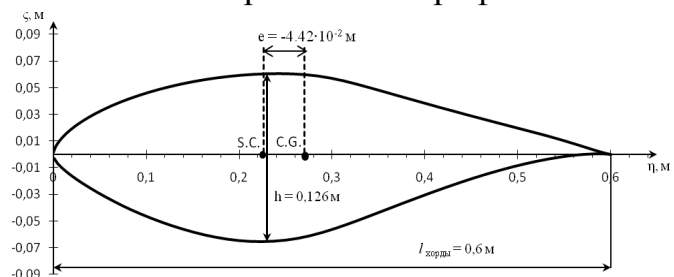


Рис. 1. Поперечное сечение лопасти ветровой турбины с профилем NREL S809

Линейные свободные колебания невращающегося стержня представим так:
 $w = W(x)\sin(\omega t); \theta_x = \theta(x)\sin(\omega t)$.

Тогда собственные формы колебаний имеют следующий вид:

$$W_j = -\frac{\Delta_1 s_2 + \Delta_2}{\delta s_1} \sinh\left(\frac{s_1 x}{L}\right) + \chi_1 (s_2^4 - \lambda_B) \cosh\left(\frac{s_1 x}{L}\right) + \frac{\Delta_1}{\delta} \sin\left(\frac{s_2 x}{L}\right) - \frac{\chi_2}{s_2} \cos\left(\frac{s_2 x}{L}\right) +$$

$$+ (s_1^4 - s_2^4) (s_2^4 - \lambda_B) \frac{\chi_3}{s_3} \cos\left(\frac{s_3 x}{L}\right) + \frac{\Delta_2}{\delta s_3} \sin\left(\frac{s_3 x}{L}\right); \quad (1)$$

$$\theta_j = -\frac{(s_1^4 - \lambda_B)(\Delta_1 s_2 + \Delta_2)}{\lambda_B \delta s_1} \sinh\left(\frac{s_1 x}{L}\right) + \frac{1}{\lambda_B} (s_2^4 - \lambda_B) (s_1^4 - \lambda_B) \chi_1 \cosh\left(\frac{s_1 x}{L}\right) - \frac{\chi_2 (s_2^4 - \lambda_B)}{\lambda_B s_2} \cos\left(\frac{s_2 x}{L}\right) +$$

$$+ \frac{\Delta_1}{\lambda_B \delta} (s_2^4 - \lambda_B) \sin\left(\frac{s_2 x}{L}\right) + \eta^{(1)2} (s_1^4 - s_2^4) (s_2^4 - \lambda_B) \cos\left(\frac{s_3 x}{L}\right) + \frac{\Delta_2 \eta^{(1)2}}{\chi_3 \delta} \sin\left(\frac{s_3 x}{L}\right),$$

где j – номер собственной формы колебаний; параметры $\Delta_1, \Delta_2, \delta, \chi_1, \chi_2, \chi_3, s_1, s_2, s_3$ представлены в работе [7].

Характеристики лопасти, ее поперечного сечения и композитного материала таковы: $L_{\text{лопасти}} = 21.3360$ м, $l_{\text{хорды}} = 0.6$ м, $\eta^{(1)} = -4.42 \cdot 10^{-2}$ м, $h = 0.126$ м, $J_\eta = 1.6623 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$, $J_\zeta = 5.2199 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4$, $A = 5.9675 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, $m = 763.9$ кг, $E = 70 \cdot 10^9 \text{ Па}$; $G = 27 \cdot 10^9 \text{ Па}$, $\rho = 0.6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Удовлетворяя граничным условиям, получаем частотное уравнение, которое представлено в работе [4]. Результаты расчета собственных частот колебаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Собственные частоты линейных колебаний невращающегося незакрученного стержня

ω_i	Связанные изгибные и крутильные колебания, рад/с	Несвязанные изгибные W и крутильные θ_x колебания, рад/с, $p_i = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{EJ_\eta}{mL^4}}$	Несвязанные изгибные колебания V , рад/с, $p_i = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{EJ_\zeta}{mL^4}}$	Вид колебаний
1	0,302	0,301406	5,34107	V, изгиб
2	1,89	1,889016	33,47433	W, изгиб
3	5,28	5,288484	93,71467	W, изгиб
4	10,35	10,2909	182,3601	W, изгиб
5	11,04	17,13469	303,6355	W + θ , изгиб с кручением
6	17,1	25,59982	453,642	V, изгиб
7	25,52	35,75015	633,5111	V, изгиб
8	32,9	47,59595	843,4248	θ , кручение

В третьем столбце таблицы приведены частоты при $\eta^{(1)} = 0$, а во втором столбце представлены собственные частоты, полученные в предположении связности изгибных W и крутильных θ_x колебаний. Напомним, что изгибные колебания V независимы от изгибных колебаний W и крутильных θ_x .

Результаты анализа форма колебаний, представлены на рис.2.

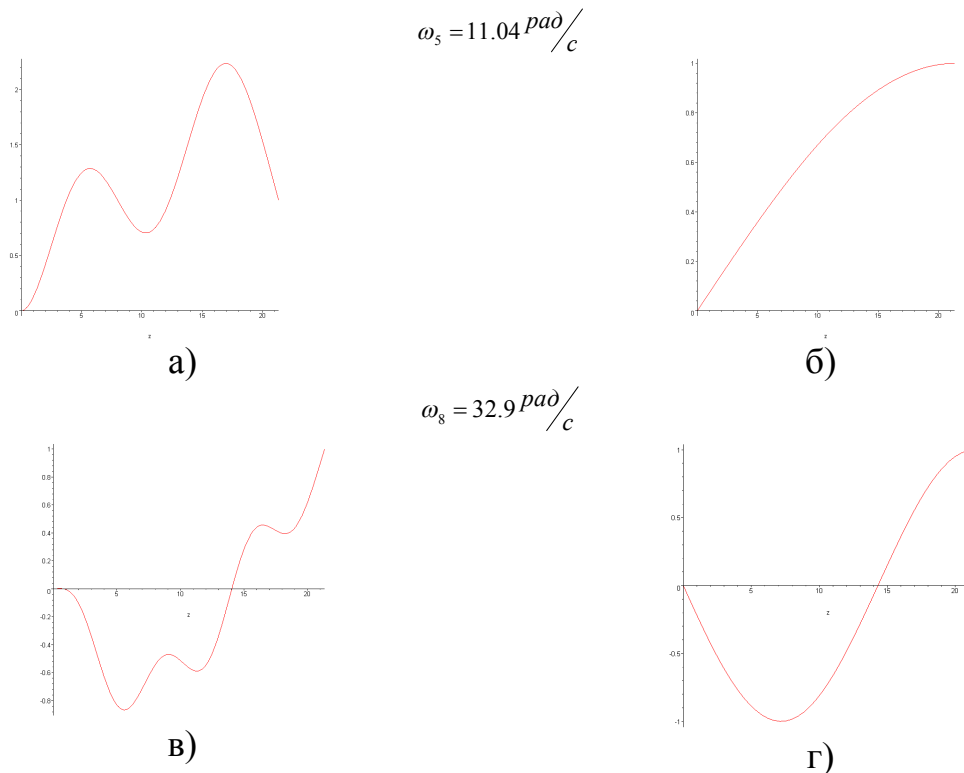


Рис. 2 . Собственные формы колебаний невращающегося незакрученного стержня (а, в - изгибные колебания, W ; б, г - крутильные колебания, θ_x)

Первые четыре частоты имеют традиционные формы изгибных колебаний, поэтому на рисунке 2 они не приведены. Формы крутильных же колебаний, соответствующие этим частотам, имеют достаточно сложный вид. Особо следует обратить внимание на форму колебаний, соответствующую частоте $\omega = 32.9 \text{ рад/с}$. Крутильные колебания при этом имеют собственную форму, соответствующую первой форме несвязанных изгибных и крутильных колебаний. Однако изгибная форма колебаний в этом случае является одноузловой и имеет сложный вид.

2. Анализ перемещений закрученного стержня. При равномерном вращении стержня он квазистатически растягивается в продольном направлении. Вследствие растяжения закрученный стержень испытывает изгибные и крутильные перемещения. Для определения перемещений, их можно представить в виде ряда по собственным формам колебаний [7]:

$$W(x, t) = \sum_{v=1}^7 q_v(t) W_v(x); \quad V(x, t) = \sum_{v=1}^2 q_{14+v}(t) V_v(x); \quad \theta_x(x, t) = \sum_{v=1}^7 q_{v+7}(t) \theta_v(x). \quad (2)$$

Для определения статических перемещений в рядах (2) достаточно оставить по одному слагаемому с неизвестными величинами $q_1^{(0)}, q_8^{(0)}, q_{15}^{(0)}$. Отметим, что параметры $q_1^{(0)}, q_{15}^{(0)}, q_8^{(0)}$ не зависят от времени. Формально, эти параметры удовлетворяют системе обыкновенных дифференциальных уравнений (3)

$$(M)\ddot{q} + (K)q + \Omega F(q, \dot{q}) + \Phi(q) + F_0 = 0, \quad (3)$$

Параметры системы (3) здесь не приводятся для краткости.

Соотношения (2) вводятся в систему (3). В результате получается система трех нелинейных алгебраических уравнений относительно $q_1^{(0)}, q_8^{(0)}, q_{15}^{(0)}$:

$$\begin{aligned}
& K_{1,1}q_1^{(0)} + K_{1,15}q_{15}^{(0)} + \Omega^2 R_1^{(1)}q_1^{(0)} + \Omega^2 R_8^{(1)}q_8^{(0)} + A_{8,15}^{(1)}q_8^{(0)}q_{15}^{(0)} + A_{8,1}^{(1)}q_8^{(0)}q_1^{(0)} = 0; \\
& K_{8,8}q_8^{(0)} + \Omega^2 R_1^{(8)}q_1^{(0)} + \Omega^2 R_{15}^{(8)}q_{15}^{(0)} + \Omega^2 C_8 + A_{11}^{(8)}q_1^{(0)2} + A_{15,15}^{(8)}q_{15}^{(0)2} + A_{15,1}^{(8)}q_{15}^{(0)}q_1^{(0)} = 0; \\
& K_{15,1}q_1^{(0)} + K_{15,15}q_{15}^{(0)} + \Omega^2 R_8^{(15)}q_8^{(0)} + \Omega^2 R_{15}^{(15)}q_{15}^{(0)} + A_{8,1}^{(15)}q_8^{(0)}q_1^{(0)} + A_{8,15}^{(15)}q_8^{(0)}q_{15}^{(0)} = 0. \quad (4)
\end{aligned}$$

Система (4) рассчитывается с параметрами, представленными выше и $\Omega = 0.45 \text{ рад/с}$. Результаты численного моделирования таковы:

$$(q_1^{(0)}, q_8^{(0)}, q_{15}^{(0)}) = (-0.339 \cdot 10^{-6}; -0.104 \cdot 10^{-4}; -0.296 \cdot 10^{-7})$$

Результаты анализа нелинейной системы (4) немного отличаются от значений перемещений, полученных при линейном случае. Эти данные свидетельствуют, что под действием растягивающей силы закрученный стержень раскручивается.

3. Нелинейные колебания. Для исследования нелинейных колебаний применяется метод нелинейных нормальных форм в форме Шоу – Пьера [8]. Расчеты проводились с параметрами, полученными в работах [7, 12], при $\Omega = 0.45 \text{ рад/с}$. На рис.3 показаны результаты расчета нелинейных нормальных форм $h_3(h_2, g_2)$; $g_3(h_2, g_2)$; $h_4(h_7, g_7)$; $g_4(h_7, g_7)$; $h_4(h_1, g_1)$; $g_4(h_1, g_1)$.

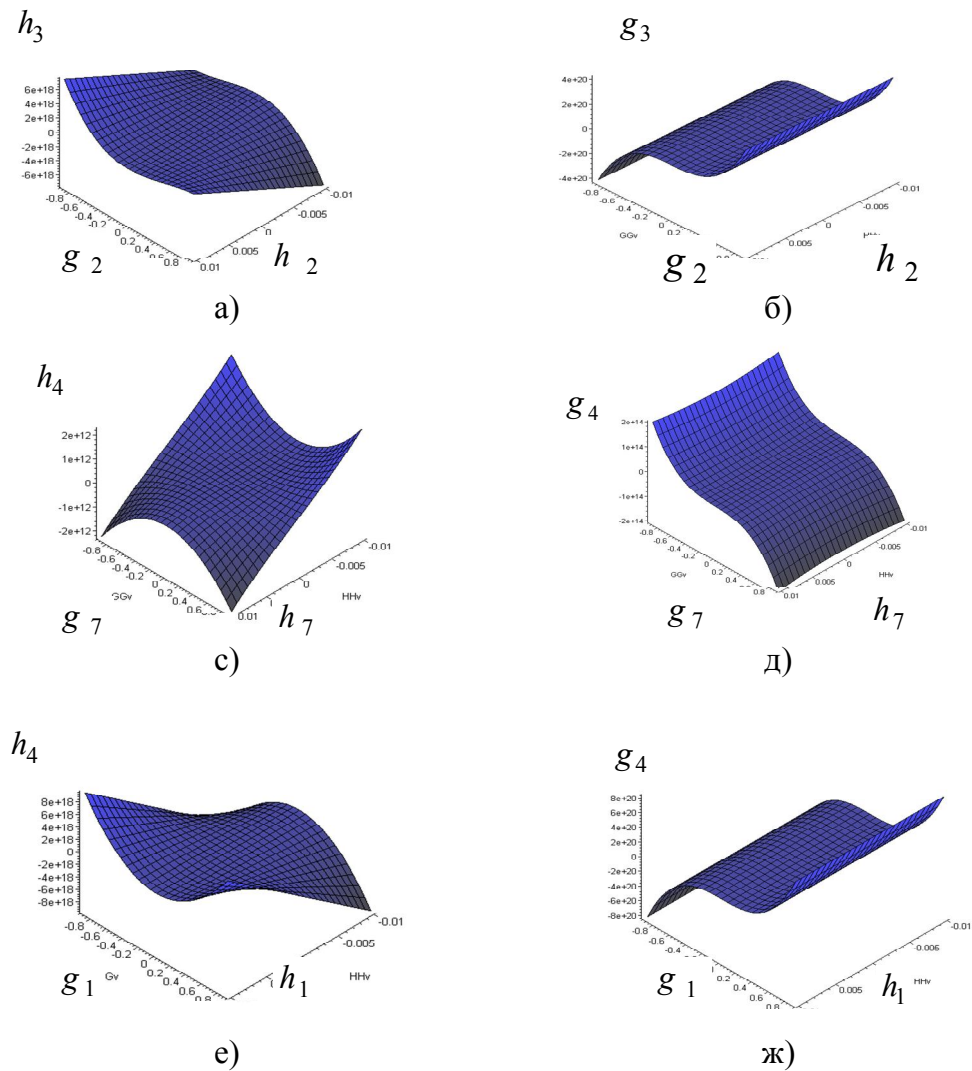


Рис. 3 . Поверхности нелинейных нормальных форм

Скелетные кривые колебаний вращающегося стержня приведены на рис.4. Отметим, что первая и третья скелетные кривые являются мягкими (см. рис. 4а, 4в), а вторая и четвертая – жесткими (см. рис. 4б, 4г). Амплитуды колебаний довольно маленькие.

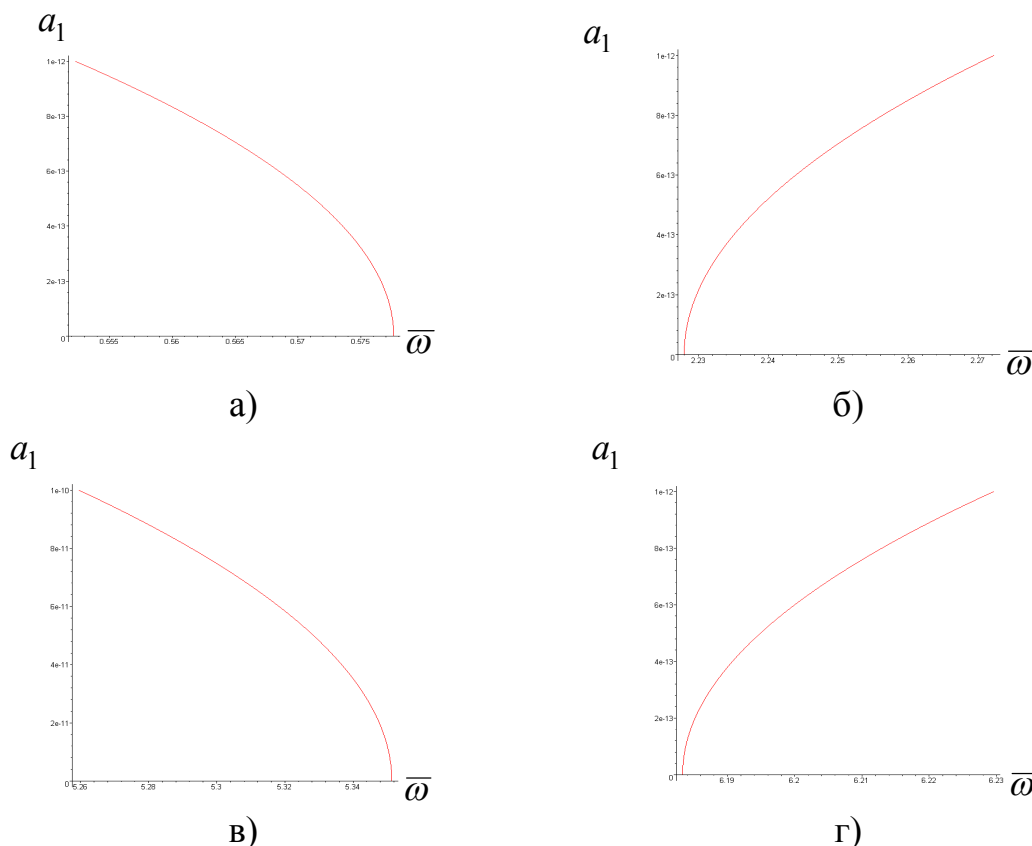


Рис. 4 . Скелетные кривые свободных колебаний (ветряк)

Заключение. В статье представлен численный анализ линейных и нелинейных свободных колебаний вращающегося закрученного стержня на примере лопасти ветровой энергетической установки с профилем NREL S809. Установлено, что первая и третья скелетные кривые являются мягкими, а вторая и третья жесткими. Мягкий характер скелетных кривых свидетельствует о том, что в поведении системы преобладает нелинейная инерционность, а если система показывает жесткое поведение, то в модели преобладает нелинейная кривизна.

Список литературы: 1. *Friedmann P.P.* Aeroelastic stability and response analysis of large horizontal – axis wind turbines// *Journal of Industrial Aerodynamics*, 1980. № 5. –P.373-401. 2. *A.H.Nayfeh, P.F.Pai.* Linear and nonlinear Structural Mechanics, Wiley&Sons, 2002. – 870p. 3. *Timoshenko S.P., Young D.H.* Vibration problems in Engineering. Third edition, Van Nostrand Company, 1955. – 444p. 4. *А.П.Филиппов.* Колебания деформируемых систем. - М.: «Машиностроение», 2-е издание, 1970. -376с. 5. *Dzanelidze G.Y.* On the theory of thin and thin-walled rods. National advisory committee for Aeronautics, NACA TM 1309, Washington, 1951. – 18p. 6. *Hodges D.H., Dowell E.H.* Nonlinear equations of motion for the elastic bending and torsion of twisted nonuniform rotor blades. NASA TN D-7818, Washington, D.C., 1974. –60p. 7. *K.V. Avramov, C. Pierre, N. Shyriaieva.* “Flexural-flexural-torsional nonlinear vibrations of pre-twisted rotating beams with asymmetric cross section” // *J.of Vibrations and Control*. V.3, № 4. 2007. Pp. 329-364. 8. *Аврамов К.В., Ищук Ю.А., Розова Л.В.* Методы исследования нелинейных процессов в энергетическом оборудовании/ Учебно-методическое пособие. -Харьков, 2006. - 64с. 9. *J.Wang, D.Qin, Q.Zang.* Mathematical model for predicting the blade behavior of horizontal

axis wind turbine // Proc.IMEchE. Vol.222. Part C: J. Mechanical Engineering Science. 2008. Pp.1681-1694. **10.** D.M.Sommers. Design and experimental results for the S809 airfoil / Airfoils, incorporated state college, Pensilvania. NREL technical monitor: J.Tangler. Jan.1997. – 24 p. **11.** К.В.Аврамов, К.Пьерр, Н.В.Ширяева. «Уравнения нелинейных изгибно-изгибно-крутильные колебаний вращающихся стержней произвольного поперечного сечения» // Механіка та машинобудування. 2006, №1, стр.8-19. **12.** К.В.Аврамов, К.Пьерр, Н.В.Ширяева. «Нелинейные нормальные формы колебаний системы с гироскопическими силами» // ДНАН України. № 11, 2006. С. 7-10.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.646.42

Г.А. КРУТИКОВ, докт. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ", Харьков,
М.Г. СТРИЖАК, асп., НТУ "ХПИ", Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ АНАЛОГОВОГО ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

В статье описан метод выделения областей устойчивости электропневматического редукционного клапана с пропорциональным электроуправлением в пространстве его конструктивных параметров, приведен алгоритм реализации метода на ЭВМ и полученные графики.

У статті описаний метод виділення областей стійкості електропневматичного редукційного клапана з пропорційним електрокеруванням в просторі його конструктивних параметрів, наведений алгоритм реалізації метода на ЕОМ і отримані графіки.

This article describes the method for separating the regions of stability of electro-reducing valve with proportional electric control in the space of its design parameters, an algorithm implementing the method on a computer and the resulting graphs.

Постановка задачи. При переходе от редукционных клапанов (РК) с пружинным управлением к РК с пропорциональным электрическим управлением становится чрезвычайно острым вопрос устойчивости их работы. В этом случае пружину большой жёсткости, стабилизирующую равновесие мембранно-клапанного узла, требуется заменить упруго-вязкостными звеньями, использующими газодинамические эффекты для достижения устойчивой работы РК.

Основные результаты. На рис. 1 представлена расчётная схема РК с пропорциональным электроуправлением, у которого в целях стабилизации работы введена надмембранная демпфирующая камера. В линейной модели такого РК с механическим аналогом надмембранной демпфирующей камеры. (рис. 2) воздействие воздуха в

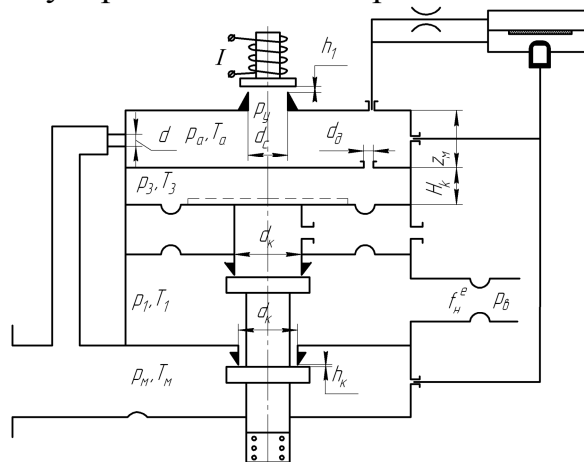


Рис. 1. Расчётная схема пропорционального РК с электроуправлением с надмембранной демпфирующей камерой

надмембранной камере на мембрану представим как действие пружины, верхний конец которой закреплен не жёстко, а через демпфер (т.е. подвержен действию вязкого трения), а нижний конец соединен с мембраной жёстко.

Значение присоединенной жесткости пневмопружины и коэффициента вязкого трения найдем из уравнения энергетического баланса газа в надмембранной камере, записанного в приращениях:

$$\begin{cases} \dot{p}_3 = -\frac{1}{\tau_1} p_3 - \frac{k \cdot p_{30}}{H_k} \dot{l}; \\ c_1 (l_1 - l) = p_3 \cdot F_m. \end{cases} \quad (1)$$

Отсюда:
$$\left(\frac{k \cdot p_{30} \cdot \tau_1}{H_k} - \frac{\tau_1 \cdot c_1}{F_m} \right) \Delta \dot{l} + \frac{\tau_1 \cdot c_1}{F_m} \Delta \dot{l}_1 + k \frac{c_1}{F_m} (\Delta l_1 - \Delta l) = 0, \quad (2)$$

где p_3 – давление в надмембранной камере; α – проводимость дросселя надмембранной камеры; $\tau_1 = F_m H_k / kRT\alpha$ – постоянная времени надмембранной камеры; l_1 – перемещение верхнего задемпфированного конца фиктивной пружины; c_1 – жесткость пневмопружины. Нижний конец пружины, имеющий координату l не испытывает воздействия вязкого трения, (первый член уравнения (2) равен нулю), т.е.:

$$c_1 = \frac{k \cdot p_{30}}{H_k} F_m; \quad (3)$$

Тогда:
$$\frac{\tau_1 \cdot c_1}{k} \dot{l}_1 + c_1 (l_1 - l) = 0; \quad (4)$$

Член при l_1 обозначим через h_1 (коэффициент вязкого трения присоединенного звена демпфирования).

$$h_1 = \frac{\tau_1 \cdot p_{30}}{H_k} F_m; \quad (5)$$

Систему уравнений для РК получим в виде:

$$\begin{cases} \tau_2 \Delta \dot{p}_1 + \Delta p_1 = k_1 \Delta l + k_2 \Delta f_1^3; \\ m \Delta \ddot{l} + h \Delta \dot{l} + c \Delta l + c_1 (\Delta l - \Delta l_1) = -F_m \Delta p_1; \\ h_1 \Delta \dot{l}_1 = c_1 (\Delta l - \Delta l_1), \end{cases} \quad (6)$$

где $\tau_2 = W / RT \cdot F_o$ – постоянная времени нагрузочной линии РК;

$$F_o = \frac{k \cdot f_1^3}{2} \sqrt{\frac{g}{2RT}} \left(\frac{2i-1}{1-i} \sqrt{i_n(1-i_n)} + \sqrt{i_n(1-i_n)} \right) - \text{коэффициент самовыравнивания}$$

нагрузочной линии РК; $k_1 = \frac{\mu_1 \pi d_k p_a k}{F_o} \sqrt{\frac{2g}{RT}} i(1-i)$ – коэффициент усиления клапана по давлению.

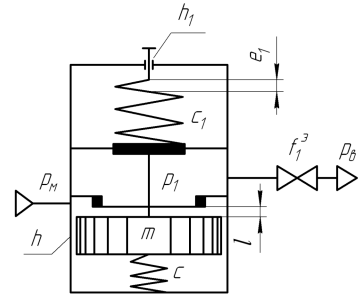


Рис. 2 . Расчётная схема РК

Характеристический полином передаточной функции по отношению к любому из возможных видов возмущающих воздействий представим в виде:

$$A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0 = 0; \quad (7)$$

где $A_0 = F_m \cdot k_1 \cdot c_1 + c_1 c$; $A_1 = h_1 \cdot c_1 + h_1 c_1 + c_1 h + R_1 k_1 F + c_1 c - \tau_2$;

$A_2 = h_1 \cdot h + c_1 m + \tau_2 c h_1 + h_1 c_1 \tau_2 + c_1 h \tau_2$; $A_3 = m h_1 + \tau_2 h_1 h + c_1 m \tau_2$; $A_4 = h_1 m \tau_2$.

Построение областей устойчивости по методу Неймарка (Д-разбиение) невозможно. Это обусловлено тем, что варьируемые параметры входят нелинейно в коэффициенты полинома знаменателя. Для построения областей устойчивости в этом случае необходимо использовать ЭВМ.

Условие устойчивости по Гурвицу имеет вид:

$$D = A_1 A_2 A_3 - A_0 A_3^2 - A_1^2 A_4 > 0.$$

Применим для нахождения границы области устойчивости на плоскости двух параметров метод слежения вдоль границы [2]. Направление изменения параметров на плоскости (рис. 3) происходит по сторонам квадрата: вниз, вверх; влево, вправо. После каждого шага проверяется условие устойчивости. Алгоритм представлен на рис. 4: в плоскости двух параметров системы A и B выделяется область допустимых значений этих параметров ($A_n - A_k$, $B_n - B_k$), исходя из габаритных ограничений и наиболее вероятных условий функционирования РК. Поиск границы устойчивости состоит из двух частей. Если, начиная из исходной точки поиска (A_0 , B_0) при движении вдоль координаты A , мы не пересекли границы области устойчивости, то при достижении границы по A (A_k),

происходит смещение на шаг по B ($B_1 = B_0 + \Delta B$) и движение вдоль координаты A , начиная с нижней границы (A_n). Если на данном шаге мы пересекаем границу и входим в искомую область, то меняется направления поиска и следующий шаг совершается вдоль другой координаты по часовой стрелке. Если после этого пересечение границы не наблюдается, то опять делается шаг по часовой стрелке и так до тех пор, пока не произойдет пересечение границы и выхода за пределы области (рис. 3).

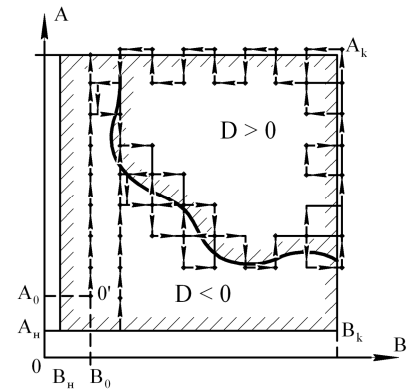


Рис. 3. Слежение вдоль границы устойчивости

Для реализации этого алгоритма вводится ряд идентификаторов ($k, j, i, \gamma_1, \gamma_2$): k – для соблюдения очередности шагов вдоль координат A и B ; j – для выбора направления обхода квадрата; i – для смены стратегии поиска; γ_1, γ_2 – для выбора направления шага вдоль A и B соответственно.

При выходе за область допустимых значений параметров A и B гурвициану D присваивается значение, равное (-1). Данный алгоритм позволяет обойти и выделить область, где $D > 0$.

В качестве варьируемых примем размеры надмембранной камеры и величину диаметра дросселя в надмембранной камере – F_m, H_k, α , в качестве дополнительных параметров возьмем W, f_1^o и d_k .

На рис. 5 – 9 представлены результаты расчета областей устойчивости. Эти графики дают наглядную картину изменения области допустимых значений α при изменении параметров H_k , F_m , W , d_k и f_1^0 . Значения остальных параметров следующие: $p_m = 0,6$ МПа, $p_1 = 0,35$ МПа, $T = 300$ К, $\mu_1 = 0,85$, $p_b = 0,1$ МПа, $m = 0,79 \cdot 10^{-1}$ кг, $h = 50$ Н·сек/м. Анализ графиков на рис. 5 позволяет установить что: – чем меньше объем W , тем уже область допустимых значений H_k и α ; – наибольший допуск на диаметр дросселя в надмембранной камере будет при половине максимально

возможного диапазона изменения H_k ; – допуск на величину H_k будет максимальным при значении α , отличном от нуля (то есть дросселирование воздуха через отверстие в надмембранной камере целесообразно).

Рис. 5. Области устойчивости

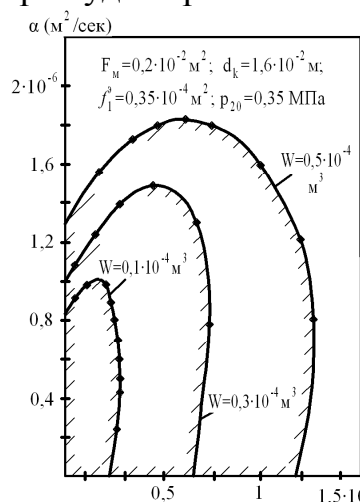
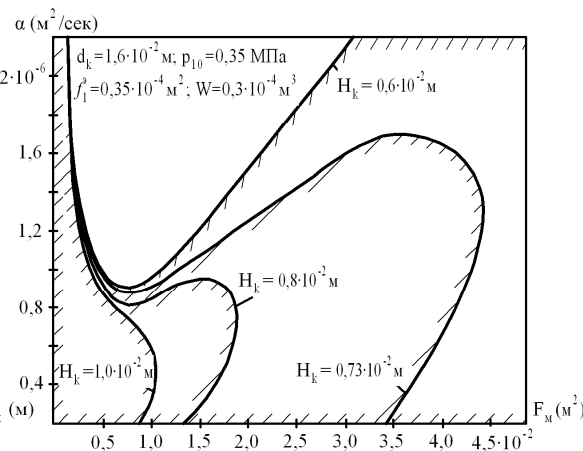


Рис. 6. Области устойчивости



Графики на рис. 6 позволяют сделать следующие выводы: – при очень маленьких значениях F_m для устойчивой работы РК достаточно заданной величины h и c , поэтому все кривые асимптотически стремятся к этому значению F_m ; – при малых значениях H_k ($0,6 \cdot 10^{-2}$ м и менее) с увеличением F_m допуск на α увеличивается (минимум допуска на α имеет место при малых значениях F_m); – при средних значениях H_k ($0,8 \cdot 10^{-2}$ м – $0,7 \cdot 10^{-2}$ м) с увеличением F_m сначала идёт увеличение допуска на α , а затем его быстрое уменьшение со смещением поля допуска вверх по шкале α ; – при значениях

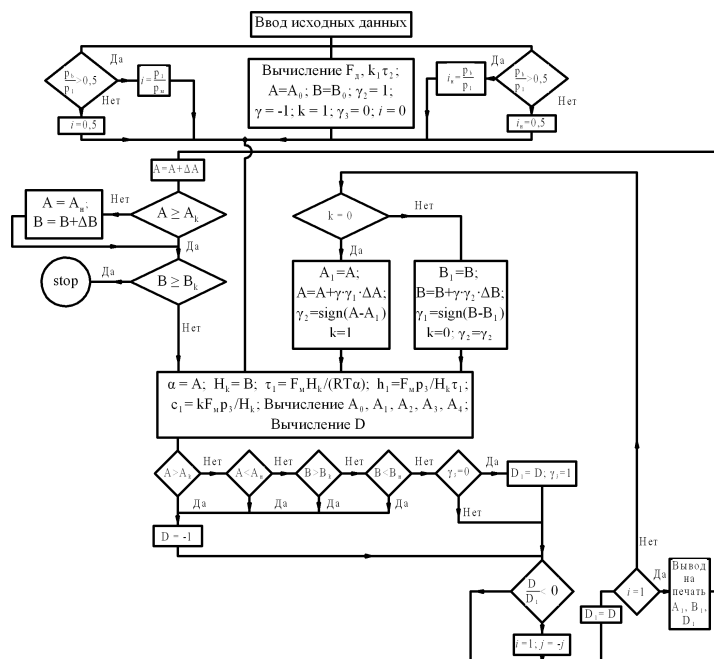


Рис. 4. Блок-схема машинной реализации алгоритма слежения вдоль границы устойчивости

$H_k > 0,9 \cdot 10^{-2}$ м с увеличением F_M допуск на α уменьшается при некотором смещении поля допуска вверх от нулевого значения.

Из рис. 7 следует, что:

— с увеличением объёма нагрузочной линии РК (W) допуск на α растёт, однако его ширина даже для

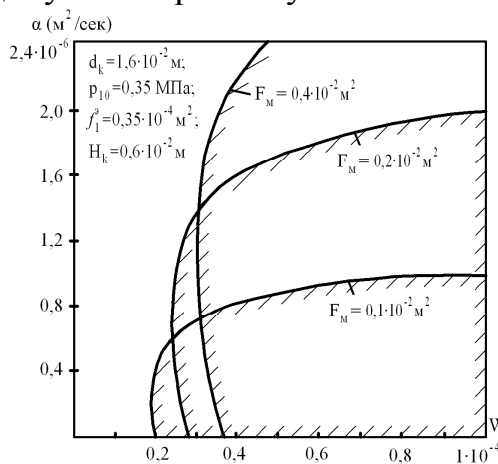


Рис. 7. Области устойчивости

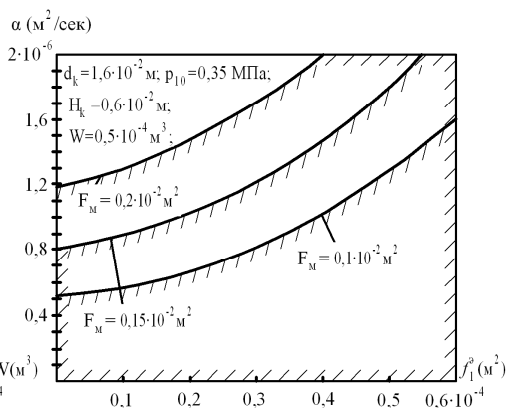


Рис. 8. Области устойчивости

больших значений W ограничена и зависит от величины F_M ; — чем меньше F_M , тем меньше минимальный объем, необходимый для устойчивой работы РК; — минимальное значение W для устойчивой работы РК имеем при значении α , отличном от нуля, которое тем больше, чем больше F_M .

Из рис. 8 следует, что чем больше сопротивление нагрузочного тракта, тем уже допуск на диаметр отверстия в надмембранной камере.

Анализируя графики на рис. 9, можем установить, что:

— с увеличением диаметра седла клапана d_k допуск на α уменьшается; с увеличением d_k поле допуска для α смещается вверх по шкале α , причем, чем больше F_M , тем выше смещается значение α , при котором можно добиться максимального значения d_k ; чем больше F_M , тем шире поле допуска на α в случае устойчивой работы РК; — наибольший допуск для d_k имеем при малом значении

F_M ($F_M = 0,1 \cdot 10^{-2}$ м²), однако, при этом диапазон допустимых значений α очень узок и мал по абсолютной величине.

В заключение рассмотрим области устойчивости по параметрам $H_k - d_k$ и $H_k - d_k$ (рис. 10 – 11). На рис. 10 представлены области устойчивости при изменении параметров H_k и d_k при разных значениях α .

Для относительно больших значений α ($\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/сек) имеет в области допустимых значений параметров H_k и F_M две несвязанные между собой области устойчивости. При увеличении F_M от нуля система устойчива, затем идет область неустойчивой работы (в этом диапазоне изменений F_M не удается за счет

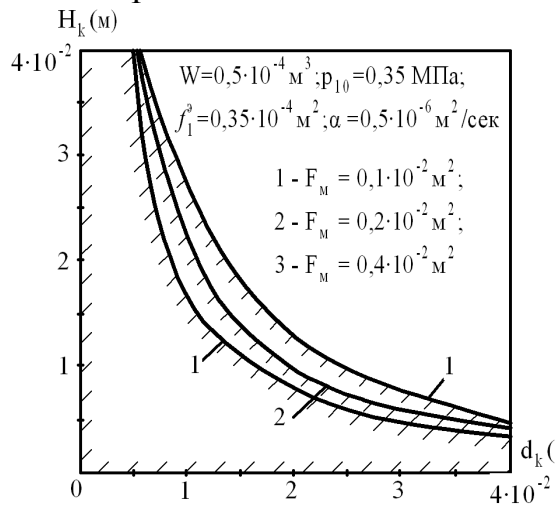


Рис. 9. Области устойчивости

вариации H_k добиться устойчивой работы), далее при увеличении F_m появляется зона устойчивой работы: сначала в узком диапазоне H_k , затем этот диапазон расширяется. При малых значениях α ($\alpha = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/сек) область устойчивости не имеет разрывов. Характерно, что с увеличением F_m допуск на H_k сначала уменьшается, затем на длительном участке изменения F_m остается практически

неизменным, а затем начинает медленно возрастать. При увеличении d_k допуск на H_k сужается, убывая практически по гиперболе (рис.11).

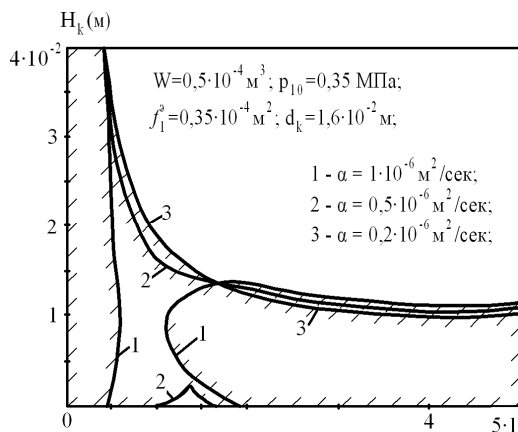


Рис. 10 .Области устойчивости

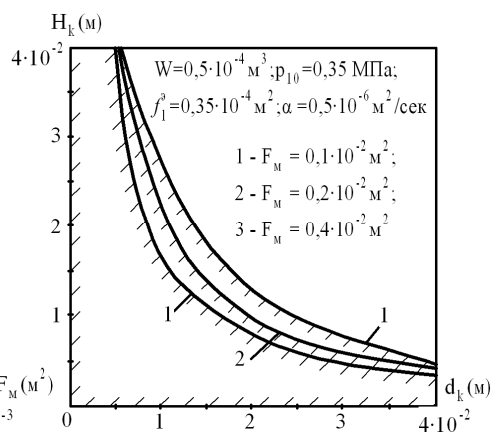


Рис. 11.Области устойчивости

Заключение. Построение областей устойчивости дает наглядную картину влияния параметров РК на устойчивость. Информацию о поведении системы в переходном режиме внутри области мы можем получить, построив кривые равного качества переходного процесса. Предложенный метод и полученные результаты полезны при проектировании электропневматических преобразователей, которые становятся всё более востребованными в качестве интерфейсных устройств в электропневматических системах.

Список литературы: 1. Залманзон Л.А. Об учёте влияния нелинейности характеристик глухих камер пневморегуляторов на процесс регулирования // Автоматика и телемеханика. – 1955. – № 5.2. Теория автоматического управления. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления. Под ред. А.А. Воронова – М.: В. Шк.. – 1977.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.74.043:669.795

Ю.В. ДОЦЕНКО, канд.техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск,
В.Ю. СЕЛИВЕРСТОВ, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, Днепропетровск,
В.В. МАЦИЙЧУК, инж., ВТ "Интерметалл", Одесса
С.В. МАЛЫХ, канд.экон. наук, доц., ОНПУ, Одесса

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК СПОСОБОМ ЛИТЬЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

За допомогою розробленої методики проведено аналіз групи машин лиття під тиском і виявлена модель машини, показники якої найбільш конкурентоспроможні у своїй групі в даний час.

Ключові слова: машина лиття під тиском, гіпотетичний інноваційний зразок, конкурентоспроможність.

С помощью разработанной методики проведен анализ группы машин литья под давлением и выявлена модель машины, показатели которой наиболее конкурентоспособны в своей группе в настоящее время.

Ключевые слова: машина литья под давлением, гипотетический инновационный образец, конкурентоспособность.

Using the developed methodology the analysis of the group of die casting machines and the machine model, indicators of which are the most competitive in their group at the present time.

Keywords: machine of moulding under pressure, a hypothetical innovative design, competitiveness.

Введение

Одним из основных компонентов экспорта Украины являются литые изделия. Однако причиной высокого показателя объема сбыта является, в основном, низкая цена. В Украине при производстве отливок издержки на материалы, рабочую силу, расходы на обслуживание, амортизацию значительно ниже, чем в странах Западной Европы. Поэтому имеется существенная разница в средних ценах за 1 тонну отливок, производимых в Великобритании и в Украине. Средняя рыночная стоимость одной тонны литья приведена в таблице 1.

Таблица 1. Средняя рыночная стоимость одной тонны литья

Метод производства отливки	Материал отливки	Средняя рыночная стоимость 1 т литья, USD	
		Великобритания	Украина
В песчаные формы (ПФ)	Серый чугун (СЧ)	1863	807
	Высокопрочный чугун (ВЧ), (КЧ)	2350	990
	Сталь углеродистая (СУ)	4563	1013
В металлические формы под давлением (ЛПД)	Алюминиевые сплавы (АС)	7075	3065
Центробежное литье труб (ЦЛ)	Высокопрочный чугун (ВЧ)	1813	н/д
В керамические формы по выплавляемым моделям	Легированная сталь (ЛС) и алюминиевые сплавы (АС)	32180	5774
Литье в кокиль (ЛК)	Высокопрочный чугун (ВЧ)	н/д	1407
	Алюминиевые сплавы (АС)	4952	н/д
	Серый чугун (СЧ)	н/д	1689
ЛГМ	Высокопрочный чугун (ВЧ)	н/д	2000

В таблице 2 приведен объем выпуска по видам сплавов. Из таблицы 2 видно, что при общем производстве отливок 1018 тыс. тонн объем выпуска алюминиевых отливок составляет 18 тыс. тонн и других цветных сплавов 9 тыс. тонн, т.е. соответственно 1,8 % и 0,9% - самый низкий уровень в процентном

соотношении среди представленных стран. Открываются перспективы разработок в данном направлении, т.к. названные сплавы используются при литье под давлением. Этот способ литья является одним из передовых методов получения высококачественных отливок и будет представлен как объект исследования в данной работе.

Анализ предыдущих публикаций

Качество литья, выпускаемого в Украине, обычно существенно ниже, чем в странах Западной Европы. Для повышения продаж в денежном выражении необходима не только конкурентоспособная цена, но и сопоставимый либо превышающий уровень качества, который, в частности, достигается за счет возможности использования новых технологий литья [1-5].

Таблица 2. Объем выпуска по видам сплавов

Государство	Объем выпуска, тыс. т	Объем выпуска по видам сплавов, тыс. т					
		СЧ	ВЧ	КЧ	С	АС	ЦС
Германия	4542	2180	1316	40	156	645	79
Франция	2665	1282	869	8,3	133	349	35
Италия	2425	1019	406	12,3	78	679,6	96
Великобритания	1452	699	454	22	90	116	35
Украина	1018	681	23	27	260	18	9

Инновации в виде новых конкурентоспособных технологий и товаров обеспечивают до 90% увеличение ВВП промышленно развитых странах мира. Финансирование научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работах (НИОКР), продуктом которых являются инновации в указанных странах, складывается из 2 источников: 3-4% ВВП через бюджетное финансирование и 15% от годового оборота фирмы. Средняя затратная цена изобретений в Украине приблизительно на порядок ниже, чем в странах Западной Европы или США. Показатели инновационного процесса в экономике приведены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели инновационного процесса в экономике

Наименование страны и ее инновационных показателей	Украина	Россия	Германия	США
Затраты на НИОКР по отношению в ВВП, %	0,32	1,05	2,4	2,6
Затраты на НИОКР предприятиями от их оборота, %	<1	4	15	15
Доля инновационной продукции в машиностроении, %	7	6,9	100	100
В т. ч. экспортном, %	27,3	23,7	100	100
Рентабельность в промышленности	4,8	6	15	20
Доля наукоемкой продукции в промышленности, %	<0,3	0,3	<12	12
Коэффициент изобретательности (количество изобретений на 1 млн. населения)	117	169	652	599
Готовность изобретений от национальных заявителей к использованию (изготовление опытных образцов, апробация, рыночная оценка)	низкая	низкая	высокая	высокая

Таким образом, возможность использования недорогой интеллектуальной собственности может стать конкурентным преимуществом при разработке инновационных продуктов.

Методики рыночной оценки промышленного продукта в качестве инновационного пока разработаны недостаточно, что затрудняет их практическое использование.

Целью работы является разработка метода оценки эффективности получения отливок способом литья под высоким давлением

Основной материал

Предлагается количественно оценивать изобретения в составе инновационного продукта по уровню достигнутого положительного технического эффекта $K_{ПЭ}$ от нового технического решения с использованием таблицы 4.

Таблица 4. Коэффициент достигнутого положительного технического эффекта в инновационном продукте

Достигнутый эффект	Значение $K_{ПЭ}$
Изобретение улучшает <u>второстепенные</u> технические характеристики, которые не являются определяющими для инновационного продукта (процесса): - одну характеристику - несколько характеристик	0,1 0,2
Улучшение основных технических характеристик, являющихся определяющими для инновационного продукта (процесса): - одной характеристики: - нескольких характеристик	0,5 0,6
Достижение <u>качественно новых</u> технических характеристик инновационного продукта (процесса)	0,7
Получение нового инновационного продукта (процесса), обладающего более высокими основными техническими характеристиками, чем аналоги, представленные на внутреннем рынке Украины	0,8
Получение нового инновационного продукта (процесса), обладающего более высокими основными техническими характеристиками, чем аналоги, представленные на внешнем рынке	1

На основе проведенного анализа было определено, что наиболее эффективным и перспективным направлением литейного производства является литье под давлением. Предлагаемая методика по оценке конкурентоспособности технической продукции на примере машин литья под давлением является актуальной в условиях перехода к рыночной экономике.

После распада СССР в Украине не оказалось не только ряда предприятий, которые выпускают металлорежущие станки, но и другого машинотехнического оборудования, например, машин литья под давлением (ЛПД). Эти машины

широко применяются в промышленно развитых странах мира, а также в странах СНГ для изготовления отливок преимущественно из алюминиевых сплавов. Такие отливки в отличие от литых в песчаные формы не требуют дополнительной механической обработки поверхности, так как ее шероховатость такая же, что и на деталях после токарной чистовой обработки. Область применения машин ЛПД - автомобилестроение, приборостроение, производство ТНП и др.

В отличие от машин ЛПД, которые производят в странах СНГ машины из стран западной Европы, Японии и США обладают современной системой управления. Российские и молдавские машины ЛПД имеют существенно более низкую цену, однако предприятия-изготовители машин из стран СНГ не прошли сертификацию качества на соответствие международным стандартам ISO 9000.

Таблица 5. Наименования и фактические технические показатели машин ЛПД от фирм-производителей из Германии, Италии, Швейцарии и Японии

Наименование показателей	Технические показатели машин ЛПД, их модели и фирмы-изготовители				
	ДАК200 Freeh	ДМК280 Wotan	280 Triulzi	H250B Buler	ДС 250Л «Тосиба Кикай»
Показатели назначения (усредненные): усилие прессования, кН	265	274	247	279	280
Количество холостых циклов, шт. /год	738	576	689	689	738
- масса заливаемой порции Al сплава, кг	3,2	3,4	3,95	4,3	2,6
- размер плит для размещения пресс-формы, мм	755x755	850x850	840x840	840x840	820x820
~ усилие выталкивания отливки, кг	116,5	136,5	131,5	135	110
Показатели технологичности					
- масса машин, кг	8840	8648	8460	9300	7500
- размеры машин, м	6,15x2,55	5,46x1,5	4,73x1,4	5,8x2,15	5,07x 1,9
Показатель эргономичности					
- возможность работы в полуавтоматическом режиме, %	100	100	100	100	100
Показатель энергосбережения					
- потребляемая насосом мощность, кВт	15,2	14,6	14,8	22	22

Таким образом, если украинское предприятие намерено выпускать отливки для внутреннего рынка, оно обычно покупает машины ЛПД из Молдовы или России. Однако, если украинское предприятие намерено выпускать отливки для инофирм, которые создают совместные предприятия по сборке своих машин в Украине, либо поставлять их на экспорт в качестве инновационной продукции, то приходится покупать более дорогие, но высококачественные машины ЛПД.

Методика оценки конкурентоспособности импортируемой машины может базироваться на двух показателях: интегральном показателе технического уровня ($K_{ит}$) и относительной цене (C_0).

Уровень качества любого технического объекта характеризуется по состояниям в определенный момент времени с зафиксированной группой характеристик, отражающих его свойства, причем чаще всего указанные характеристики отражают эксплуатационные свойства объекта.

Интегральный технический уровень включает сумму таких показателей. В качестве математической зависимости значения $K_{ит}$ от единых технических показателей машины ЛПД следует использовать формулу, указанную в таблице 6. Где n - число групп показателей, ед.; α_1 - показатель качества; β_i - коэффициент весомости; g_i - величина единичного показателя качества внутри группы; M_i - число показателей внутри группы.

Максимальная величина $K_{ит}$, как и сумма коэффициентов весомости β_i внутри каждой группы приняты равными единице. Количество технических показателей (M_i) коэффициентов весомости каждого из них (β_i) и значений единичных показателей (g_i) для машин и оборудования в Украине пока не разработаны и не стандартизованы. Поэтому для оценки конкурентоспособности машин ЛПД предлагаются технические показатели, которые обычно фигурируют в рекламных проспектах ведущих производителей машин из стран Западной Европы и Японии.

Для возможности проведения сравнительного анализа машин ЛПД необходим аналог, который имеет наилучшие технические показатели. С этой целью предлагается использовать новый подход посредством построения характеристик «гипотетического инновационного образца», который имеет по всем характеристикам (β_i) наивысшие показатели и интегральный коэффициент технического уровня ($K_{ит}$) равный единице.

Выбор технических характеристик «гипотетического инновационного образца» (ГИО) проводится следующим образом. Для каждого из показателей, которые указаны в табл. 6 и представлены по каждой из машин, при построении ГИО выбирается наиболее высокое из представленной группы значение, включающей пять машин ЛПД. Например, для них усилие прессования составляет ряд показателей, включающих значения: 265, 274, 279 и 280. Для построения характеристики усилия прессования для ГИО принимается то, которое является наилучшим и, как правило, наиболее высоким из всех значений - 280 кН. Исключение составляют показатели, характеризующие массу машины, площадь машины и мощность, потребляемую насосом, которые должны быть минимальными. Таким образом были определены все технические показатели

для ГИО, которые представлены в табл. 6 наряду со значениями групп показателей внутри каждой из групп (β_i).

Таблица 6. Значения показателей технических характеристик для машин ЛПД и ГИО

№ п/п	Наименования показателей	Коэффициент весомости показателей	Технические значения показателей ГИО
1	Показатели назначения ($\alpha_1 = 0,5$)		
1.2	Усилие прессования	0,25	280 кН
1.2	Количество холостых циклов	0,2	728 шт./год
1.3	Масса заливаемой порции ал. сплава	0,25	4,3 кг
1.4	Размер плиты для размещения пресс-формы	0,15	850 x 850
1.5	Усилие выталкивания отливки	0,1	136,5 кг
2	Показатели технологичности ($\alpha_2 = 0,5$)		
2.1	Масса машин	0,7	7500
2.2	Размеры машин	0,3	4,73 x 1,4
3	Показатель эргономичности ($\alpha_3 = 0,15$)		
3.1	Возможность работы в полуавтоматическом режиме	1,0	100 %
4	Показатель энергосбережения ($\alpha_4 = 0,1$)		
4.1	Мощность, потребляемая насосом	1,0	14,6 кВт

$$K_{ИТ} = \sum_{i=1}^n \left(\alpha_i \sum_{j=1}^{M_i} \beta_j g_j \right) \quad (1)$$

где: n - число групп показателей, ед.; α_i - показатель качества;

β_i - коэффициент весомости;

g_i - величина единичного показателя качества внутри группы;

M_i - число показателей внутри группы.

Суммируя расчетные значения комплексных показателей, характеризующих назначение, технологичность, эргономичность и расход энергоресурсов было найдено значение интегрального технического уровня для каждой модели машин, что отображено в таблице 7. Из показателей, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что наиболее высоким расчетным показателем интегрального уровня обладает машина модели 280 фирмы Triulzi (Италия), которая лишь на 8 % уступает показателю $K_{ИТ}$ для ГИО.

Таблица 7. Показатели интегрального технического уровня машин литья под давлением

Модуль машин	ДАК 200	ДМК 280	280	Н 250В	ДС 250Л	ГИО
Показатель назначения, ед.	0,418	0,43	0,44	0,067	0,41	0,5
Показатель технологичности, ед.	0,18	0,2	0,23	0,11	0,2255	0,25
Показатель эргономичности, ед.	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Показатель энергопотребления, ед.	0,096	0,1	0,099	0,066	0,066	0,1
Интегральный показатель технического уровня	0,84	0,88	0,92	0,793	0,85	1,0

Для определения расчетной и относительной цены импортных машин ЛПД использованы данные об их массе, средней цене за тонну их изготовления, а также массе ГИО. Для расчета относительной цены (C_0) принимаем показатель цены для ГИО равным единице. Результаты вычислений проиллюстрированы в таблице 8.

Таблица 8. Расчетная и относительная цена машин литья под давлением

Модель машины	ДАК 200	ДМК 280	280	Н 250 В	ДС 250 Л	ГИО
C_p тыс. USD	361,56	353,7	346	380,37	306,75	306,75
C_v (отн. ед.)	0,85	0,87	0,89	0,8	1,0	1,0

Расчет ведется по формулам:

$$C_T = \frac{C_{cp}}{M_{cp}}, \quad (2)$$

где C_{cp} – средняя цена импортной машины;

M_{cp} – средняя масса машины.

$$C_p = m \cdot C_T, \quad (3)$$

где C_p – расчетная цена машины;

m - масса машины;

C_T - средняя цена изготовления 1 т машины.

$$C_0 = \frac{C_{p_{ГИО}}}{C_p}, \quad (4)$$

где C_0 - относительная цена машины;

$C_{p_{ГИО}}$ - расчетная цена гипотетического инновационного образца.

По результатам вычислений была построена диаграмма зоны конкурентоспособности машин литья под давлением, где столбцами указаны величины интегрального технического уровня и относительной цены.

Наивысший показатель конкурентоспособности имеет та машина, которая оптимально сочетает качество и цену, а также максимально приближена по этим показателям к ГИО. Из анализа показателей конкурентоспособности видно, что

оптимальное соотношение $K_{ит}$ и C_o имеет машина модели 280 фирмы Triulzi (Италия). Предлагаемая

методика позволяет значительно сократить временные и капитальные затраты по введению инновации в производство и значительно упрощает сам процесс разработки инновации.

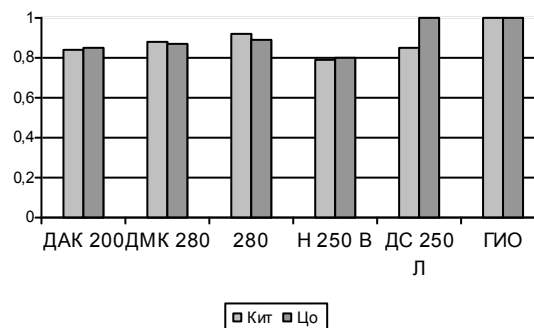


Рис. Зона конкурентоспособности машин литья под давлением

Модель машины	ДАК 200	ДМК280	280	Н 250 В	ДС 250 Л	ГИО
$K_{ит}$	0,84	0,88	0,92	0,79	0,85	1
C_o	0,85	0,87	0,89	0,8	1	1

Выводы

На основе проведенного анализа развития внутреннего рынка и его отношений с рынком внешним сделан вывод, что производство в Украине конкурентоспособной продукции, особенно экспортной, возможно только при условии использования инновационной техники и технологии.

Предложено для количественной оценки эксплуатационных достоинств конкретных изделий использовать ГИО, характеризующийся наивысшими показателями в данной области.

С помощью разработанной методики проведен анализ группы машин литья под давлением и выявлена модель машины, показатели которой наиболее приближены к показателям ГИО, и, соответственно, является наиболее конкурентоспособной в своей группе в настоящее время.

Список литературы: 1.Иванова, Л.А. Теория и практика литья под давлением алюминиевых сплавов [Текст] / Л.А. Иванова, В.В. Мацийчук. - "Поліграф", типогр. "Атлант", Одесса, 2006. - с. 155. 2.Ефимов, В.А. Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-65. 3.Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с. 4.Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. - М.: Металлургия, 1995. - 272 с. 5.Малых, С.В. Рыночная оценка инноваций в машиностроении [Текст] / С.В. Малых. - Изд. "Друк", типогр. УТС-принт, Одесса. - 2004. - С.81.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

И.Ш. НЕВЛЮДОВ, докт.техн.наук, проф., ХНУРЭ, Харьков,
М.А. ПРОЦЕНКО, вед.спец., нач.отд., ГП «НИИ Технологический институт приборостроения», Харьков,
И.С. ХАТНЮК, асп., ХНУРЭ, Харьков,
Л.С. ФЕДОСЕЕВ, маг., ХНУРЭ, Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МИКРОМОНТАЖА МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИБКИХ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

У роботі розглядається процес оптимізації технологічної операції УЗ-мікрозварювання з використанням методів математичного планування експерименту, аналізується вплив технологічних чинників на міцність зварних мікроз'єднань.

Ключові слова: зварне мікроз'єднання, планування експерименту, міцність, чинники, оптимізація.

В работе рассматривается процесс оптимизации технологической операции УЗ-микросварки с использованием методов математического планирования эксперимента, анализируется влияние технологических факторов на прочность сварных микросоединений.

Ключевые слова: сварное микросоединение, планирование эксперимента, прочность, факторы, оптимизация.

In this paper the process of US-bonding operation optimization using mathematical experiment planning methods is considered, the influence of technological factors on the microbonds mechanical strength formation is analyzed.

Keywords: microbond, experiment planning, mechanical strength, factors, optimization.

Введение

В производстве многослойных конструкций гибких коммутационных структур (ГКС) широко используются технологические процессы сборки и монтажа. Ультразвуковая микросварка (УЗ-микросварка) является одним из основных методов формирования межсоединений металлических проводников благодаря целому ряду ценных технологических свойств [1-2]. Для обеспечения качества ГКС, особенно в микроэлектронном исполнении, существует потребность в воспроизводимости требуемых конструктивно-технологических характеристик сварных микросоединений, так как процесс образования монтажного соединения характеризуется сложным взаимодействием технологических факторов (мощности ультразвукового генератора, сварочного усилия и времени сварки).

Оптимизация технологической операции УЗ-микросварки, за счёт выбора определённого сочетания технологических параметров процесса микромонтажа, является эффективным методом повышения прочности и надёжности сварных микросоединений [1]. Оптимальные режимы ТО могут быть определены двумя способами: методом эмпирического подбора и с использованием методов математического планирования эксперимента [3].

Планирование эксперимента позволяет варьировать одновременно все факторы (параметры) технологического процесса и получать количественные оценки как основных факторов, так и эффектов взаимодействия между ними, причем получаемые результаты характеризуются меньшей ошибкой, чем традиционные методы однофакторного исследования [4].

Методика проведения исследований

Для экспериментальных исследований взят двухслойный алюминий-полиимидный тестовый образец двухслойной гибкой коммутационной платы (ТО ДГП), основные технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Формирование сварных микросоединений осуществлялось на механизированной установке УС.ИММ-1, сварочным инструментом типа ИУ1-130 [2].

Тестовый образец коммутационной платы изготовлен в условиях действующего производства с применением автоматического ультразвукового сварочного оборудования и склеивания составных верхней и нижней гибких плат.

Таблица 1. Конструктивные параметры тестового образца гибкой коммутационной платы

Конструктивные параметры	Значение
Габаритные размеры ГКП: - длина, мм - ширина, мм - толщина, мкм	70 140 50
Ширина проводников: - нижнего слоя, мкм - верхнего слоя, мкм	210 100
Шаг между проводниками: - нижнего слоя, мкм - верхнего слоя, мкм	300 200

Прочность получаемых сварных микросоединений, обозначенная как y (г), в основном зависит от следующих технологических режимов (факторов): выходной мощности УЗ-генератора x_1 (ед), времени сварки x_2 (ед), усилия, прилагаемого к рабочему инструменту x_3 (г). Необходимо с помощью ПФЭ найти математическое описание операции сварки, в окрестностях точки с координатами $x_{01}=3.4$ ед, $x_{02}=70$ ед, $x_{03}=26$ г.

Решение общей задачи исследования было разбито на несколько этапов: вычисление построчного среднего значения функции отклика и дисперсий отклика в каждой точке плана эксперимента; проверка однородности построчных дисперсий; определение коэффициентов математической модели; определение дисперсии воспроизводимости; оценка статистической значимости коэффициентов модели; адекватности модели и данных экспериментов, формирование выводов о возможности применения разработанной модели;

оптимизация технологической операции УЗ-микросварки при помощи одного из методов оптимизации.

Проведение факторного эксперимента и анализ полученных результатов

Предварительными исследованиями определено, что на величину механической прочности сварных микросоединений в основном оказывают влияние три фактора процесса монтажа: мощность ультразвукового генератора, сварочное усилие и время сварки.

В планируемых экспериментах требовалось достигнуть оптимума прочности микросоединений при принятых ограничениях на основные технологические факторы УЗ-микросварки (таблица 2).

Таблица 2. Основные характеристики плана эксперимента

Характеристика	x_1 , ед	x_2 , ед	x_3 , Г
Основной уровень	3,4	70	26
Интервал варьирования	0,8	20	8
Верхний уровень	4,2	90	34
Нижний уровень	2,6	50	18
Область допустимых значений факторов	(0÷10)	(0÷90)	(0÷40)

Для построения математической модели операции УЗ-микросварки реализован полный факторный эксперимент (ПФЭ 2^3). Верхний и нижний уровни (таблица 2) устанавливались экспериментально при проведении предварительных однофакторных опытов. Исходя из значений этих параметров определялся центр плана и шаг варьирования. В безразмерной системе координат верхний уровень выражался как (+1), нижний уровень $-(-1)$, координаты центра плана приравнивались к нулю.

Количество опытов рассчитывалось по формуле

$$N=n^k, \quad (1)$$

где k – число факторов, n – количество уровней, то есть для двухуровневого полнофакторного эксперимента $N = 2^3$.

Таким образом, план ПФЭ 2^3 позволил исследовать 8 вариантов технологической операции УЗ-микросварка с одновременным варьированием всех трёх факторов на двух уровнях: верхнем (+1) и нижнем $-(-1)$, среднее арифметическое между верхним и нижним уровнями представляет собой средний уровень.

Матрица планирования полного факторного эксперимента для рассмотренных трёх факторов представлена в табл. 3. Нулевой фактор (x_{0i}) характеризует неучтенные факторы, влияющие на параметр оптимизации, и необходим для определения свободного члена уравнения регрессии b_0 . Результаты эксперимента в каждой из серий испытаний представлены в столбцах y_1, y_2, y_3 , их среднее значение – в столбце $\bar{y}_i$. Для определения коэффициентов взаимодействия, матрица планирования была расширена дополнительными столбцами, учитывающими эффект двойного и тройного взаимодействия

факторов. Эффекты взаимодействия определялись аналогично линейным эффектам [4-5].

Проверка показала, что экспериментальные данные являются нормально распределенными и однородными.

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по методу наименьших квадратов.

Таблица 3. Матрица планирования ПФЭ 2^3

№ точки и плана	Факторы эксперимента (режимы УЗ-микросварки)								Отклики (прочность монтажных соединений)			
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{1i}	y_{2i}	y_{3i}	$\bar{y}_i$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	12	13	10	11,67
2	+	-	+	+	-	-	+	-	15	14	13	14
3	+	-	+	-	-	+	-	+	10	13	15	12,67
4	+	-	-	+	+	-	-	+	12	8	10	10
5	+	+	-	-	-	-	+	+	21	18	22	20,33
6	+	+	-	+	-	+	-	-	24	18	22	21,34
7	+	+	+	-	+	-	-	-	16	17	19	17,34
8	+	+	+	+	+	+	+	+	22	21	18	20,34

Любой коэффициент уравнения регрессии определяется скалярным произведением столбца y на соответствующий столбец, отнесенным к числу опытов в матрице планирования N (табл. 3)

$$b_i = \sum_{i=1}^N \bar{y}_{ik} x_{ik} / N \quad (2)$$

где b_i – коэффициент регрессии, N – число возможных комбинаций; x_{ik} – значение переменной в соответствующем столбце, $\bar{y}_{ik}$ – среднее значение отклика (прочности микросоединения).

В соответствии с данными табл. 3 рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии. Величина коэффициента регрессии (b_k) характеризует вклад каждого фактора (x_i) технологической операции УЗ-микросварки в значение уровня качества (прочности) (y_i) сварного микросоединения.

Полученное уравнение регрессии имело следующий вид:

$$\hat{y} = 15,96 + 3,88x_1 + 0,13x_2 + 0,46x_3 - 1,12x_1x_2 + 0,54x_1x_3 + 0,62x_2x_3 - 0,13x_1x_2x_3.$$

Полученные данные свидетельствуют о том, что усилие мощность УЗ-генератора (амплитуда УЗ-колебаний) существенно влияет на прочность получаемого микросоединения.

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента [3-4]. Дисперсия воспроизводимости коэффициентов регрессии составила 4,25. Коэффициенты регрессии считали отличными от нуля, если выполнялось следующее неравенство:

$$|b_i| > t_{0,05}(f)S\{b_i\}, \quad (3)$$

где f – число степеней свободы, $t_{0,05}$ – критерий Стьюдента при 5 % уровне значимости, который находится по таблице [5].

Полученные результаты расчёта свидетельствуют о том, что следует признать значимыми коэффициенты b_0 , b_1 , b_{12} и включить их в модель, а коэффициенты b_2 , b_3 , b_{13} , b_{23} , b_{123} незначимы и их следует отбросить, не включая в искомую модель. На основании полученных данных математическая модель (уравнение регрессии), включающая только значимые коэффициенты, приобрела следующий вид

$$\hat{y} = 15,96 + 3,88x_1 - 1,12x_1x_2. \quad (4)$$

Проверка адекватности полученной модели проведена с использованием F -критерия Фишера [3-4]. Расчётное значение коэффициента Фишера $F_p=2,36$ оказалось меньше табличного $F_T=2,85$, что доказало адекватность найденной модели.

На основании результатов проведенного ПФЭ можно предположить, что для дальнейшей оптимизации операции УЗ-микросварки применение метода «крутого восхождения» [4-5] будет эффективным, так как полученная линейная модель адекватна и не является резко асимметричной относительно коэффициентов.

На следующем этапе исследований расчет крутого восхождения проведен в следующей последовательности.

1) Величина шага движения по градиенту прочности сварных микросоединений рассчитана по стандартной методике, исходя из значений коэффициентов регрессии [2-5].

С этой целью переход к новому натуральному масштабу интервалов варьирования осуществлён с помощью формулы:

$$L_i = b_i \delta_i, \quad (5)$$

где b – коэффициенты регрессии, δ_i – единицы варьирования.

Рассчитано, что $L_1 = 3,1$, $L_2 = 2,6$, $L_3 = 3,68$. Абсолютная величина $|L_{max}|$ принимало наибольшее значение для фактора нагружение рабочего инструмента, следовательно, этот фактор был принят в качестве базового. Для остальных факторов новые коэффициенты рассчитывались по формуле

$$\gamma_i = L_i / |L_{max}|, \quad (6)$$

где γ_i – новые коэффициенты при значимых факторах.

Рассчитанные коэффициенты составили для факторов: мощность УЗ-генератора, время сварки, нагружение рабочего инструмента соответственно: $\gamma_1 = 0,84$, $\gamma_2 = 0,71$, $\gamma_3 = 1$.

2) Для базового фактора (x_3) выбран модуль шага движения по градиенту ($h_{баз.}$). Шаг движения не должен превышать интервала варьирования по базовому фактору $h_{баз.} = \delta_{баз.}$. Поэтому, в нашем случае, учитывая, что $\delta_{баз.3} = 8$, приняли, что $h_{баз.} = 2$. Далее были рассчитаны шаги движения остальных факторов (h_i) по формуле: $h_i = h_{баз.} \gamma_i$. Округлив значения h_1 , h_2 , получили следующие шаги движения по градиенту: $h_1 = 1,7$; $h_2 = 1,4$.

3) Рассчитаны условия и результаты опытов крутого восхождения (мысленных опытов). Значения факторов, определяющие условия опытов, определены по формуле

$$X_{ji} = X_{j-1,i} + h_i, \quad (7)$$

где j – номер опыта, i – номер фактора. Результаты мысленных опытов (y_{jm}) рассчитаны по модели (7) для X_{ji} , вычисленных по формуле $X_{ji} = X_{j-1,i} + h_i$.

Движение по градиенту считали эффективным, если реализация мысленных опытов, рассчитанных на стадии крутого восхождения, приводила к увеличению значения параметра оптимизации (прочности сварных микросоединений) по сравнению с наилучшим результатом в матрице полного факторного эксперимента (табл. 4).

Как видно из табл. 4, прочность сварных микросоединений, выявленная в реализованном опыте № 1, составила 27 г. Кроме того, реализован опыт № 3 в котором при движении по градиенту, фактор (x_1) достигал границ допустимых значений, при этом значение параметра оптимизации начало уменьшаться начиная со второго опыта, что дало сигнал о прекращении движения по градиенту т.к оптимум был найден (табл. 4).

Таблица 4. Режимы ТО УЗ-микросварка и прочность сварных микросоединений, выявленная в результате мысленных и реализованных опытов методом «крутого восхождения»

№ опыта	x_1 , ед	x_2 , ед	x_3 , Г	$U_{\text{мысл}}$, Г	$U_{\text{реал}}$, Г
1	3,4	70	26	16	27
2	5,1	71,4	28	15	14
3	6,8	72,8	30	14	13

Выводы

Для оптимизации технологической операции УЗ-микросварки целесообразным, на наш взгляд, является использование метода ПФЭ, позволяющего поставить большое количество опытов, реализовать все возможные комбинации основных уровней независимых переменных факторов среды, установить оптимальные сочетания технологических режимов с учетом их совместного влияния на прочность получаемых микросоединений.

В результате планирования и выполнения факторного эксперимента определены оптимальные режимы для операции УЗ-микросварки: мощность УЗ-генератора – 3,4 ед; время микросварки – 70 ед, нагружение рабочего инструмента – 26 г.

Список литературы: 1. Борцов, В. Н. Исследование и выбор оптимальных технологических режимов сварки для автоматизации монтажа гибких алюминий-полиимидных микрокабелей [Текст] / В. Н. Борцов, И. Ш. Невлюдов, М. А. Проценко, И. Т. Тымчук, И. С. Хатнюк // Технология приборостроения. - 2011. - №1. - С. 3 - 8. 2. Замирец, Н.В. Алюминиевая “Chip on flex” (COF) технология в радиационном приборостроении [Текст] / Н. В. Замирец, В. Н. Борщев, А. М. Листратенко, В. А. Антонова, Л. П. Семенов, М. А. Проценко, И. Т. Тымчук // Технология приборостроения. - 2007. - №2. - С.3-9. 3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. - М. : Наука, 1976. - 280 с. 4. Саутин, С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / С. Н. Саутин. - М.: Химия, 1975. - 50 с. 5. Налимов, В. В. Логические основания планирования эксперимента [Текст] / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. - М.: Металлургия, 1981. - 155 с.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 005.01:005.8

В.И. ЧИМШИР, канд.техн.наук, доц., зав.кав., Одесская национальная морская академия

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ СИТУАЦИЙ

Рассмотрено состояние проблемы формирования целей управления процессами функционирования сложных систем. Отмечена необходимость ситуативного рассмотрения процесса формирования цели. Предложено осуществлять формирование целей управления процессами функционирования сложных систем в пространстве ситуаций с помощью ситуативных полей. Данный подход позволяет более эффективно прогнозировать состояние системы во времени с учетом дрейфа ситуаций.

Ключевые слова: управление, функционирование системы, пространство ситуаций, ситуативное поле.

Розглянуто стан проблеми формування мети управління процесами функціонування складних систем. Відзначено необхідність ситуативного розгляду процесу формування мети. Запропоновано здійснювати формування мети управління процесами функціонування складних систем в просторі ситуацій за допомогою ситуативних полів. Даний підхід дозволяє більш ефективно прогнозувати стан системи з урахуванням дрейфу ситуацій.

Ключові слова: управління, функціонування системи, простір ситуацій, ситуативне поле.

There was reviewed the state of the problem for the process control of purposes formation of complex systems. There was noted the needs to consider the formation of situational purposes. There was proposed carrying out the purposes of process control of complex systems forming in the space of situations with the help of situational fields. This approach allows anticipating the system state at the time in more efficient way, taking into account the drift of situations.

Key words: management, system performance, space management, situational field.

Известно, что цели являются исходной точкой планирования и в их основе лежит построение организационных отношений. На целях базируется система мотивирования, контроля и оценки результатов функционирования, как отдельных элементов сложной системы, так и ее в целом. Таким образом, функционирование сложных систем носит целенаправленный характер.

Типичным актом такого функционирования является планирование пути достижения нужной цели из некоторой фиксированной начальной ситуации в конкретно заданную, а результатом такого планирования, является сформированное дерево целей управления процессами в пространстве ситуаций[1].

Решению задачи построения плановой траектории управляемого объекта посвящено огромное количество трудов[2]. Несмотря на это, практическое использование результатов этих исследований весьма проблематично. Обоснованность данного утверждения подтверждается тем фактом, что любая

попытка осуществить перевод объекта под действием управления из начального состояния в желаемое конечное упирается в принципиальную невозможность математически точного определения начальных условий объекта [3].

Такая проблема порождает необходимость ситуативного рассмотрения процесса формирования цели и динамику ее изменения.

В связи с выше сказанным, **целью данного исследования** является обоснование динамики формирования целей управления процессами функционирования сложных систем в пространстве ситуаций.

Ситуацию можно определить как уникальный набор множества событий, каждое из которых характеризуется группой параметров принимающих в конкретный момент времени определенные значения.

Фактически, задачи формирования цели можно разбить на два типа, которым соответствуют различные модели: формирование цели в пространстве состояний и формирование цели в пространстве задач [4].

В первом случае задается или берется за основу некоторое пространство ситуаций. Описание ситуаций включает состояние внешней среды и внутреннее состояние сложной системы, характеризуемые рядом параметров. Ситуации образуют некоторые обобщенные состояния, а действия сложной системы или изменения во внешней среде приводят к изменению актуализированных в данный момент состояний. Среди обобщенных состояний особое значение имеет начальные состояния и конечные, т.е. целевые состояния.

В связи с высказанной характеристикой, решение первой задачи состоит в постановке цели, определяющей план действий и ведущий из начального состояния в одно из конечных. При решении второй задачи пространство образуется множеством задач, решение которых системе известно.

В нашем исследовании, в большей степени, остановимся на рассмотрении первой задачи.

Процесс функционирования сложной системы и ее взаимодействие с окружающей средой представим в виде трех групп параметров: первые определяют исходное состояние среды, вторые определяют исходное состояние системы, третьи определяют потребности системы в результирующем состоянии среды

$$K=(k_1, k_2, k_3, \dots). \quad (1)$$

Таким образом, окружающая среда с точки зрения системы выступает в виде конечного (или бесконечного) набора ее параметров K определяющих ситуации s_i ,

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_n). \quad (2)$$

Каждая ситуация s_i при необходимости может быть изменена. Вектор изменения ситуации может быть определен из начально заданных параметров либо эмпирически, на основе приобретенного опыта функционирования подобных систем.

Иначе говоря, воспринимаемая системой совокупность ситуаций всегда управляема:

$$S(U) = (s_1(u_1), s_2(u_2), \dots, s_n(u_n)), \quad (3)$$

где U — управление со стороны системы (результирующий план действий);

u_i — i -тое управление со стороны системы в ситуации s_i (i - ый план действий, где $i=1,2,...,n$).

Причем управление осуществляется по средствам изменения исходных параметров системы и среды в соответствии с ситуацией

$$u_i = (k_1^i, k_2^i, k_3^i, \dots). \quad (4)$$

Определим пространство ситуаций $\{S\}$, как совокупность ситуаций s_i ($i=1,...,n$) образовавшихся вокруг системы (рис. 1). Через это ситуационное пространство $\{S\}$ система воспринимает окружающую ее среду и другие системы.

Для наглядного примера движения системы в пространстве ситуаций $\{S\}$ сгруппируем параметры событий, из которых состоит каждая ситуация, в две группы K_1 и K_2 , представив их в виде системы координат.

Обозначив область S^* как область ситуаций желаемого состояния системы, рассмотрим возможные модели формирования цели.

Если предположить, что в некоторый момент времени система находилась в ситуации s_1 , переход системы в ситуации s_k демонстрирует характерное

поведение системы в сложной ситуации, когда для формирования основного вектора перехода в желаемое состояние пришлось преодолеть направление первичного вектора. На рис.1 видно, что переход в состояние s_{k+t} вовсе не является закономерным, более того как только целевой вектор Z перестает коррелировать с вектором параметров среды K отмечается резкий уход от заданного вектора движения системы.

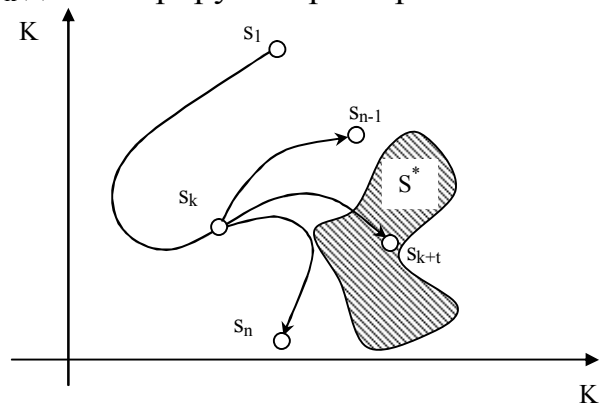


Рис. 1. Пространство ситуаций

Еще один вопрос, возникающий при обсуждении траектории движения системы в пространстве ситуаций, связан с оптимальностью пути. Действительно продемонстрированная траектория системы обусловлена не только первичным

состоянием вектора движения, а и благоприятностью ситуаций развивающейся вокруг изменения параметров среды и системы. Введем понятие *ситуативного поля*, под которым будем понимать визуальную демонстрацию благоприятности изменения параметров среды и системы: светлые участки благоприятны, темные менее благоприятны (рис.2).

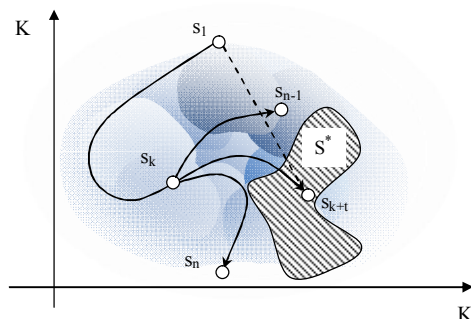


Рис. 2. Пространство ситуаций в ситуативном поле

Таким образом, целевые понятия необходимо формировать в пространстве спрогнозированных ситуаций с учетом ситуативных полей.

Пусть эти целевые понятия в пространстве ситуаций описываются вектором

$$Z = (z_1, \dots, z_n), \quad (5)$$

где каждый целевой параметр z_i однозначно определяется ситуацией s_i , т. е.

$$z_i = \varphi_i(s_i) \quad (i = 1, \dots, n), \quad (6)$$

а функции φ_i определяют связь состояния среды i и целевого параметра z_i . В векторной форме эта связь выражается в виде

$$Z = \Phi(S), \quad (7)$$

где

$$\Phi(S) = (\varphi_1(s_1), \dots, \varphi_n(s_n)) \quad (8)$$

Φ — некоторая определенная функция.

Часто, преобразование функции Φ в форму Z необходимо потому, что системные требования обычно формулируются в целевых параметрах, связанных с желаемыми изменениями, а не в тождественных параметрах K состоянию S . В частном случае можно предположить, что $Z=S$, но это бывает достаточно редко. Например, при функционировании социотехнической системы одной из целей может быть установлено повышение надежности технической подсистемы z_i , что для системы в целом выражается в вероятности безотказной ее работы, а ситуативный параметр s_i будет выражен набором временных параметров безотказной ее работы.

Рассмотрим детальнее n -мерное пространство целей $\{Z\}$, образованное пространством ситуаций $\{S\}$ и его параметрами $\{K\}$. Оно может выражаться различным образом. Однако для формализации его необходимо свести к следующей форме:

- 1) определить начальное значение $z_i = \varphi_i(s_i)$;
- 2) ограничить z_i определенным диапазоном значений, $a_i \leq z_i \leq b_i$;
- 3) минимизировать $z_i \rightarrow \min$.

$$S^* : \begin{cases} z_i = \varphi_i(s_i) \\ a_i \leq z_i \leq b_i \\ z_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (9)$$

Если цели системы $\{Z\}$ не могут быть сведены к этой форме, то нельзя говорить о создании формальной системы управления для достижения этих целей.

Однако практика показывает, что к такого рода требованиям сводятся почти все ситуации, которые встречаются в управлении системами.

Таким образом, процесс формулировки целей Z системы связан, во-первых, с определением функции $\Phi(S)$ и, во-вторых, с выработкой требований, накладываемых на каждую составляющую этого вектора.

Удастся ли системе, с помощью сформированных целей, достичь желаемого состояния среды, зависит от ее возможностей воздействовать на среду, т.е. от вида зависимости

$$S = S(U) \quad (10)$$

и от ресурсов R , выделяемых на управление:

$$U \in R. \quad (11)$$

Эти ресурсы определяют временные, материальные, энергетические и другие возможности управления U .

Рассмотренная нами проблематика формирования целей системы в пространстве ситуаций основана на фиксации исходных и желаемых параметров среды, однако, основная динамика параметральных изменений достигается влиянием временного фактора. Другими словами, система и среда не являются статическими, во времени наблюдается так называемый дрейф ситуаций с диффузным эффектом. Поэтому кроме траектории движения системы необходимо учитывать ситуативные изменения среды. Один из способов прогнозирования может быть основан на ситуативных полях.

Если на ситуативном поле наблюдается траектория диффузного дрейфа области ситуации $S^*(t)$ проходящая через зону, ситуативного нахождения системы то управление сводится к пассивному ожиданию наступления желаемого результата. Однако, при управлении проектами функционирования сложных систем подобное событие маловероятно, хотя теоретически возможно. Даже при позитивной динамике изменения ситуаций со стороны системы осуществляется управление (12) с целью минимизировать риски связанные с ситуативно-временными изменениями среды.

$$S(U, t) \rightarrow S^* \quad (12)$$

где t – временная составляющая ситуативного управления.

Таким образом, управление U в пространстве ситуаций, в первую очередь направленно на:

- 1) реализацию поставленной цели управления Z ;
- 2) компенсацию диффузного дрейфа ситуаций, который, как правило, усугубляет процесс достижения цели.

Поэтому последующие исследования процессов управления в пространстве ситуаций следует рассматривать с двух точек зрения: во-первых, как средство реализации поставленных целей, во-вторых, как средство компенсации неблагоприятных изменений в среде, нарушающих выполнение этих целей.

Список литературы: 1. *Растрюгин Л.А.* Адаптация сложных систем. —Рига: Зинатне, 1981. — 375 с. 2. *Теория систем и системный анализ в управлении организациями: ТЗЗ Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова.* - М.: Финансы и статистика, 2006. - 848 с: ил. 3. *Деревицкий Д.П., Фрадков А.Л.,* Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления. – М.: Наука, 1981. 4. *Аверкин, А.Н.* Обобщенные стратегии в решателях проблем [Текст] / А.Н. Аверкин и др. // Техническая кибернетика. - 1978. - № 5. - с. 71 - 83.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.373.072.9

В.В. РАПИН, канд.техн.наук, доц., УПА, Харків,
А.И. ФЕДЮШИН, канд.техн.наук, доц., УПА, Харків

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ КРУТИЗНЫ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРАМЕТР СИГНАЛА СИНХРОНИЗИРОВАННОГО АВТОГЕНЕРАТОРА

Досліджений вплив флуктуацій крутизни підсилювального елементу автогенератора на флуктуаційну складову зсуву фази сигналу автогенератора при роботі його в режимі синхронізації на основному тоні. Показано, що при певних частотних розладах автогенератор

пригнічує цей вплив. Получені флуктуаційні рівняння запропоновани для моделювання завадостійкості, як окремих автогенераторів, так і їх систем.

Ключові слова: автогенератор, синхронізація, крутизна, флуктуації.

Исследовано влияние флуктуаций крутизны усилительного элемента автогенератора на флуктуационную составляющую сдвига фазы сигнала автогенератора при работе его в режиме синхронизации на основном тоне. Показано, что при определенных частотных расстройках автогенератор подавляет это влияние. Полученные флуктуационные уравнения предназначены для моделирования помехоустойчивости, как отдельных автогенераторов, так и их систем.

Ключевые слова: автогенератор, синхронизация, крутизна, флуктуации.

Steepness fluctuations influence of oscillator gain element on the fundamentally injected oscillator signal phase shift is investigated. It is shown that at the certain frequency detuning the oscillator suppresses this influence. Obtained equations are intended for modeling jam protection, both separate oscillators and their systems.

Keywords: oscillator, synchronization, steepness, fluctuations.

1. Введение

Широкое использование синхронизированных автогенераторов в радиотехнике, связи, информационно-измерительной технике, автоматике делает актуальной задачу расширения их функциональных возможностей и улучшения характеристик, а также определяет исключительную практическую значимость автоколебательной тематики в теоретических и экспериментальных исследованиях в течение многих десятилетий. Однако влияние флуктуаций параметров рассматривалось только при работе автогенератора в режиме колебаний первого рода и сигнале синхронизации в виде напряжения, подаваемого на вход усилительного элемента [1-3]. Полученные результаты стали уже классикой. Однако в настоящее время такой режим работы и способ подачи синхронизирующего сигнала не является оптимальными. Целью статьи является исследование влияния флуктуаций крутизны усилительного элемента синхронизированного одноконтурного LC- автогенератора на его информационный параметр – сдвиг фазы при работе в режиме колебаний второго рода и синхронизации на основном тоне сигналом в виде тока, поступающим непосредственно в контур.

2. Разработка математической модели

Рассмотрим автогенератор с трансформаторной обратной связью, представленный на рис. 1.

Результаты, как известно, не изменятся существенно, если исходить из иной схемы одноконтурного автогенератора. Усилительный элемент автогенератора считаем безынерционным и проходную динамическую характеристику его аппроксимируем полиномом четвертой степени $i = a_0 + a_1 u_y + a_2 u_y^2 + a_3 u_y^3 + a_4 u_y^4$, где

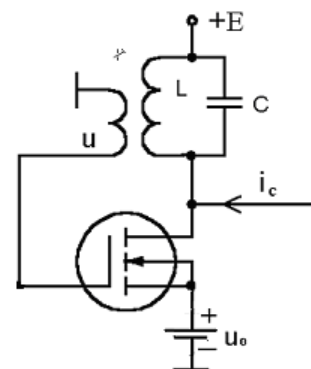


Рис.1. Автогенератор синхронизированный на основном тоне

$u_y = u + u_0$ управляющее напряжение, u_0 - смещение, а u - напряжение положительной обратной связи на входе усилительного элемента. Сигнал синхронизации описывается соотношением $i_c = I_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$.

Крутизна проходной динамической характеристики усилительного элемента автогенератора представлена в виде суммы детерминированной составляющей и флуктуационной $s = s_0 + s_\phi$. Тогда на основании законов Кирхгофа можно записать основное уравнение одноконтурного автогенератора следующим образом

$$\frac{d^2 u}{d\tau^2} - \varepsilon \frac{d}{d\tau} \{u - \beta u^2 - \gamma u^3 - \delta' u^4 - \frac{s_\phi}{s_0} (\frac{s_0}{\alpha_0} u + \beta u^2 + \gamma u^3 + \delta' u^4)\} + \frac{\omega_0^2}{\omega_c^2} u = \varepsilon \frac{KR}{\alpha} \frac{di_c}{d\tau},$$

где

$\varepsilon = \delta_k \alpha$ - малый параметр; $\tau = \omega_c t$ - безразмерное время; $\alpha = (KR\alpha_0 - 1)$; $\beta = \beta_0 / \alpha_0'$; $\gamma = \gamma_0 / \alpha_0'$; $\delta = \delta_0 / \alpha_0'$; $\delta_0 = a_4$; $\alpha_0 = a_1 + 2a_2 u_0 + 3a_3 u_0^2 + 4a_4 u_0^3$; $\beta_0 = a_2 + 3a_3 u_0 + 6a_4 u_0^2$; $\gamma_0 = a_3 + 4a_4 u_0$; $\alpha_0' = -\alpha_0 + 1/(KR)$; $\delta_k = 1/Q$; ω_0, R, Q - резонансная частота контура автогенератора, его сопротивление и добротность, K - модуль коэффициента положительной обратной связи, M - взаимная индуктивность.

Учитывая высокую добротность контура автогенератора считаем амплитуду и фазу колебаний медленно меняющимися функциями времени. Решение уравнения ищем в виде $u = A \cos(\omega_c t + \varphi)$. Используя метод усреднения, получаем математическую модель в виде укороченных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dA}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \left(\frac{3}{4} \gamma A^3 - A \right) + \frac{\varepsilon}{2} \left(\frac{3}{4} \gamma A^3 + \frac{s_0}{\alpha_0'} A \right) \frac{s_\phi}{s_0} &= \frac{\varepsilon}{2} \frac{KR}{\alpha} I_c \cos(\varphi - \varphi_c) \\ \frac{d\varphi}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \frac{KR}{\alpha A} I_c \sin(\varphi - \varphi_c) &= -\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right). \end{aligned}$$

где $(\Delta\omega/\omega_0) = (\omega_c - \omega_0)/\omega_0 \ll 1$, $s_0/\alpha_0' = -s_0 KR/(KR s_0 - 1)$, $\alpha = KR s_0 - 1$

3. Разработка и исследование флуктуационных уравнений

Амплитуду и фазу колебаний представим в виде суммы большой детерминированной и малой флуктуационной составляющих, $A = A_0 + \rho(\tau)$, $\varphi = \varphi_0 + \varphi_\phi$. Рассматриваем амплитудные и фазовые флуктуации для установившегося режима автогенератора. Подставляя эти выражения в укороченные уравнения переходим к уравнениям флуктуационным.

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \left(\frac{9}{4} \gamma A_0^2 - 1 \right) \rho + \frac{\varepsilon}{2} \left(\frac{3}{4} \gamma A_0^3 + \frac{s_0}{\alpha_0'} A_0 \right) \frac{s_\phi}{s_0} &= -\left[\frac{\varepsilon}{2} \frac{KR I_c}{\alpha} \sin(\varphi_0 - \varphi_c) \right] \varphi_\phi, \\ \frac{d\varphi_\phi}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} \left[\frac{KR I_c}{\alpha A_0} \cos(\varphi_0 - \varphi_c) \right] \varphi_\phi - \frac{\varepsilon}{2} \frac{KR I_c}{\alpha A_0} \frac{\rho}{A_0} \sin(\varphi - \varphi_c) &= 0. \end{aligned}$$

Введем относительную флуктуацию амплитуды $\eta = \rho(\tau)/A_0$ и безразмерную амплитуду колебаний $y = A_0/A_{00}$, $A_{00} = \sqrt{4\alpha_0'/(3\gamma_0)}$, A_{00} и A_0 - амплитуды колебаний автогенератора в автономном режиме и в режиме синхронизации; $B = I_c/I_0$, $I_0 = A_{00}/R$, $\theta^0 = \varphi_0 - \varphi_c$. Теперь, переходим к иной форме

флуктуационных уравнений, описывающих малые флуктуаций амплитуды и фазы колебаний сигнала синхронизированного автогенератора

$$\frac{d\eta}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2}(3y^2 - 1)\eta + \frac{\varepsilon}{2}\left[\frac{B}{\alpha y}\sin(\theta^0)\right]\varphi_\phi = -\frac{\varepsilon}{2}\left(y^2 + \frac{s_0}{\alpha_0}\right)\frac{s_\phi}{s_0},$$

$$\frac{d\varphi_\phi}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2}\left[\frac{B}{\alpha y}\cos(\theta^0)\right]\varphi_\phi - \frac{\varepsilon}{2}\left[\frac{B}{\alpha y}\sin(\theta^0)\right]\eta = 0.$$

Полученные дифференциальные уравнения являются линейными и с постоянными коэффициентами, а потому могут быть легко решены. Поскольку флуктуации крутизны являются медленными, то производными можно пренебречь. Тогда

$$(3y^2 - 1)\eta + \left[\frac{B}{\alpha y}\sin(\theta^0)\right]\varphi_\phi = -\left(y^2 + \frac{s_0}{\alpha_0}\right)\frac{s_\phi}{s_0},$$

$$\left[\frac{B}{\alpha y}\cos(\theta^0)\right]\varphi_\phi - \left[\frac{B}{\alpha y}\sin(\theta^0)\right]\eta = 0.$$

Далее получаем выражение, описывающее флуктуации фазы

$$\varphi_\phi = -\left[\frac{\left[y^2 + s_0/\alpha_0'\right]\sin(\theta^0)}{\{(3y^2 - 1)\cos(\theta^0) + \frac{B}{\alpha y}[\sin(\theta^0)]^2\}}\right]\frac{s_\phi}{s_0}.$$

Поскольку сигнал синхронизации предполагается малым, то $B/\alpha \ll 1$, а $y \approx 1$, но $y > 1$. Тогда в полосе синхронизации, за исключением концов, имеем

$$\varphi_\phi \approx -\left[\frac{(y^2 + s_0/\alpha_0')}{(3y^2 - 1)}\right]\frac{s_\phi}{s_0} \operatorname{tg}(\theta^0).$$

На концах полосы синхронизации

$$\varphi_\phi = \frac{1}{B} \frac{s_\phi}{s_0}.$$

Поскольку $B < 1$, то следовательно, на концах полосы синхронизации флуктуации фазы сильно возрастают.

Ширина диапазона фазовых сдвигов, где нестабильность подавляется, зависит от величины множителя $\frac{(y^2 + s_0/\alpha_0')}{(3y^2 - 1)}\operatorname{tg}(\theta^0)$. Учитывая численные значения параметров, после несложных преобразований, получаем приближенное выражение $(1 + s_0/\alpha_0')[\operatorname{tg}(\theta^0)]/2 = \frac{\operatorname{tg}(\theta^0)}{2(KRs_0 - 1)}$. Этот параметр может меняться в значительных пределах. Если значение его меньше единицы, то автогенератор подавляет влияние внешних воздействий, т.е. уменьшает нестабильность сдвига фазы.

Очевидно, что в центре полосы синхронизации, при малых углах сдвига фазы, где значение $\operatorname{tg}(\theta^0)$ мало, влияние флуктуаций может быть сильно подавлено.

4. Эксперимент

Проверка полученных теоретических соотношений заключалась в определении различий между реальной величиной сдвига фазы и полученной в

результате численного решения укороченных уравнений для экспериментального автогенератора. Решение проводилось методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Исследовался синхронизированный на основном тоне автогенератора с параметрами $f_0 = 50 \text{ kHz}$, $\varepsilon = 1.7 \times 10^{-3}$, $R = 7.5 \text{ k}\Omega$, $u_0 = -1 \text{ V}$, $K = 0.16$, $I_c = 8 \mu\text{A}$, $\delta = 0.0213$, $B/\alpha = 0.133$. Проходная динамическая характеристика его усилительного элемента аппроксимировалась полиномом $i = 1.538 + 1.302u_c - 0.356u_c^2 - 0.502u_c^3 - 0.098u_c^4 \text{ mA}$.

Для экспериментальной проверки теоретической зависимости производился анализ характера изменения погрешности определения сдвига фазы в полосе синхронизации. Изменение крутизны в процессе эксперимента достигалось искусственным нагревом усилительного элемента. Различие между теорией и экспериментом в полосе синхронизации представлено на рис. 2, где $(\Delta\omega/\omega_0)_H$ - нормированная расстройка, отношение текущей расстройки к максимальной ее величине.

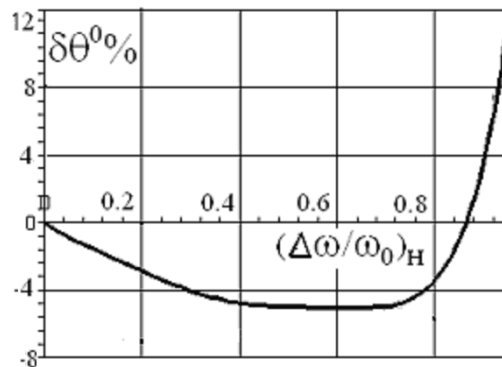


Рис. 2. Несоответствие расчетных и экспериментальных данных.

Характер изменения представленной зависимости подтверждает теоретически полученную, которая описывается тригонометрической функцией tg . Легко видеть, что резкое возрастание различия расчета и эксперимента начинается при значении эквивалентной нормированной расстройки равной приблизительно 0.76, что соответствует углу сдвига фазы равному 50° .

Из теоретических соотношений следует, что для автогенератора, синхронизированного на основном тоне, резкое возрастание погрешности должно начаться с того момента когда значение $\text{tg}(\theta^0)$ превысит 1, т.е. когда θ^0 превысит значение равное 45° . Хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных означает достаточно малую погрешность выражений, описывающих флуктуации сдвига фазы сигнала автогенератора.

Список литературы: 1. Малахов А.Н. Флуктуации в автоколебательных системах. –М.: Наука, 1968, -660 с. 2. Стратонович Р.Л. Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике. –М.: Наука, 1960, -550 с. 3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. –М.: Наука, 1976, -494 с

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.37/39.029

А.А. АНДРУСЕВИЧ, канд.техн.наук, доц., ХНУРЭ, Харьков,
И.Ш. НЕВЛЮДОВ, докт.техн.наук, проф., зав.каф., ХНУРЭ, Харьков,
И.В. ЖАРИКОВА, ассис., ХНУРЭ, Харьков

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Проанализированы характеристики существующих систем диагностики и контроля технологического оборудования. Рассмотрены эффективность систем диагностики и контроля

системы управления технологическим оборудованием и методы моделирования цифровых устройств таких систем.

Ключевые слова: радиоэлектронные средства, мониторинг жизненного цикла, система управления технологическим оборудованием, автоматизированная система контроля.

1. Введение

К числу наиболее важных функций мониторинга жизненного цикла (ЖЦ) наукоемкой продукции, реализуемых в настоящее время, относится контроль и прогнозирование состояния РЭС и процессов обеспечения их ЖЦ [1]. Для сложных систем, в том числе и ЖЦ РЭС, возникает необходимость принятия решений в ситуации отсутствия формальных методов постановки и решения задач, возникающих в ЖЦ РЭС. В таком случае мониторинг, способный отображать суть происходящих в ЖЦ РЭС процессов, позволяя строить математические и логические модели, становится действенным инструментом обеспечения ЖЦ РЭС.

Таким образом, разработка теоретических основ мониторинга, дающего возможность оценивать и прогнозировать состояние процессов ЖЦ РЭС в условиях отсутствия формальных методов моделирования для обеспечения возможности принятия эффективных решений при поддержке ЖЦ РЭС, является актуальной научно-технической проблемой. Одной из важнейших задач в этом направлении является создание и использование информационных технологий для обеспечения и мониторинга показателей жизненного цикла в производстве РЭС.

2. Характеристики существующих систем диагностики и контроля технологического оборудования

Основным объектом мониторинга показателей жизненного цикла в производстве РЭС являются производственные процессы, обеспечивающие сборку и монтаж [2]. В связи с этим представляется необходимым рассмотреть методы мониторинга технологического оборудования, как составную часть мониторинга производственной среды, обеспечивающей выполнение технологических операций сборки и монтажа РЭС, а также методы технологического мониторинга этих операций. Здесь мониторинг используется непосредственно для наладки, контроля, диагностики неисправностей и ремонта оборудования, являющегося, по сути, техническим обеспечением производственной среды.

Организация современных систем диагностики и контроля, включающих средства вычислительной техники и автоматизации, сталкивается с необходимостью стыковки разного, порой уникального, оборудования с ЭВМ. При этом должны быть согласованы функциональные и технические возможности самых разнообразных устройств в условиях многообразия и сложности решаемых задач [3-4]. Задача усложняется существованием множества возможных вариантов состава интерфейсного оборудования, соответствующего разным стандартам.

Особенности объекта диагностики (ОД) существенно влияют на характеристики проектируемой диагностической системы. Автоматизированная система контроля (АСК) может быть спроектирована для различных стадий

существования ОД: проектирование, производство, эксплуатация, которые так же значительно влияют на особенности системы.

АСК должна позволять оперативно создавать ДП и проводить диагностику и контроль – это необходимо для уменьшения простоев производственного оборудования и повышения эффективности его эксплуатации. Таким образом, АСК, используемая на этапе эксплуатации электронного оборудования, должна удовлетворять следующим общим требованиям:

- гибкость системы, позволяющая относительно быстро перестраиваться с одного ОД на другой;
- высокая достоверность результатов диагностики и контроля, снижающая требования к квалификации обслуживающего персонала;
- высокая производительность;
- самодиагностируемость системы;
- модульный принцип построения технических и программных средств, обеспечивающий свободу её развития.

Таковыми свойствами может обладать система, являющаяся совокупностью программных и аппаратных средств, построенной на основе персонального компьютера.

3. Эффективность систем диагностики и контроля системы управления технологическим оборудованием

При выборе характеристик процесса диагностики и контроля цифровых модулей системы управления технологическим оборудованием (СУТО) учитываются особенности цифровых устройств, состоящие в том, что в них могут применяться различные методы диагностики и контроля, цифровые модули могут иметь различное количество электронных компонентов, корпуса элементов модулей могут быть различных видов (DIP, SOIC, SMD) и т. д.

Кроме того, системы диагностики и контроля взаимодействуют с потоками случайных событий – однократными и многократными отказами, вызванными какими-либо внешними причинами. При этом пропущенные, необнаруженные отказы электронных элементов поступают во внешнюю среду и могут привести к различным отрицательным последствиям.

Таким образом, рассматриваемая система состоит из трех объектов и обеспечивает вычислительный процесс C

$$C(N, M, S), \quad (1)$$

где N – множество решаемых задач;

M – структура математического обеспечения;

S – структура аппаратного обеспечения.

Ошибки могут возникать при функционировании как математического обеспечения, так и аппаратного обеспечения, поэтому при решении одной определенной задачи частный показатель эффективности F_H выразится следующим образом

$$F_H = F(M) \wedge F(S), \quad (2)$$

где $F(M)$ – эффективность математического обеспечения;

$F(S)$ – эффективность аппаратного обеспечения;

$\wedge$ – символ произведения.

В частности, с учетом независимости ошибок в этих объектах для вероятности безотказной работы $P_H(t)$ запишем

$$P_H(t) = P_M(t) \cdot P_S(t), \quad (3)$$

где $P_M(t)$ – вероятности безотказной работы математического обеспечения;
 $P_S(t)$ – вероятности безотказной работы аппаратного обеспечения.

При выборе критериев эффективности систем диагностики и контроля необходимо исходить из анализа тех основных функций, для выполнения которых они предназначены. Оценка эффективности систем диагностики и контроля может производиться по следующим критериям, которые обеспечивают выполнение ряда требований:

- оперативность обнаружения неисправного элемента в цифровых модулях 1-го и 2-го порядка сложности;
- оперативность обнаружения неисправного элемента в модулях с регулярной структурой;
- оперативность обнаружения неисправного элемента в микропроцессорных модулях;
- оперативность обнаружения неисправного элемента при диагностике и контроле в условиях неопределенности;
- оперативность формирования тестовой последовательности;
- оперативность поиска контрольных точек;
- глубина поиска.

Для реализации всех вышеперечисленных требований необходимо решить определенные проблемы, которые состоят в самом описании систем управления процессом диагностики и контроля, учета в этом описании не только его специфической структуры, но и возможности изменений некоторых характеристик систем управления этим процессом во времени. Можно сформулировать ряд задач для реализации такого подхода:

- разработка метода принудительной диагностики цифровых модулей;
- разработка метода оперативного поиска контрольных точек цифровых модулей;
- модификация и формализация метода экспертной классификации наличия отказа в микропроцессорных системах;
- модификация и формализация метода автоматизированного формирования диагностических тестов на основе рабочих воздействий;
- усовершенствование метода троичного моделирования цифровых систем;
- разработка программного и аппаратного обеспечения технологического комплекса диагностики и контроля СУТО.

4. Моделирование цифровых устройств СУТО

Для анализа и синтеза цифровых устройств СУТО используют разнообразные методы и модели [5-6]. При анализе дискретных устройств и систем, описываемых уравнениями логического типа, обычно выделяют четыре уровня моделирования: системный, алгоритмический, логический и уровень элементарных вентилей.

Для оптимальной реализации процесса диагностики и контроля необходимо четко определить два существующих типа контроля электронных систем

технологического оборудования – технический контроль при разработке и изготовлении отдельных цифровых модулей и технический контроль при ремонте и наладке после определенного времени наработки.

Для решения задач поиска неисправности в СУТО желательно, чтобы применялся принцип «сверху вниз», при котором средства моделирования всех уровней учитывают требования технического контроля. Этого требует введение соответствующих описаний способов внесения в них нарушений и разработки эффективных методов их анализа.

Существующие в настоящее время модели для описания диагностических систем информационно-логического типа, как правило, используют только одно отношение, а именно бинарное отношение типа «тест-неисправность». Бинарным отношением R на множестве M называется подмножество R всех упорядоченных пар, принадлежащее $M \times M$. Бинарное отношение может задаваться различными способами: матрицами, ориентированными графами, сечениями.

В модели, связывающей неисправности с тестами, система представлялась как несвязанная группа функциональных элементов, вследствие чего связь «тест-неисправность» заменялась связью «тест-элемент», а сама неисправность рассматривалась, как неспособность элементов выполнять заданную функцию. Эта связь моделировалась путем сопоставления каждому тесту последовательности из N двоичных цифр, где каждая цифра соответствует элементу системы, причем k -я цифра равна 0, если тест проверяет k -й элемент, и 1, если тест не обнаруживает неисправность.

Развивается этот подход в направлении использования теоретико-информационных методов для оценки количества информации, которую несет тест, и выбора оптимальной последовательности тестов. Предполагается, что в системе имеется n неисправностей и m тестов для их обнаружения. Элемент d_{ij} таблицы равен 1, если тест t_j не проходит при неисправности f_i , и равен 0, если тест t_j проходит при неисправности. При этом решалась задача определения различимости неисправностей, а модель применялась при выборе оптимальной системы тестов.

Другие модели были использованы для комбинационных сетей. Применяемая модель представляет собой таблицу неисправностей, имеющую строку для каждой входной комбинации и столбец для исправной и всех неисправных сетей. Осуществляется переход от таблицы неисправностей к дополнительным матрицам. Используется также взвешивание матрицы определенными «весами». Затем эти модели были обобщены в ряде работ применительно к логическим сетям, имеющим несколько выходов и выдающим реакции на тесты иначе, чем «проход-непроход».

Указанные модели, за исключением первой, предполагали, что неисправность представляет собой особое детерминированное нарушение в пределах элемента или модуля вроде тождественного равенства нулю либо единице определенной линии.

Первые модели, принадлежащие концепции «тест-элемент», описывают класс вычислительных систем с самодиагностикой. Так, показывается, что вычислительная система S обладает возможностью самодиагностики, если ее

можно разделить на n взаимоисключающих дискретных подсистем $S_{i,i} = 1, \dots, n$, таких что для них выполняются следующие условия.

Диагностируемость подсистем $S_{i,i} = 1, \dots, n$. Для каждой подсистемы S_i должна быть известна серия входных воздействий и эталонных реакций на них.

Среди подсистем $S_{i,i} = 1, \dots, n$ существуют диагностирующие подсистемы S_{id} , способные выполнять следующие функции: f_1 – подачи на вход проверяемой системы контролирующего набора; f_2 – анализа реакции подсистем S_i путем сравнения ее с эталонной; f_3 – переход в зависимости от результата анализа предыдущей операции к следующему контролирующему прибору; f_4 – останов с индикацией места отказа.

Подсистемы S_i и S_{id} должны быть связаны между собой.

Гарантирована работоспособность хотя бы одной диагностирующей подсистемы.

Несмотря на полезность этой модели, она не относится к числу чисто формальных, а содержит описательные элементы.

Отношение «тест-неисправность» (тест понимается в широком смысле – один набор, последовательность, либо аппаратная реализация) задается в виде диагностического графа. Каждому блоку соответствует вершина графа d_{ij} , вершины графа соединяются дугой b_{ij} , если устройство u_i проверяет устройство u_j .

Вес ветви равен a_{ij} , причем $a_{ij}=0$, если u_i исправно в предположении, что u_j исправно; $a_{ij}=1$, если u_i неисправно в предположении, что u_j исправно; $a_{ij}=x$, если предполагается, что u_j неисправно. От графа осуществляется переход к матрице связности.

С помощью этой модели была определена категория t -проверяемость в предположении одно- и многошагового проведения системы тестов. Под t -проверяемостью понимается способность системы выдавать уверенный результат проверки в предположении, что t блоков неисправно.

Этот подход был развит в последующих работах, где учитывалось, какие именно неисправности делают тест недействительным, вводились параметры структуры системы и устанавливалась их связь с t -проверяемостью. Там же разрабатывались алгоритмы для определения t -проверяемости непосредственно по структуре системы.

Основные трудности, возникающие при анализе диагностических моделей, состоят в том, что необходимо перечислить все неисправности, число которых может быть весьма значительным. Необходимо одновременно рассматривать математические модели неисправностей, математические модели объекта диагностики и организацию способа их взаимодействия для сохранения адекватности.

В настоящее время моделирование на ЭВМ функционирования цифровых устройств стало неотъемлемой частью программного обеспечения систем управления диагностикой. Можно выделить четыре уровня моделирования:

- анализ электронных схем (на уровне резисторов, транзисторов и т. д.);
- моделирование на уровне логических элементов;

- моделирование на уровне регистровых передач;
- эмуляционное моделирование на системном уровне.

В соответствии с вышеизложенным, при моделировании микропроцессорных систем необходимо использовать три уровня описания:

- алгоритмический;
- функциональный;
- вентильный.

Полное математическое описание строится по линейному принципу

$$L = L_{\text{в}} + L_{\text{ф}} + L_{\text{а}} , \quad (4)$$

где $L_{\text{в}}$ – язык вентильного уровня;

$L_{\text{ф}}$ – язык функционального уровня;

$L_{\text{а}}$ – язык алгоритмического уровня.

Многоуровневая модель выглядит следующим образом

$$L = L_{\text{а}} (L_{\text{ф}} (L_{\text{в}})) . \quad (5)$$

Такая последовательность создания диагностических тестов, как показала практика, является наиболее оптимальной с точки зрения снижения трудоемкости и уменьшения временных характеристик процесса диагностики СУТО. Это связано с тем, что на каждом этапе создания тестовых наборов, тестовые алгоритмы осуществляют поиск неисправности с заданным уровнем детализации.

Таким образом, происходит ступенчатое углубление детализации. На рис. 1 показан процесс поиска единичной неисправности системы СУТО, на рис. 2 – процесс поиска кратных неисправностей одного структурного модуля, на рис. 3 – процесс поиска независимых неисправностей в различных модулях.



Рис. 1. Модель процесса поиска одиночной неисправности модуля

Исходя из многоуровневой структуры модели для каждой системы УЧПУ формируется специальный последовательный алгоритм диагностики – нумерационный тест. Нумерационный тест строится в следующей последовательности:

- создаются математические модели отдельных микропроцессорных блоков верхнего уровня;

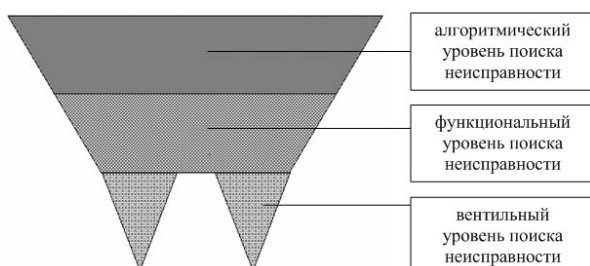


Рис. 2. Модель процесса поиска кратных неисправностей в модуле.

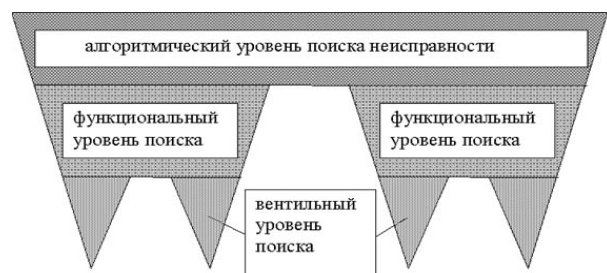


Рис. 3. Модель процесса поиска независимых неисправностей в различных модулях

- выделяются элементы описания соответствующего уровня, для чего осуществляется декомпозиция на алгоритмические блоки, функциональные узлы, логические элементы;
- на множестве дефектов с использованием отношения эквивалентности выделяются классы эквивалентных дефектов;
- классы дефектов упорядочиваются, в результате чего получается решетчатая модель, которая в совокупности с математической образуют диагностическую модель отдельного микропроцессорного блока;
- для каждого класса эквивалентных дефектов определяется идентификатор;
- производится построение теста путем размещения идентификаторов в соответствии с расположением элементов решетчатой модели;
- осуществляется переход к более низкому уровню описания того элемента объекта диагностики для которого глубина поиска дефекта недостаточна.

В общем случае описание такой трехуровневой диагностической модели (ДМ) представляется в следующем виде

$$ДМ = (M; B), \quad (6)$$

где M – математическая модель системы, представленная в виде

$$M = (S; BAS; J),$$

где S – структурная схема СУТО;

BAS – базис микропроцессорной системы (заданный в виде набора команд микропроцессора и набора правил преобразования информации в каждом структурном модуле системы СУТО);

J – интерпретация схемы S в базисе BAS ;

B – решетчатая модель системы СУТО, полученная в результате упорядочивания классов эквивалентных дефектов.

ДМ задается в неявном виде: математическое описание исправной системы СУТО, физические дефекты и правила получения всех других описаний объекта.

Выводы

Рассмотренные методы абстрактно моделируют процесс функционирования исправного или соответственно, неисправного цифрового устройства. Абстрактные методы построения проверяющих тестов для цифровых модулей технологического оборудования основаны на задании модели конечного автомата исправного цифрового модуля. Проверяющие тесты, построенные такими методами, обнаруживают все неисправности, искажающие таблицы переходов и выходов автомата, в частности и те, которые увеличивают число его состояний не более чем на заданную величину. Это обуславливает высокую достоверность результатов диагностирования цифровых модулей такими методами. Однако из-за того, что цифровые модули являются конечными автоматами, эти методы применимы только для модулей небольшой сложности и могут быть использованы при построении тестов для отдельных блоков, на которые расчленяются реальные цифровые модули.

Список литературы: 1. Шептунов, С. А. Жизненный цикл продукции [Текст] / С. А. Шептунов. - М. : Янус-К, 2003. - 244 с. 2. Невлюдов, И. Ш. Термодинамическая модель жизненного цикла электронной аппаратуры [Текст] / И. Ш. Невлюдов, А. А. Андрусевич, С. В. Сотник // Вестник Академии инженерных наук Украины. - 2007. - №3 (33). - С. 132-135.

3. *Андрусевич, А. А.* Модели управления и контроля в ГАП приборов электронной техники [Текст] / А. А. Андрусевич, И. Ш. Невлюдов, Ю. М. Роздоловский // *Авиационно-космическая техника и технология. Труды Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ».* - 2002. - № 33. - С. 225-228. 4. *Невлюдов, И. Ш.* Микроэлектромеханические системы и нанотехнологии [Текст] / И. Ш. Невлюдов, А. А. Андрусевич, В. А. Палагин. - Харьков: Коллегиум, 2007. - 324 с. 5. *Андрусевич, А. А.* Синтез тестопригодных схем путем устранения функционально-структурной избыточности [Текст] / А. А. Андрусевич, И. Ш. Невлюдов, М. А. Бережная, М. Г. Рыжикова, Я. Ю. Королева // *Вестник Академии инженерных наук Украины. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Жуковского «ХАИ».* - 2006. - №3 (30). - С. 188-192. 6. *Андрусевич, А. А.* Синтез системы автоматизированной диагностики цифровых модулей технологического оборудования [Текст] / А. А. Андрусевич, И. Ш. Невлюдов, Б. А. Шостак // *Вісті Академії Інженерних наук України.* - 2004. - №4(24). - С. 125-132.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.57.673:61

Е.В. ВЫСОЦКАЯ, канд.техн.наук, доц., ХНУРЭ, Харьков,
А.Н. СТРАШНЕНКО, асп., ХНУРЭ, Харьков,
С.А. СИНЕНКО, врач-офтальмолог, Городская клиническая больница
№ 14 им. Л. Л. Гиршмана, Харьков,
Ю.А. ДЕМИН, докт.мед.наук, проф., Медицинская академия
последипломного образования, Харьков

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИАГНОСТИКИ ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ

Дана стаття присвячена синтезу математичної моделі діагностики первинної відкритокутової глаукоми за допомогою дискримінантного аналізу, що дозволяє підвищити достовірність ранньої діагностики, тим самим сприяє своєчасному та якісному лікуванню

Ключові слова: математична модель, дискримінантний аналіз, первинна відкритокутова глаукома, діагностика

Данная статья посвящена синтезу математической модели диагностики первичной открытоугольной глаукомы с помощью дискриминантного анализа, позволяющей повысить достоверность ранней диагностики, что способствует своевременному и качественному лечению

Ключевые слова: математическая модель, дискриминантный анализ, первичная открытоугольная глаукома, диагностика

This article focuses on the synthesis of a mathematical model of diagnosis of primary open-angle glaucoma using discriminant analysis, which allows to increase the reliability of early diagnosis, which contributes to the timely and quality treatment

Keywords: mathematical model, discriminant analysis, primary open-angle glaucoma, diagnosis

1. Введение

Во всем мире одной из основных причин слепоты и слабовидения является глаукома. Чаще всего (около 80%) больные страдают первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ). При этом болезнь развивается незаметно для больного и обнаруживает себя только тогда, когда появляются грубые нарушения зрительных функций (развитая стадия). В этих стадиях добиться стабилизации процесса становится очень трудно, если вообще возможно [1].

Поэтому такая форма глаукомы является наиболее опасной, требующей эффективной ранней диагностики и своевременного лечения.

2. Анализ проблемы и постановка задачи исследования

Математические модели ранней диагностики первичной открытоугольной глаукомы отличаются большим разнообразием. Существует более ста различных моделей ранней диагностики глаукомы, но ни одна из них не может претендовать на абсолютную достоверность. Кроме того, несомненно, в течение глаукомы существует переходный период, когда можно только заподозрить глаукому и никакие самые изощренные методы исследования не позволяют поставить точный диагноз. Несмотря на обилие диагностических тестов, ранняя диагностика глаукомы трудна даже для опытного врача и без длительного, иногда в течение нескольких лет наблюдения, поставить диагноз удастся далеко не всегда. Поэтому ранняя диагностика является одним из самых приоритетных направлений в решении проблемы глаукомы, определяя во многом дальнейшую судьбу больного.

Для синтеза математической модели, характеризующей тот или иной диагностический процесс на основе законов распределения и значений вероятностей присутствия, могут использоваться методы регрессионного, кластерного, дискриминантного анализов [2].

Используя методы регрессионного анализа, можно достаточно точно выявить факторы, оказывающие существенное влияние на результирующий показатель, а также определить силу и направление этого влияния. Однако синтезированные модели могут оказаться неточными или, в случае сложных моделей, переобученными, что снижает эффективность их использования [3,4].

Применение методов кластерного анализа позволяет сопоставить объекты моделирования по их качественным характеристикам, агрегировать экспертные оценки текущего и прогнозируемого уровней развития объектов и т.д. Несмотря на свои широкие возможности, использование данного метода анализа требует значительной затраты времени и сил для проведения соответствующих расчетов, а полученные результаты группирования не всегда адекватно интерпретируются, особенно если информативные признаки, характеризующие объекты исследования, были достаточно разнородны [5].

Указанные выше недостатки позволяет учесть дискриминантный анализ, дающий возможность быстро и качественно классифицировать исследуемые объекты и синтезировать адекватную линейную математическую модель. Данный метод математического анализа имеет ряд преимуществ: учитывается вариабельность параметра, рассматривается совокупность всех клинических и параклинических показателей, взятых со своими коэффициентами, которые отражают удельный вес влияния каждого показателя на постановку диагноза [6,7].

Дискриминантный анализ имеет определенное сходство с кластерным анализом. Сходство заключается в том, что исследователь в обоих случаях ставит перед собой цель разделить совокупность объектов (а не переменных) на несколько более мелких групп. Тем не менее процесс классификации в двух видах анализа принципиально различен. В кластерном анализе объекты

классифицируются на основе их различия без какой-либо предварительной информации о количестве и составе классов. В дискриминантном анализе количество и состав классов изначально задан, и основная задача заключается в определении того, насколько точно можно предсказать принадлежность объектов к классам при помощи данного набора дискриминантных переменных (предикторов) [8].

Дискриминантный анализ представляет собой альтернативу множественного регрессионного анализа для случая, когда зависимая переменная представляет собой не количественную (номинативную) переменную. При этом дискриминантный анализ решает, по сути, те же задачи, что и множественный регрессионный анализ: предсказание значений «зависимой» переменной (в данном случае категорий номинативного признака) и определение того, какие «независимые» переменные лучше всего подходят для такого предсказания. Дискриминантный анализ основан на составлении уравнения регрессии, использующего номинативную зависимую переменную, но она не является количественной, как в случае регрессионного анализа. Уравнение регрессии составляется на основе тех объектов, о которых известна групповая принадлежность, что позволяет максимально точно подобрать его коэффициенты. После того как уравнение регрессии получено, его можно использовать для группировки интересующих объектов в целях прогнозирования.

В связи с вышесказанным, синтез математической модели диагностики первичной открытоугольной глаукомы на ранних стадиях с помощью дискриминантного анализа является актуальной научной и практической задачей.

3. Цель работы

Целью данной работы является синтез математической модели диагностики ПОУГ, позволяющей повысить достоверность ранней диагностики, что способствует своевременному и качественному лечению.

4. Сущность работы

При проведении дискриминантного анализа нами были проанализированы данные пациентов с ПОУГ. Все пациенты были разделены на 3 группы:

- 1-я группа – 33 пациента без каких-либо признаков на глаукому;
- 2-я группа – 33 пациента с I стадией глаукомы;
- 3-я группа – 30 пациентов со II стадией глаукомы.

С математической точки зрения все пациенты рассматривались как совокупность объектов с варьирующимися количественными и качественными характеристиками. На основании этих характеристик определялась группа, к которой относится объект. Это позволило нам спрогнозировать группы (наличие ПОУГ) для новых объектов из той же совокупности.

Для выявления информативных признаков при формировании диагноза ПОУГ на ранних стадиях развития были проанализированы офтальмологические показатели, полученные в результате визометрии, тонометрии, кинетической периметрии, биомикроскопии, гониоскопии, офтальмоскопии, конфокальной сканирующей лазерной офтальмоскопии (HRT-II).

Все признаки были закодированы и поставлены в соответствии 30-мерному вектору, который учитывает отсутствие, наличие, направленность и величину

каждого признака. В 30-мерном пространстве при диагностике 3-х клинических состояний пациентов получили 4 области: точки, присущие только пациентам без каких-либо признаков на глаукому, только для пациентов с I стадией глаукомы, только для пациентов со II стадией глаукомы и промежуточная область.

Математическая обработка результатов проводилась на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ SPSS 17.0.

Расчет методом дискриминантных функций значений диагностических коэффициентов позволил обнаружить 10 существенных для определения начала ПОУГ признаков из 30-ти рассматриваемых (табл. 1).

Таблица 1. Канонические коэффициенты дискриминантных функций для существенных признаков при определении начальных стадий глаукомы

Признаки глаукомы	Единицы измерения	Канонические коэффициенты	
		1 функция	2 функция
Cup/Disc Area Ratio	Ед.	-2,259	3,059
Cup Shape Measure	Ед.	-4,271	3,784
Cup Volume	мм ³	-2,903	0,460
Rim Area	мм ²	-0,227	1,047
Linear Cup/Disc Ratio	Ед.	0,237	-5,781
Mean Cup Depth	мм	8,655	-2,275
Mean RNFL Thickness	мм	9,496	-23,701
Поле зору 1	град.	0,168	0,140
Поле зору 2	град.	0,049	0,018
Reference Height	мм	-4,051	3,609
Constant		-11,715	-2,239

В табл. 1 приведены следующие информативные показатели:

- 1) Cup/Disc Area Ratio – отношение площади экскавации к площади диска зрительного нерва;
- 2) Cup Shape Measure – полная трехмерная форма экскавации;
- 3) Cup Volume – объем экскавации (мм³);
- 4) Rim Area – площадь нейроретинального пояса (мм²);
- 5) Linear Cup/Disc Ratio – отношение диаметра экскавации к диаметру диска зрительного нерва;
- 6) Mean Cup Depth – средняя глубина экскавации (мм);
- 7) Mean RNFL Thickness – средняя толщина слоя нервных волокон по краю диска зрительного нерва (мм);
- 8) Поле зору 1 – поле зрения по верхнему носовому радиусу (град);
- 9) Поле зору 2 – поле зрения по горизонтальному носовому радиусу (град);
- 10) Reference Height – референтная высота.

В случае дифференциации 3-х степеней тяжести заболевания необходимы 2 дискриминантные функции.

Таким образом, развитие начальных стадий ПОУГ может быть описано дискриминантными функциями вида:

$DF1 = -2.259 \cdot \text{Cup/Disc Area Ratio} - 4.271 \cdot \text{Cup Shape Measure} - 2.903 \cdot \text{Cup Volume} - 0.227 \cdot \text{Rim Area} + 0.237 \cdot \text{Linear Cup/Disc Ratio} + 8.655 \cdot \text{Mean Cup Depth}$

+ 9.496*Mean RNFL Thickness + 0.168*Поле зору 1 + 0.049*Поле зору 2 – 4.051*Reference Height – 11.715.

DF2 = 3.059* Cup/Disc Area Ratio + 3.784*Cup Shape Measure + 0.460*Cup Volume + 1.047*Rim Area – 5.781*Linear Cup/Disc Ratio – 2.275*Mean Cup Depth – 23.701*Mean RNFL Thickness + 0.140*Поле зору 1 + 0.018*Поле зору 2 + 3.609*Reference Height – 2.239,

Оценка меры удачного разделения на группы, полезность дискриминантных функций и количество функций, которые имеют реальное содержание при определении отличий между группами, были оценены с помощью коэффициентов канонической корреляции (табл. 2).

Величина собственного значения связана с дискриминирующими возможностями функции: чем больше собственное значение, тем лучше различие.

Таблица 2. Характеристика дискриминантных возможностей функций

Функция	Собственные значения	% дисперсии	Общий %	Каноническая корреляция
1	4,884	86,8	86,8	0,911
2	0,746	13,2	100,0	0,654

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что первая функция имеет наибольшие дискриминирующие возможности, вторая – обеспечивает максимальное расхождение в сравнении с первой. Фактические значения функций (4,884 и 0,746) указывают на то, что дискриминантные возможности первой функции в 13,2 раз больше, чем второй.

Чтобы облегчить такое сравнение, собственным значениям приписывают процент дисперсии. Для этого сначала суммируют все собственные значения, затем делят каждое собственное значение на общую сумму. Так, в приведенной системе уравнений первая функция содержит 86,8 % общих дискриминантных возможностей.

Качественная оценка силы связи r_{xy} величин X и Y была проведена на основании шкалы Чеддока. Учитывая значение канонического коэффициента корреляции первой функции 0,911, можно сделать вывод о существовании весьма высокой связи между диагнозом и значениями первой дискриминантной функции. Также обнаружена заметная связь между диагнозом и значениями второй дискриминантной функции (0,654).

Оценка значимости дискриминантных функций была проверена λ -статистикой Уилкса (табл. 3).

Таблица 3. Определение значимости дискриминантных функций методом λ -статистики Уилкса

Номер функции	Лямбда Уилкса	χ^2	Степени свободы, df	Значимость
1	0,097	206,149	20	0,0001
2	0,573	49,302	9	0,0001

Рассчитали критериальное значение χ^2 , которое сравнивается с критическим с заданным числом степеней свободы. Если значение χ^2 больше критического,

то значимость подтверждается. В нашем случае $P < 0,0001$, то есть различие между группами значимое.

На основе значений обеих дискриминантных функций построена территориальная карта распределения здоровых и больных на глаукому в зависимости от стадии заболевания (рис.), где единицами ограничена группа лиц без каких-либо признаков на глаукому, двойками - группа лиц с I стадией глаукомы, тройками - II стадией глаукомы, * - центроид группы.

Анализ полученных данных показал, что все пациенты первой группы ($n = 33$, пациенты без каких-либо признаков на глаукому) были определены безошибочно, из пациентов второй группы ($n = 33$, пациенты с I стадией глаукомы) три больных были ошибочно отнесены к первой группе. Все пациенты третьей группы ($n = 30$, пациенты со II стадией глаукомы) также были определены верно.

Таким образом, разработанная математическая модель корректно классифицирует 96,9% всех больных с начальными стадиями глаукомы.

5. Выводы

Применение метода дискриминантных функций позволило вывить информативные признаки для ранней диагностики ПОУГ, что дает возможность сократить срок диагностического периода, повысить качество постановки дифференцированного диагноза и облегчить задачу врача-офтальмолога.

Кроме того, помимо абсолютных величин (объем, площадь) анализируются относительные величины, что позволяет экстраполироваться от конкретных значений признака у пациента и получить информацию независимо от индивидуальных размеров диска зрительного нерва, которые могут значительно варьировать. Это дает возможность в некоторой степени объективизировать исследование. Таким образом, проведен синтез математической модели диагностики ПОУГ, позволяющей повысить достоверность ранней диагностики, что способствует своевременному и качественному лечению.

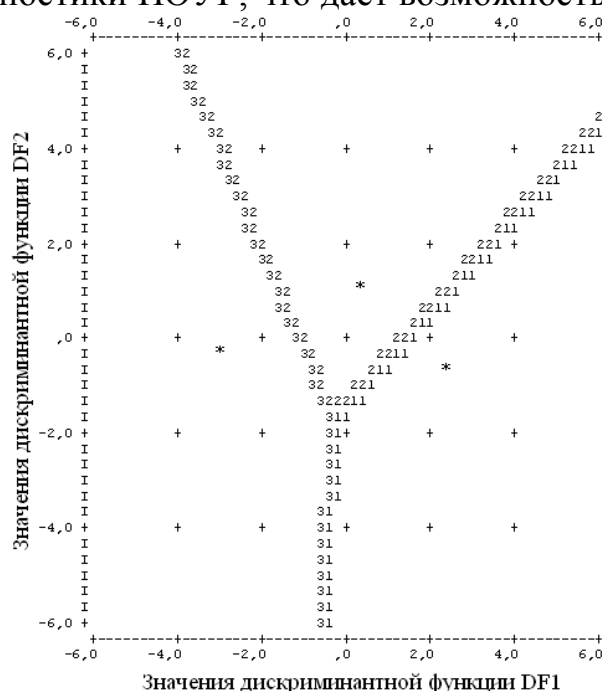


Рис. Территориальная карта распределения больных на глаукому в зависимости от стадии заболевания

Список литературы: 1.Астахов, Ю.С. Глазные болезни: Для врачей общей практики: Справочное пособие [Текст] / Ю.С. Астахов, Г.В. Ангелопуло, О.А. Джалиашвили. - СПб.: СпецЛит, 2001.- 240 с: ил 2.Каримов, Р.Н. Обработка экспериментальной информации [Текст] : учеб. пособие Ч. 3. – Многомерный анализ / Р.Н. Каримов. - Саратов: СГТУ, 2000. - 108 с.3.Андерсон, Т. Введение в многомерный статистический анализ [Текст] / Т. Андерсон. - М.: Феникс, 1963. - 516 с.4.Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. - 118 с. 5.Ким, Дж. Факторный,

дискриминантный и кластерный анализ [Текст] / Дж. Ким, Ч. У. Мюллер, У. Р. Клекка. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 215 с. 6. **Дюк, В. А.** Компьютерная психодиагностика [Текст] / В.А. Дюк. - СПб.: Питер, 1994. - 318 с. 7. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 2 [Текст] / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, С.А. Айвазяна, Ю.Н. Тюрина. - М.: Финансы и статистика, 1990. - 526 с. 8. Бююль, А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей [Текст] / А. Бююль, П. Цефель. - СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2001. - 608 с.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 004.738.019.3:621.395

Н.В. ЗАХАРЧЕНКО, докт. техн. наук, проф. ОНАС им. А.С. Попова, Одесса
Д.Ю. ИЛЬИН, канд. техн. наук, доц. ОНАС им. А.С. Попова, Одесса
С.В. ХОМИЧ, асп., ОНАС им. А.С. Попова, Одесса
Ж.А. ТОРК, асп., ОНАС им. А.С. Попова, Одесса

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Розглядаються питання оцінки напруження на відмову (T_R), імовірність безвідмовної роботи (P_R) і коефіцієнта готовності (K_R) багатоканальних сегментів, що з'єднують розподілені комп'ютерні мережі.

Рассматриваются вопросы оценки наработки на отказ (T_R), вероятности безотказной работы (P_R) и коэффициента готовности (K_R) многоканальных сегментов, соединяющих распределенные компьютерные сети.

The issues of determining the reliability characteristic of multi-channel gateways, connecting distributed computer network.

Надежность работы информационных систем определяется надежностью аппаратных средств и надежностью программного обеспечения [1 – 2]. Обычно в технических условиях на персональные компьютеры (ПК), сетевое, телекоммуникационное оборудование отсутствуют данные о надежности программного обеспечения. Это связано с тем, что невозможно предусмотреть и заранее проверить все сочетания исходных данных, возникающих при эксплуатации программ и данных, передаваемых с помощью сетевых протоколов.

В настоящее время, для организации компьютерных сетей с высокой надежностью широко используется профессиональное сетевое оборудование ведущих мировых производителей, которые применяют для тестирования оборудования при производстве современные методы испытаний, стандартизованные во многих странах. Эксплуатация оборудования может проходить как в герметичных серверных комнатах с контролем температуры и влажности, так и не в таких благоприятных условиях. Поэтому, производители при изготовлении и тестировании оборудования руководствуются стандартами, разработанными в США и Европе [3 – 5]. Существует комплекс государственных стандартов «Климат-7», разработанный в РФ, который используют для тестирования телекоммуникационного оборудования, эксплуатирующегося в тяжелых климатических условиях (структура стандартов освещена в [6]).

Важным вопросом остается оценка в целом параметров надёжности: наработки на отказ (T_R), вероятности безотказной работы (P_R) и коэффициента готовности (K_R) каналов, объединяющих элементы крупных информационных сетей эксплуатируемых с условием обязательной доступности каждого из узлов. Это связано с тем, что наличие такой сложной информационной инфраструктуры присуще крупным коммерческим компаниям и телекоммуникационным операторам, построенным по принципу сервисно-ориентированной архитектуры (Service oriented platform) или «облачной» [7], позволяющей снизить затраты на использование структуры ИТ.

Пример такой распределенной сети представлен рис. 1. В данном примере используется N провайдеров для обеспечения высокой надежности каналов, связывающих фрагменты одной и той же сети.

В случае, при котором сеть корректно работает только при доступности каждого из узлов, реализацию доступа к узлам можно представить в виде модели $M = k + m$ канального шлюза (Gateway), рис. 1. Отказ устройства наступает в случае выхода из строя m каналов маршрутизации (k каналов остаются рабочими). В этом случае наработка на отказ устройства определяется [8]

$$T_R = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^m (k + m - i)^{-1}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность отказа одного канала.

Используя свойство суммы величин обратного натурального ряда [9], упростим формулу (1):

$$T_R = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{M}{M - m}. \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы канального шлюза (Gateway) определяется [8]

$$P_R = \sum_{i=0}^m C_M^i P^{M-i} (1 - P)^i, \quad (3)$$

где $P = e^{-\lambda t}$ – вероятность безотказной работы одного канала маршрутизации за время t ;

λ – интенсивность отказа одного канала;

t – текущее время, за которое определяется P_R .

Рассмотрим локальную сеть офиса с типовой структурой,

продемонстрированную на рис. 2 в составе схемы описанной выше. Каналами

шлюза (Gateway) обеспечивающими доступ к сети Интернет на данном сегменте

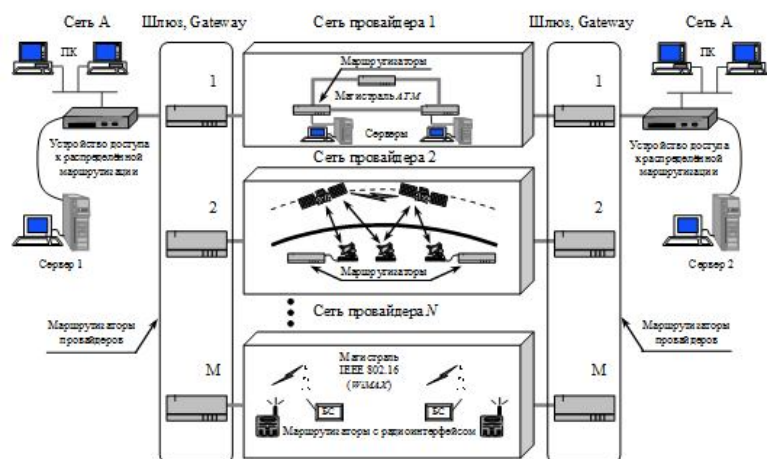


Рис. 1. Использование N провайдеров для обеспечения высокой надежности соединения

являются *ADSL*-модем и 3G-модем. Приоритетным в данной схеме каналом является *ADSL*-модем в силу большей пропускной способности и надёжности (на рис. 2 маршрутизатор 1). Для данной схемы 3G-модем является резервным каналом и менее надёжным в силу особенностей физической среды распространения радиосигнала. Использование небольшого числа резервных каналов обусловлено потребностью минимизации материальных затрат.

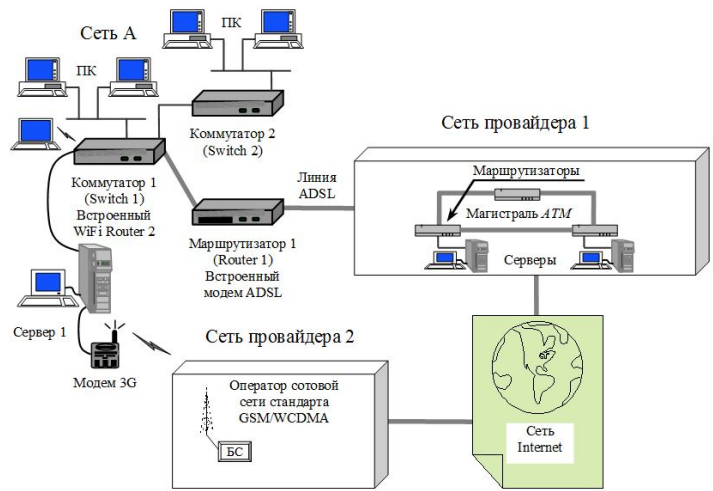


Рис. 2 . Типовая схема построения локальной сети офиса среднего бизнеса

В этом случае вероятность безотказной работы одного канала принимает значения в пределе $0.3 \leq p \leq 0.6$ [9]. Для упрощения расчётов формула (3) при помощи интегральной теоремы Лапласа [9] может быть сведена к табулированному интегралу

$$P_R = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du, \quad (4)$$

где

$$z = \frac{m - Mq}{\sqrt{Mpq}}, \quad q = 1 - p, \quad p = e^{-\lambda t}.$$

Для случая крупного сегмента сети (число ПК более 255 [7]), когда P близко к единице, а M достаточно велико, формулу (3) можно заменить формулой Пуассона [9]

$$P_R = \sum_{i=0}^m C_m^i P^{M-i} (1-P)^i = \sum_{i=0}^m \frac{a^i e^{-a}}{i!}, \quad (5)$$

где $a = M(1-P)$.

Вычисление этой суммы можно произвести, используя таблицы распределения Пуассона [8].

Кроме того, формулу (3) можно преобразовать к интегралу [9] от неполной бета-функции

$$P_R = \frac{1}{B(m+1, M-m)} \int_0^P \chi(1-x)^{M-m-1} dx, \quad (6)$$

где

$$P = e^{-\lambda t}, \quad B(m+1, M-m) = \frac{m!(M-m-1)!}{M!}.$$

Интеграл (6) табулирован. Задавая параметры P , M , m , определяем P_R . С помощью этих таблиц можно решать обратные задачи, т.е. находить необходимое P при заданных P_R , M , m .

Наработка на отказ многоканального устройства с восстановлением [8]

$$T_R = \sum_{i=0}^m \frac{\sum_{j=0}^i \Theta_j}{\lambda_i \Theta_i}. \quad (7)$$

Здесь

$$\Theta_j = \prod_{i=0}^{j-1} \Lambda_i \left(\prod_{i=1}^j \mu_i \right)^{-1}, \quad \Theta_0 = 1; \quad (8)$$

Θ_i – определяется по формуле (8);

$$\Lambda_i = (M - i)\lambda; \quad \mu_i = \begin{cases} i\mu & i \leq l, \\ l\mu & i > l, \end{cases}$$

где μ – интенсивность восстановления;

l – количество ремонтников, производящих восстановление аппаратуры.

Вероятность безотказной работы канального шлюза (*Gateway*) за время t равна

$$P_R(t) = e^{-t/T_R}, \quad (9)$$

T_R определяется по формуле (7).

Восстанавливаемые устройства, кроме T_R и $P_R(t)$, характеризуются коэффициентом готовности

$$K_R = \left(1 + \frac{\Theta_{m+1}}{\sum_{j=0}^m \Theta_j} \right)^{-1}, \quad (10)$$

где Θ_{m+1} , Θ_j находятся по формуле (8).

Для определения параметров надежности системы в целом, необходимо провести ее структурно-надежностный анализ. Степень точности структурно-надежностного анализа системы определяется ее структурной сложностью, наличием функционального резерва, многоканальных участков, коэффициентом важности отдельных устройств и возможностью описать процесс функционирования системы аналитическими или статистическими методами. При этом многочисленные расчеты по нахождению T_R , P_R [8] показывают, что если не учитывать наличие функционального резерва из m каналов, который заложен в самой структуре построения системы, то это приводит к неоправданному занижению показателей надежности. Особенно это заметно при нахождении этих показателей для систем, которые в процессе эксплуатации восстанавливаются.

Таким образом полученные параметры надежности в предложенной математической модели могут незначительно отклоняться от реальных в силу воздействия человеческого фактора, т.к. доля ошибочных действий операторов средней квалификации при выполнении общих операций по ремонту аппаратуры составляет от 0.02 до 2%, а при установке крепежа – около 0.06%. Кроме того, немаловажным фактором является монтаж и эксплуатация оборудования в

условиях отличных от рекомендуемых производителем в силу неконтролируемого человеческого фактора от 20 до 30% [10 – 12].

Список литературы: 1. ГОСТ Р 51188-98 Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов. – М., 1998. – 8 с. 2. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности - основные положения. – М., 1995. – 19 с. 3. Military Handbook “MIL-STD-810F” Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, 2000. – 539 p. 4. Military Handbook “MIL-STD-883G” Department of Defense. Test Method Standard. Microcircuits, 2006. – 716 p. 5. IPC-SM-785 Guidelines for Accelerated Reliability Testing of Surface Mount Solder Attachments, 1992. – 58 p. 6. Критенко М. Обеспечение качества военной продукции: Новое поколение нормативных документов / М. Критенко // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2000. – №4. – С. 50–53. 7. Лунтовський А.О. Технології розподіленіх програмних додатків. Монографія – К.: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій "ДУІКТ", 2010. – 474 с. 8. Козлов Б.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Ушаков И.А. – М.: Сов. радио, 1975. – 472 с. 9. Корн Г. Справочник по математике / Корн Т. – М.: 1974. – 830с. 10. Military Handbook “MIL-HDBK-338B” Electronic Reliability Design Handbook, 1998. – 1046 p. 11. Military Handbook “MIL-HDBK-217F” Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1991. – 205 p. 12. Military Handbook “MIL-HDBK-344A” Environmental Stress Screening (ESS) of Electronic Equipment, 1993. – 102 p.

Поступило в редколлегию 15.02.2012

УДК 004.4'414

Е. А. ГРИДИНА, студ., ХНУРЭ, Харьков

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО АННОТИРОВАНИЯ ТЕКСТА НА ОСНОВАНИИ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Дана загальна характеристика методів і алгоритмів автоматичного анотування тексту, таких як базовий алгоритм на основі розбору HTML та алгоритм SRL. Описані основні кроки використання алгоритмів для досягнення оптимального результату в складанні анотації.

Ключові слова: анотація, SRL, HTML, метод, пасаж.

Дана общая характеристика методов и алгоритмов автоматического аннотирования текста, таких как базовый алгоритм на основании разбора HTML та алгоритм SRL. Описаны основные шаги применения алгоритмов для достижения оптимального результата в составлении аннотации.

Ключевые слова: аннотация, SRL, HTML, метод, пассаж.

This article represents general features of methods and algorithms of automatic annotation of the text, such as basic algorithm based on HTML extracting and SRL algorithm. Main steps of using different algorithms to achieve optimal results in the preparation of abstracts have been described.

Keywords: abstract, SRL, HTML, method, passage.

1. Введение

Искусство реферирования, или составления аннотаций, стало неотъемлемой частью повседневной жизни. Новости, которые предлагает нам телевидение, – это суть реферат мировых событий дня.

В настоящее время известно много алгоритмов автоматического аннотирования или формирования краткого содержания документов, например МЛ Аннотатор, Золотой ключик, TextAnalyst, системы IBM Intelligent Text Miner,

Oracle Context и Inxight Summarizer (компонент АИПС AltaVista), также алгоритмы аннотирования широко используются в поисковых системах, таких как Google, Яндекс, Рамблер [1].

Зачастую возможности систем ограничены выделением и выбором оригинальных фрагментов из исходного документа и соединением их в короткий текст. Подготовка же краткого изложения предполагает передачу основной мысли текста, и не обязательно теми же словами. Текст, полученный путем соединения отрывочных фрагментов, лишен гладкости, его трудно читать.

Для достижения наиболее оптимального результата, необходимо совместить несколько алгоритмов аннотирования. В данной работе нами будут рассмотрены алгоритма формирования контекстно-зависимых аннотаций на основании семантического представления.

2. Описание методов автоматического аннотирования

За методом построения аннотации алгоритмы можно разделить на две группы: генерирующие и вытягивающие [2].

Генерирующие алгоритмы анализируют выходной документ или документы, связанные с ним, для поиска информации, на основе которой генерируют текст аннотации. В отличие от генерирующих вытягивающие алгоритмы аннотирования формируют аннотацию, используя текстовые фрагменты документа или его контекста. Стоит отметить, что много подходов представляют собой смешанные алгоритмы, которые используют различные методы обработки информации для построения аннотации.

Рассмотрим некоторые алгоритмы для формирования контекстно-зависимых аннотаций.

Первый алгоритм – алгоритм контекстно-зависимого реферирования HTML документа [3].

Особенность данного алгоритма заключается в том, что при составлении аннотации существенную роль играют не только сами слова запроса, но и слова, очень близкие по смыслу слов запроса (назовем их слова-переходы), а также для некоторых слов запроса и транслитерации, т.е. написание этих слов латиницей. Для составления базы таких слов-переходов использовался специальный алгоритм морфологического анализа и поиска однокоренных слов и слов-синонимов.

Для составления хороших аннотаций предварительно осуществляется выделение из структурных элементов DOM-модели HTML-документа релевантных и значимых блоков текстового контента. В результате остается серия текстовых блоков без дополнительной разметки, содержание которых наиболее полно отражает основное содержание документа, по которому и строится аннотация. Алгоритм выделения значимых блоков следующий.

Шаг 1. Обработчику (программе, реализующей выполнения алгоритма) указывается url адреса рассматриваемой страницы, по указанному адресу производится загрузка HTML-документа.

Шаг 2. Преобразование HTML в XML.

Шаг 3. Предыдущая редукция структуры XML-документа. Этап включает: удаление всех не значащих текстовых и блочных элементов, преобразование иерархической структуры документа заменой каждого из ее узлов контент-узлом.

Шаг 4. Редукция структуры документа индикаторами

Шаг 5. Извлечение текста из документа. На пятом шаге работы алгоритма содержимое корневого контент-сайта полностью сокращенной модели документа выводится в текстовый файл.

После выделения значимых и релевантных структурных элементов документа проводится аннотирование документа. Алгоритм составления аннотации включает в себя следующие шаги:

1. Получение контента значимых и релевантных элементов документа.

2. Разбивка контента на пассажи. Разбивка текста на пассажи происходит знаками препинания, обозначающий конец предложения, а также по так называемым "разделителем" html-тегов, таких как `<p>` `</br>`, `<div>`, `<li>`, `<td>` и некоторым другими.

3. Формирование кластеров с N пассажижей.

4. Расчет параметров ранжирования пассажжей и взвешенной оценки ранга каждого кластера.

5. Ранжирование кластеров по взвешенной оценки и определения кластера пассажжей с наибольшим рангом.

6. Запуск алгоритма обрезки аннотации к $n \leq k$ символов (в данном случае $k = 300$) и формирование аннотации.

Далее срабатывает стандартный алгоритм обрезки аннотации по максимально возможному количеству слов [4].

Этот тип алгоритма считается наиболее легким, так как не учитывает многих моментов формирования связных аннотаций. Особого внимания в данной ситуации заслуживает алгоритм на основании семантической маркировки (SRL) [5].

В основу алгоритма входит блок анализа семантических структур аргумент-предикатов. На основании концепции описания языка для естественных языков (CDL.nl), предназначенная для описания концепции текста с помощью набора заранее определенных семантических отношений. Предполагается, что все связи в тексте заранее известны. Происходят семантические маркировки связей, после чего эту маркировку проверяет специальная предикат-структура, целью которой является обеспечение связности предложений в тексте.

Внутренние связи: связи подразделяются на роли, разделение на 6 абстрактных связей: QuasiAgent, QuasiObject, QuasiInstrument, QuasiPlace, QuasiState и QuasiTime. Кроме того, каждая абстрактная связь включает в себя несколько конкретных отношений, которые выражают конкретную семантическую информацию. Например, QuasiAgent содержит пять конкретных семантических связей: agt (агент), aoj (атрибуты), sag (под-агент), saoj (составляющая с атрибутами), ptn (партнер).

Квалификация отношений: в дополнение к каждому конкретному случаю, относящийся к типам, CDL.nl также определяет квалификацию связей типов. Есть девять квалификаций связей, в целом содержат mod (модификации), pos

(процессор) и *qua* (количество). Это подмножество связей имеет важное значение для описания предложения с множеством свойств.

Метод Кернела для классификации связей показывает связи каждой пары элементов со специфическим набором CDL.n1 связей, а также описывает классификацию связей, которая использует кернелевские функции для моделирования знаний о 3-х уровнях обработки речи: синтаксический анализ, дерево зависимостей и лексическая конструкция.

Синтаксис описывает как общие так и синтаксические функции слов. Например, % NH (номинальный узел) и %> N (определитель от номинального), общие синтаксические теги @ SUB (Subject) и @ F-Subj (формальные темы) являются семантическими тегами функции. Парсер определяет 40 тегов синтаксиса.

Для каждой пары экземпляров строим дерево зависимости - извлекаем набор зависимостей путем определения токена зависимости DT = (DEP, PATH), где DEP содержит две метки: первая метка регулируется непосредственно заглавным словом главного набора, а вторая указывает на главное слово дочерней зависимости.

Таким образом, аннотация формируется с помощью трехуровневой обработки, что дает возможность формировать связную и грамотную аннотацию. Этот метод гораздо более трудоемкий по сравнению с предыдущим, но это дает свои результаты в виде хорошего реферата. Также усложненные варианты второго алгоритма активно используются в поисковых системах, чего нельзя сказать о первом алгоритме.

4. Вывод

Сравнительный анализ двух алгоритмов показал следующее - алгоритм контекстно-зависимого реферирования HTML документа более легкий и простой в применении и реализации, однако, аннотации, составлены по этому алгоритму просты, состоят из слов, которые уже есть в тексте, что значительно ограничивает возможности составления аннотации.

Алгоритм на основании семантической маркировки (SRL) изучает семантические структуры аргумент предикатов. Определяя связи в словах, их род, число, падеж и так далее, алгоритм способен заменять, выбрасывать, сокращать слова в тексте. Аннотация становится полной и законченной, а также нет ощущения повторения одного и того же в основном тексте и в аннотации.

Список литературы: 1. *A. Tombros, M. Sanderson. Advantages of Query Biased Summaries, in proc. of the ACM SIGIR, 1998* 2. *I. Mani. Automatic Summarization, John Benjamin's Publishing Company, 2001.* 3. *I. Mani, Summarization Evaluation: An Overview, in proc. of the NTCIR Workshop, 2001* 4. *М. Губин, А. Меркулов. Эффективный Алгоритм Формирования Контекстно-Зависимых аннотаций, Диалог 2005* 5. Аннотирование и реферирование [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://www.publisher.ssu.samara.ru/archive/2003/files/20030352.pdf> - 17.05.2011 г. - Загл. з экрану.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.65

В.С. БОЙКО, докт.техн.наук, проф., НТУУ «КПИ», Киев,

Н.И. СОТНИК, канд.техн.наук, доц., СумГУ, Сумы

И.Н.СОТНИК, докт.экон.наук, доц.,СумГУ, Сумы,

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗОЛОУДАЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

У статті на прикладі транспортування освітленої технічної води системи золовидалення ТЕС, обґрунтовано оптимальні техніко-економічні рішення по відновленню пропускної здатності системи транспортування з підвищенням рівня її енергетичної ефективності.

Ключові слова: енергоефективність, водопостачання, насосне обладнання, золовидалення.

В статье на примере транспортирования осветленной технической воды системы золоудаления ТЭС, обоснованы оптимальные технико-экономические решения по восстановлению пропускной способности системы транспортирования с повышением уровня ее энергетической эффективности.

Ключевые слова: энергоэффективность, водоснабжение, насосное оборудование, золоудаление.

In this paper the example of the clarified process water transportation system of TPP ash, substantiated the best technical and economical solutions to restore the capacity of transportation systems with higher levels of energy efficiency.

Keywords: energy efficiency, water supply, pumping equipment, ash removal.

1. Постановка проблемы

Энергетические блоки украинских теплоэлектростанций (ТЭС), использующих в качестве топлива уголь, эксплуатируют системы золошлакоудаления. Одним из основных компонентов таких систем является транспортирование шлаков при помощи воды. При транспортировании осветленной воды от прудов-накопителей к котлам энергоблоков иногда возникают проблемы отложения твердого осадка в трубопроводах, которые со временем уменьшают проходное сечение трубы. При этом увеличивается сопротивление системы транспортирования воды и как следствие, снижается давление у потребителей. Иногда ситуация складывается таким образом, что существующими насосными агрегатами насосных станций подача необходимого количества воды становится затруднительной, а иногда и невозможной из-за снижения давления у потребителя ниже допустимого. По этой причине затрудняется работа энергетических блоков на их номинальных параметрах, что приводит к необходимости ограничения мощности энергоблоков и, как следствие, недовыработке электрической энергии, росту ее себестоимости. В связи с этим вопросы очистки таких трубопроводов, мероприятия по

предотвращению отложений, а также их экономическое обоснование становятся весьма актуальными, поскольку существенно влияют на объемы и эффективность выработки электроэнергии в целом по стране с замещением газа каменным углем.

Следует отметить, что проблемы отложения осадка в трубопроводах системы транспортирования осветленной технической воды золошлакоудаления украинских ТЭС в некоторых случаях обусловлены проектными решениями при строительстве энергоблоков, а именно проектной скоростью движения таких жидкостей в трубопроводах. Согласно справочным данным такая скорость должна быть в пределах 1...5 м/с, при этом предпочтительная скорость – 2 м/с [1,2]. Увеличение скорости диктуется экономической целесообразностью, которая определяется соотношением затрат на строительство системы транспортирования и ее эксплуатацию, так как при увеличении объемов перекачиваемой жидкости возрастает сопротивление и потери энергии потока в трубопроводе.

Указанная проблема выявляется, как правило, после многолетней эксплуатации систем транспортирования из-за понижения необходимого давления в системах орошения электрофильтров и смыва шлака. Это обусловлено отсутствием эффективной системы мониторинга состояния транспортных систем (физического состояния трубопроводов и оборудования, изменения удельного расхода электроэнергии на перекачивание 1 м³ жидкости в процессе эксплуатации). Обычно такие системы оснащаются манометрами для контроля давления в линии за насосами и амперметрами контроля тока нагрузки электродвигателей. При этом отсутствует контроль количества перекачиваемой воды и состояния трубопроводов, что со временем, без проведения необходимых профилактических мероприятий, приводит к отказу работы системы и необходимости осуществления значительных капитальных вложений в ее реконструкцию.

2. Анализ последних публикаций

Научные исследования, посвященные вопросам мониторинга состояния и повышения эффективности работы систем транспортирования осветленной технической воды золошлакоудаления украинских ТЭС в настоящее время не носят системного характера, что не позволяет выработать единый подход к решению проблемы, исключив ошибки в проектных решениях. Зачастую отсутствие приборов учета объемов перекачиваемой воды, поагрегатного учета потребляемой электроэнергии не позволяет производить расчеты энергоэффективности технологического процесса золошлакоудаления как поэлементно, так и в целом на действующих станциях.

3. Постановка задачи

На примере транспортирования осветленной технической воды и золошлаков системы золошлакоудаления ТЭС, работающей на угле, в статье обосновываются возможные технические и оптимальные экономические решения по восстановлению пропускной способности системы транспортирования с повышением уровня ее энергоэффективности и обеспечением одновременной работы всех энергоблоков станции в номинальном режиме.

4. Техническое обоснование восстановления пропускной способности системы золошлакоудаления и повышения ее энергоэффективности

Результаты исследования. Существующая гидравлическая система подачи осветленной технической воды от насосной станции НОВ до здания энергоблоков ТЭС спроектирована в расчете на обеспечение технологического процесса золошлакоудаления при работе с номинальной нагрузкой 4-х энергоблоков. Система золошлакоудаления состоит из двух багерных насосных станций (по одной на 2 блока) и 4-х водоводов диаметром 530 мм, протяженностью около 4-х километров каждый. На каждой багерной насосной станции установлено: 2 насоса ГрТ1250/71 с электродвигателями мощностью 630 кВт и числом оборотов 1000 об./мин; 2 насоса 1ГрТ1600/50 с электродвигателями мощностью 500 кВт и числом оборотов 750 об./мин.

Действующий режим работы насосной станции НОВ системы подачи осветленной технической воды характеризуется следующими показателями:

- одновременно работают три насоса типа 350Д90;
- вода на энергоблоки подается по трем водоводам, два из которых имеют диаметры 530 мм и один – диаметр 475 мм;
- максимальный объем перекачиваемой осветленной технической воды – 2800–3000 м³/ч.

Результатом сорокалетнего периода эксплуатации гидравлической системы стало уменьшение проходного сечения водоводов в результате отложения на их внутренних стенках твердых фракций веществ, находящихся в осветленной технической воде. По нашим расчетам, проходное сечение водовода диаметром 530 мм уменьшилось до эквивалентного диаметра 398 мм, а водовода диаметром 476 мм – до эквивалентного диаметра 348 мм. Указанное обстоятельство привело к увеличению гидравлического сопротивления системы и, соответственно, к дополнительному падению напора в сети.

В настоящее время гидравлическая система подачи осветленной технической воды на предприятии не в состоянии обеспечить нормальную работу четырех энергоблоков при их номинальной нагрузке. Расчеты показывают, что при подаче воды тремя насосами в объеме 2100 м³ напор в конце водоводов близок к нулю при напоре за насосами перед напорной задвижкой – 46 м. При этом приводные электродвигатели насосных агрегатов НОВ имеют рабочую нагрузку около 111 кВт, а удельный расход электроэнергии, т.е. затраты электроэнергии на перекачивание 1 м³ осветленной технической воды, составляет 0,158 кВт·ч/м³.

Возможными вариантами решения описанной проблемы являются следующие.

1. *Замена насосного оборудования.* Для преодоления гидравлического сопротивления существующей сети при подаче осветленной воды в объеме 2800–3200 м³/ч при параллельной работе трех насосов и трех существующих водоводов напор насосов необходимо повысить на 35 м. При этом в начале линии напор будет составлять 81 м, а в конце – около нуля. Данный вариант требует замены не только насосов, но и приводных электродвигателей, поскольку их рабочая

мощность будет превышать установленную мощность существующих двигателей.

2. *Замена водоводов.* При полной замене водоводов с использованием труб того же диаметра и при подаче воды в объеме $2100 \text{ м}^3/\text{ч}$ тремя насосными агрегатами (при напоре перед напорной задвижкой на НОВ 46 м) напор в конце линии составит около 36 м. Если тремя насосами подавать воду объемом $2800 \text{ м}^3/\text{ч}$, то напор в конце линии составит 27 м. Из этого следует, что полная замена всех водоводов не представляется целесообразной, поскольку в этом случае скорость движения жидкости в водоводах будет около 1 м/с, что приведет в будущем к существующей ситуации.

3. С целью увеличения скорости движения жидкости по водоводам и повышения энергоэффективности водоподачи целесообразно провести следующий комплекс мероприятий:

- выполнить замену или очистку двух водоводов диаметром 530 мм;
- подавать воду двумя существующими насосами по двум водоводам диаметром 530 мм.

Это позволит увеличить скорость движения жидкости в трубопроводах до 2 м/с, обеспечить в конце линии напор около 8 м при расходе воды $2800 \text{ м}^3/\text{ч}$ и около 13 м при расходе воды $2100 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом потребление электроэнергии, согласно результатам проведенного объектно-ориентированного моделирования работы системы транспортирования воды, уменьшится на 8% или до $0,145 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

По информации, полученной от персонала станции при обследовании, попытки очистки трубопроводов предпринимались ранее, но технология проведения работ применялась весьма трудоемкая. Работы в полном объеме выполнены не были, хотя часть одного из трубопроводов диаметром 530 мм очищена. Результаты расчетов дают возможность предположить, что его эквивалентный диаметр составляет около 490 мм. Основываясь на этой информации, дополнительное моделирование рабочего процесса водоподачи указывает на целесообразность организации работ по замене или очистке водоводов в следующей последовательности.

1. Организовать подачу воды по двум трубопроводам диаметром 530 мм (ранее очищенном) и диаметром 475 мм, выполняя работы на трубопроводе диаметром 530 мм. При этом, подавая воду тремя насосными агрегатами, достигается подача воды в объеме $1930 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре в конце линии 0,38 м. Такой режим водоподачи позволяет работать в номинальном режиме трем энергоблокам станции.

2. После окончания работ на трубопроводе диаметром 530 мм произвести очистку или замену второго трубопровода диаметром 530 мм, организовав подачу воды по двум оставшимся водоводам. Это даст возможность работать станции в том же режиме.

3. Провести работы по консервации и последующей очистке водовода диаметром 475 мм. Это позволит организовать подачу воды двумя насосами против трех работающих в настоящее время. При таком режиме водоподачи

суммарная потребляемая мощность электродвигателями насосных агрегатов составит 306 кВт против существующей 330 кВт.

5. Экономические аспекты реконструкции системы транспортирования осветленной технической воды золошлакоудаления

Принятие решения о замене или очистке водоводов с учетом предложенного плана работ должно основываться на оценке экономической эффективности обоих вариантов. При этом прямой экологический эффект, связанный с восстановлением системы транспортирования осветленной воды золошлакоудаления, в рамках предприятия будет сопоставим по указанным вариантам. Экономический же эффект от реализации мероприятий будет определяться, кроме получаемой 8%-й экономии электроэнергии в стоимостном выражении и восстановления работы системы, уровнем затрат на их внедрение. Таким образом, принятие управленческого решения в данном случае трансформируется в задачу выбора варианта, минимального по затратам. Поскольку эксплуатационные расходы после реконструкции останутся прежними, необходимо сравнить капитальные вложения по вариантам.

Рассчитаем затраты в случае замены 2 водоводов диаметром 530 мм и длиной по 2 км. При этом возможна замена водоводов на трубы из стали (усредненная стоимость 1 м.п. трубы – 1200грн) и из полиэтилена (усредненная стоимость 1 м.п. трубы – 850 грн) [3-4]. В обоих случаях капитальные затраты будут включать стоимость материалов, работ по демонтажу и укладке (40% от стоимости материала), а также утилизации старых труб (в среднем 30 тыс. грн на 2 водовода) (табл. 1).

Таблица 1. Капитальные затраты по замене водоводов системы транспортирования осветленной воды (2 водовода диаметром 530 мм), тыс. грн

Статья затрат	Замена водоводов	
	сталь	полиэтилен
Стоимость труб	4800	3400
Затраты на демонтаж и укладку труб	1920	1360
Затраты на утилизацию старых труб	30	30
Итого	6750	4790

Согласно варианту очистки внутренних поверхностей водоводов затраты будут складываться из затрат на:

- собственно очистку труб (около 150 грн за 1 м. п);
- проведение сварочных работ (10% от стоимости затрат на собственно очистку);
- обустройство приемных устройств вымываемых отложений и их транспортирование в золоотвалы, включая зарплату водителей, амортизацию транспортных средств, стоимость топлива для автомобилей, устройство системы дренажа и т.д. (10 тыс. грн в расчете на 2 водовода);
- использование экскаватора при очистке отложений (5 тыс. грн на 2 водовода).

Результаты расчетов по видам затрат представлены в табл. 2.

Таблица 2. Капитальные затраты по очистке водоводов системы транспортирования осветленной воды (2 водовода диаметром 530 мм), тыс. грн

Статья затрат	Сумма
Затраты на очистку труб от отложений	600
Выполнение сварочных работ	60
Обустройство приемных устройств вымываемых отложений и их транспортирование в золоотвалы	10
Использование экскаватора при очистке отложений	5
Итого	675

Таким образом, оптимальным по затратам из трех вариантов: замены труб на стальные (6,75 млн грн), замены труб на полиэтиленовые (4,79 млн грн) и очистки труб (675 тыс. грн) является последний, предусматривающий очистку труб от внутренних отложений и обеспечивающий практически 10-кратную экономию капитальных вложений по сравнению с альтернативными вариантами. Учитывая возможную экономию электроэнергии (8% от существующего уровня или в среднем около 100 тыс. грн/год) в случае реализации любого из вариантов, оценим сроки окупаемости мероприятий (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение вариантов реконструкции водоводов системы транспортирования осветленной воды (2 водовода диаметром 530 мм)

Показатель	Замена труб		Очистка труб
	сталь	полиэтилен	
Капитальные вложения, тыс. грн	6750	4790	675
Годовая экономия электроэнергии, тыс. грн	100	100	100
Срок окупаемости капитальных вложений*, лет	67,5	47,9	6,75

* рассчитан на основе показателей годовой экономии электроэнергии

Из проведенных расчетов следует, что минимальным сроком окупаемости (менее 7 лет) характеризуется проект по очистке водоводов, в то время как по альтернативным вариантам сроки окупаемости мероприятий превышают либо сравнимы с нормативными сроками службы труб (для стали – 20-30 лет, для полиэтилена – 50 лет). При этом, как свидетельствует опыт практической эксплуатации системы транспортирования осветленной воды на ТЭС, работающих на угле, повторная очистка либо замена водоводов потребуется не ранее, чем через 20 лет, т.е. суммарный экономический эффект от реализации проекта без учета фактора времени составит $100000 \cdot 20 - 675000 = 1325$ тыс. грн, а среднегодовой – 66,25 тыс. грн.

Работы по очистке водоводов могут быть выполнены со средней скоростью очистки 50 м в сутки, т.е. на протяжении, в среднем, 80 расчетных рабочих дней. Если такие работы проводить во время пониженной нагрузки сети (летний период), когда работают не более трех блоков станции, можно избежать потерь от недовыработки электроэнергии и в перспективе:

- восстановить работоспособность системы транспортирования осветленной воды;
- обеспечить возможность одновременной работы 4-х энергоблоков станции в номинальном режиме;
- получить 8%-ю экономию электроэнергии при приемлемом уровне капитальных затрат и сроке окупаемости вложений.

6. Реконструкция системы транспортирования золошлаковой смеси

Целесообразность модернизации системы транспортирования золошлаковой смеси к месту ее складирования на предприятии обуславливается обустройством новых карт хранения и, в связи с этим, изменением режима работы багерных насосных станций, необходимостью повышения энергоэффективности их работы.

Существующие режимы работы насосного оборудования багерных насосных станций характеризуются следующими параметрами.

1. При работе на номинальной нагрузке *2-х энергоблоков* для золоудаления используется обратная вода в объеме $1400 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом работает 1 багерный насос ГрТ1250/71 или насос 1ГрТ1600/50.

Режим работы насоса ГрТ1250/71 с диаметром рабочего колеса 710 мм следующий: подача $Q = 1400 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор $H = 67 \text{ м}$.

Режим работы насоса 1ГрТ1600/50 с диаметром рабочего колеса 790 мм характеризуется подачей $Q = 1400 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $H = 52 \text{ м}$.

При работе *4-х энергоблоков* на номинальной нагрузке работают две багерные станции.

2. В режиме работы электростанции *3-мя энергоблоками* также работают две багерные станции. Одна из станций перекачивает пульпы $700 \text{ м}^3/\text{ч}$. В этом случае любой из имеющихся насосов работает на нерасчетных режимах с малой энергоэффективностью.

Имеющимся на станции проектом реконструкции системы золошлакоудаления и шлаконакопителей («Реконструкция золоотвалов») предполагается, в том числе, модернизация насосного оборудования путем устройства регулирования оборотов насоса с применением тиристорных преобразователей. Стоимость такой модернизации в имеющемся проекте оценивается в 1400 тыс. грн.

Необходимость изменения режимов работы насосных агрегатов багерных станций диктуется, прежде всего, повышением их энергоэффективности. Насос 1ГрТ1600/60 может обеспечить работу 2-х энергоблоков при их номинальной нагрузке. При этом энергоэффективность его работы выше, чем насоса ГрТ1250/71:

- энергоэффективность насоса 1ГрТ1600/50 – $0,186 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$.
- энергоэффективность насоса ГрТ1250/71 – $0,209 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$.

До и после проведения реконструкции предлагается работать насосами 1ГрТ1600/50, что позволяет уменьшить энергопотребление багерной насосной станции на 11%.

В режиме работы электрической станции *3-мя энергоблоками* одна из багерных насосных станций работает с низкой энергоэффективностью, т. к. насосы ГрТ1250/71 и 1ГрТ1600/50 по своим рабочим параметрам подачи и

напора не соответствуют режиму пульпоподачи $Q = 700 \text{ м}^3/\text{ч}$. В связи с этим, нами предлагается провести модернизацию насоса ГрТ1250/71 путем изменения проточной части насоса без замены электродвигателя и корпусных деталей. По нашим расчетам, такая модернизация будет менее затратной, чем реализация предложений ранее разработанного на предприятии рабочего проекта «Реконструкция золоотвалов», так как замене в существующих насосах в этом случае подлежит рабочее колесо, спроектированное на новые параметры рабочей точки насоса, с учетом геометрии отвода существующего корпуса насоса.

7. Экономические аспекты внедрения энергосберегающих мероприятий на бегерных насосных станциях

Предлагаемые нами энергосберегающие мероприятия, касающиеся части технологического процесса золошлакоудаления (от бегерных насосных станций до золошлакоотвалов), включают, как уже указывалось выше, организационные и технические.

Вне зависимости от реализации проекта «Реконструкция золоотвалов», включение в работу насосов 1ГрТ1600/50 вместо ГрТ1250/71 позволяет получить годовую экономию электроэнергии (при существующем тарифе на электроэнергию 0,5121грн/кВт.ч) в объеме порядка 145 тыс. грн на одном насосном агрегате без всяких дополнительных затрат со стороны предприятия.

Организация работы бегерной насосной станции при трех работающих энергоблоках предполагает затраты на проведение модернизации насоса ГрТ1250/71. По предварительным оценкам, такие затраты составят около 50 тыс. грн на один насосный агрегат. Внедрение же мероприятия позволит дополнительно снизить энергопотребление бегерной насосной станцией на 52 тыс. грн в год.

Реализация рассмотренных мероприятий не предполагает увеличение эксплуатационных расходов предприятия в дальнейшем. Сравнение затрат на внедрение в размере 100 тыс. грн (в расчете на 2 модернизируемых насоса) и получаемого экономического эффекта показывает, что период окупаемости составляет от 3,3 до 11 месяцев. Такой диапазон колебаний сроков окупаемости обуславливается возможными различными режимами работы энергоблоков ТЭС в течение года.

Так, в случае работы 2-х энергоблоков потенциальная экономия электроэнергии составит порядка 145 тыс. грн в связи с оптимизацией работы насосных агрегатов на одной из имеющихся бегерных насосных станций. При работе 3-х энергоблоков дополнительно к предыдущей сумме экономии можно получить еще 145 тыс. грн вследствие оптимизации работы второй бегерной насосной станции и 52 тыс. грн, задействуя модернизированный насос ГрТ1250/71 на одной их станций. Работа ТЭС 4-мя блоками в течение всего года обеспечивает дополнительную экономию электроэнергии к уже полученной в размере 52 тыс. грн в связи с использованием второго модернизированного насоса ГрТ1250/71. Результаты расчетов получаемого экономического эффекта и сроков окупаемости мероприятий по реконструкции насосного оборудования бегерных насосных станций представлены в табл. 4.

Таблица 4. Показатели экономической эффективности мероприятий по реконструкции насосного оборудования багерных насосных станций

Показатель	Режим работы ТЭС		
	2 энергоблока	3 энергоблока	4 энергоблока
Капитальные вложения, тыс. грн	100	100	100
Среднегодовая экономия электроэнергии, тыс. грн	145	342	394
Экономия электроэнергии за весь период реализации мероприятия*, тыс. грн	435	1026	1182
Среднегодовой экономический эффект без учета фактора времени, тыс. грн	111,7	308,7	360,7
Полный экономический эффект без учета фактора времени, тыс. грн	335	926	1082
Срок окупаемости капитальных вложений, месяцев	10,7	3,9	3,3

* период получения экономии электроэнергии определяется расчетным сроком службы модернизированных насосов до замены рабочих колес, который составляет минимум 3 года

Таким образом, реконструкция багерных насосных станций позволяет обеспечить предприятию получение экономического эффекта (без учета фактора времени) за весь период реализации мероприятия в размере от 335 до 1082 тыс. грн при приемлемых сроках окупаемости и капитальных вложений, существенно повысив уровень энергоэффективности системы транспортирования золошлаковой смеси к месту ее складирования.

8. Выводы

Представленные предложения по реконструкции системы транспортирования осветленной технической воды золошлакоудаления ТЭС, работающей на угле, путем очистки водоводов основываются на результатах исследования состояния металла трубопроводов и объектно-ориентированного моделирования режимов работы насосных станций, характеризуются приемлемыми объемами капитальных вложений и сроками окупаемости. Современные технологии очистки позволяют выполнить такие работы в течение 3-4 месяцев в период неполной загрузки станции (периода, когда работают 3 энергоблока), что позволяет избежать потерь от недовыработки электроэнергии. Кроме того, в случае реализации проекта путем изменения технологии и режима подачи воды можно увеличить скорость движения жидкости по трубопроводам, исключив в дальнейшем их «зарастание». При этом целесообразно подавать воду 2 насосами, повысив их энергоэффективность на 8%, что эквивалентно экономии электроэнергии на сумму примерно на 100 тыс. грн в год при существующем тарифе на электроэнергию.

Предложенные мероприятия по модернизации насосного оборудования багерных насосных станций и организации режима золошлакоудаления учитывают возможности модернизации существующего насосного оборудования

без применения дорогостоящих устройств изменения частоты вращения роторных частей агрегатов. Энергоэффективность работы багерных станций при этом повышается на 11% без увеличения эксплуатационных затрат. Затраты на внедрение оцениваются в объеме 50 тыс. грн на одну багерную станцию. Соотношение затрат по предлагаемым мероприятиям и проекту “Реконструкция золоотвалов”, а также сроки их окупаемости показывают привлекательность рассматриваемых мероприятий в техническом и экономическом плане.

В целом реализация на предприятии комплексного энергосберегающего проекта, включающего очистку водоводов и модернизацию насосных агрегатов, позволяет получить экономический эффект без учета фактора времени в размере от 1660 до 2407 тыс. грн (в зависимости от режимов работы ТЭС) в течение 20 лет при уровне капитальных затрат 775 тыс. грн. Сроки окупаемости проекта, рассчитанные на основе среднегодового экономического эффекта, колеблются по проводимым мероприятиям от 3,3 месяцев до 10,2 лет, при этом средний срок окупаемости по комплексу мероприятий составляет 6,4-9,3 года.

Предложенные технико-экономические решения в рамках разработанного комплексного энергосберегающего проекта реконструкции системы оборотного водоснабжения золошлакоудаления ТЭС могут быть с успехом применены как базовые и на других украинских электростанциях, работающих на угле и эксплуатирующих систему золошлакоудаления.

Список литературы: 1.СНиП II-35-76 “Котельные установки” [Электронный ресурс]. – Режим доступа : // <http://www.vashdom.ru/snip/II-35-76>. 2.Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций ВНТП 81 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : // http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=313. 3.Трубы стальные – Холдинговая компания «Интербуд» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : // <http://www.interbud.org.ua/price>. 4.Водопроводные трубы из полиэтилена ТМ РАСКО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : // http://rasko.ua/assets/files/rasko_price_all.pdf.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 669.162.231:51.007.004.8

А.В. КОШЕЛЬНИК, канд. техн. наук, с.н.с., ИПМаш НАН Украины,
Харьков,

В.М. КОШЕЛЬНИК, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков,

А.А. МИГУРА, маг., НТУ «ХПИ», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В НАСАДКЕ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

У статті показано можливість використання нейронних мереж, що прогнозують коефіцієнти теплообміну регенеративного повітрянагрівача скловарної печі. Розглянуто порівняння нейронної мережі типу багатошаровий персептрон (MLP) та радіально базисна функція (RBF).

В статье показана возможность применения нейронных сетей для прогнозирования коэффициентов теплообмена регенеративного воздухонагревателя стекловаренной печи.

Проводится сравнение нейронной сети типа многослойный персептрон (MLP) и радиально базисная функция (RBF).

The feasibility of Neural Network have determined for forecast parameters of heat exchangers type of the regenerative air heater for glass furnaces. Neural Network multilayer perception (MLP) and radial basis function have analyzed.

Введение. Постановка задачи в общем виде. Повышение энергоэффективности и энергосбережение является актуальной проблемой для экономики Украины [1]. Как известно, высокотемпературные теплотехнические установки (ВТУ) разного целевого назначения с системой регенеративного теплоиспользования составляют основу технологических комплексов предприятий ряда энергоемких отраслей промышленности, таких как металлургия, коксохимия, стекольное производство [2, 3]. Расчет высокотемпературных регенераторов, которые широко применяются в теплотехнических схемах, связан с необходимостью решения задач нестационарного теплообмена в огнеупорной насадке с реализацией громоздкого алгоритма вычислений для расчета основных режимных параметров. Одной из главных задач расчетов является определение интенсивности теплообмена в каналах насадки различной формы при циклическом изменении температуры.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время, учитывая резкое подорожание стоимости энергоносителей, актуальной проблемой теплотехнологии является усовершенствование оборудования для реализации тепловых процессов, в том числе, в ВТУ регенеративного типа разного назначения [1 - 4]. На кафедре теплотехники НТУ «ХПИ» выполнен комплекс работ по моделированию работы регенераторов различной тепловой мощности [3-7]. Отметим, что повышение эффективности работы регенераторов связано с необходимостью получения достоверной информации о нестационарных температурных процессах, которые развиваются в каналах теплоаккумулирующей насадки регенераторов.

Создание и реализация математических моделей высокотемпературных регенераторов требует учета конструктивных особенностей, технологических ограничений и связей регенераторов с работой основного агрегата. Однако общим для регенераторов ВТУ является наличие сложного нестационарного теплообмена и диапазона изменения температур от 30 до 1600 °С. Считаем, что в этом случае возможно применение искусственного интеллекта, что позволяет решать задачи, природу которых не всегда удастся выразить в обычных терминах «корреляций» [6, 7]. В последнее время наблюдается значительное увеличение интереса к нейронным сетям, которые находят широкое применение в самых различных областях – физике, технике, медицине, геологии [8]. Нейронные сети имеют практическое применение во многих случаях, где необходимо решать задачи прогнозирования, классификации или управления. Как известно, нейронные сети представляют собой небольшие модели, созданные по подобию биологических нейронных сетей.

Выделение нерешенной части общей проблемы. Повышение эффективности работы системы регенерации ВТУ может быть достигнуто путем

решения задачи теплообмена в регенеративной насадке. Значительно усложняет решение данной задачи использование насадок с различной геометрией канала, использование различных огнеупорных материалов, необходимость учета изменения теплофизических свойств теплоносителей и материала насадки. Определение коэффициентов теплообмена в каналах насадок регенераторов является одной из важнейших задач при разработке математических моделей регенераторов [4, 6, 7]. В каналах регенеративной насадки имеет место совместное действия конвекции и излучения. В настоящее время имеется необходимость разработки методологических подходов к созданию математических моделей с использованием универсальных блоков по прогнозированию интенсивности теплообмена между огнеупорной насадкой и теплоносителями при условии циклического изменения температуры в широком диапазоне параметров при условии разнообразия формы и размеров насадки регенераторов для высокотемпературного нагрева воздуха горения.

Постановка задачи. Для совершенствования методики комплексного расчета рабочих параметров теплотехнологической системы, включающую регенеративные теплообменные аппараты, имеет решающее значение определение универсальных корреляций, позволяющих решить задачи прогнозирования интенсивности теплообмена с выбором основных характеристик и режимов их работы на основе моделирования нейросетевых архитектур.

Цель работы состоит в научном обосновании и разработке методологических основ, касающихся возможности применения нейросетевых моделей для прогнозирования интенсивности нестационарного теплообмена в каналах теплоаккумулирующих насадок на примере регенераторов стекловаренных печей.

Изложение основного материала. Как известно, нейросетевые модели имеют разнообразную структуру. Однако, даже относительно простые ансамбли дают возможность выполнять поставленную задачу с большой степенью точности [9]. Из всего разнообразия моделей следует выделить, прежде всего, сети прямого и обратного распространения ошибок. Первые являются более простыми в своем понимании, а процесс обучения производится за более короткое время и с меньшим количеством математических вычислений по сравнению с сетями обратного распространения [10]. Нами предпочтение было отдано одношаговому предиктору на базе прямонаправленной трехслойной сети с радиально-базисными активационными функциями нейронов скрытого слоя RBF – сети, и многослойному персептрону MLP.

В статье рассмотрены модели прямого распространения различной архитектуры, с помощью которых будет решаться задача прогнозирования значений коэффициентов теплообмена в каналах регенератора стекловаренной печи.

Текущее состояние нейрона определяется как взвешенная сумма его входов:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i, \quad (1)$$

где n – число входов нейрона,

x_i – значение i -го входа нейрона,

w_i – вес i -го синапса (однонаправленные связи входных сигналов соединенных с выходами других нейронов).

Затем определяется значение аксона нейрона по формуле $y = f(s)$, где f – некоторая функция, которая называется активационной. Выход нейрона есть функция его состояния. В качестве активационной функции чаще всего применяется нелинейная функция с насыщением, логистическая функция или сигмоид (рис. 1, а):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}. \quad (2)$$

Во введенных Брумхедом и Лоуе нейронных сетях в качестве активационной применяется функция Гаусса (радиально-базисная функция (РБФ)) (рис. 1, б):

$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}}. \quad (3)$$

Ее аргумент рассчитывается по формуле $x = \|z - c\|$, где z – вектор входных сигналов нейрона; c – вектор координат центра окна активационной функции; σ – ширина окна; $\|$ – эвклидово расстояние.

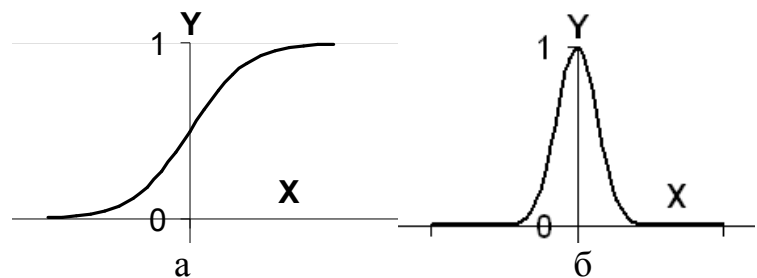
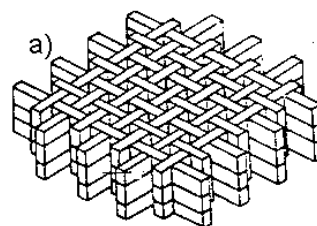


Рис. 1 . Типы активационных функций

Далее рассмотрим возможность применения нейронных сетей для решения задачи расчета коэффициентов теплообмена в каналах насадки регенератора стекловаренной печи. Насадочная камера регенератора имеет прямоугольную форму, в которой устанавливается насадка из огнеупорного кирпича. В данном случае рассмотрена насадка с каналами прямоугольной формы (рис. 2).

Температурные параметры: греющие газы поступают в регенераторы с температурой 1100-1350 °С и охлаждаются там до 400 – 550 °С,



б)

Рис. 2 . Общий вид насадок регенераторов стекловаренных печей а)Каупера, б) Сименса

температура воздуха на входе в регенератор составляет в среднем 80 – 150 °С.

Расчетные исследования проведены для насадки Каупера с размером ячейки 120×120 мм. Выбор критериальных уравнений для расчёта теплопередачи в насадках регенераторов обусловлен конструкцией насадки и условиями её работы. Для определения конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи использовали критериальное уравнение [4]:

$$Nu = 0,237 \cdot Re^{0,61}, \quad (4)$$

где Re – число Рейнольдса.

Лучистая составляющая значения коэффициента теплоотдачи находится с учетом влияния величин дополнительных отражений и поглощений как

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{C_S}{T - T_{\text{ст}}} \cdot \left[\bar{\varepsilon} \cdot \left(\frac{T}{100} \right)^4 - \bar{\varepsilon}_{\text{П}} \cdot \left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^4 \right]. \quad (5)$$

Здесь величины $\bar{\varepsilon}$ и $\bar{\varepsilon}_{\text{П}}$ учитывают влияние дополнительных отражений и поглощений, рассчитываемые по методике, изложенной в [4, 5].

Массив исходных данных для обучения сети был получен с помощью программного комплекса для моделирования работы регенеративных теплообменников [4]. В результате расчета были получены данные для обучения нейросетевой модели.

Таблица. Данные для обучения нейронной сети

Температура газа на входе в насадку, °C	Скорость газа, м/с	Диапазон изменения коэффициентов теплообмена, Вт/(м ² ·K)	
		конвекция	излучение
100 – 1580	0,6	12,43 – 28,6	3,19 – 139,16

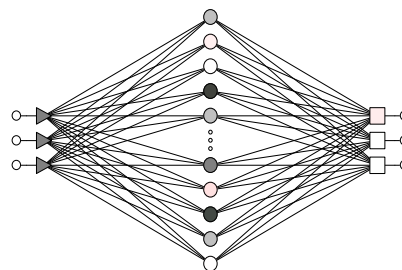
Полученные результаты были обработаны помощью нейросетевого компилятора стандартного приложения Stat Soft NeuralNetwork [10]. В результате анализа было получено пять моделей с тремя видами архитектуры нейронной сети: линейная, многослойный персептрон и радиально базисная функция соответственно.

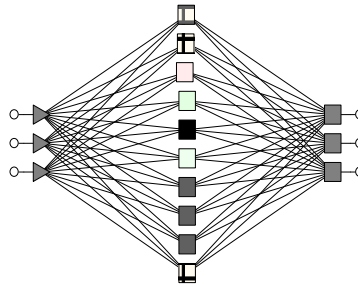
Из этих моделей выберем две с различной архитектурой для дальнейшего анализа.

На интервале обучения наименьшую ошибку 0,000242, имеет радиально-базисная функция с архитектурой РБФ 3:3-31-3:3 где 3 входа, 3 выхода, три слоя, которых имеют 3, 31 и 3 элемента соответственно. Многослойный персептрон – МП 3:3-10-3:3, контрольная ошибка составляет 0,008961.

На рис. 3 представлено архитектуры ансамбля нейронных моделей для радиально-базисной функции и для многослойного персептрона. Треугольники

используются для того, чтобы указать на входные нейроны. Эти нейроны не осуществляют преобразований, а просто подают входные значения в сеть. Квадраты соответствуют





а

б

Рис. 3 .Архитектура сети: а) РБФ 3:3-31-3:3, б) многослойный персептрон МП 3:3-10-3:3

элементам с синаптической функцией скалярного произведения. Окружности соответствуют элементам с радиальной синаптической функцией. Черный цвет скрытого слоя нейронов показывает

положительное

воздействие

активации

выходные

предикторы,

уменьшением

активации

становится светлее,

штриховка

показывает

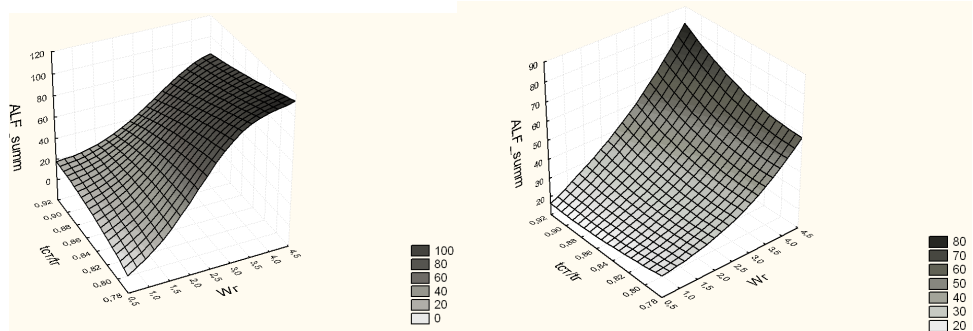
отрицательное

воздействие.

на

с

цвет



а

б

Рис. 4. Поверхность отклика: а) РБФ 3:3-31-3:3, б) многослойный персептрон МП 3:3-10-3:3

Поверхность отклика представляет собой двумерный срез N -мерной поверхности отклика, где N – число входных переменных. В нашем случае размерность обучающей выборки равна трем.

Для оценки работоспособности сети протестируем модель и прогнозируемые

результаты сравним с расчетными. Входные данные выполняют условие, что $\frac{t_2}{t_{cm}}$

будет отличаться от значений, на которых была обучена модель.

Как показали результаты сравнения прогноза и расчетных данных, (рис.5), максимальная погрешность прогноза была показана RBF – равная 36,65% (при минимальной температуре исследования 100 C). Учитывая, что температура

уходящих газов на выходе из регенератора стекловаренной печи редко бывает ниже 400°C, то максимальное отклонение прогнозирования интенсивности теплообмена составит: для RBF – 8,74 %, для MLP – 5,36 %. Такая точность является вполне допустимой для расчета коэффициентов сложного теплообмена в регенераторах.

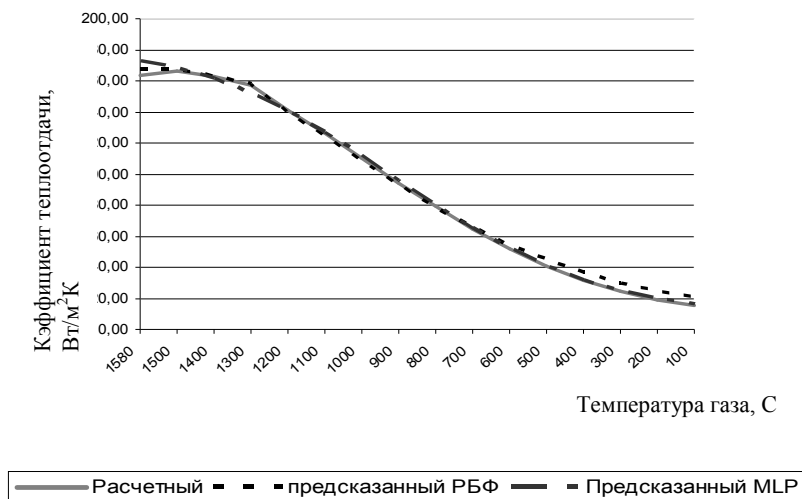


Рис. 5. Сравнение прогноза с расчетными данными определения зависимости коэффициента теплоотдачи от температуры газа в насадке регенератора

Выводы. Таким образом, в работе впервые был применен анализ данных с использованием искусственных нейронных сетей, для прогнозирования показателей интенсивности теплообмена в высокотемпературных регенеративных воздухонагревателях стекловаренных печей. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применимости данного метода для расчетов интенсивности теплообмена конвекцией и излучением в каналах регенеративных теплообменных аппаратов стекловаренных печей, что позволит использовать их при проектировании новых теплообменников и оптимизации параметрических характеристик регенераторов действующих стекловаренных печей.

Список литературы: 1. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х т. / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – Т.1: Загальні засади енергозбереження. – 510 с. 2. Ключников А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения.- М.: Энергоатомиздат, 1986. –128 с. 3. Товажнянський Л.Л. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: монография / [Л.Л. Товажнянский, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник]. Под ред. В.М. Кошельника – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с. 4. Кошельник А.В. Повышение эффективности теплоиспользования на основе совершенствования параметрических характеристик системы регенерации стекловаренной печи: дис...канд. техн. наук: 05.14.06 / А.В. Кошельник. – Харьков, 2001. – 176 с. 5. Кошельник А. В. Математическая модель многокамерных регенераторов плавильных агрегатов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №1/2 (25). – С. 51 – 54. 6. Кошельник О.В. Особливості розрахунків процесів складного теплообміну в регенеративних теплообмінниках з нерухомою вогнетривкою насадкою нагрівальних і плавильних печей // Промышленная теплотехника. – Т. 30, № 3. – 2008.– С. 33 – 40. 7. Koshelnik A. Modeling of thermal processes in the packing of regenerative heat exchangers in industrial glass-melting furnaces / A. Koshelnik // Glass and ceramics. – 2008. – V. 65, № 9–10. – P. 301–304.. 8. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г.К. Вороновский. Х: Харьков, 2002. – 240 с. 9. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. 10. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных: под редакцией В.П. Боровикова. – М.: Горячая линия, Телеком, 2008. – 392 с.

Поступила в редколлегию 07.03.12

УДК 539.234 + 544.344.015.032.1.032.4

А.Е. БАРМИН, асс., НТУ «ХПИ», Харьков

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВАКУУМНЫХ КОНДЕНСАТОВ Fe И Fe-W

Досліджено вплив термічного впливу на структуру і властивості вакуумних конденсатів Fe і Fe-W. Представлені експериментальні результати, котрі вказують, що легування заліза вольфрамом (менше 1 ат.%) призводить до суттєвого підвищення термостабільності структури і властивостей вакуумних конденсатів.

Исследовано влияние термического воздействия на структуру и свойства вакуумных конденсатов Fe и Fe-W. Представлены экспериментальные результаты указывающие, что легирование железа вольфрамом (менее 1 ат.%) приводит к существенному повышению термостабильности структуры и свойств вакуумных конденсатов.

The influence of thermal effects on the structure and properties of vacuum condensates of Fe and Fe-W are researched. Experimental results indicates that the alloying tungsten of iron (less than 1 at.%) leads to a significant increase thermal stability of the structure and properties of vacuum condensates are resulted.

Введение. Нанокристаллические (НК) и субмикрокристаллические (СМК) материалы обладают рядом уникальных физико-механических свойств [1-2]. Одним из основных факторов, предопределяющих уникальность этих свойств, является изменение термодинамического состояния данных материалов. В общем случае термодинамическое неравновесие и соответственно повышение свободной энергии можно объяснить характерным для НК и СМК материалов обилием поверхностей раздела (межзеренные, межфазные границы) наличием неравновесных фаз и пограничных сегрегаций, остаточных напряжений и повышенной дефектностью кристаллического строения. Очевидно, что при термических и других энергетических воздействиях (радиационных, деформационных и т.д.) неизбежны рекристаллизационные, сегрегационные и гомогенизационные процессы, также явления фазовых превращений, аморфизации и кристаллизации. Все это будет оказывать влияние на эксплуатационные свойства НК и СМК материалов, что и предопределяет важность изучения их стабильности. Имеется довольно много экспериментальных фактов, свидетельствующих как о термической стабильности НК и СМК материалов, так и об активной их рекристаллизации даже при комнатных температурах [3].

Таким образом, целью исследования являлся анализ термической стабильности структуры и физико-механических свойств фольг Fe и Fe-W, полученных конденсацией в вакууме.

Методика экспериментов. Вакуумные конденсаты Fe, Fe - W толщиной ~ 30 мкм получали электронно-лучевым испарением в вакууме ~ $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па и

осаждением на неориентированные ситаловые подложки в интервале температур 250 – 550°C.

Элементный состав фольг изучали методом рентгенофлуоресцентного анализа. Структурные исследования проводили методом оптической металлографии на МИМ-7, просвечивающей электронной микроскопии на ПЭМ-100 и JEM – 2100 рентгеновской дифрактометрии на ДРОН-3 и УРС-60. Оценка механических свойств производилась измерением микротвердости на приборе ПМТ-3.

Изохронные отжиги производились при температурах 800, 900 и 1000°C в вакууме $\sim 1,3 \cdot 10^{-3}$ Па в течении 30 минут.

Результаты и их обсуждение. Ранее было показано [4], что в исходном конденсированном состоянии фольги Fe и Fe-W (менее 1 ат. % W) имеют СМК и НК однофазную структуру. При этом наблюдаемое сильное диспергирование структуры железной матрицы фольг Fe-W связывалось с образованием сегрегаций вольфрама в приграничных областях зерен, что также должно способствовать повышению термической стабильности структуры и свойств [5,6].

Такое исходное структурное состояние обуславливает и высокие прочностные свойства объектов; так, твердость вакуумных конденсатов Fe $\sim$ в 1,5-2 раза выше уровня твердости армко-железа, а уровень твердости конденсатов Fe - W в наноструктурном состоянии приближается к твердости среднеуглеродистых сталей (4,5 – 5 ГПа).

Основные процессы, влияющие на сохранение исходных свойств НК и СМК материалов являются процессы возврата и рекристаллизации, это связано с тем, что у такого типа материалов основным вкладом в повышение прочностных свойств является зернограничное упрочнение.

На рис. 1 – 4 представлены структуры фольг Fe и Fe-W после отжигов при температурах 800, 900 и 1000°C.

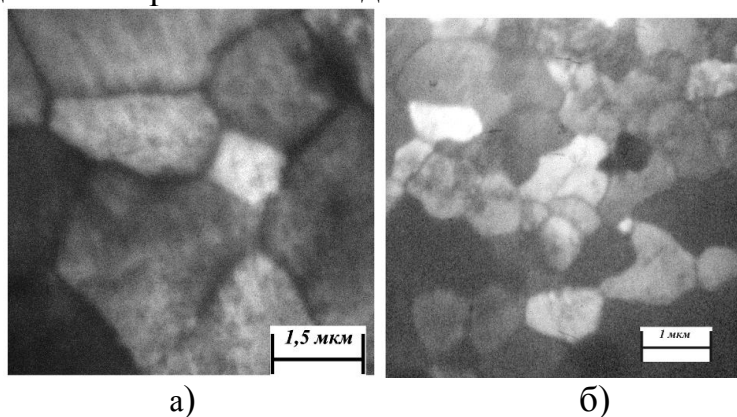


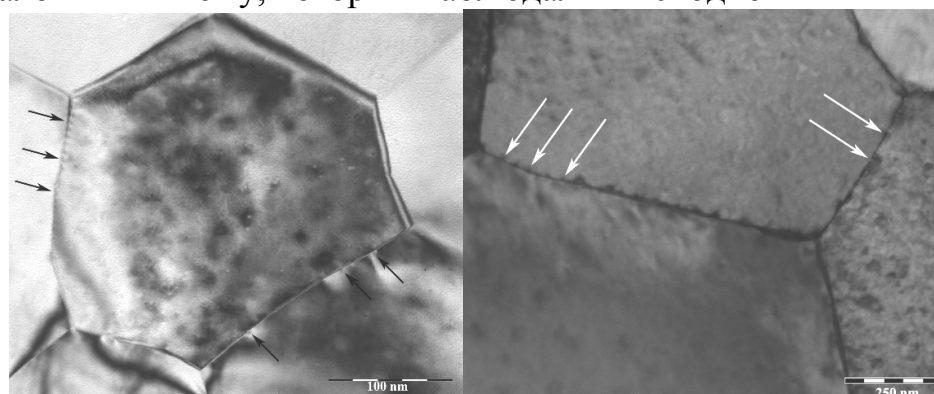
Рис. 1. Структура вакуумных конденсатов после отжига $T_{отж} = 800^\circ\text{C}$: а) Fe; б) Fe-W

Как и ожидалось, в конденсатах чистого железа начались процессы рекристаллизации уже при $T = 800^\circ\text{C}$, которые привели к увеличению среднего размера зерна от 0,34 мкм до 3,3 мкм. С повышением температуры отжига скорость роста зерен экспоненциально увеличивается и средний размер зерна фольг Fe при нагреве до $T=900^\circ\text{C}$ увеличивается в 23 раза, при $T=1000^\circ\text{C}$ - в 40 раз. Это подтверждается и рентгеноструктурным анализом (рис. 5), линии железа на рентгенограммах стали носить точечный характер.

Совершенно иная картина наблюдается при структурных исследованиях вакуумных конденсатов Fe-W. Так, при отжиге до 800°C не происходит заметных изменений размеров зерен. Достаточно отметить, что в сплавах Fe-W

металлургического происхождения при аналогичном содержании вольфрама процессы рекристаллизации происходят при температурах $\sim 650^{\circ}\text{C}$ [5]. Качественный анализ светопольных изображений при более высоком увеличении указывает на присутствие контраста в приграничных областях зерен железной матрицы, аналогичный тому, который наблюдали в исходном состоянии (рис. 2).

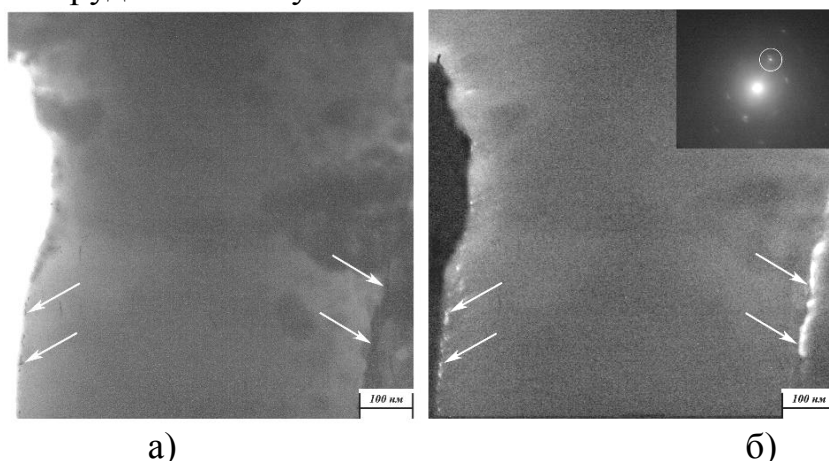
Т. к. на электронограммах и на рентгенограммах присутствуют только рефлексы железа (рис. 5), то данный контраст, по всей видимости, обусловлен сегрегациями легирующего



а) исходное состояние б) после отжига $T_{\text{отж}} = 800^{\circ}\text{C}$
Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения тонкой структуры вакуумных конденсатов Fe-W

элемента. Размер областей обогащенных легирующим элементом как в исходном состоянии так и после отжига 800°C составляет $\sim 3-5$ нм. Увеличение температуры отжига до $T = 900^{\circ}\text{C}$ приводит к росту среднего размера зерна $\sim$ в 2 раза, что говорит о прохождении процессов рекристаллизации в конденсатах Fe-W. Дальнейший нагрев до $T = 1000^{\circ}\text{C}$ сопровождается уже увеличением среднего размера зерна $\sim$ в 4 раза, при этом средствами электронной микроскопии обнаруживаются дифракционные рефлексы, не присущие железу (рис. 3). В то время как на рентгенограммах данные рефлексы отсутствуют (рис. 5г), что объясняется высокодисперсным состоянием второй фазы (< 10 нм). Идентификация данной фазы затруднена в силу малого количества

дифракционных рефлексов, расшифровка электронограммы дает значение межплоскостного расстояния $\sim 2,29$ Å, а согласно картотеке ASTM близкие межплоскостные расстояния $d = 2,2381$ Å и $d = 2,3685$ Å соответственно имеют W и интерметаллид Fe_2W .



а) б)
Рис. 3. Структура вакуумных конденсатов Fe-W после отжига $T = 1000^{\circ}\text{C}$: а) светлое поле; б) темное поле

Также необходимо отметить что при отжиге 1000°C в конденсатах Fe и Fe-W наблюдается разнотернистость (рис. 4), анализ отношения наибольшего размера зерна к среднему показывает, что образовавшиеся структуры содержат

потенциальные «зародыши» вторичной рекристаллизации – зерна размером более $3d_{\text{ср}}$ [6].

Такая высокая термическая стабильность зеренной структуры конденсатов Fe-W по сравнению с конденсатами Fe и сплавами Fe-W металлургического происхождения обусловлена зернограницными сегрегациями легирующего компонента, образующимися еще в

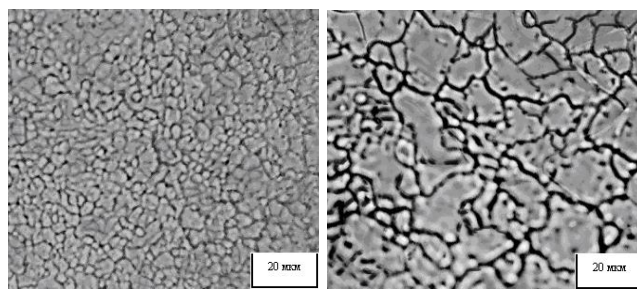
процессе конденсации, которые очевидно и стабилизируют границы зерен, препятствуя их миграции.

На рис. 6 для сравнения с вакуумными конденсатами приведены экспериментальные результаты по влиянию температуры отжига на средний размер зерна армко-железа и стали 20 с СМК структурой, полученной

соответственно интенсивной пластической деформацией (ИПД) и

термомеханической обработкой. Видно, что СМК структура вакуумных конденсатов является более термостабильной, наиболее интенсивно и при более низких температурах процессы рекристаллизации протекают в СМК армко-железе и стали 20, это обусловлено большей неравновесностью границ зерен сформировавшихся в результате интенсивной пластической деформации.

Из выше перечисленного следует, что: во-первых, на температуру начала рекристаллизации СМК структуры влияет метод получения этой структуры, во-вторых термическую стабильность вакуумных конденсатов можно существенно повысить путем легирования.



а) б)

Рис. 4. Металлографическое изображение вакуумных конденсатов Fe, Fe-W после отжига: а) Fe-W ($T_{\text{отж}} = 1000^\circ\text{C}$); б) Fe ($T_{\text{отж}} = 1000^\circ\text{C}$)

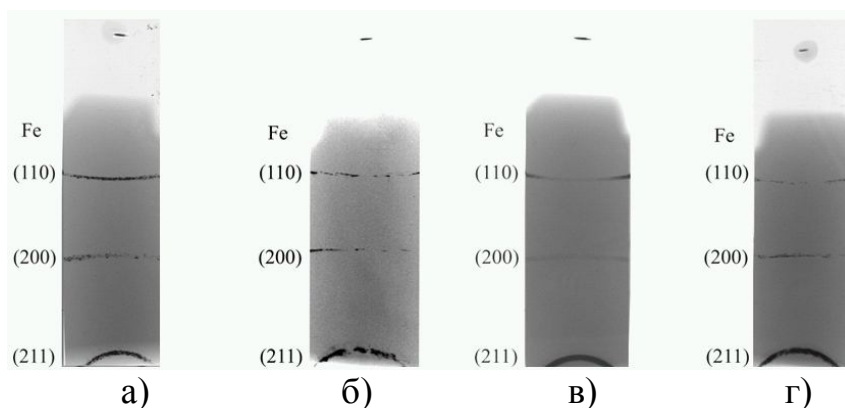


Рис. 5. Рентгенограммы вакуумных конденсатов Fe Fe-W после отжига: а) Fe ($T_{\text{отж}} = 800^\circ\text{C}$), б) Fe ($T_{\text{отж}} = 1000^\circ\text{C}$), в) Fe-W ($T_{\text{отж}} = 800^\circ\text{C}$), г) Fe-W ($T_{\text{отж}} = 1000^\circ\text{C}$)

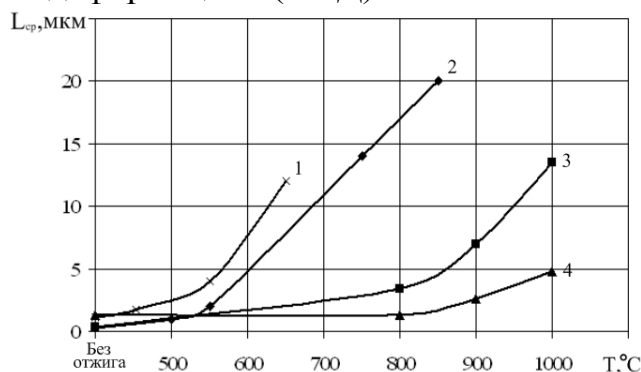


Рис. 6. Влияние температуры отжига на средний размер зерна: 1) СМК Сталь 20 [7], 2) СМК армко-железо (ИПД) [8, 9], 3) конденсат Fe, 4) конденсат Fe-W

В связи с тем, что при отжигах, проведенных в ходе данного исследования все структурные составляющие, обуславливающие тот или иной фактор упрочнения претерпевают необратимые изменения был проведен ряд механических испытаний, результаты которых представлены на рис. 7. Уменьшение микротвердости фольг Fe до уровня армко-железа уже при отжиге 800°C обусловлено полнотой прохождения процессов рекристаллизации, что подтверждается и структурными исследованиями. И увеличение температуры отжига не приводит к кардинальным изменениям механических свойств.

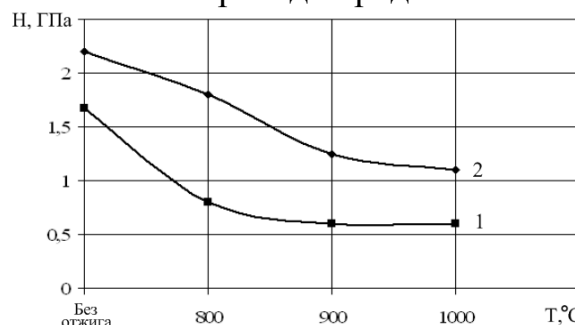


Рис. 7. Влияние температуры отжига на микротвердость вакуумных конденсатов 1) Fe, 2) Fe-W.

В случае вакуумных конденсатов Fe-W, после отжига при 800°C наблюдается снижение микротвердости ~ на 15%. Данное уменьшение механических свойств можно связать с процессами возврата (в результате происходит аннигиляция точечных дефектов, залечивание нанопор и снятие внутренних напряжений), что не противоречит результатам структурных исследований. Повышение температуры отжига вакуумных конденсатов Fe-W приводит к началу рекристаллизации, что и обуславливает снижение микротвердости. Но микротвердость вакуумных конденсатов Fe-W во всем температурном интервале отжигов остается на достаточно высоком уровне, даже после отжига при $T = 1000^{\circ}\text{C}$.

Следовательно температура рекристаллизации фольг Fe-W находится в температурном интервале 800 - 900°C, превышая температура рекристаллизации металлургического сплава Fe-W с аналогичным содержанием вольфрама (до 1 ат. %) на 200 - 250°C.

Выводы. Определена температурная область стабильности структурных параметров и прочностных свойств вакуумных конденсатов. Показано, что на термическую стабильность СМК структуры влияет метод ее получения. Обнаружено, что легирование приводит к повышению термической стабильности структуры вакуумных конденсатов железа.

Список литературы: 1. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства / А.И. Гусев. — Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 203 с. 2. Носкова Н. И. Субмикрокристаллические и нанокристаллические металлы и сплавы / Н. И. Носкова, Р. Р. Мулюков. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 279 с. 3. Андриевский Р.А. Термическая стабильность наноматериалов / Р.А. Андриевский // Успехи химии, 2002, т.71, №10. — С. 967-981. 4. Бармин А.Е. Субмикро- и нанокристаллические вакуумные конденсаты (фольги) на основе железа / А.Е. Бармин, А.И. Ильинский, А.И. Зубков // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии, 2010, т. 8, № 3, с. 547—551. 5. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С.С. Горелик. — М.: Металлургия, 1967. 403с. 6. Новиков В. Ю. Вторичная рекристаллизация / В. Ю. Новиков. — М.: Металлургия, 1990. 128 с. 7. Бармин А.Е. Получение и исследование субмикрокристаллической структуры в малоуглеродистой стали / А.Е. Бармин // Сборник научных трудов, Вестник НТУ «ХПИ», 2007. В. 30. С. 48-52. 8. Дегтярев М.В. Рост зерна при отжиге армко-железа с ультрадисперсной структурой различного типа, созданной деформацией сдвигом под давлением / М.В. Дегтярев, Л.М. Воронова, Т.И. Чашухина // ФММ,

2005, т.99, №3, С. 58 - 68. 9. Воронова Л.М. Низкотемпературная рекристаллизация субмикроструктурной структуры армко-железа и стали 30Г2Р / Л.М. Воронова, М.В. Дегтярев, Т.И. Чащухина // ФММ, 2004, т.98, №1, С. 93 - 102.

Поступила в редколлегию 01.02.2012

УДК 577.4:658.382.3:628.31

А.В. ПИСАРЄВ, канд. військ. наук, доц., НЮАУ, Харків,
С.А. ТУЗІКОВ, канд.техн.наук, с.н.с., НЮАУ, Харків,
А.Ф. ЛАЗУТСЬКИЙ, канд. військ. наук, доц., НЮАУ, Харків,
В.О. ТАБУНЕНКО, канд.техн.наук, с.н.с., академія Внутрішніх Військ
МВС України, Харків

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІВОК І ПОКРИТТІВ

Розглянуто фізико-хімічні основи застосування плівок і покриттів для запобігання радіоактивного забруднення, його розповсюдження на інші об'єкти та підвищення ефективності дезактивації.

Ключові слова: об'єкти, адгезив, сорбенти

Рассмотрены физико-химические основы применения пленок и покрытий для избежания радиоактивного загрязнения, его распространения на остальные объекты и повышения эффективности дезактивации

Ключевые слова: объекты, адгезив, сорбенты

The physicochemical basis for the use of films and coatings in order to avoid contamination, its spread to other objects and increase the effectiveness of decontamination

Keywords: objects, adgeziv, sorbents

Постановка проблеми: Для запобігання радіоактивного забруднення, його розповсюдження на інші об'єкти та підвищення ефективності дезактивації можна застосовувати плівки і покриття, що наносяться на поверхні різноманітних об'єктів.

На підставі роботи [1] і з урахуванням практики дезактиваційних робіт будемо у подальшому розмежовувати застосовувані композиції на плівки і покриття. Плівки наносять на поверхню об'єкта і видаляють їх після вичерпання своїх захисних властивостей, тобто мова йдеться про плівки, що видаляються. За допомогою покрить здійснюється футеровка найнебезпечніших з погляду на радіоактивну забрудненість об'єктів, зокрема підлоги. Покриття знижують радіоактивне забруднення, полегшують дезактивацію; діапазон використання плівок, що видаляються значно ширший. У зв'язку з цим у подальшому головним чином будуть розглядатися плівки, що видаляються.

У залежності від цільового призначення можна класифікувати три основні групи плівок [2], а саме: ізолюючі (їх іноді називають акумулюючими), дезактивуючі і локалізуючі (див. рис.). Така класифікація ґрунтується на відношенні плівок до радіоактивних забруднень. Ізолюючі плівки і покриття, що не видаляються сприймають радіоактивні забруднення, екранують поверхню на відміну від локалізуючих, котрі наносяться на уже забруднену поверхню. Дія

дезактивуючих плівок полягає у проникненні радіонуклідів у матеріал плівки і у видаленні плівки разом з радіоактивними забрудненнями, що в ній утримуються. Покриття на відміну від плівок, володіють лише ізолюючою функцією.

Вибір матеріалу для плівок визначається особливостями об'єкту, природою радіоактивного забруднення і наявністю певних ресурсів. У якості плівок різноманітного призначення використовують лакофарбові матеріали, гідрофобізуючі сполуки, полімерні композиції, дисперсні системи, у тому числі сорбенти, у вигляді суспензій, паст і гелів.

Особливо складну сполуку мають полімерні композиції. У якості полімерної основи подібних композицій застосовуються водяні і водно-спиртові розчини полімерів, до числа яких належать полівініловий спирт, плівінілбутераль, дисперсія латексів, полівінілацетатна емульсія тощо. Окрім того можливе застосування композиції з двох і навіть трьох суполімерів, наприклад, вінілацетата з етиленом [3]. Для надання плівкам фізико-хімічних властивостей (необхідну еластичність, міцність і адгезію) до сполуки полімерних композицій уводять пластифікатори (гліцерин, трибутилфосфат тощо) і наповнювачі (поверхнево-активні речовини, пігменти, рідше сорбенти). Для зв'язування РН у відповідності до властивостей плівок та їх призначення (див. рис.) до складу полімерних композицій додають хімічні реагенти, до числа яких відносяться мінеральні і органічні кислоти, розчинні фторидні з'єднання, окиснювачі, комплексоутворювачі та деякі інші.

Цільове призначення плівок:

а – ізолюючі; *б* – дезактивуючі; *в* – локалізуючі; *г* – заповнення виїмів шорсткої поверхні плівкою структурованого адгезива.

Не дивлячись на різне функціональне призначення, широкий асортимент матеріалів для плівок, має місце ідентичність фізико-хімічних процесів нанесення, формування і видалення плівок, а також взаємодія їх з радіоактивними забрудненнями.

Плівки виникають звичайно безпосередньо на поверхні об'єкту; окрім того можливе нанесення на поверхню вже готових плівок. У першому випадку композиції, з яких потім формується плівка, наносять у рідкому або у структурованому стані. Потім ці композиції тверднуть, утворюючи плівки. Рідкі препарати (наприклад, кремнійорганічні, лакофарбові тощо), повинні змочувати і копіювати поверхню, тобто виконувати ті умови, які відносяться до дезактивуючих розчинів [4].

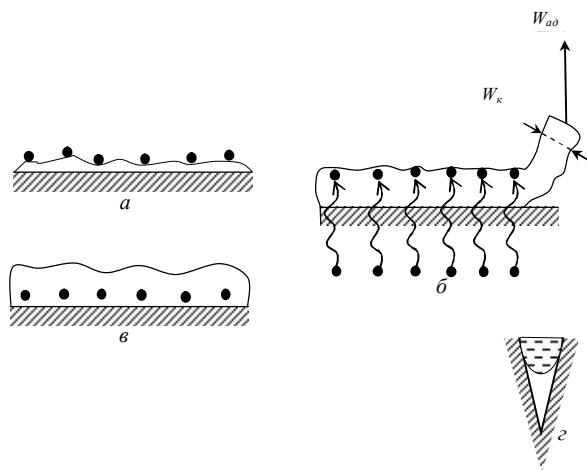


Рис. Цільове призначення плівок:
а – ізолюючі; *б* – дезактивуючі; *в* – локалізуючі; *г* – заповнення виїмів шорсткої поверхні плівкою структурованого адгезива

Особлива умова виникає при контакті структурованих тіл – деяких полімерних композицій, структурованих суспензій, гелів і паст [5]. Для цих систем площа контакту формується особливим чином. Якщо обозначити $S_{\text{нк}}$ мінімальну номінальну площу контакту, яка виникає між структурованим адгезивом та ідеально гладкою поверхнею, при заповненні виїмів, що реально існують на шорсткій поверхні, площа контакту буде вже пов'язана із затіканням структурованої маси у ці виїми (див. рис.) і дорівнює $S_{\text{макс}}$. Фактично виїми заповнюються не цілком і площа фактичного контакту буде знаходитися в межах $S_{\text{нк}} < S_{\text{фк}} < S_{\text{макс}}$. Частку площі фактичного контакту по відношенню до мінімального можна виразити за допомогою коефіцієнта α :

$$\alpha = S_{\text{фк}}/S_{\text{нк}}.$$

На підґрунті розгляду елементарного акту процесу заповнення структурованим адгезивом виїмів шорсткої поверхні отримані критеріальні залежності. Ці залежності дозволяють зв'язати між собою поверхневі (питома поверхнева енергія адгезива σ_a , шорсткість субстрату Δ) і об'ємні властивості (в'язкість η і гранична напружка зсуву δ_0) із зовнішніми умовами (часом τ і тиском P_k контакту), які відчуває адгезив [4].

Критеріальні залежності виглядають наступним чином:

$$N_1 = \frac{\sigma_a \tau_k}{\eta \Delta}; N_2 = \frac{\delta_0 \tau_k}{\eta}; N_3 = \frac{P_k \tau_k}{\eta}. \quad (1)$$

Критерій N_1 характеризує співвідношення питомої поверхневої енергії і сил в'язкого тертя, N_2 – є аналогом критерію Сен-Венана за умов нестационарної течії, N_3 враховує вплив тиску контакту і в'язкого тертя.

В залежності від співвідношення параметрів, що входять до критеріїв, визначається повнота заповнення виїмів субстрату, тобто площа фактичного контакту. Для того щоб ця площа була постійною, необхідно дотримуватися постійності критеріїв, що входять до рівняння (1).

Змінити площу фактичного контакту можна змінюючи будь-який параметр, що входить до цих критеріїв, а шляхом взаємної комбінації критеріїв можна отримати наступні критерії подібності:

$$N_4 = \frac{N_3}{N_2} = \frac{P_k}{\delta_0}, \quad (2)$$

$$N_5 = \frac{N_3}{N_1} = \frac{P_k}{\delta_0}, \quad (3)$$

На підставі критеріїв (1, 2, 3) можна уявити площу фактичного контакту або ж коефіцієнт, що її характеризує α у залежності від шорсткості субстрату Δ , поверхневих σ_a об'ємних властивостей адгезиву (η , δ_0) і зовнішніх факторів (τ_k , P_k), тобто

$$\alpha = f(\sigma_a, \eta, \delta_0, \tau_k, P_k, \Delta).$$

Знаючи коефіцієнт α , можна визначити фактичну площу контакту структурованого тіла при формуванні плівки, що видаляється.

В'язкість суспензій, застосовуваних для виготовлення дезактивууючої рідини у сотні разів перевищує в'язкість дезактивууючої речовини на основі поверхнево-активних речовин. Це значить, що час копіювання шорсткої поверхні і формування плівки із суспензії буде значно більшим.

Після нанесення рідких композицій, копіювання поверхні і затвердіння виникає адгезія [4], яка повинна бути достатньою для виконання плівками своїх функцій (див. рис.). У той же час адгезія повинна бути незначною, щоб сприяти видаленню цих плівок після вичерпання ними свого ресурсу. При видаленні плівок адгезія конкурує з таким явищем, когезія [6], що визначає зв'язок всередині матеріалу самої плівки. Умова адгезійного відриву плівки у загальному вигляді можна представити наступним співвідношенням:

$$W_{ад} < W_{к}; F_{ад} < F_{к}, \quad (4)$$

де $W_{ад}$, $W_{к}$, $F_{ад}$, $F_{к}$ – відповідно робота і сила адгезії і когезії.

Детальніше співвідношення між адгезією і когезією плівок, особливості адгезійного відриву при збереженні цілісності плівки, що видаляється викладені у [1].

Якщо не виконується умова (4), то відбувається розрив самої плівки на окремі частини, а не цілісне видалення самої плівки, що створює певні труднощі в практичному використанні плівок.

Адгезійна міцність визначалася для плівок з фторполімерів, сформованих після нанесення розчину з використанням негорючого розчинника, яким є хладон-113. Адгезійна міцність дорівнює 20 МПа.

Висновки: Якісно знижена адгезія у порівнянні з когезією спострігається для плівок із полівінілового спирту. Для цих плівок і плівок із натурального латексу з різноманітними добавками: когезійна міцність дорівнює 2,0...4,0 МПа, а адгезійна значно менша 0,03...0,07 МПа, тобто витримується умова (4).

Тому можливе пошарове нанесення покриттів, а потім їх пошарове видалення. Верхній забруднений шар, що знімається, оголяє нижчий, а той, у свою чергу стає як знову нанесений. У даному випадку когезія конкурує з аутогезією [1], що характеризує зв'язок по границі розділу між однорідними тілами, у даному випадку між шарами плівки. Пошарове нанесення плівок було використане для фото полімерів, коли чисельність шарів складало 3...4. У випадку трьохшарового покриття товщина одного шару, що знімається, складала 100...110 мкм, аутогезія вимірювана у кілограмах на 1 м ширини плівки, складала $2 \cdot 10^3$ кг/м. Коли чисельність шарів, що знімаються, досягло чотирьох, то товщина кожного шару, що знімається, знизилася до 90...100 мкм, а аутогезія до $1 \cdot 10^3$ кг/м.

Окрім механічного способу видалення різноманітних плівок може здійснюватися і «мокрим» шляхом з використанням водних розчинів і розчинників. Видалення відпрацьованих ізолюючих фарб здійснюють з використанням складу, що називається автозмивкою [4].

Список літератури: 1. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. Труды Методического совещания по обмену опытом ремонта на АЭС. М.: ЦНИИАтомминформ, 1988. 3. Поляков А.С., Мамаев Л.А., Галкин Г.А. и др. Особенности дезактивации после Чернобыльской катастрофы. М.: Всес. НИИ неорганич. материалов, 1991. 4. Зимон А. Д., Пикалов В.К. Дезактивация. М., Издат, 1994. – 336с. 5. Зимон А. Д., Иоффе С.М., Лярский И.В. // Заводская лаборатория. 1991. Т. 57, № 2, с. 40...43; № 4, с. 47...49. 6. Dyer A., Keiz D. // *Ziolites*. 1984. Vol. 4, № 3. P. 215...217.

Поступило в редколлегию 15.02.2012

Н.П. КУНДЕНКО, канд. техн. наук, доц., ХНТУСХ им.П.Василенко, Харьков
А.Д. ЧЕРЕНКОВ, док. техн. наук, проф., ХНТУСХ им. П.Василенко, Харьков

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДИФФУЗНОГО ПОТОКА К ПОВЕРХНОСТИ СФЕРОИДА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО СПЕРМИЙ

Запропоновано використати ультразвукові коливання як засоби інтенсифікації процесу розчинення, з метою впливу на біологічні об'єкти.

Ключові слова: ультразвук, коливання, дифузія, кавітація.

Предложено использовать ультразвуковые колебания как средства интенсификации процесса растворения, для воздействия на биологические объекты.

Ключевые слова-ультразвук, колебания. диффузия, кавитаци.

Proposed use of ultrasonic vibration as a means of intensifying the process of dissolution, for vozdeyviya on biological objects.

Keywords ultrasound vibrations. diffusion, cavitation

Постановка проблемы

Процессы замораживания и последующего отогрева могут оказывать сильное повреждающее действие на биологические объекты (спермии, эмбрионы и т.п.). В этой связи важной проблемой является всестороннее изучение возможностей увеличения криорезистивности биологических объектов и поиск способов дополнительной криозащиты их структур [1-3]. Наряду с совершенствованием таких традиционных подходов, как определение для каждого биологического объекта криозащитных сред и режимов криоконсервирования, изучаются возможности использования физических факторов, оказывающих обратимо модифицирующее воздействие на криолабильные структуры биологических систем. Одним из таких физических факторов является ультразвук низкой интенсивности. Если реакции биологических объектов на ультразвуковые колебания изучены хорошо на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях [4,5], то возможности влияния ультразвуковых волн на биологические объекты, находящиеся в криоконсервирующей среде, изучены недостаточно хорошо.

Учитывая это, целесообразно исследовать возможные механизмы воздействия ультразвуковых волн с целью оптимизации условий низкотемпературного консервирования таких биологических объектов как сперма сельскохозяйственных животных. Это позволит повысить эффективность способов замораживания и отогрева биологических объектов (спермии, эмбрионы и т.п.) и выявить подходы к использованию ультразвуковых волн при криоконсервировании биологических объектов. Существенным вопросом при этом является возможность физико-математического описания взаимодействия ультразвуковых волн с криоконсервирующей средой, содержащей биологические объекты.

Наличие микротоков у поверхности биологического объекта существенным образом влияет на процесс диффузии частиц крио – консервирующей среды . Эти микротоки осуществляют перенос частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологического объекта. Математическое описание процесса массопередачи может быть проведено в рамках диффузионной кинетики. Многочисленные экспериментальные результаты показывают, что процесс массопередачи определяется диффузией, возникающей вследствие наличия разности концентраций между слоем среды, непосредственно примыкающим к поверхности биологического объекта (эмбрион, спермий) и толщей среды.

Как следует из целого ряда экспериментов, поток частиц среды Q при наличии акустических волн возрастает. Согласно закона Фика , это возможно, только в том случае, если акустические волны могут увеличивать коэффициент молекулярной диффузии D или градиент концентрации $\frac{\partial q}{\partial \vec{n}}$ на поверхности

биологического объекта. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что наличие акустических волн, воздействующих на крио – консервирующую среду, должно увеличивать градиент концентрации.

Основные материалы исследования

Рассмотрим биологический объект – спермий, моделируемый эллипсоидальным сфероидом. При наличии акустических колебаний вблизи граничной поверхности сфероида возникают микротоки, средняя скорость которых может быть представлена в виде

$$\bar{V}_{\xi 2} = - \frac{A_2 e^{-2\alpha c \xi}}{\xi^2 - \eta^2} + \frac{D_2}{\sqrt{(\xi^2 - \eta^2)(\xi^2 - 1)}}, \quad \bar{V}_{\eta 2} = \bar{V}_{\varphi 2} = 0, \quad (1)$$

где

$$A_2 = - \frac{A^2 B^2 k_0 (k_0^2 + \alpha^2)}{8 \rho_0^2 \omega c^2}, \quad (2)$$

$$B = \frac{4a}{2 + \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \ln \frac{b}{a + \sqrt{a^2 - b^2}}}, \quad (3)$$

а величина D_2 задается формулой. Здесь ξ, η, φ - сфероидальные координаты связанные со сфероидом.

Для дальнейшего нам понадобятся следующие представления дифференциальных операторов $(\vec{V}_2, \nabla)$ и Δ в сфероидальных координатах. Как известно, они имеют следующий вид

$$(\vec{V}_2, \nabla) \Phi = \frac{\bar{V}_{2\xi}}{\sqrt{q_{11}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} + \frac{\bar{V}_{\eta 2}}{\sqrt{q_{22}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} + \frac{\bar{V}_{\varphi 2}}{\sqrt{q_{33}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi}, \quad (4)$$

$$\Delta \Phi = \frac{1}{\sqrt{q}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{11}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{22}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{33}} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} \right) \right], \quad (5)$$

где

$$q_{11} = c^2 \frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}, \quad q_{22} = c^2 \frac{\xi^2 - \eta^2}{1 - \eta^2}, \quad q_{33} = c^2 (\xi^2 - 1) (1 - \eta^2), \quad (6)$$

$$q = q_{11} q_{22} q_{33} = c^6 (\xi^2 - \eta^2)^2.$$

Используя (4), (5) и учитывая (1), запишем уравнение конвективной диффузии в сфероидальных координатах

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - 1}{\xi^2 - \eta^2}} \frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{D}{c (\xi^2 - \eta^2)} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left((1 - \eta^2) \frac{\partial q}{\partial \eta} \right) + \frac{\xi^2 - \eta^2}{(\xi^2 - 1)(1 - \eta^2)} \frac{\partial^2 q}{\partial \varphi^2} \right]. \quad (7)$$

Как и в случае биологического объекта – эмбриона, можно предположить, что доминирующим членом в правой части (7) является член

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right).$$

Поэтому уравнение (7) можно заменить приближенным уравнением следующего вида

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{(\xi^2 - 1)(\xi^2 - \eta^2)} \frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{D}{c} \frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right). \quad (8)$$

Это уравнение является исходным для определения градиента концентрации.

Найдем решение уравнения (8). Введем новую неизвестную функцию

$U = \frac{\partial q}{\partial \xi}$. В терминах этой функции уравнения (8) запишется следующим образом

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{(\xi^2 - 1)(\xi^2 - \eta^2)} U = \frac{D}{c} \left[2\xi U + (\xi^2 - 1) \frac{\partial U}{\partial \xi} \right]. \quad (9)$$

Преобразуем (9) к следующему виду

$$\frac{\partial}{\partial \xi} (\ell n U) = \frac{c \bar{V}_{\xi^2}}{D} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} - \frac{2\xi}{\xi^2 - 1}. \quad (10)$$

Интегрируя по переменной ξ левую и правую части в (10) получаем

$$\ell n U = \frac{c}{D} \int \bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} d\xi - \ell n (\xi^2 - 1). \quad (11)$$

Вычислим неопределенный интеграл в (11). С этой целью преобразуем подынтегральную функцию

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} = \frac{A_1 e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\eta^2}{\xi^2}\right) \left(1 - \frac{1}{\xi^2}\right)}} + D_2 \sqrt{\frac{1 - \frac{\eta^2}{\xi^2}}{1 - \frac{1}{\xi^2}}} \quad (12)$$

Поскольку переменная $\xi \geq \xi_0$ ($\xi = \xi_0$ - уравнение для граничной поверхности биологического объекта), а величина

$$\xi_0 = \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \gg 1$$

и $|\eta| < 1$, то радикалы в (12) можно заменить их асимптотическими значениями. Тогда получим

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} = \frac{A_1 e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} + D_2. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11) имеем

$$\ln U \cong \frac{c A_1}{D} \int \frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} d\xi + \frac{c D_2}{D} \xi - \ln(\xi^2 - 1) \quad (14)$$

Интеграл в (14) может быть представлен в следующем виде

$$\int \frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} d\xi = -\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} - 2\alpha Ei(-2\alpha\xi) + A_3, \quad (15)$$

где A_3 - произвольная постоянная величина.

$$A_3 = \frac{D}{c A_1} \ln q_1.$$

С учетом выше изложенного, получаем следующее выражение для градиента концентрации

$$\frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + 2\alpha Ei(-2\alpha\xi) \right) + \frac{c D_2}{D} \xi \right] \quad (16)$$

Если теперь воспользоваться асимптотическим представлением для интегральной показательной функции, то окончательно будем иметь

$$\frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + \gamma + \ln(2\alpha\xi) \right) + \frac{c D_2}{D} \xi \right] \quad (17)$$

Получаем формулу для расчета плотности диффузного потока на поверхности биологического объекта

$$j = D \left. \frac{\partial q}{\partial \xi} \right|_{\xi=\xi_0} = \frac{D q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + \gamma + \ln(2\alpha\xi) \right) - \frac{c D_2}{D} \xi_0 \right] \quad (18)$$

Выводы. Построена математическая модель процесса массопереноса частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологического объекта при наличии акустических колебаний. Установлено, что при воздействии акустической волны на крио – консервирующую среду с биологическим объектом (эмбрион, спермий) вблизи граничной поверхности биологического объекта возникает пограничный слой частиц крио – консервирующей среды, толщина которого прямо-пропорциональна линейному размеру биологического объекта и обратно-пропорциональна квадратному корню из амплитуды акустической волны.

Список литературы: 1. Лаврик С.С. Консервирование костного мозга поливинилпирролидоном путём замораживания в жидком азоте. /С.С. Лаврик - Пробл. гематол. и перелив. крови, 1966, 2, с. 50-64. 2. Медведев П.М., Русанович Т.П. Процессы льдообразования и режимы охлаждения суспензии клеток крови и костного мозга. В кн.: Актуальные вопросы консервирования и трансплантации костного мозга и крови. /П.М. Медведев, Т.П. Русанович - Харьков.: АН УССР, 1972, с. 11-25. 3. Резниченко А.А. Изменение свойств катализа эритроцитов крови человека под влияние ультразвука разных параметров. В

кн.: Ультразвук в физиологии и медицине: / А.А. Резниченко Тез. докл. научн. конф., Ростов-на-Дону, 1972, 1, с. 68-69. **4.** Аконян В.Б. Закономерности биологического действия ультразвука низких интенсивностей.: / В. Б. Аконян.-Автореф. дис. д-ра биол. наук. – М., 1982, 32 с. **5.** Аконян В.Б., Сарвазян А.П. Исследование механизмов действия ультразвука на биологические среды и объекты. .: / В. Б. Аконян, А.П. Сарвазян-Акустический журнал, 1979, т. 25, в. 3, с. 462-463.

Поступило в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.315.592

А.В. ФРОЛОВ, канд.техн.наук, ХНУРЭ, Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Досліджена можливість реалізації прогностичних оцінок вихідних характеристик кремнієвих монокристалічних фотоперетворювачів на основі дискретної кореляційної обробки їх основних параметрів для малої партії зразків.

Ключові слова: кореляція, фотоперетворювач, прогностичні оцінки, критерій Стюдента, довірчий інтервал.

Исследована возможность реализации прогностических оценок выходных характеристик кремниевых монокристаллических фотопреобразователей на основе дискретной корреляционной обработки основных параметров для малой партии образцов.

Ключевые слова: корреляция, фотопреобразователь, прогностические оценки, критерий Стюдента, доверительный интервал.

The possibility of prognostic score realization output characteristics of single-crystal silicon photoconverters on the basis of discrete correlation analysis of the main parameters of a small number of samples has been investigated.

Keywords: correlation, photoconverter, prognostic score, Student criteria, confidence interval.

1. Введение

Для оперативного управления и отладки технологического процесса после обновления и совершенствования базовой технологии производства кремниевых фотопреобразователей (ФП) с целью оперативного прогнозирования качества изделий необходимо располагать информацией о влиянии базовых и фотоэлектрических параметров на КПД фотоприбора.

Для решения этой задачи по результатам экспресс-контроля указанных параметров в пределах малой партии экспериментальных образцов исследуем возможности корреляционного анализа для оценки влияния базовых контролируемых параметров на КПД ФП.

2. Основная часть

Для непрерывных случайных переменных $x(t)$ и $y(t)$ используется взаимно-корреляционная функция $K_{xy}(\tau)$, которая определяется формулой

$$K_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)y(t+\tau)dt. \quad (1)$$

На практике имеют дело обычно с дискретными значениями $x(t)$ и $y(t)$ через равные промежутки времени t , причем объем выборки N . В этом случае асимптотически несмещенные оценки взаимно - корреляционных функций вычисляют по формуле

$$R_{xy}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N [x(t_i) - \bar{x}][y(t_i + \tau) - \bar{y}]}{(N-1)S_x S_y}, \quad (2)$$

$=0$, где $t_i = 1t, 2t, \dots, M$; M – число используемых сдвигов; $M=(0.25-0.35)N$; N – объем выборки.

Величина интервала съема данных Δt должна обеспечивать некоррелированность наблюдений, чтобы соседние отсчеты были стохастически независимы. Для непрерывных технологических процессов изменения переменных представляют собой некоторый случайный процесс, что равносильно требованию $R_{xx}(\tau \geq \Delta t) = 0$. Асимптотически несмещенная оценка $R_{xx}(t)$ (автокорреляционной функции входной переменной) определяется по формуле

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{(N-1)S_x^2} \sum_{i=1}^N [x(t_i) - \bar{x}][x(t_i + \tau) - \bar{x}]. \quad (3)$$

Для исследования корреляционных связей между КПД кремниевых монокристаллических ФП и их базовыми параметрами (ток короткого замыкания $I_{кз}$, напряжение холостого хода U_{xx}) необходимо воспользоваться соотношением для дискретного представления корреляционных функций

$$R_{xy}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N [x(n_i) - \bar{x}][y(n_i + \tau) - \bar{y}]}{(N-1)S_x S_y}, \quad (4)$$

где $\bar{x}, \bar{y}$ - средние значения параметров;

S_x, S_y - среднеквадратичные отклонения параметров;

N - объем выборки (число образцов в исследуемой партии ФП);

$\tau = 0, 1, \dots, m_j, \dots, M$;

M - число используемых сдвигов.

Рекомендуемое значение M [2] составляет $M=(0,25 - 0,35) N$.

Соответственно автокорреляционная функция имеет вид

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{(N-1)S_x^2} \sum_{i=1}^N [x(n_i) - \bar{x}][x(n_i + \tau) - \bar{x}] \quad (5)$$

Для вычисления автокорреляционных функций базовых параметров и функций взаимной корреляции между КПД и параметрами ФП использовались экспериментальные образцы монокристаллических кремниевых ФП со структурой n^+-p-p^+ на основе пластин марки КДБ10. Основные параметры партии указанных образцов приведены в табл.1.

Первоначально исследовались автокорреляционные зависимости для базовых параметров (фактор неидеальности A , последовательное сопротивление R_n , ток насыщения I_0). Для построения указанных зависимостей использовался объем выборки $N=16$ и $M=8$ (число точек графика) и $N=20$, $M=10$.

Таблица 1.Диодные (A , R_{Π} , I_0) и выходные ($I_{кз}$, U_{xx} , η) параметры кремниевых монокристаллических ФП

Номер образца		1	2	3	4	5	6	7	8
Диодн. параметры	A	1,16	1,2	1,12	1,1	1,15	1,16	1,12	1,12
	R_{Π} , Ом	0,11	0,105	0,115	0,108	0,112	0,11	0,13	0,125
	I_0 , А	$3,28 \cdot 10^{-11}$	$3,2 \cdot 10^{-11}$	$3,82 \cdot 10^{-11}$	$4,11 \cdot 10^{-11}$	$3,12 \cdot 10^{-11}$	$3,11 \cdot 10^{-11}$	$1,44 \cdot 10^{-11}$	$9,9 \cdot 10^{-11}$
$I_{кз}$, mA		332,0	333,4	335,7	331,3	337,8	333,5	293,5	294,7
U_{xx} , mB		621	619	620	621	618	620	614	616
η (КПД), %		14,0	14,1	13,9	14,0	13,8	13,9	11,9	12,0

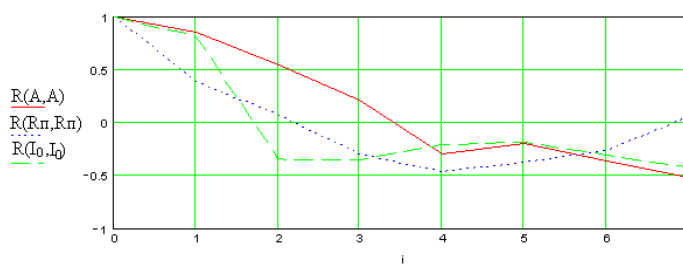
Номер образца		9	10	11	12	13	14	15	16
Диодн. параметры	1,08	1,12	1,12	1,08	1,2	1,0	1,12	1,16	1,12
	0,12	0,13	0,14	0,12	0,132	0,108	0,15	0,158	0,125
	$5,44 \cdot 10^{-11}$	$1,63 \cdot 10^{-11}$	$2,72 \cdot 10^{-11}$	$6,4 \cdot 10^{-11}$	$7,04 \cdot 10^{-11}$	$5,76 \cdot 10^{-11}$	$8 \cdot 10^{-11}$	$8,4 \cdot 10^{-11}$	$9,9 \cdot 10^{-11}$
$I_{кз}$, mA		296,0	286	279,0	290,9	296,0	287,0	300,6	291,5
U_{xx} , mB		617	610	602	616	620	610	614	619
η (КПД), %		12,2	11,7	11,2	12,0	12,1	12,0	12,0	12,1

Результаты вычислений представлены на рис. Из графиков для параметров R_{Π} и I_0 следует, что их значения в партии образцов практически слабо коррелированы. В то же время между значениями параметра A в пределах используемых сдвигов сохраняется корреляционная взаимосвязь.

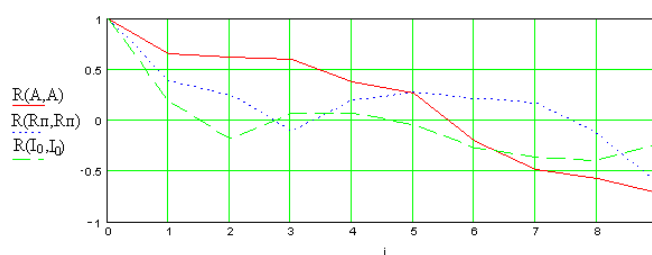
Кроме этого четко просматривается уменьшение уровня осцилляций огибающих автокорреляционных функций с увеличением числа образцов (выборок).

Кусочно-ломаный характер зависимостей свидетельствует о целесообразности увеличения объема выборки при сохранении прежним числа точек графиков, поскольку в данном случае соотношение $M/N=0,5$ выходит за пределы допустимого интервала.

Далее исследовались корреляционные связи между КПД и параметрами $I_{кз}$, U_{xx} . Соответствующие взаимные корреляционные функции представлены на рис.2. Из графиков на рис.2 следует, что влияние $I_{кз}$ на КПД более наглядно проявляется с увеличением числа выборок. Сравнивая графики на рис.2а



а)



б)

Рис. Автокорреляционные зависимости для A , R_{Π} , I_0 : а) $N = 16$, $M = 8$; б) $N = 20$, $M = 10$

и 2б легко заметить, что между КПД и $I_{кз}$ имеется корреляционная связь, а параметр U_{xx} практически не влияет на КПД.

Анализ корреляционных зависимостей между U_{xx} и диодными параметрами (рис.3) показывает, что наиболее сильное влияние оказывают А и I_0 , как было показано ранее [1], с ростом I_0 уменьшается значение U_{xx} и это наглядно проявляется в отрицательном значении корреляционной функции. Влияние $R_{п}$, как следует из графиков, не существенно, что подтверждается известным анализом работы ФП в режиме холостого хода. Оценка влияния параметра А по-видимому требует дальнейших исследований.

В условиях малой партии экспериментальных образцов кремниевых ФП следует выбирать рациональное

соотношение между объемом выборки N и количеством M сдвигов (точек) искомой корреляционной зависимости, поскольку с ростом отношения M/N возрастают осцилляции ската указанной зависимости.

В целом следует отметить, что при синтезе корреляционных и автокорреляционных зависимостей с $(0,1,...M)$ (при ограничении числа $\square\square$ дискретным возрастанием параметра N) происходит уменьшение числа слагаемых в соотношении (2). В результате возрастает погрешность формирования корреляционной зависимости, которую можно оценить с помощью доверительного интервала ее значений, используя критерий Стьюдента и нормальный закон распределения погрешностей.

Рассмотрим особенности обработки параметров образцов ФП, если их количество составляет 10-20 (малая партия выборок).

Как известно, если численность выборки достаточно велика, то все обобщенные характеристики генеральной совокупности считают приблизительно равными соответствующим выборочным характеристикам.

Как показано в [2], математическое ожидание выборочной дисперсии меньше генеральной дисперсии на $\frac{1}{N}D$, где D-генеральная дисперсия.

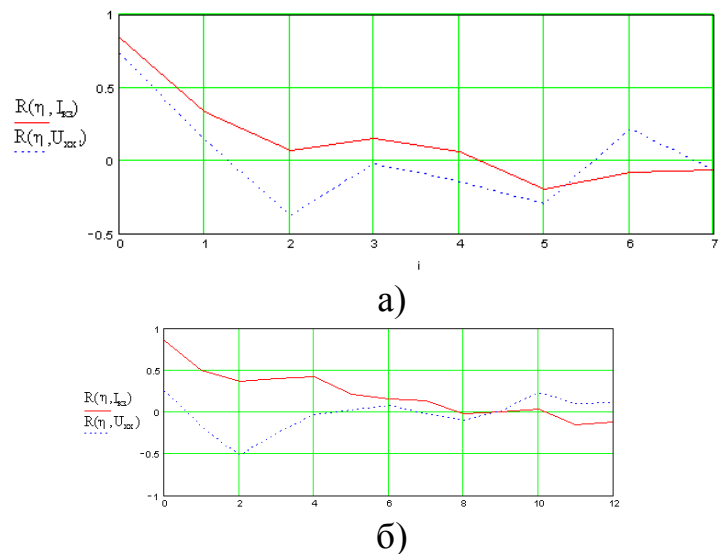


Рис.2 Взаимные корреляционные функции: а) N = 16, M = 8; б) N = 20, M = 12

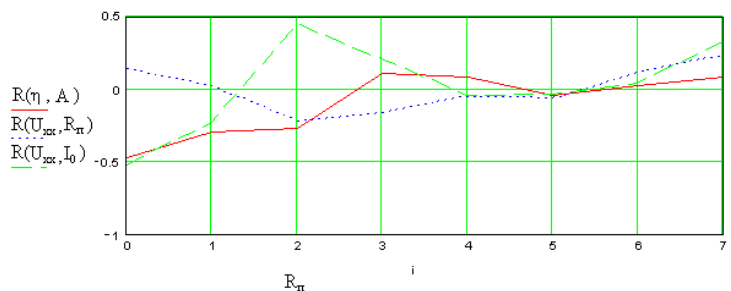


Рис.3. Корреляционные зависимости между U_{xx} и диодными параметрами: N = 16, M = 8

Чтобы выборочная дисперсия D_B стала несмещенной оценкой генеральной D необходимо внести в нее поправку и тогда,

$$D = \frac{N}{N-1} M.o.$$

$$D_B = M.o. \left(\frac{N}{N-1} D_B \right),$$

где M - математическое ожидание величины $\frac{N}{N-1} D_B$. Далее во все формулы ошибки выборки следует вместо генеральной дисперсии подставлять величину так называемой исправленной выборочной дисперсии $S^2 = \frac{N}{N-1} D_B$. При этом средняя ошибка выборки для средней величины будет выражаться формулой

$$\gamma = \sqrt{\frac{ND_B}{(N-1)N}} = \sqrt{\frac{D_B}{N-1}}.$$

Как показал английский математик Стьюдент, вероятность того, что $|\bar{x} - \tilde{x}| < t\gamma$ представляет собой функцию от t и N .

$$P(|\bar{x} - \tilde{x}| < t\gamma) = \int_{-t}^t A \left(1 + \frac{t^2}{N-1} \right)^{\frac{-N}{2}} dt,$$

где A зависит от N :

$$A = \frac{\Gamma(\frac{N}{2})}{\sqrt{\pi(N-1)} \Gamma(\frac{N-1}{2})}.$$

На практике пользуются таблицами распределения Стьюдента $S(t)$, в которых для различных N и t приведены вероятности:

$$S(t) = \int_{-\infty}^t A \left(1 + \frac{t^2}{n-1} \right)^{\frac{-N}{2}} dt$$

Чтобы на их основе получить доверительные вероятности P , необходимо из $S(t)$ вычесть 0,5 и полученную разность удвоить.

$$\beta = \gamma t$$

$$\overline{y_x} \rightarrow \overline{y_x} \pm \beta$$

Выбор значения вероятности $S(t)$, определение по таблицам $S(t)$ параметра t

Для оценки погрешности согласно гипотезы нормального закона распределения используется зависимость плотности распределения вероятности

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right], \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2.$$

Функция распределения вероятностей $\Phi(X)$ определится из интегрального преобразования

$$\Phi(X) = \int_{-\infty}^X P(x) dx, \text{ когда } \Phi(X) = P(x \leq X) \text{ и } P(X) = \frac{d\Phi(X)}{dX}$$

При интегрировании с бесконечными пределами

$$\Phi(X) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = \Phi(\infty) = 1$$

Преобразуем $P(X)$ и $\Phi(X)$ при $\sigma = 1$

$$P(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

$$\Phi(X) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

функции □ Для оценки доверительного интервала $\bar{y}_x$ зададим вероятность ошибки – 0,05 (5%). Тогда $\Phi(X) = 0,95$ и $X = 2,00$

$$\beta = \sigma_y X \quad \sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_x)^2}{N} \quad \bar{y}_x \rightarrow \bar{y}_x \pm \beta$$

И □ соответственно доверительный интервал

где y_i - значения выходного параметра образцов ФП;

$\bar{y}_x$ - уравнение $y_0(x)$;

σ_y - СКО между значениями y_i образцов ФП и уравнением $\bar{y}_x$.

Для иллюстрации сказанного на рис.4

приведена автокорреляционная зависимость для параметра $I_{кз}$ с отложенными границами

доверительного интервала по критерию Стьюдента β_2

(вертикальные линии максимальной длины), а также погрешности на основе гипотезы о нормальном законе распределения β_1

(внутренние вертикальные отрезки). Нетрудно сделать вывод, что уже при $M=12$ и $N=20$ погрешность составляет 100%. Следовательно, применение корреляционного анализа нецелесообразно для обработки параметров малых партий образцов ФП.

3. Заключение

Анализ значений доверительных интервалов □, □ и □ при □ формировании автокорреляционной функции показывает, что параметр $I_{кз}$ имеет меньшую величину и изменяется в пределах $(\pm 5\%) - (\pm 25\%)$. Это справедливо при условии хорошо отлаженного технологического процесса, когда для параметров партий образцов можно применять нормальный закон распределения. Однако даже при этом условии, величина доверительных интервалов существенно больше допустимых значений (3-5%).

Таким образом, можно сделать вывод, что для эффективного применения корреляционного анализа с целью получения прогнозных оценок выходных параметров кремниевых монокристаллических ФП минимальное необходимое число выборок (образцов) должно быть не менее 50.

Список литературы: 1. Слипченко Н.И. Анализ информативности диодных параметров кремниевых фотопреобразователей / Слипченко Н.И., Письменецкий В.А., Яновская Н.Н., Фролов А.В. Восточно-европейский журнал передовых технологий, Харьков 2007, №6/2(30), с.30-36. 2. Львович Я.Е. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА-М./ Львович Я.Е., Фролов В.Н. : «Радио и связь» 1986г.-194с.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

О.В. САВВОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП», Харків,
Г.М. ШАДРИНА, асп., НТУ «ХП», Харків

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ ПРИ ОТРИМАННІ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ ПОКРИТТІВ ПО ТИТАНУ ДЛЯ КІСТКОВОГО ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ

В статті досліджено особливості та встановлено ефективний спосіб підготовки поверхні титанових сплавів типу OT4-1 і VT5 при отриманні на них якісного біосумісного покриття з заданим комплексом медико-біологічних, хімічних, механічних та технологічних властивостей.

В статье исследованы особенности и установлен эффективный способ подготовки поверхности титановых сплавов типа OT4-1 и VT5 при получении на них биосовместимого покрытия с заданным комплексом медико-биологических, химических, механических и технологических свойств.

The article studies characteristics and establishes an effective way to prepare the surface of titanium alloys types OT4-1 and VT5 to continue to receive on them biocompatible coating with a predetermined set of medical-biological, chemical, mechanical and technological properties.

Вступ. Використання титану та його сплавів у ортопедії та травматології відомо давно і обумовлено достатньо високою біосумісністю сплавів даного металу. Біологічна сумісність титанових сплавів пов'язана зі здатністю їх утворювати на своїй поверхні тонкий, міцний, абсолютно біоінертний оксидний шар, який обмежує вихід вільних іонів металу в навколишні тканини, чим запобігає алергічним і запальним реакціям імплантату на організму [1]. Технологічність використання титану в кістковому ендопротезуванні пов'язана з відповідністю його властивостей до властивостей, які пред'являються до матеріалів імплантатів: легкість, стійкість до корозії, низький модуль пружності та щільність, а також висока питома міцність [2, 3]. Однак, незважаючи на суттєві переваги використання титану та його сплавів, існує проблема довготривалого використання титанових імплантатів, які піддаються циклічним навантаженням. Проблема нездатності титану утворювати хімічні зв'язки з живою кісткою намагаються вирішувати різними способами: застосуванням пористих металевих імплантатів; композиційних матеріалів з використанням металу, полімерів, скла, кераміки та ін. та біосумісних покриттів [4].

На сьогоднішній день при одержанні кісткових імплантатів найбільш перспективними є біосумісні керамічні та склокристалічні покриття по титану на основі фосфатів кальцію з визначеним співвідношенням $\text{CaO} / \text{P}_2\text{O}_5$ [5]. Поряд з забезпеченням біоактивності важливою умовою отримання якісного імплантанту є наявність міцного шару зчеплення, що забезпечується наявністю адгезії склопокриття до титану. Міцність зчеплення з металом багато в чому залежить не лише від складу скла, але і від підготовки поверхні металу [6, 7].

Особливості протікання процесів формування склокристалічного покриття по титану відрізняються від тих, які перебігають при емалюванні сталі. Обумовлено це високою хімічною активністю титану та схильністю його до газопоглинання. Підготовка поверхні титану і його сплавів перед нанесенням склопокриттів полягає перш за все у видаленні з поверхні шару, забрудненого елементами впровадження (киснем, воднем, азотом) та реалізується різними способами [6]. За даними Литвинової Е.І. змочування емалевим розплавом залежить від обробки поверхні і воно є незадовільним при знежиренні бензином, задовільним при обробці у содовому розчині та високим при механічній і піскоструменевій обробці [8].

Метою даної роботи є дослідження особливостей підготовки поверхні титанових сплавів при отриманні на них апатитових склокристалічних покриттів для кісткового ендопротезування.

Методика експерименту. Для досягнення вказаної мети було обрано наступні способи обробки поверхні перед нанесенням склопокриттів на титанові сплави ОТ4-1 та ВТ5 [6, 8, 9].

Таблиця 1 . Методи підготовки поверхні титанових сплавів

№ способу	Метод підготовки поверхні	1-ша стадія травлення			2-га стадія промивка
		Склад розчину	Температура ванни, °С	Час витримки у розчині	
1	травлення	180 мл/л HCl ($\rho=1,19$); 50 г/л NaF	20	3 – 5хв.	
2		20% HNO ₃	20	48 годин	
3	механічна обробка + травлення або знежирення	1-ша стадія механічна обробка	2-га стадія		3-тя стадія
			попереднє знежирення в ацетоні, 5 хв. + наступне травлення в розчині		промивка
			H ₃ PO ₄ ($\rho=1,3$ г/см ³)	40 ± 5	15хв.
			знежирення		промивка
4		30 – 50 г/л Na ₂ CO ₃	60-80	30 хв.	
5	механічна обробка	піскоструменева обробка електрокорундом тиск повітря 2 ат.			

Міцність зчеплення на удар та на згин для дослідних склокристалічних покриттів по титановим сплавам оцінюють в балах за площею відколу покриття від підкладини за відомими українськими та європейськими стандартами для емалевих покриттів по сталі (табл.2) [10 –12].

Таблиця 2.– Класифікація міцності зчеплення емалі на удар та на згин

Оцінка міцності зчеплення, бал			Площа відколу покриття від сталі, %		
ДОСТ 24405 ДОСТ 10798	характеристика	EN 10209	ДОСТ 24405	EN 10209	ДОСТ 10798
1	відсутнє	5	80 – 90	до 90 – 100	80 – 90
2	погане	4	50 – 70	до 80	50 – 60
3	середнє	3	20 – 40	до 50	20 – 30
4	добре	2	10 – 20	до 20	10 – 20
5	відмінне	1	10	до 10 – 0	до 10

Експериментальна частина

Для дослідження особливостей підготовки поверхні при отриманні склокристалічних покриттів по титану були обрані раніше одержані склокристалічні покриття по сталі АП-7 та АП-10, які характеризуються наявністю кристалічної фази фторапатиту та ТКЛР у межах $128-130 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ та можуть бути використані у якості біосумісних покриттів по титану. Дані покриття були одержані на основі стекол системи $R_2O - RO - R_2O_3 - P_2O_5 - TiO_2 - SiO_2 - F$, де $R_2O - Na_2O, K_2O$; $RO - CaO, ZnO$; $R_2O_3 - B_2O_3, Al_2O_3$ з постійним вмістом $\Sigma SiO_2 + R_2O + Al_2O_3 = 70$ мас. % та змінним вмістом CaO від 12 до 15 мас. %, ZnO 0 – 1 мас. %, B_2O_3 5 – 8 мас. %, P_2O_5 5 – 7 мас. %, TiO_2 0 – 2 мас. %, F 1 – 2 мас.%. Варку модельних стекол здійснювали у корундових тиглях при температурі 1300 – 1350 °C протягом 2 годин. Одержані шлікери наносили поливом на зразки титанових сплавів типу ОТ4-1 та ВТ5, висушували при температурі 80 – 120 °C та випалювали в електричній печі при температурі 800 – 820 °C протягом 3 – 3,5 хвилин.

Результати та їх обговорення

За результатами проведених досліджень було встановлено, що дослідні покриття по ОТ4-1 та ВТ5 характеризуються міцністю зчеплення в межах від 2 – 5 балів в залежності від методів обробки (табл. 3).

Так, при обробці поверхні титанових сплавів в 20 % розчині HNO_3 (спосіб 2) спостерігалась найнижча міцність зчеплення дослідних склокристалічних покриттів з титановими сплавами (табл. 3), що пов'язано зі слабкою здатністю HNO_3 до травлення поверхні титану.

Таблиця 3. Міцність зчеплення дослідних склокристалічних покриттів по титану за українськими стандартами

Метод підготовки поверхні	Характеристики зразку				Міцність зчеплення, бал	
	Марка сплаву титану	Товщина сплаву титану, мм	Марка покриття	Товщина покриття, мкм	На удар	На згин
1	ОТ4-1	0,5	АП-10	200	4	5
	ВТ5	0,5	АП-10	200	4	5
2	ОТ4-1	0,5	АП-10	200	2	2
	ВТ5	0,5	АП-10	200	2	2
3	ОТ4-1	0,5	АП-10	200	4	5
	ВТ5	0,5	АП-10	200	4	5
4	ОТ4-1	0,5	АП-10	200	3	4
	ВТ5	0,5	АП-10	200	3	4
5	ОТ4-1	0,5	АП-10	200	4	5
	ВТ5	0,5	АП-10	200	4	5
1	ОТ4-1	0,5	АП-7	200	4	5
	ВТ5	0,5	АП-7	200	4	5
2	ОТ4-1	0,5	АП-7	200	2	2
	ВТ5	0,5	АП-7	200	2	2
3	ОТ4-1	0,5	АП-7	200	4	5
	ВТ5	0,5	АП-7	200	4	5
4	ОТ4-1	0,5	АП-7	200	3	4
	ВТ5	0,5	АП-7	200	3	4
5	ОТ4-1	0,5	АП-7	200	4	5
	ВТ5	0,5	АП-7	200	4	5

Найвищою міцністю зчеплення на удар та на згин характеризуються дослідні склокристалічні покриття після хімічного травлення (спосіб 1), механічної обробки з наступним травленням або знежиренням (спосіб 3 та спосіб 4) та піскоструменевою обробки (спосіб 5), що пов'язано з високою кородуючою дією реагентів та утворенням ними розвиненої поверхні при обробці. Однак, недоліком способу 1 є висока токсичність фтористоводородної кислоти, яка утворюється в ході реакції, та має порівняно високі значення парціальних тисків парів при кімнатній температурі. Крім цього, при обробці таким способом на поверхні сплаву формується залишковий шар із фторидів титану нижчої валентності – ді- та трифторида титану, які важкорозчинні і можуть чинити негативний вплив на біоактивне покриття та живий організм в цілому [13].

При обробці очищеної поверхні титанових сплавів за допомогою фосфорної кислоти (спосіб 3) не тільки покращується адгезія покриття до металу, але й відбувається пасивація сплавів внаслідок утворення нерозчинних сполук, котрі протидіють проникненню кисню в метал [6].

Візуальний огляд зразків титанових сплавів з покриттям після ударного навантаження не виявив значного впливу наступного травлення (спосіб 3) або знежирення (спосіб 4), які потребують додаткових операцій після механічної обробки, в порівнянні з піскоструменевою обробкою (спосіб 5). Це свідчить про те, що рельєф поверхні, який утворюється дією електрокорунду, та природна плівка на титанових сплавах, достатні для створення сприятливих умов взаємодії склопокриття з металом та розвитку процесів зчеплення.

Висновки. Було досліджено особливості та способи підготовки поверхні титанових сплавів типу ОТ4-1 та ВТ5 при отриманні на них апатитового склокристалічного покриття для кісткового ендопротезування. Встановлено, що при одержанні якісного біосумісного покриття по титановим сплавам, найбільш перспективним та ефективним методом з точки зору екологічної безпеки та собівартості кінцевого продукту є піскоструменева обробка.

Список літератури: 1. Кулинич Е.А. Разработка стеклокристаллических покрытий, содержащих гидроксипатит / Е.А. Кулинич, Т.А. Хабас, В.И. Верешагин // Стекло и керамика. – 2007. – № 4. – С 34-36. 2. Саркисов П.Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов / Саркисов П.Д. – М.:РХТУ им. Д.И.Менделеева, 1997. – 218 с. 3. Карлсон К. Биологическая активность стекла и её связь со структурой / К. Карлсон // Физ. и хим. стекла. – 1998. – Т. 24, №3, С. 13–20 4. Kasuga T. Bioactive calcium phosphate invert glass-ceramic coating on B-type Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr alloy / T. Kasuga., M. Nogami // Biomaterials. – 2003. – № 2, С. 283–290. 5. Обзор способов получения гидроксипатитовых покрытий. Xiao Xu-Lan, Chen Zhi-gang // Natur. Sci. – 2002. – 23. С. 34-37. Кит.; рез. англ. 6. Кульментьева В.Б. Обработка поверхности титана перед нанесением стоматологических эмалевых покрытий / В.Б. Кульментьева, С.Е. Порозова // Стекло и керамика. – 2002.– №7. – С. 29-30. 7. Брагина Л.Л. Технология эмали и защитных покрытий: Учеб. пособие / Л.Л. Брагина, А.П. Зубехин, Я.И. Белый и др.; под ред. Л.Л. Брагиной, А.П. Зубехина. – Харьков: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. – 483 с. 8. Литвинова Е.И. Металл для эмалирования /Е.И. Литвинова. – М.: «Металлургия», 1964, – 180 с. 9. Грилихес С. Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / Я.С. Грилихес. – Л.: Машиностроение, 1983. – 101с. 10. Европейский стандарт EN 10209:1996. Холоднокатанный плоский прокат из стали мягких марок для эмалирования. – Введ. 15.06.96. 11. ГОСТ 24405-80. Эмали силикатные (фритты). Технические условия. – М.: Изд-во

стандартов, 1981. – 14 с. **12.** ГОСТ 10798-85 Плиты газовые бытовые. Общие технические условия. – М.: Госстандарт СССР, 1986. – 14 с. **13.** Пат. 2396093 РФ, МПК⁶ А61L С25F. Селективный травитель для титана / Гузеева Т. И., Гузеев В. В., Леонова Л. А.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – № 2009108586/15; заявл. 10.03.2009; опубл. 10.08.2010.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 663.44

М.Л. ТОНЮК, студ., НТУ «ХП», Харків

О.О. ВАРАНКІНА, канд. техн. наук, ст. викл., НТУ «ХП», Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПОЧАТКОВОГО СУСЛА НА УТВОРЕННЯ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ БРОДІННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИСОКОГУСТИННОГО ПИВОВАРІННЯ

Досліджено технологію високогустинного пивоваріння. Визначено переваги використання сусла високої густини на стадії бродіння. Визначено залежності вмісту побічних продуктів бродіння в пиві від масової частки сухих речовин в початковому суслі.

Исследована технология высокоплотного пивоварения. Определены преимущества использования сусла высокой плотности на стадии брожения. Построены зависимости содержания побочных продуктов брожения в пиве от массовой доли жира в первоначальном сусле.

The high-gravity brewing technology is investigated. The advantages of using high-density wort to the fermentation stage is identified. The dependences of the content of by-products of fermentation in beer from the mass fraction of fat in the original wort is constructed.

Вступ. Пиво - це слабоалкогольний пінистий напій, що одержують із пророслих і непророслих зернових культур шляхом спиртового зброджування охмеленого сусла пивними дріжджами. Існує декілька способів виробництва пива. Серед них новим і перспективним способом є технологія високогустинного пивоваріння.

Постановка проблеми. Технологія високогустинного пивоваріння має ряд переваг. Перш за все, це підвищення випуску готового продукту без суттєвого збільшення промислових потужностей підприємства, а також використання більш дешевої сировини для підвищення вмісту сухих речовин в суслі – патоки мальтозної – що дозволяє підвищити стійкість продукції[1].

Однак, при використанні мальтозної патоки в якості добавки, яка підвищує густину сусла, виникають технологічні проблеми, що пов'язані із стадією бродіння. Культурі дріжджів доводиться розвиватися в суслі з високим вмістом сухих речовин, що обумовлює високий осмотичний тиск, який негативно впливає на дріжджову популяцію. На заключному етапі дріжджі виявляються в середовищі з підвищеною концентрацією етанолу (етанольний стрес) і інших продуктів життєдіяльності [2]. Крім того, при використанні мальтозної патоки виникає дефіцит амінного азоту, який необхідно компенсувати[3].

Також, підвищення температури для інтенсифікації високогустинного бродіння та підвищений вміст сухих речовин у початковому суслі негативно

позначається на органолептичних характеристиках пива через підвищений вміст летючих речовин (вищі спирти, діацетил, сірковмісні компоненти) [3]. Однак, залежність накопичення побічних продуктів від концентрації сухих речовин у початковому суслі досліджено неповністю, що ставить перед науковцями ряд завдань, які вимагають вирішення.

Аналіз останніх публікацій. В даний час ведеться велика кількість досліджень по удосконаленню технології високогустинного пивоваріння з метою зниження концентрації побічних продуктів бродіння.

Результатом складних біохімічних процесів, що відбуваються при бродінні і доброджуванні пива, є отримання продукту з визначеним складом, смаком і ароматом. Смак і аромат пива багато в чому визначається леткими побічними продуктами бродіння, до яких відносяться вищі спирти, діацетил, альдегіди, ефіри, кислоти, сірчисті з'єднання та ін. [4].

В процесі бродіння виникають дуже важливі для аромату пива метаболіти дріжджів – дікетони. Діацетил і пентадион-2,3 мають схожий смак і аромат, які визначаються, як "масляний", "медовий". Аромат діацетилену в пиві є небажаним. Вміст діацетилену в пиві залежить від концентрації дріжджів, аерації, температури і інших чинників. Пентадион-2,3, менше впливає на аромат пива, оскільки міститься в незначній кількості і є менш ароматним [5,6].

Ще одним побічним продуктом є альдегіди, що відносяться до карбонільних речовин, які значно впливають на смак і аромат пива. У пиві виявлені наступні альдегіди: оцтовий, пропіоновий, коричний, ізомасляний, ізовалеріановий та ін. Основним альдегідом пива є оцтовий альдегід (ацетальдегід). Ацетальдегід надає пиву "трав'янистий" або "маринадний" присмак, що характерний для незрілого молодого пива [7]. У молодому пиві вміст альдегіду складає від 20 до 40 мг/л; у готовому пиві – нижче за 8-10 мг/л [8]. На органолептичні показники пива впливають також і інші побічні продукти бродіння.

Мета роботи. Метою даної роботи є дослідження технології високогустинного пивоваріння в частині визначення впливу концентрації початкового сусла на вміст побічних продуктів бродіння та якість кондиційованого пива.

Виклад основного матеріалу. В дослідженні впливу густини початкового сусла на якісний і кількісний склад побічних продуктів бродіння використовували наступні зразки сусла:

- сусло із вмістом сухих речовин 13 %;
- сусло із вмістом сухих речовин 16 %;
- сусло із вмістом сухих речовин 19 %.

Вміст сухих речовин у початковому суслі забезпечували присутністю солоду, ячменю і мальтозної патоки в складі продукту.

Досліди проводили з використанням стандартних методик, які використовуються у пивоварній промисловості для аналізу сировини, матеріалів, напівпродуктів та готової продукції [7].

В ході дослідження було виявлено наявність наступних побічних продуктів пивоваріння в кондиційованому пиві: діацетилену і пентадиону-2,3; диметилсульфіду; ацетальдегіду; вищих спиртів (n-пропанолу, ізобутанолу та

ізоамілового спирту).

Визначення загального діацетилу і 2,3-пентандіону в пиві проводили методом газової хроматографії, що застосовують до усіх типів пива, що бродить і відфільтрованого, для рівня діацетилу від 10 до 1000 ppb. Зразок аерували і піддавали дії температури 60°C протягом 90 хвилин для переходу продукту у вільний компонент (α -ацетолактат в діацетил і α -ацетогідроксibuтират в пентандіон). Після сепарації на колонці газового хроматографа електронний детектор-вловлювач визначав діацетил і пентандіон. Результат порівнювали зі стандартами – водним розчином діацетилу і пентандіону.

Визначення вільного діацетилу, 2,3-пентандіону, диметилсульфіду, ацетальдегіду, етилацетату, n-пропанолу, ізобутанолу, ізоацетату, ізоамілового спирту в готовому пиві визначали на газовому хроматографі, що оснащений капілярною колонкою з електронно-захватним детектором (при визначенні діацетилу і пентандіону) і полум'яно-іонізаційним детектором (при визначенні усіх інших компонентів). Підготування проб виконували на парофазній приставці «ТурбоМатрикс» за методом рівноважної парової фази.

Досліди проводили у трикратному повторенні. При визначенні діацетилу, пентандіону-2,3, ацетальдегіду, ізобутанолу, n-пропанолу та ізоамілового спирту в кондиційованому пиві відносна похибка Δ при імовірності $P=95\%$ не перевищувала 2%. При визначенні вмісту сухих речовин у початковому суслі відносна Δ похибка при імовірності $P=95\%$ не перевищувала 0,6%.

Отримані результати представлено в графічній формі. Залежності концентрації діацетилу та пентандіону-2,3 від концентрації початкового сусла наведено на рис.

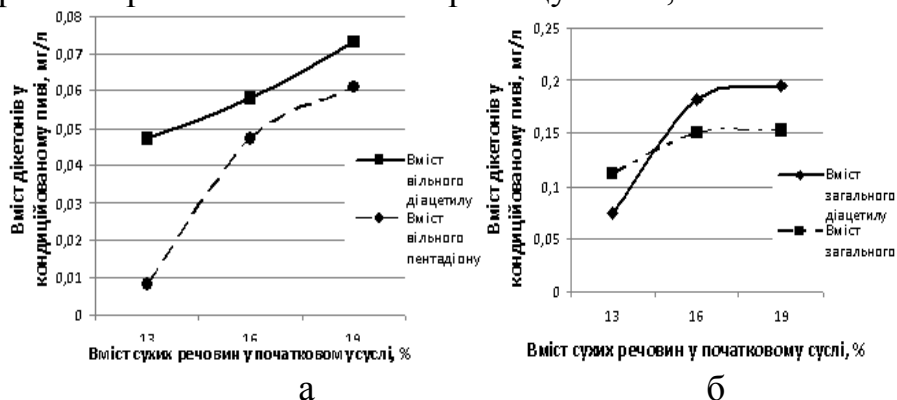


Рис. Вміст вільного діацетилу та пентандіону-2,3 (а) та загального діацетилу та пентандіону-2,3 (б) в залежності від концентрації початкового сусла

З рис. видно, що концентрація діацетилу та пентандіону-2,3 у пиві з концентрацією початкового сусла 16% та 19% перевищує концентрацію даних речовин у 13% пиві більше, ніж в 2 рази.

Експериментальні дані (рис.) оброблено методами регресійного аналізу. Побудовано математичні моделі залежності вмісту вільного діацетилу (Y_1 , мг/л), вільного пентандіону-2,3 (Y_2 , мг/л), загального діацетилу (Y_3 , мг/л), загального пентандіону-2,3 (Y_4 , мг/л), від вмісту сухих речовин у початковому суслі (X , %), які представлено наступними рівняннями регресії:

$$Y_1 = 0,013x + 0,0333 (R = 0,9961; R^2 = 0,9922);$$

$$Y_2 = -0,0125x^2 + 0,0765x - 0,056 (R^2 = 0,9996);$$

$$Y_3 = 0,0605x + 0,0293 (R = 0,911, R^2 = 0,8295);$$

$$Y_4 = -0,0175x^2 + 0,0905x + 0,039 (R^2 = 0,9998).$$

Також, експериментальні дані вмісту ацетальдегіду (Y_5 , мг/л), етилацетату (Y_6 , мг/л), ізоамілацетату (Y_7 , мг/л), ізоамілового спирту (Y_8 , мг/л), n-пропанолу (Y_9 , мг/л) та ізобутанолу (Y_{10} , мг/л) при вмісту сухих речовин у початковому суслі (X , %) оброблено методами регресійного аналізу. Побудовано математичні моделі даних залежностей, які представлено наступними рівняннями регресії:

$$Y_5 = 1,35x + 4,2133 \quad (R = 0,9706, R^2 = 0,9420);$$

$$Y_6 = 6,81x + 8,8767 \quad (R^2 = 1);$$

$$Y_7 = 0,55x + 1,61 \quad (R = 0,915, R^2 = 0,8373);$$

$$Y_8 = 12,645x + 999444,98 \quad (R = 0,9243, R^2 = 0,8543);$$

$$Y_9 = 3,005x + 21,827 \quad (R = 0,9782, R^2 = 0,9569);$$

$$Y_{10} = 3,2x + 22,033 \quad (R = 0,9736, R^2 = 0,9479).$$

Рівняння регресії, які отримані шляхом апроксимації даних, адекватно описують залежності, що вище наведені (перевірено за допомогою критерію Фішера). Значення коефіцієнтів кореляції лінійної регресії $R > 0,91$ свідчать про дуже щільну пряму (лінійну) залежність між вмістом побічних продуктів бродіння в кондиційованому пиві від вмісту сухих речовин у початковому суслі. Значення коефіцієнтів детермінації нелінійної регресії $R^2 > 0,82$ говорять про те, що більше ніж 82 % варіацій вмісту побічних продуктів бродіння в кондиційованому пиві пояснюється зміною вмісту сухих речовин у початковому суслі, а лише 18 % – впливом сторонніх факторів. Серед сторонніх факторів слід зазначити наявність впливу кількості дріжджів, що використовуються на стадії бродіння.

Слід зазначити, що рівняння регресії, які отримані шляхом апроксимації даних, можуть бути використані при подальшому прогнозуванні зміни концентрації побічних продуктів у кондиційованому пиві в залежності від вмісту сухих речовин у початковому суслі.

Залежності, що адекватно описує процес накопичення диметилсульфіду (ДМС) при різній початковій концентрації сусла, знайдено не було. Це можна пояснити тим, що диметилсульфід при теплому бродінні вимивається більше, ніж при холодному. При тривалому доброджуванні вміст ДМС трохи збільшується. Загалом, вміст ДМС в готовому пиві відповідає вмісту ДМС в початковому суслі.

Висновки. Таким чином, в ході дослідження встановлено: 1) вміст вільного діацетила, ацетальдегіду, етилацетату, ізобутанолу, n-пропанолу, ізоамілового спирту та ізоамілацетату лінійно залежить від концентрації початкового сусла; 2) вміст пентадіону-2,3 поліноміально залежить від вмісту сухих речовин у початковому суслі; 3) залежності, що адекватно описує процес накопичення ДМС при різній початковій концентрації сусла, знайдено не було; 4) вміст побічних продуктів бродіння не перевищує нормативні показники та пиво, що виготовлено за технологією високогустинного пивоваріння, відповідає за всіма показниками якості ДСТУ 3888 [9]. Перспективою подальших досліджень є вивчення комплексного впливу вмісту сухих речовин в суслі і кількості дріжджів, що використовуються для бродіння, на вміст побічних продуктів бродіння з метою зменшення кількості останніх.

Список літератури: 1. Филимонова, Т.И. Проблемы плотного ивоварения [Текст] / Т.И. Филимонова, О.А. Борисенко, Т.П. Рыжова и др. // Пиво и напитки, 2006. – №3. – с.26 – 27.2.

Fernandes, S. Accelerated fermentation of high-gravity worts and its effect on yeast performance [Text] / *S. Fernandes, N. Machuca, M.G. Gonzalez* // American society of brewing chemists. – 1985. – Vol. 43. – No. 2. – P. 109– 113. **3.** *Стюарт, Г.* Высокоплотное пивоварение [Текст] / *Г. Стюарт* // Спутник пивовара. – 2000. – Весна. – С. 27– 35. **4.** *Нарцисс, Л.* Вкус пива и технологические факторы [Текст] / *Л. Нарцисс* // Мир пива. – 1996. – №2. **5.** *Меледина, Т.В.* Роль штаммовых характеристик дрожжей в формировании вкуса и аромата пива [Текст] / *Т.В. Меледина* // Мир пива. – 1997. – №1. **6.** *Кудрявцева, С.В.* Выбор дрожжей для сбраживания суслу с повышенной массовой долей сухих веществ [Текст] / *С.В. Кудрявцева, Н.В. Голикова, В.С. Исаева и др.* // Ферментная и спиртовая промышленность. – 1985. – №3. – С. 23–26. **7.** Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв [Текст] / За ред. *А. Є. Мелетьєва*. – Вінниця: Нова Книга, 2007. – 392 с. **8.** *Грачёва, И.М.* Исследование влияния аэрации на образование летучих кислот с использованием математической модели [Текст] / *И.М. Грачёва, Л.И. Нисма, В.В. Жирова* // Известия вузов. – 2007. – №4. **9.** ДСТУ 3888-99. Пиво. Загальні технічні умови.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 666.213

О.В. САВВОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП», Харків,
О.В. БАБІЧ, асп., НТУ «ХП», Харків,
Г.М. ШАДРИНА, асп., НТУ «ХП», Харків,
Д.Ю. ШЕМЕТ, студ., НТУ «ХП», Харків

ВПЛИВ ОКСИДУ ЦИНКУ НА ТКЛР КАЛЬЦІЙСИЛІКОФОСФАТНИХ СТЕКОЛ

В статті досліджено вплив оксиду цинку на ТКЛР стекол системи $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Визначено, що для забезпечення високих експлуатаційних характеристик біоактивних склокристалічних кальційсилікофосфатних матеріалів необхідною умовою є забезпечення ТКЛР вихідних стекол в межах $50 \cdot 10^{-7} \text{град}^{-1}$.

В статье исследовано влияние оксида цинка на ТКЛР стекол системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Установлено, что для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик биоактивных стеклокристаллических кальцийсилікофосфатных материалов необходимым условием является значение ТКЛР исходных стекол в пределах $50 \cdot 10^{-7} \text{град}^{-1}$.

The influence of zinc oxide on TCLE of glasses in $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ was investigated. It was established that the TCLE of initial glasses of $50 \cdot 10^{-7} \text{deg}^{-1}$ is a necessary condition of high performance characteristics of bioactive glass-ceramic calciumsilicophosphate materials.

Вступ. На сьогоднішній день широке застосування біоактивних кальційсилікофосфатних склокристалічних матеріалів у якості кісткових ендопротезів пояснюється їх високими експлуатаційними характеристиками. Завдяки поєднанню комплексу медико-біологічних, хімічних, механічних та технологічних властивостей та унікальної здатності зрощуватися з кістковою тканиною біоситали відносяться до групи найбільш перспективних матеріалів, які застосовуються в ортопедичній та щелепно-лицьовій хірургії.

Важливим аспектом при одержанні склокристалічних матеріалів з необхідним комплексом властивостей є забезпечення відповідного термічного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) вихідних стекол. За даними Саркісова П.Д. [1] значення ТКЛР для

біоситалів знаходиться в межах від $80 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ до $100 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ і визначаються значним вмістом кристалічних фаз з високим власним ТКЛР. Наприклад, кристалічні фази кристобаліту та гідроксіапатиту значно підвищують ТКЛР, так як мають значення відповідно $271 \cdot 10^{-7}$ (температурний інтервал 20 – 600 °С) та $138 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ [2, 3]. В цілому фосфатні стекла характеризуються більш високими показниками ТКЛР, аніж силікатні стекла.

Відомо, що іони лужноземельні металів сприяють збільшенню ступеня зв'язування структурної сітки скла і мають більш високу енергію А—О, ніж іони лужних металів, що призводить до зменшення ТКЛР скла [4]. Так, введення до складу стекол оксиду цинку сприяє підвищенню термічної та хімічної стійкості склокристалічних матеріалів та покриттів на їх основі. Відомий склад нетоксичної фритованої цинквміщуючої поливи з високою хімічною стійкістю та ТКЛР у межах $(50,02 - 58,70) \cdot 10^{-7}$ 1/град [5]. Необхідність зниження ТКЛР до $(50 - 60) \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ для кальційсилікофосфатних стекол пояснюється його значним приростом ТКЛР в результаті їх термообробки при одержанні склокристалічних матеріалів зі значним вмістом фосфатів кальцію.

Метою даної роботи є дослідження впливу оксиду цинку на ТКЛР стекол на основі системи $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$.

Методика експерименту. Наявність кристалічної фази в дослідних стеклах після випалу було встановлено за допомогою рентгенофазового аналізу на установці «ДРОН-3М». Структуру стекол вивчали з використання ГЧ-спектроскопії за методом осаджених плівок в інтервалі коливань $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$ на Specord 80 М. Відносне подовження матеріалу при нагріванні $\Delta t_{\text{н}} - t_{\text{к}}$ визначали на вертикальному кварцовому дилатометрі.

Термічний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-7}$, (град⁻¹) розраховують за формулою (1) для кожного температурного інтервалу $t_{\text{н}} - t_{\text{к}}$, де $t_{\text{н}}$ – початкова температура зразку, °С або температура приміщення; $t_{\text{к}}$ – кінцева температура зразку, °С при початковій довжині зразку $l_{\text{н}}$ (мм), абсолютному подовженню його $\Delta l_{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}}$ (мм) та поправці до приладу K , ($\mu\text{мм}^{-1}$):

$$\alpha_{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}} = \frac{1000 \cdot \Delta l_{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}} + K \cdot l_{\text{н}}}{1000 \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) \cdot l_{\text{н}}} \quad (1)$$

Відносне подовження матеріалу, яке виражене в відсотках, при тих же значеннях $t_{\text{н}}$, $t_{\text{к}}$, $l_{\text{н}}$, $\Delta l_{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}}$ та K розраховують за формулою (2):

$$\Delta_{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}} = \frac{1000 \cdot \Delta l_{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}} + K \cdot l_{\text{н}}}{10 \cdot l_{\text{н}}} \quad (2)$$

Експериментальні результати та їх обговорення. Для встановлення області існування стекол як основи для синтезу склокристалічних матеріалів було обрано систему $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{SiO}_2$ з вмістом SiO_2 від 45 до 55 мол. %; P_2O_5 від 5 до 15 мол. %; CaO від 15 до 20 мол. %; B_2O_3 від 2 до 5 мол. %, Al_2O_3 від 0 до 5 мол. %; ZnO від 5 до 8 мол. % (рис.1).

В дослідній системі було обмежено область та синтезовано 7 складів модельних стекол (ЦФ) та досліджено їх кристалізаційну здатність після варки. За характером наявності кристалічної фази дослідні стекла поділяються на заглушені та опалесцентні. Склокристалічні матеріали на основі модельних

стекол ЦФ було одержано шляхом їх термообробки при температурах від 800 до 880 °С протягом 0,5 години. Маркування матеріалів відповідає маркуванню стекол на основі яких вони були одержані. Матеріали ЦФ-5 та ЦФ-6 після термообробки не містили кристалічної фази гідроксіапатиту і тому не досліджувались у якості матеріалів для кісткового ендопротезування.

За даними рентенофазового аналізу дослідні склокристалічні матеріали на основі цинквміщуючих кальційсилікофосфатних стекол характеризуються різною кристалізаційною здатністю після термообробки (рис.2). Для склокристалічних матеріалів ЦФ-1, ЦФ-2, ЦФ-3 та ЦФ-4 спостерігається наявність гідроксіапатиту та карбонатапатиту, кристобаліту та кварцу в різній кількості. Так, найвищим вмістом гідроксіапатиту характеризується склокристалічний матеріал ЦФ-1 зі співвідношенням $\text{CaO} / \text{P}_2\text{O}_5 = 4$ в складі дослідного скла.

Зменшення співвідношення $\text{CaO} / \text{P}_2\text{O}_5$ до 1,5 та підвищення вмісту ZnO до 8 мол. % для ЦФ-2 та ЦФ-3 позначається на зниженні кристалізаційної здатності дослідних стекол з вмістом SiO_2 50 та 47 мол.%. відповідно. Зниження вмісту ZnO до 5 мол. % при збереженні співвідношення $\text{CaO} / \text{P}_2\text{O}_5 = 1,5$ сприяє підвищенню кристалізаційної здатності склокристалічного матеріалу ЦФ-4 з виділенням гідроксіапатиту та карбонатапатиту. Для склокристалічних матеріалів ЦФ-1, ЦФ-2 та ЦФ-7, які характеризуються вмістом SiO_2 50 мол.% спостерігається вміст кварцу та кристобаліту.

За даними дилатометричних досліджень встановлено, що всі дослідні цинквміщуючі кальційсилікофосфатні матеріали характеризуються низькими показниками ТКЛР в межах від $68 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$ в температурному інтервалі 25 – 700 °С для скла ЦФ-1 та $5,66 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$ в температурному інтервалі 25 – 700 °С для скла ЦФ-3 (табл.1). Загальне зниження ТКЛР для даної групи стекол пояснюється наявністю іонів цинку та бору в тетраедричному положенні в склоподібній фазі, що підтверджується

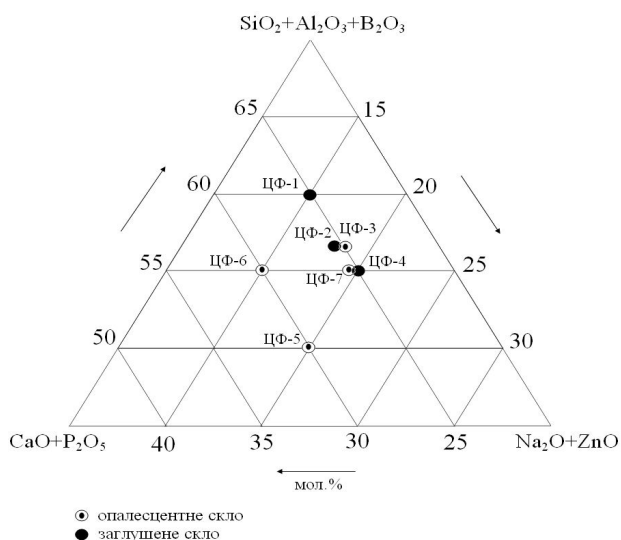


Рис. 1. Область існування стекол в системі $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{SiO}_2$

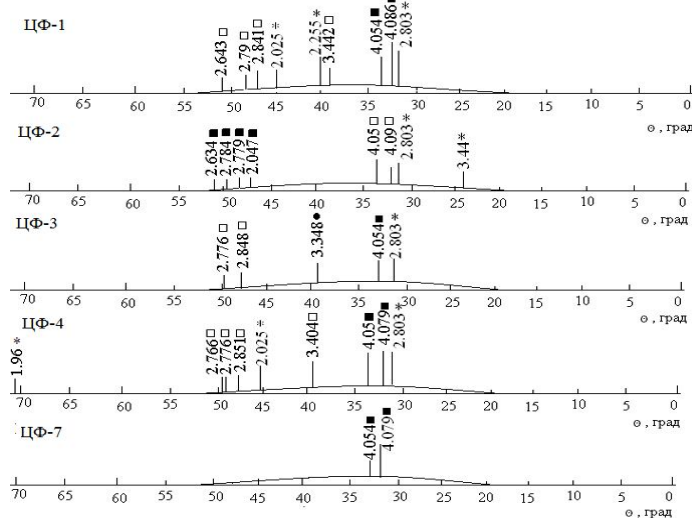


Рис. 2. Дифрактограми склокерамічних матеріалів на основі складів модельних стекол ▲ – корунд; ● – кварц; ■ – кристобаліт; □ – $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$; * – $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

даними ІЧ-спектроскопії. Для даних матеріалів незначний вміст фосфатів кальцію близько 30 % та кварцу і кристобаліту від 1 до 2 % практично не позначається на підвищенні ТКЛР. Найвищим ТКЛР характеризуються дослідні стекла ЦФ-1 та ЦФ-4, що пояснюється найвищим вмістом фосфатів кальцію серед дослідних матеріалів. Зниження кристалізаційної здатності та підвищення вмісту цинквміщуючої склоподібної фази позначається на зниженні ТКЛР для стекел ЦФ-2, ЦФ-3 та ЦФ-7. Ведення Al_2O_3 до складу скломатеріалів ЦФ-1 та ЦФ-2 та ЦФ-7 у випадку високого вмісту SiO_2 мало позначається на зміні ТКЛР. Для стекел низько кремнеземної області ЦФ-3 та ЦФ-4, навпаки, наявність Al_2O_3 сприяє деякому зниженню ТКЛР, особливо для скла ЦФ-4 з вмістом Na_2O 15 мол. %.

За кривими відносного подовження $\Delta l/l$, % дослідних стекел були визначені важливі характеристичні температури необхідні для режиму термообробки стекел: температура склування T_g , та дилатометрична температура розм'якшення $T_{дил}$, які знаходяться в межах відповідно 400 – 550 та 600 – 700°C (рис. 3).

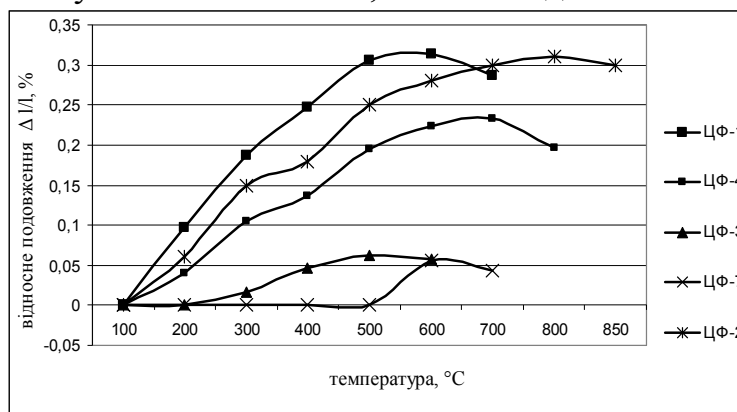


Рис.3. Значення відносного подовження для дослідних стекел

Таблиця. Значення ТКЛР, температура склування та температура розм'якшення дослідних стекел

Дослідні стекла ЦФ					
Температурний інтервал, T_g , $T_{дил}$, °C	1	2	3	4	7
	Значення ТКЛР ($\alpha \cdot 10^{-7}$), град $^{-1}$				
25-200	55,59	34,3		23,89	
25-300	68	57,6	5,66	38,05	
25-400	65,9	46	12,57	36,54	
25-500	64,15	60,63	13	41,15	
25-600	54,38	54,3	9	38,96	9,66
25-700	42,53	53,3		34,5	6,56
25-800		53,2		25,42	
T_g	400	500	500	400	550
$T_{дил}$	600	800	700	700	600

Висновки. Отже, для дослідних стекел величина ТКЛР знаходиться в межах від 54,38 до 9,66 $\cdot 10^{-7}$ град $^{-1}$ для стекел ЦФ-1 та ЦФ-7 відповідно і визначається вмістом оксиду цинку. Незначне підвищення значення ТКЛР для дослідного кальційсилікофосфатного цинквміщуючого скла ЦФ-1 з вмістом SiO_2 50 мол.% та співвідношенням $CaO / P_2O_5 = 4$ пов'язано з деяким підвищенням вмісту кристалічних фаз $Ca_5(PO_4)_3OH$, $Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$.

Список літератури: 1. Саркисов П.Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов / Саркисов П.Д. – М.:РХТУ им. Д.И.Менделеева, 1997. – 218 с. 2. Стеклокристаллические покрытия по керамике: монография / [Лисачук

Г.В., Рыщенко М.И., Белостоцкая Л.А. и др.]; под ред. Г.В. Лисачука. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – 480 с. 3. Шпак А.П. Апатиты / Шпак А.П., Карбовский В.Л., Трачевский В.В. – К.: Академперіодика, 2002. – 414 с. 4. Яцишин Й.М. Технологія скла / Й.М. Яцишин. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2001. – Ч. 1.: Фізика і хімія скла. – 188 с. 5. А. с. 1175904 СССР, МКИ С 03 С 8/04. Глазурь / И.А. Левицкий, Р.Н. Милевская (СССР). – № 3739577/29-33; заявл. 08.05.84; опубл. 30.08.85, Бюл. № 32.

Поступила в редколлегию 01.03.2012

УДК 628

В. А. ЮРЧЕНКО, докт.техн.наук, проф., ХНАДУ, Харьков,
А. Ю. БАХАРЕВА, канд.техн.наук, ст.преп.,НТУ «ХПИ», Харьков,

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА, ПРИЧИНЯЕМОГО ПРОМЫШЛЕННЫМИ ГАЗООБРАЗНЫМИ ВЫБРОСАМИ ФОРМАЛЬДЕГИДА

Розраховано еколого-економічний збиток, що спричиняють газоподібні викиди формальдегіду.
Ключові слова: газоподібні викиди, формальдегід, концентрація, еколого-економічний збиток, біотехнологічний метод, потужність, нові технології.

Расчитан еколого-экономический ущерб, причиняемый газообразными выбросами формальдегида.

Ключевые слова: газообразные выбросы, формальдегид, концентрация, эколого-экономический ущерб, биотехнологический метод, мощность, новые технологии.

Ecological-economic losses from gasiform throw outs containing formaldehyde have been calculated.
Keywords: gasiform throw outs, formaldehyde, concentration, ecological-economic losses, biotechnological method, power, new technologies.

Газообразные выбросы многих химических предприятий и производств, в том числе производящих и перерабатывающих формальдегидные смолы, производящих синтетические жирные кислоты и синтетические материалы, содержат формальдегид – вещество 2-го класса опасности, официально признанное канцерогеном – в экологически опасных концентрациях. Так, концентрация формальдегида в газообразных выбросах некоторых химических производств достигает 50 мг/м^3 [1], что в 17000 раз превышает ПДК_{с.с.} для населенных мест по формальдегиду (ПДК_{с.с.}=0,003 мг/м^3).

Глубокие деструктивные изменения в природных экосистемах, вызванные негативным влиянием антропогенных факторов, неминуемо приводят к негативным экономическим последствиям – повышенным материальным, трудовым и денежным затратам, направленным на проведение мероприятий по восстановлению, стабилизации и улучшению экологических условий [2]. Актуальной задачей, направленной на защиту природы от влияния негативных антропогенных факторов, является разработка новых и усовершенствование существующих технологий, направленных на детоксикацию опасных загрязнителей воздуха. При этом разрабатываемые технологии должны быть достаточно недорогими и обязательно экологически чистыми.

Было разработано технологическое предложение по биотехнологической анаэробной детоксикации формальдегида в газообразных выбросах химических производств [3]. На основании выполненных экспериментальных исследований было установлено, что с помощью разработанного анаэробного процесса (который основан на детоксикации формальдегида в процессе денитрификации) можно снизить экологически опасную концентрацию формальдегида в газообразных выбросах до установленных норм ПДК [3].

По разработанным и переданным для внедрения ООО «Градиент Групп» и ООО «Гурман» (г. Харьков) рекомендациям, доведение концентрации формальдегида в газообразных выбросах до установленных норм ПДК осуществляется в биоскруббере, состоящем из двух аппаратов[3]:

–абсорбера, в котором формальдегид из поступающего газообразного выброса абсорбируется водой;

–емкости со свободноплавающим илом (перемешивание ила осуществляется с помощью эрлифта), в которой растворенный в воде формальдегид окисляется свободноплавающим денитрифицирующим микробиоценозом.

По сравнению с известным биотехнологическим методом детоксикации формальдегида в газообразных выбросах, который основан на использовании в биоскруббере (на стадии регенерации воды) аэробного процесса, разработанное технологическое предложение позволяет в 6 раз повысить скорость удаления формальдегида, уменьшить расход чистой воды на абсорбцию, снизить образование избыточного ила и энергозатраты (за счет исключения аэрационного оборудования) (рис. 1) [3].

Эффективность реализации разработанного экологически чистого биотехнологического метода анаэробной детоксикации формальдегида в газообразных выбросах, определили с помощью эколого-экономической оценки ущерба, наносимого сверхнормативными газообразными выбросами химических производств, содержащими формальдегид.

Целью эколого-экономической оценки разработанного технологического предложения является [2]:

-предупреждение негативного влияния производств на окружающую среду;



Рис. 1. Биотехнологические методы снижения концентрации формальдегида в газообразных выбросах химических производств

-комплексное эколого-экономическое обоснование разработанного технологического предложения по охране атмосферы от загрязнения формальдегидом.

Эколого-экономическую оценку ущерба, наносимого газообразными выбросами, содержащими формальдегид выполняли по методике [4], которая в настоящее время используется в Украине для оценки эколого-экономического ущерба, наносимого промышленными объектами природной среде.

1. Расчет сверхнормативной величины выброса формальдегида в атмосферный воздух.

Расчет сверхнормативного выброса формальдегида (M_{ϕ}) в тоннах осуществляется путем определения разницы между фактической и разрешенной мощностью выброса, с учетом времени работы источника в режиме сверхнормативного выброса [4]. Расчет осуществляется по формуле:

$$M_{\phi}=0,0036(V_{\phi}\cdot S_{\phi}- M_{q\phi})T, \quad (1)$$

где V_{ϕ} – объемный расход газового потока на выходе из источника, $\text{м}^3/\text{с}$;

S_{ϕ} – концентрация формальдегида, $\text{г}/\text{м}^3$;

$M_{q\phi}$ – мощность разрешенного выброса формальдегида по данному источнику, $\text{г}/\text{с}$, установленная разрешением на выброс;

T – время работы источника в режиме сверхнормативного выброса, ч.

Объемный расход газового потока на выходе из источника по данным [5] принимаем $V_{\phi}=0,04 \text{ м}^3/\text{с}$. Концентрацию формальдегида из источника принимаем $S_{\phi}=50 \text{ мг}/\text{м}^3$ ($0,05 \text{ г}/\text{м}^3$) [1]. Из формулы (1) $V_{\phi}\cdot S_{\phi}=0,04\cdot 0,05=0,002 \text{ г}/\text{с}=0,0534 \text{ т}/\text{год}$ – валовые выбросы по формальдегиду рассматриваемого базового химического предприятия.

Мощность разрешенного выброса формальдегида по данному источнику, установленную разрешением на выброс, определяем по формуле [6]:

$$M_{q\phi}= V_{\phi}\cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}\phi} \quad (2)$$

где V_{ϕ} – объемный расход газового потока на выходе из источника, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $V_{\phi}=0,04 \text{ м}^3/\text{с}$;

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}\phi}$ – предельно-допустимая концентрация по формальдегиду для населенных мест, $\text{г}/\text{м}^3$; $\text{ПДК}_{\text{с.с.}\phi}=0,003 \text{ мг}/\text{м}^3=0,000003 \text{ г}/\text{м}^3$.

$$M_{\phi}=0,04\cdot 0,000003=0,00000012 \text{ г}/\text{с}.$$

Время работы источника в режиме сверхнормативного выброса рассматриваем как один астрономический год, т.е. 365 дней. Такая цифра принимается в том случае, когда неизвестны данные контроля по данному загрязнителю в течение года, но эта цифра не может превышать 365 дней, т.е. быть больше астрономического года [4]. Время работы источника в режиме сверхнормативного выброса (в ч.) при рассмотрении 3-х сменной работы предприятия составит:

$$T_1=24\cdot 365=8760 \text{ (ч)}.$$

Время работы источника в режиме сверхнормативного выброса (в ч.) при рассмотрении 2-х сменной работы предприятия:

$$T_1=24\cdot 0,6\cdot 365=5256 \text{ (ч)}$$

где 0,6 – 60% от 3-х сменной (круглосуточной) работы, т.е. переход к 2-х сменной работе.

По формуле 1 сверхнормативный выброс формальдегида в тоннах составит:

1). для трехсменной работы предприятия:

$$M_{\phi}=0,0036 \cdot (0,002-0,00000012) \cdot 8760=0,06 \text{ (т)}$$

2). для двухсменной работы предприятия:

$$M_{\phi}=0,0036 \cdot (0,002-0,00000012) \cdot 5256=0,04 \text{ (т)}$$

2. Расчет размеров компенсации убытков за сверхнормативный выброс формальдегида в атмосферный воздух.

Расчет ведется на основе размера минимальной заработной платы с учетом объема сверхнормативной величины выброса формальдегида и регулирующих коэффициентов [4]. Размер компенсации убытков в единицах национальной валюты (грн.) определяется по формуле:

$$З_{\phi}=M_{\phi} \cdot 1,1П \cdot A_{\phi} \cdot K_{т} \cdot K_{з\phi} \quad (3)$$

где $З_{\phi}$ – размер компенсации убытков, причиненных газообразными выбросами, содержащими формальдегид, грн.;

M_{ϕ} – масса формальдегида, которая выброшена в атмосферный воздух сверх нормы, т;

$1,1П$ – базовая ставка компенсации убытков в долях минимальной заработной платы (П) за одну тонну условного загрязняющего вещества на момент проверки, грн./т;

A_{ϕ} – безразмерный показатель относительной опасности формальдегида;

$K_{т}$ – коэффициент, который учитывает территориальные социально-экологические особенности;

$K_{з\phi}$ – коэффициент, который зависит от уровня загрязнения атмосферного воздуха населенного пункта формальдегидом.

Безразмерный показатель относительной опасности формальдегида (A_{ϕ}) определяется по следующей формуле:

$$A_{\phi} = \frac{1}{ПДК_{с.с.ф.}} \quad (4)$$

где $ПДК_{с.с.ф.}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация или ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) формальдегида, мг/м³; $ПДК_{с.с.ф.}=0,003$ мг/м³.

$$A_{\phi} = \frac{1}{0,003} = 333,3.$$

Коэффициент, который учитывает территориальные социально-экологические особенности ($K_{т}$), зависит от численности жителей населенного пункта, его народнохозяйственного значения и рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{т}=K_{нас} \cdot K_{\phi} \quad (5)$$

где $K_{нас.}$ – коэффициент, который зависит от численности жителей населенного пункта и определяется по табл. 6.1.

K_{ϕ} – коэффициент, который учитывает народнохозяйственное значение населенного пункта и определяется по табл. 6.2.

Таблица 1. Значения коэффициентов, зависящих от численности жителей населенного пункта [4]

Численность населения, тыс. чел.	$K_{\text{нас.}}$
До 100	1,00
100,1-250	1,20
250,1-500	1,35
500,1-1000	1,55
более 1000	1,80

Принимаем $K_{\text{нас.}}=1,80$, а $K_{\text{ф}}=1,25$. Таким образом, по формуле (5):

$$K_{\text{т}}=1,80 \cdot 1,25=2,25$$

Коэффициент, который зависит от уровня загрязнения атмосферного воздуха населенного пункта формальдегидом ($K_{\text{зф}}$), определяется по формуле:

$$K_{\text{зф}} = \frac{q}{\text{ПДК}_{\text{с.с.ф.}}} \quad (6)$$

где q – среднегодовая концентрация формальдегида по данным прямых инструментальных измерений на стационарных постах за предыдущий год, мг/м^3 .

Таблица 2. Значения коэффициентов, учитывающих народнохозяйственное значение населенного пункта [4]

Тип населенного пункта	$K_{\text{ф.}}$
I. Организационно-хозяйственные и культурно-бытовые центры местного значения с преобладанием аграрно-промышленных функций (районные центры, города, поселки районного подчинения) и селя	1,00
II. Многофункциональные центры, центры с преобладанием промышленных и транспортных функций (областные центры, города областного подчинения, большие промышленные и транспортные узлы)	1,25
III. Центры с преимущественно рекреационными функциями	1,65

Среднегодовая концентрация формальдегида за 2006 году в городах Украины с большим количеством химических промышленных предприятий по данным прямых инструментальных измерений на стационарных постах [7] составила $q=0,006 \text{ мг/м}^3$.

$$K_{\text{зф}} = \frac{0,006}{0,003} = 2.$$

В случае, когда в данном населенном пункте инструментальные измерения данного загрязняющего вещества не проводятся или данные таких измерений неизвестны, то $K_{\text{зф}}=1$ [4].

По формуле (3) размер компенсации убытков, причиненных газообразными выбросами, содержащими формальдегид, составит:

1). для трехсменной работы предприятия при $K_{\text{зф}}=2$:

$$З_{\text{ф}}=0,06 \cdot 1,1 \cdot 922 \cdot 333,3 \cdot 2,25 \cdot 2=91269 \text{ грн.}$$

- 2). для двухсменной работы предприятия при $K_{3\phi}=2$:
 $Z_{\phi}=0,04 \cdot 1,1 \cdot 922 \cdot 333,3 \cdot 2,25 \cdot 2 = 60846$ грн.
- 3). для трехсменной работы предприятия при $K_{3\phi}=1$:
 $Z_{\phi}=0,06 \cdot 1,1 \cdot 922 \cdot 333,3 \cdot 2,25 \cdot 1 = 45634$ грн.
- 2). для двухсменной работы предприятия при $K_{3\phi}=1$:
 $Z_{\phi}=0,04 \cdot 1,1 \cdot 922 \cdot 333,3 \cdot 2,25 \cdot 1 = 30423$ грн.

Список литературы: 1. Перчугов Г.Я. Исследование возможности очистки воздуха от формальдегида биохимическим методом / Г.Я. Перчугов, Г.Д. Павлова, Г.Д. Грибкова // Тезисы докладов семинара «Обезвреживание отходов химических производств с использованием биологических систем», 5-10 декабря 1987 г., Донецк. – Черкассы: ОНИИТЭХИМ, 1987. – С. 5-6. 2. Методичні вказівки з техніко-економічного обґрунтування курсових, бакалаврських та дипломних робіт за спеціальністю 8.070801 «Екологія та охорона навколишнього середовища» / Жадан Л.В., Заремська О.М., Шапорев В.П. та інші. – Харків: НТУ «ХП», 2002. – 31 с. 3. Бахарева А.Ю. Экологически безопасные методы очистки газообразных промышленных выбросов от формальдегида и метана: Дис канд. техн. наук: 21.06.01 / Бахарева Анна Юрьевна. – Х., 2009. – 210 с. 4. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: Збірник законодавчих, нормативно-методичних і інструкційних документів з питань охорони навколишнього природного середовища: Економічне регламентування природокористування: Затверджена Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 18 травня 1995 р. № 38 / Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України. – К., 1998. – 146 с. 5. Беспамятнов Г.П. ПДК вредных веществ в воздухе и воде / Беспамятнов Г.П. – Л.: «Химия», 1972. – 350 с. 6. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиненного народному хозяйству загрязнением окружающей среды / Коллектив авторов. – М.: Экономика, 1986. – 96 с. 7. Агеева Ю.В. Оценка фотохимического смога на загрязнение атмосферного воздуха г. Донецка формальдегидом: Магистерская выпускная работа: спец. «Управление экологической безопасностью» / Ю.В. Агеева. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 127 с.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 628.4

А.М. КОВАЛЕНКО, канд.пед.наук, доц., зав. каф., ректор Харьковский институт экологии и социальной защиты, Харьков,

О ФОРМИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЁРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

В теоретико-методологічному і прикладному аспекті розглядаються питання створення на рівні регіону ефективної методології вирішення проблем поводження з твердими побутовими відходами.

Ключові слова: тверді побутові відходи, поводження, вторинні ресурси, утилізація, переробка, методологія, екологія.

В теоретико-методологическом и прикладном аспекте рассматриваются вопросы создания на уровне региона эффективной методологии решения проблем обращения с твёрдыми бытовыми отходами.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы, обращение, вторичные ресурсы, утилизация, переработка, методология, экология.

The questions of creating of effective methods of decision of problems of processing of municipal solid waste are viewed in theoretical and methodical aspects.

Keywords: municipal solid waste, processing, secondary resources, utilization, usage, methods, ecology.

Введение

Одной из наиболее важных составляющих устойчивого развития государства и регионов является экологическая безопасность, как глобальная проблема человечества. Оптимально невысокий её уровень в Украине в значительной степени обусловлен тем, что на её территории сконцентрированы многочисленные источники формирования различных видов опасности, не достаточно эффективно функционирует система управления экологической безопасностью, находится громадное количество отходов и отсутствует надёжный механизм защиты окружающей среды (ОС) от их воздействия. В данное время резко вырос фактор «человеческой активности», от которого зависит использование и потребление природных ресурсов, накопление опасных отходов, нарушение и загрязнение ОС.

За масштабами отрицательных влияний на ОС одно из наиболее важных мест занимают твёрдые бытовые отходы (ТБО), ежегодный прирост которых в Украине составляет около **35 млн м³**, а накопленное их количество достигает более **3 млрд м³**. Обращение с этим типом отходов, в отличие от отходов промышленного производства, усложняется в связи с тем, что ТБО представляют собой неоднородные и нестабильные по содержанию смеси разнообразных веществ, которые существенно отличаются по своим свойствам.

Постановка проблемы

ТБО представляют собой крайне нестабильную и не контролируемую смесь бумаги, картона, пищевых остатков, пластмассы, резины, стекла, строительного мусора, аккумуляторных батареек, люминесцентных ламп, различных взрывоопасных предметов и т.д. Критическая ситуация с накоплением и утилизацией ТБО усложняется ещё и тем, что их предварительная сортировка населением и соответствующими коммунальными службами практически не проводится. В то же время, механическая сортировка технически сложна и пока не находит широкого применения на уровне регионов.

Парадоксальность сложившейся ситуации с ТБО также состоит в том, что в обществе нет научно обоснованного ответа на вопрос: «Что делать с ТБО и как это делать, чтобы заметно уменьшить их влияние на ОС и извлечь максимальную пользу от их использования?» Поэтому необходимы технологии, наносящие минимальный экологический ущерб ОС, имеющие низкие капитальные затраты и позволяющие получать прибыль. Нет также на всех уровнях однозначного ответа на вопрос: «Почему сфера обращения с ТБО в Украине и её регионах является не только затратной, но и не привлекательной?» Следует сказать, что охрана ОС от загрязнения ТБО и управление их потоками является одной из главных

экологических проблем больших городов Украины, в т. ч. г. Харькова – второго по величине города Украины. Эта проблема обостряется с каждым годом в связи с ростом объёмов ТБО [1, 2].

Сегодня возникла острая необходимость выработки новой парадигмы взаимоотношений человека и природы в контексте макросистемы обращения с отходами, что непременно связано с формированием региональных приоритетов обращения с ТБО. Наступило время комплексной оценки проблем накопления и утилизации муниципальных отходов и поиска рациональных путей их решения. По мнению автора, сфера обращения с ТБО требует незамедлительного реформирования на основе комплексного подхода, направленного на сокращение объёмов образования отходов, снижение нагрузки на существующие и вновь открываемые полигоны, извлечение ресурсно-ценных компонентов для их последующего вовлечения в хозяйственное обращение.

Ежегодно в Харьковском регионе образуется более 2 млн м³ ТБО, которые вывозятся на полигоны ТБО. По данным обследования Харьковского института экологии и социальной защиты (2011 г.) в Харькове функционируют 70 основных полигонов ТБО, из которых 32 эксплуатируются жилищно-коммунальными организациями. Общая площадь свалок составляет 2271 га, а большая их часть существует более 20 лет: 55 полигонов заполнены на 55-75%, остальные – на 75-100%. Свалки в отдельных районах Харьковского региона практически исчерпали свой ресурс.

Анализ последних достижений и публикаций

Следует отметить, что в последнее время интенсифицировались исследования по проблеме отходов в общем контексте экологической безопасности [3-6]. В то же время, по мнению автора, в научных исследованиях недостаточно внимания уделяется региональным особенностям проблемы обращения с ТБО, начиная с их образования и заканчивая учётом. Практически не исследованными являются вопросы, касающиеся методики определения норм образования ТБО. Отсутствие такой методики привело к тому, что в различных регионах (городах) Украины нормы образования ТБО рассчитываются по разным методикам, а поэтому эти нормы иногда значительно отличаются по величине. Автор считает, что необходимо уходить от термина «нормы образования ТБО на 1 чел/год» по причине его необъективности. Наступило время количественного учёта выброшенных ТБО (разделённых по видам) каждой квартирой [7].

Ситуация, сложившаяся с ТБО в Украине, является следствием длительного отношения к этой проблеме как ко второстепенной на государственном и местном уровнях. Твёрдые бытовые отходы не стали в Украине источником недорогого сырья и энергии. Учитывая это, по мнению автора, разработка и реализация региональных приоритетов обращения с ТБО может обеспечить: экономию природных ресурсов за счёт вторичного использования отходов, получение вторичного сырья и дешёвой энергии.

В исследованиях автора отмечается, что формирование региональных приоритетов обращения с ТБО в контексте совершенствования научно-методологических основ обращения с отходами «...является достаточно сложной научно-технологической, экономико-экологической, социально, нормативно-

правовой проблемой и требует скоординированных действий законодателей, учёных, преподавателей, практиков и менеджеров. Особенно это касается индустриально-нагруженных регионов, где формируется широкопрофильная опасность ...» [4 : 9 - 10]

Цель исследования

Целью исследования является анализ функционирования сферы обращения с ТБО в Харьковском регионе и разработка на этой основе региональных приоритетов, призванных ускорить решение проблемы отходов.

Результаты исследований

Твёрдые бытовые отходы, наряду с промышленными, являются основными источниками загрязнения окружающей среды в городах и на прилегающих территориях. На долю нежилого (коммерческого) сектора городов приходится до 26% общего количества бытовых отходов.

Общее количество отходов, накопленных в местах организованного складирования, в начале 2011 г. по Украине составляло около 30 млрд т. На долю Харьковской области при этом приходилось 0,35 млрд т, что составляет 1,16 %. Исследования автора показывают, что неудержимо растут затраты на захоронение ТБО. А увеличивающиеся маршруты к местам захоронения являются причиной возникновения несанкционированных свалок. Следует также учитывать, что до 50-70 % средств муниципальных бюджетов, выделенных на сферу обращения с отходами, уходит на транспортировку отходов к местам их захоронения [4-6].

По данным исследования морфологического состава ТБО, образующиеся в г. Харькове ТБО в среднем содержат (в % масс):

- в жилом секторе:
пищевые отходы – 54,09 %; бумага и картон – 7,64 %; полимеры – 7,73 %; стеклом – 6,31 %; чёрные металлы – 2,20 %; цветные металлы – 0,25 % (рис.).

- на предприятиях
непроизводственной

сферы (нежилой сектор): пищевые отходы – 22,71 %; бумага и картон – 29,91 %, полимеры – 12,01 %; стеклом – 10,71 %, чёрные металлы – 2,69 %; цветные металлы – 2,15 % [2].

Переработка ресурсно-ценных компонентов ТБО, считает автор, должна быть комплексной и учитывающей специфические особенности конкретного региона. Рассмотрим основные технологические ступени обращения с ТБО. Система обращения с ТБО на *первой ступени* предусматривает организацию процесса сбора отходов по видам техногенного сырья. Задача получения наиболее оптимальной характеристики техногенного сырья связана с организацией их раздельного пофракционного сбора в жилом и нежилом секторах города.

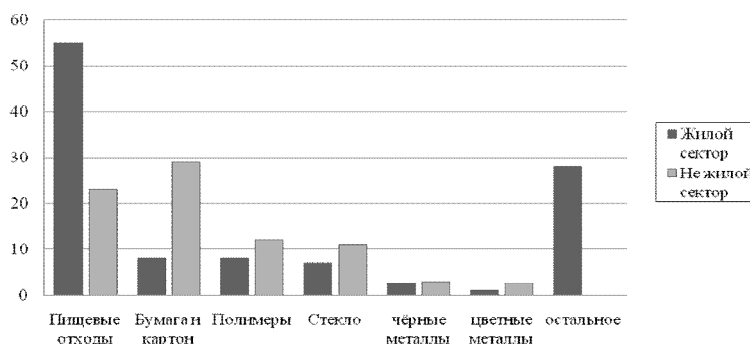


Рис. Морфологический состав ТБО, образующихся в г. Харькове

Вторая ступень предполагает выбор и оптимизацию способа подготовки техногенного сырья к переработке и базируется на использовании обогатительных процессов, как наиболее универсальных подготовительных операций в схемах комплексной переработки ТБО и во многом определяется требованиями конкретной технологии.

Третья ступень управления связана с оптимизацией работы перерабатывающего комплекса и предусматривает достижение максимального эколого-экономического эффекта при заданной производительности.

Анализ эколого-экономической оценки промышленных технологий переработки ТБО (сжигание; компостирование; сортировка + сжигание; сортировка + компостирование; комплексная переработка; сортировка + компактирование) показывает, что строительство заводов по технологии прямого сжигания, а также прямого компостирования ТБО экономически наименее целесообразно. Расчёты свидетельствуют, что в экономическом аспекте для переработки неразделённых потоков ТБО наиболее предпочтительны комбинированные решения, в особенности комплексная переработка ТБО (комбинация процессов сортировки, термо-биообработки)[2].

Исследования автора показывают, что перераспределяя материальные потоки отходов, сортировка в 1,5-2 раза сокращает потребность в дорогостоящем термическом и биотермическом оборудовании. И в то же время, капитальные затраты на процесс сортировки не превышают 12-16 % от затрат на термо- и биообработку[2, 4, 8]. Таким образом, рациональная сортировка ТБО - покомпонентная и пофракционная оптимизируют сопряжённые производства.

Комплексная переработка ТБО предполагает наличие *региональных приоритетов*, формирование которых должно базироваться на:

- максимально возможном использовании отходов как вторичных ресурсов;
- максимально возможном уменьшении их отрицательного воздействия на окружающую среду за счёт внедрения новых современных высокоэффективных технологий их утилизации и создания объектов для их удаления, соответствующих требованиям охраны окружающей среды;
- организации контроля за действующими и закрытыми местами удаления ТБО с целью предотвращения их вредного влияния на окружающую среду;
- создании нового отечественного оборудования для сбора, хранения, перевозки, утилизации и захоронения ТБО.

Таким образом, основные задачи управления в сфере обращения с отходами, по мнению автора публикации, состоят в обеспечении безопасного обращения с отходами и в широком вовлечении их в хозяйственное обращение. Региональные органы управления, ответственные за эффективность этого процесса, должны реализовать функции организации, координации, планирования, стимулирования, учёта, контроля и регулирования в этой сфере деятельности. При этом основными операциями при обращении с ТБО должны стать: сокращение объёмов отходов; переработка ТБО; утилизация (использование в качестве топлива); захоронение (с утилизацией биогаза).

Выводы

Оценка твёрдых бытовых отходов как вторичного сырьевого резерва целого ряда отраслей промышленности и энергетики позволяет определить вторичное ресурсоиспользование как долгосрочную стратегию развития национального хозяйства в аспекте расширения его ресурсных возможностей. Одновременно следует защищать окружающую среду от вредного воздействия на неё отходов.

1. Предложены региональные приоритеты в решении проблем обращения с ТБО в контексте эколого-экономической трансформации регионов к устойчивому развитию через систему обращения с отходами.

2. Установлено, что комплексная переработка отходов в сырьё и энергию может стать катализатором экономических и социальных преобразований в Украине на её пути к устойчивому развитию.

Список литературы: 1. *Мищенко В.С.* Організаційно-економічний механізм поводження з відходами та шляхи його вдосконалення. / В.С. Міщенко, Г.П. Виговська. / К.: Наукова думка, 2009. – 295 С. 2. *Твёрдые бытовые отходы. Технологии и оборудование. Проблемы и решения:* [учеб.пособ. для студ. высш. учеб. завед.] / А.М. Касимов, А.М. Коваленко, В.Т. Семёнов, А.Н. Александров. – Харьков: ХНАГК, 2006. – 301 С. 3. *Касимов А.М.* Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы и решения / Касимов А.М., Тобажнянский Л.Л., Тошинский В.И. – Х.: Изд. Дом НТУ «ХПИ», 2009. – 500 С. 4. *Коваленко А.М.* Методология обращения с отходами:[монограф.] /Коваленко А.М. – Харьков: «Підручник» НТУ «ХПИ», 2010. – 207 С. 5. *Коваленко А.М.* Методологические аспекты защиты окружающей среды от отходов / А.М. Коваленко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/8. – С. 28-32. 6. *Коваленко О.М.* Ресурсо- та енергозбереження в контексті сталого розвитку України / О.М. Коваленко. // «Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – № 10'2011. – С. 112-119. 7. *Коваленко А.М.* Пути преодоления кризиса твёрдых бытовых отходов в Украине / А.М. Коваленко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/6 (50). – С. 38-41. 8. *Коваленко А.М.* Комплекс сортировки и прессования твёрдых бытовых отходов / А.М. Коваленко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №43'2011. – С.19-25.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 581.526.42 (477. 85)

В. Д. СОЛОДКИЙ, кан.біол.наук, проф., НТУ “ХП”, Харків
Ю.Г. МАСІКЕВИЧ, канд.біол.наук, проф., НТУ “ХП”, Харків
В.Ф. МОІСЕЄВ, канд.техн.наук, проф., НТУ “ХП”, Харків
І.В. ПІТАК, канд.техн.наук, доц., НТУ “ХП”, Харків

НОВІ ПІДХОДИ ДО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ БУКОВИНСЬКИХ КАРПАТ

Запропоновано ландшафтні підходи до вдосконалення функціонування системи моніторингу Буковинських Карпат та оцінки впливу на природне довкілля в процесі реалізації Стратегії виконання Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат.

Предложено ландшафтные подходы к совершенствованию функционирования системы мониторинга буковинских Карпат и оценки воздействия на окружающую среду в процессе реализации Стратегии выполнения Рамочной конвенции об охране и устойчивом развитии Карпат.

The landscape going is offered near perfection of functioning of the system of monitoring of Bukovyna Carpathians and estimation of influence on a natural environment in the process of realization of Strategy of implementation of Scope convention about a guard and steady development of Carpathians.

Впровадження положень Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат (далі - Карпатська конвенція) вимагає забезпечення адекватного функціонування системи моніторингу довкілля. Тому особливого значення набуває оцінювання екологічних ризиків, їхнього впливу на довкілля та прогнозування розвитку антропогенно-природних негараздів, враховуючи особливості Карпатських гірських екосистем, для запобігання транскордонним шкідливим наслідкам [7, 8]. Система моніторингу довкілля Карпатського регіону, як складова управління охороною навколишнього природного середовища, має забезпечити спостереження за збереженням біорізноманіття, регулювати нормування антропогенних навантажень на довкілля, а також забезпечити застосування системного підходу до оцінювання стану природних ресурсів [2-8]. Це особливо важливо у зв'язку з надзвичайними ситуаціями – паводками і зсувами, що виникли влітку 2008 та 2010 років (рис.1, 2). Тому метою досліджень був пошук шляхів удосконалення системи моніторингу Буковинських Карпат і Передкарпаття з урахуванням нормативних вимог та нових методологічних пропозицій [4-6]. Ландшафтний рівень є найбільш прийнятним для здійснення моніторингу та охорони довкілля шляхом гармонізації наукових парадигм природознавства, що обґрунтовують розвиток секторів економіки та охорони довкілля на єдиній методологічній базі – концепції сталого розвитку [2].

Обласна система моніторингу довкілля (ОСМД) Чернівецької області є регіональною частиною державної системи моніторингу довкілля (ОСМД). Вона складається з організацій, які здійснюють екологічний моніторинг та спостереження за промисловими підприємствами – основними забруднювачами довкілля в області. На сьогодні ОСМД контролюється стан наступних природних ресурсів регіону:

- атмосферне повітря (стан атмосферного повітря, викиди основними промисловими підприємствами області, загальні викиди шкідливих речовин з розбивкою по районах області та за видами економічної діяльності);
- водні ресурси (поверхневі води, питна вода, рівень ґрунтових вод);
- ґрунти (сільськогосподарського призначення, в місцях проживання та відпочинку населення, в межах санітарно-захисних зон головних промислових підприємств області);
- стан активізації екзогенних процесів на території області (зсуви, підтоплення, карстові явища, селі, землетруси);
- стан біоресурсів (ліси, мисливська фауна, сільськогосподарська рослинність).

Зібрану в пунктах спостереження суб'єктів інформацію попередньо обробляють і передають до регіонального центру моніторингу довкілля (РЦМД) держуправління охорони навколишнього природного середовища, де її розділяють за напрямками моніторингу, аналізують та оцінюють. Екологічну інформацію наносять на карти-схеми Чернівецької області, розробляють

відповідні схеми для пунктів спостереження за станом біоресурсів на ландшафтній основі. Карти-схеми використовують для нанесення узагальненої інформації про стан відповідного природного ресурс. На відміну від інших видів інформації, вони дають змогу наочно порівнювати різні види інформації та можуть бути використані для здійснення комплексної оцінки екологічного стану в області з урахуванням типів ландшафту.



Рис.1. Зсув пластичного типу на площі 7,0 га – урочище Фошки Карпатського держспецлісгоспу АПК (Чернівецька область, 2008 рік)

Схема удосконалення системи моніторингу Буковинських Карпат та Передкарпаття передбачає взаємодію всіх

природоохоронних структур, виконавчих органів влади, органів місцевого самоврядування, неурядових організацій та засобів масової інформації в рамках обласної міжвідомчої ради з моніторингу довкілля (рис.3).

Склад ОСМД не є постійним і збільшується за рахунок включення в систему нових установ і підприємств. Охоплення нових територій системою екологічних спостережень, включення в систему нових складників, в тому числі з контролю стану біологічних ресурсів, ландшафтів Буковинських Карпат спричиняє істотне, що в результаті дає суттєве збільшення обсягів інформації, що надходить для узагальнення. Розвитку цієї діяльності має сприяти розроблена система пунктів спостереження, суб'єктів моніторингу, кадастр точок спостереження, база документів регіонального значення, як основа інтеграції мереж спостереження організацій (рис.4).

У відповідності до положень Карпатської конвенції система управління природними ресурсами має бути інтегрованою, забезпечувати належні умови для розроблення та реалізації спільних планів дій зацікавлених суб'єктів суспільних відносин, передбачати міжсекторальне паритетне узгодження управлінських рішень, здійснювати політику просторового планування, що враховує особливі екологічні та соціальні умови Карпатського регіону та їх гірських екосистем [2,3].

Однією з найбільших проблем у роботі ОСМД є відсутність цільових програм для виконання завдань екологічного моніторингу Буковинських Карпат. Для попередження надзвичайних ситуацій, насамперед, паводків та зсувів, у межах ОСМД необхідно розробити відповідну підсистему «Моніторинг Буковинських Карпат». Вона має об'єднувати на рівні певних ландшафтів організації, що здійснюють екологічні спостереження, а також промислові підприємства, що забруднюють природне середовище, або внаслідок своєї діяльності можуть негативно впливати на структурні ланки природних екосистем ландшафтів.

Для забезпечення ефективної реалізації за ландшафтно-водозбірним принципом Стратегії виконання Карпатської конвенції у Буковинських Карпатах, виходячи з регіональних природних особливостей області, визначено головні пріоритети екологічного моніторингу з урахуванням антропогенного навантаження на ландшафти. Зважаючи, що у Буковинських Карпат, представлено близько 30 видів високогірних, середньогірних, низькогірних та передгірних ландшафтів [1], моніторинг найефективніше можна здійснити на ландшафтній основі - у ландшафті поєднуються регіональна та типологічна характеристики природних таксонів, як об'єктів природокористування різних секторів економіки [5,6]. Система моніторингу, на нашу думку, має ґрунтуватися на таких основних видах ландшафтів:



Рис.2. Наслідки катастрофічних паводків у Буковинських Карпатах, червень 2010 року

1. Високогір'я під субальпійськими луками.
2. Середньогір'я під смерековими, буково-смерековими та буково-смереково-ялицевими лісами.
3. Низькогір'я під луками, смерековими та смереково-ялицево-буковими лісами.
4. Горбогір'я, високі та терасові рівнини під луками та ялицево-буковими лісами.
5. Підняття під вторинними луками, з населеними пунктами, пасовищами, орними землями та під ялицево-буковими і дубово-грабово-буковими лісами.
6. Долини (поперечні, повздовжні, бокових приток) під ялицево-смерековими і буково-ялицево-смерековими лісами та вторинними луками.

Для забезпечення діяльності обласної системи моніторингу довкілля та підсистеми “Моніторинг Буковинських Карпат” необхідно утворити регіональну міжвідомчу раду та ради з моніторингу адміністративних районів і надати їм відповідні повноваження, зокрема:

- контроль виконання заходів, що передбачені обласною програмою “Еко-Моніторинг”, в тому числі підсистеми моніторингу спрямованої на вдосконалення мереж спостереження в Буковинських Карпатах;

- координація дій, що спрямовані на зміцнення інформаційної інтеграції організацій - суб'єктів екологічного моніторингу, розташованих в полі дії Карпатської конвенції.

Таким чином розроблення в межах ОСМД підсистеми «Моніторинг Буковинських Карпат», спрямованої на вдосконалення мереж спостереження, забезпечить запобігання надзвичайних ситуацій, а також забруднення довкілля в межах водозборів, що знижує ризики розвитку цих явищ відповідних водозбірних басейнів.



Рис.3. Схема удосконалення системи моніторингу Буковинських Карпат та Передкарпаття.

Список літератури: 1. Воронай Л.І. Ландшафтна карта Чернівецької області: навч. Посібник / Воронай Л.І., Гуцуляк В.М., Дутчак, М.В. – Чернівецький національний університет, 2007. - 13 с. 2. Голубець М.А. Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону. – Львів: Поллі, 2007. – 288 с. 3. Концепція збереження біологічного різноманіття України / Затв. Постановою КМУ № 439 від 12.05.1997 р. – К., 1997. – 28 с. 4. Завдання моніторингу антропогенно-природних загроз та плани заобіжних і екстрених заходів інтегрованого управління басейнами Північної Буковини [Текст]: Матеріали доповідей міжнар. наук.-практ. конф. Основи ведення сталого лісового господарства: (Україна, Івано-Франківськ, вересень, 28-30.2005 р.). / редкол. Лавров В.В., Солодкий В.Д. – Івано-Франківськ: Екор, 2005. – С. 164-167. 5. Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011-2015 роки / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 травня 2011 р. № 577-р. – 12 с. 6. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2020 року // Відомості Верховної Ради України, 2011, № 26. – С. 218–234. 7. Рамкова Конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат. Збірник законодавчих актів України про охорону навколишнього природного середовища –10-тий т.- Чернівці: Зелена Буковина, 2004 – С.311-315. 8. Стратегія виконання Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 січня 2007 р. N 11-р (968-164)

Поступила в редакцію 15.02.2012

УДК 628.16.06

В.Г.ЧЕБАН, канд.техн.наук, доц., ДонГТУ, Алчевск,
А.А.БРЕВНОВ, канд.техн.наук, доц., ДонГТУ, Алчевск

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ОЧИСТИТЕЛЕ С ПЛОСКИМ КАНАЛОМ

Запропонований спосіб підвищення ефективності очистки рідин від твердих забруднень в гідродинамічному очиснику з плоским каналом. Знижені втрати тиску та кількості рідини, що зливається. Покращені умови очистки за рахунок досягнення постійної швидкості.

Ключові слова: гідродинамічний очисник, напірний канал, рідина.

Предложен способ повышения эффективности очистки жидкостей от твердых загрязнений в гидродинамическом очистителе с плоским каналом. Снижены потери давления и количество сливаемой жидкости. Улучшены условия очистки за счет достижения постоянной скорости.

Ключевые слова: гидродинамический очиститель, напорный канал, жидкость.

The method of increase of efficiency of cleaning of fluids from solid pollution in the hydrodynamic filter with a flat channel is offered. The losses of pressure and amount of the poured out fluid are lowered. Conditions of clearing at the expense of constant speed achievement are improved.

Keywords: the hydrodynamic filter, pressure head channel, fluid.

1. Введение

Гидродинамическая, так иногда называемая тангенциальная или с поперечными потоками, очистка жидкостей от загрязнений и в начале 21-го века продолжает свое лидерство, обусловленное возможностью реализации способа очистки в многообразных формах конструкций изделия с высоким качеством продукта. Она уже сегодня способна войти в каждый дом и квартиру потребителя в виде выносных мембранных аппаратов для получения питьевой и иной технологической воды бытового назначения. Не секрет также, что в настоящее время пищевая промышленность в уже достаточной мере оснащена такими аппаратами, а внедрение новейших технологий в других производствах, даже таких как металлургическое и химическое, предъявляет довольно высокие требования к качеству жидкостей, в том числе и технической воде, масштабы использования которой огромны. Кроме того, также известно, что мембранная очистка жидкостей в выносных аппаратах, то есть напорных, предусматривает наличие предварительной очистки в очистителях других типов или в их комплексах с тонкостью очистки не более 5 мкм. А проведенные рядом авторов исследования [1] показали, что и погружные мембранные аппараты работают более эффективно в предварительно очищенной в других очистителях воде. Следовательно, внедрение мембранной технологии и развитие других технологий очистки жидкостей взаимосвязаны между собой.

2. Постановка проблемы и анализ последних достижений

Практикой последних лет многократно подтверждено [2, 3], что гидродинамические очистители жидкостей с фильтроэлементом, покрытым металлической сеткой, способны без проблем очищать, в частности, маловязкие жидкости, к которым относится и техническая вода, от твердых загрязнений крупностью свыше 20-30 мкм, причем высоко эффективно и в значительных объемах. И это не предел их возможностей. Они также стали широко востребованы в начале века, но мировой экономический кризис внес свои коррективы в масштабы использования как мембранных аппаратов, так и гидродинамических очистителей, в последних из которых так же, как и в напорных мембранных аппаратах, принцип гидродинамической очистки осуществляется в напорных каналах различного типа.

Проведенные исследования показывают, что для осуществления гидродинамической очистки используются более десятка различных типов напорных каналов, каждый из которых образован поверхностями двух геометрических фигур. При этом, чем выше предъявляемые требования к напорному каналу, тем сложнее оказывается форма как минимум одной из образующих его поверхностей.

В большинстве же случаев требования к напорному каналу довольно простые и заключаются в основном в том, что он должен обеспечивать:

- минимальные потери давления и сброс жидкости;
- равномерность тонкости очистки по всей проницаемой поверхности фильтроэлемента.

Данные требования вполне выполнимы, если площадь напорного канала на выходе будет как можно меньше площади на входе, а отношение продольной и ортогональной скоростей потока в нем будет постоянным.

Так, в работе [4] доведено, что получение напорного канала, отвечающего указанным требованиям, в виде двух расположенных друг в друге цилиндров, возможно в случае, если боковая поверхность внутреннего цилиндра будет иметь грушеобразную форму. В результате образуются два охватывающих эту грушеобразную поверхность серповидных напорных канала, способных формировать поток жидкости вокруг такой по форме поверхности двумя встречными на выходе потоками. Но наличие двух каналов на выходе не обеспечивает выполнение первого требования, поэтому потери жидкости не будут минимальными. В связи с этим более предпочтительным в таком случае является напорный канал, описанный в одноканальном очистителе [5] типа «цилиндр в цилиндре».

В случае же коаксиального расположения цилиндров или цилиндра в конусе и при подаче жидкости вдоль образующей внутреннего проницаемого цилиндра, оптимальной формой внутренней поверхности наружного элемента является сложный в исполнении параболоид, который с целью упрощения приближенно выполняют в виде как минимум двух конусов. Но, даже оптимальная форма одной из поверхностей напорного канала обеспечивает выполнение только второго требования, предъявляемого к напорным каналам. Выход из такого канала не обеспечивает в достаточной мере выполнение первого требования к каналу, так как при этом резко уменьшается диаметр проницаемого цилиндра и резко возрастает его высота и очистителя в целом.

Известен напорный канал [6], образованный двумя плоскими поверхностями в виде дисков, одна из которых с центральным отверстием для слива концентрата. Казалось бы, что еще может быть проще. Причем, и площадь выхода такого канала значительно меньше площади его входа и выход только один. Но, для получения постоянства отношения скоростей жидкости в таком канале, его проницаемая поверхность должна быть выполнена с постепенно увеличивающейся, а затем уменьшающейся к центральному отверстию площадью живого сечения, что является не оптимальным вариантом для изготовления такой поверхности.

Известен так же и плоскоконический напорный канал [7], который может быть выполнен как с плоской проницаемой поверхностью в виде диска с центральным отверстием и непроницаемой конической поверхностью, так и наоборот. Он как теоретически, так и практически мало исследован. Более широкой информации о нем не обнаружено. Вполне очевидным является лишь то, что он в наиболее полной мере, в сравнении с другими известными на данный момент напорными каналами, отвечает первому требованию к напорным

каналам, так как диаметр его выхода значительно меньше диаметра входа, причем при больших производительностях и высота его выхода меньше высоты входа. Но, в связи с выше сказанным о конической поверхности, возникают сомнения в том, что непроницаемая конусная поверхность в данном случае сможет в полной мере обеспечить выполнение второго требования к напорному каналу. Поэтому, пока остается не вполне ясным вопрос - какой все же должна быть оптимальная форма непроницаемой поверхности такого напорного канала, обеспечивающая постоянство соотношения продольной и ортогональной скоростей жидкости при постоянном коэффициенте живого сечения плоской проницаемой поверхности.

3. Постановка задачи

Целью данной работы является разработка способа повышения эффективности очистки жидкостей от твердых загрязнений в гидродинамическом очистителе за счет расчета оптимальной формы непроницаемой поверхности плоского напорного канала.

4. Результаты исследований

Из разреза плоскоконического напорного канала [7] очевидно, что форма конической поверхности такого канала определяется его высотой от входа к выходу, конкретная величина которой зависит от конкретного, соответствующего ей, диаметра. Предварительные практические расчеты такого напорного канала, проведенные с учетом результатов работы [8], показали, что для исследуемого канала расчетная схема должна иметь вид, представленный на рисунке 1.

Напорный канал 1 образован внутренней поверхностью крышки 2 корпуса 3 очистителя и плоской проницаемой поверхностью 4 с центральным отверстием фильтроэлемента 5. При этом корпус 3 и фильтроэлемент 5 расположены концентрично с зазорами 6 и 7 между собой. Корпус 3 очистителя снабжен входным патрубком 8, а фильтроэлемент 5 - сливным 9 и выходным 10 патрубками. Вход напорного канала 1 в виде боковой поверхности цилиндра диаметром d_n и высотой h_n определяется началом перфораций в плоской проницаемой поверхности

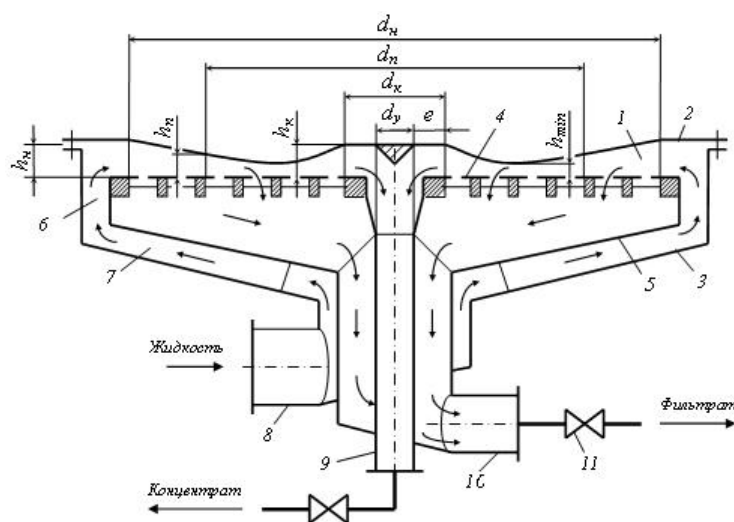


Рис. 1. Расчетная схема к определению профиля напорного канала Основу расчета составляют исходные данные:

$Q_{вх}$ - производительность по входу, $м^3/с$;
 Q_o - производительность по фильтрату, $м^3/с$;
 $Q_{сл}$ - количество слива, $м^3/с$; $v_{пр}$ - продольная скорость, $м/с$; v_o - ортогональная скорость (скорость фильтрации), $м/с$; d_{max} - максимальный размер загрязнений в исходной жидкости, $м$;
 k_{ϕ} - коэффициент живого сечения проницаемой поверхности фильтроэлемента.

фильтроэлемента 5 в сторону центрального отверстия, а выход в виде боковой поверхности цилиндра диаметром d_k и высотой h_k определяется окончанием перфораций.

Принимаем $\frac{Q_{сл}}{Q_{вх}} = m$, а $\frac{v_{np}}{v_o} = i = const$.

Из заданных условий находим

$$Q_{сл} = Q_k = \pi \cdot d_k \cdot h_k \cdot v_{np},$$

$$Q_{сл} = Q_{вх} \cdot m = \pi \cdot d_n \cdot h_n \cdot v_{np} \cdot m,$$

где d_n и d_k - диаметр канала на входе и выходе, соответственно, м;

h_n и h_k - высота канала на входе и выходе, соответственно, м.

Отсюда получим выражение для определения высоты напорного канала на входе:

$$h_n = \frac{d_k \cdot h_k}{d_n \cdot m}, \text{ м} \quad (1)$$

Из условий

$$Q_o = (1 - m) \cdot Q_{вх} = (1 - m) \cdot S_n \cdot v_{np}, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_o = S_o \cdot v_o, \text{ м}^3/\text{с}$$

получим соотношение

$$S_o \cdot v_o = (1 - m) \cdot S_n \cdot v_{np},$$

откуда

$$S_o = (1 - m) \cdot \frac{v_{np}}{v_o} \cdot S_n = (1 - m) \cdot i \cdot S_n, \text{ м}^2$$

где $S_n = \pi \cdot d_n \cdot h_n$ - площадь напорного канала на входе, м^2 ;

S_o - площадь живого сечения проницаемой поверхности фильтроэлемента, м^2 .

С другой стороны

$$S_o = S_{общ} \cdot k_\phi = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_k^2) \cdot k_\phi, \text{ м}^2$$

где $S_{общ}$ - общая площадь проницаемой поверхности фильтроэлемента, м^2 .

Приравняем правые части выражений для определения S_o

$$(1 - m) \cdot i \cdot \pi \cdot d_n \cdot h_n = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_k^2) \cdot k_\phi,$$

откуда получим

$$h_n = \frac{(d_n^2 - d_k^2) \cdot k_\phi}{4 \cdot (1 - m) \cdot i \cdot d_n}, \text{ м} \quad (2)$$

Сравнивая выражения (1) и (2)

$$\frac{d_k \cdot h_k}{d_n \cdot m} = \frac{(d_n^2 - d_k^2) \cdot k_\phi}{4 \cdot (1 - m) \cdot i \cdot d_n}$$

находим

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot (1-m) \cdot i \cdot d_k \cdot h_k}{m \cdot k_\phi}} + d_k^2, \text{ м} \quad (3)$$

где диаметр канала на выходе определяется из выражения

$$d_k = \frac{m \cdot Q_{\text{ex}}}{\pi \cdot h_k \cdot v_{np}}, \text{ м} \quad (4)$$

а высота канала на выходе из условия, что

$$h_k = (1,8 \div 4,0) \cdot d_{\text{max}}, \text{ м} \quad (5)$$

При этом большее значение интервала принимают при незначительных диаметрах загрязнений, а меньшее - при крупных загрязнениях.

С учетом выражений (1), (3) и (4) можно определить высоту и диаметр канала на входе и по другим известным параметрам

$$h_n = \sqrt{\frac{Q_{\text{ex}} \cdot k_\phi \cdot h_k^2}{4 \cdot i \cdot (1-m) \cdot \pi \cdot h_k^2 \cdot v_{np} + k_\phi \cdot m^2 \cdot Q_{\text{ex}}}}, \text{ м} \quad (6)$$

$$d_n = \sqrt{\frac{Q_{\text{ex}} \cdot [4 \cdot i \cdot (1-m) \cdot \pi \cdot h_k^2 \cdot v_{np} + k_\phi \cdot m^2 \cdot Q_{\text{ex}}]}{k_\phi \cdot \pi^2 \cdot h_k^2 \cdot v_{np}^2}}, \text{ м} \quad (7)$$

где h_k определяется из выражения (5).

Определив из выражения (4) диаметр d_k канала на выходе, следует проверить его соответствие конструктивным возможностям. Из рисунка 1 очевидно, что он должен быть незначительно больше условного диаметра d_y сливного патрубка 9, определяемого из условия

$$d_y = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{сл}}}{\pi \cdot v_y}} > 3 \cdot d_{\text{max}},$$

где $v_y = 1,5 \div 3,0$ – скорость потока в сливном патрубке, м/с.

Следовательно, оптимальным является значение

$$d_k \geq d_y + 2 \cdot e$$

где e - размер участка перехода от условного диаметра сливного патрубка 9 к выходу из напорного канала.

Если же из выражения (4) значение диаметра канала на выходе оказалось меньшим, чем определено по последнему выражению или значительно большим, то его корректируют изменениями в пределах принятого интервала (1,8 ÷ 4,0).

Для построения оптимального профиля внутренней поверхности крышки 2 корпуса 3 очистителя при найденных высотах канала на входе h_n и выходе h_k , отвечающим соответственно диаметрам d_n и d_k , остается определить значения промежуточных высот h_n , соответствующих промежуточным диаметрам d_n . При этом отношение продольной v_{np} и ортогональной v_o скоростей потока должно оставаться постоянным на всей длине канала, а коэффициент живого сечения k_ϕ одинаков по всей плоской проницаемой поверхности.

Сравнивая выражения

$$Q_n = Q_{\text{ex}} - Q_{o(\text{ex}-n)} = Q_{\text{ex}} - S_{(\text{ex}-n)} \cdot k_\phi \cdot v_o,$$

$$Q_n = S_n \cdot v_{np},$$

получим

$$S_n \cdot v_{np} = Q_{ex} - S_{(ex-n)} \cdot k_{\phi} \cdot v_o$$

или

$$\pi \cdot d_n \cdot h_n \cdot v_{np} = Q_{ex} - \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_n^2) \cdot k_{\phi} \cdot v_o,$$

где Q_n - расход жидкости в текущем промежуточном сечении канала, $м^3/с$;

$Q_{o(ex-n)}$ - количество фильтрата, прошедшего через проницаемую поверхность на участке от входа в напорный канал до текущего промежуточного сечения, $м^3/с$;

$S_{(ex-n)}$ - площадь проницаемой поверхности от входа в напорный канал до текущего промежуточного сечения, $м^2$;

S_n - площадь текущего промежуточного сечения напорного канала, $м^2$.

Из последнего выражения находим высоту канала в промежуточном сечении

$$h_n = \frac{Q_{ex} - \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_n^2) \cdot k_{\phi} \cdot v_o}{\pi \cdot d_n \cdot v_{np}}, м$$

или при $Q_{ex} = \pi \cdot d_n \cdot h_n \cdot v_{np}$ и $\frac{v_{np}}{v_o} = i$

$$h_n = h_n \cdot \frac{d_n}{d_n} - \frac{(d_n^2 - d_n^2) \cdot k_{\phi}}{4 \cdot i \cdot d_n}, м \quad (8)$$

Из выражения (8) для текущих значений промежуточных сечений, определяемых диаметром d_n , изменяющимся в интервале от d_n до d_k , находим соответствующие им значения промежуточных высот напорного канала h_n и сводим их в таблицу для использования при конструкторской разработке или при построении графика.

На рисунке 2 представлен график зависимости высоты h_n напорного канала от соотношения d_n/d_n , построенный для следующих исходных данных: $Q_{ex} = 0,25$

$м^3/с$; $k_{\phi} = 0,544$; $m = 0,05$; $i = 10 = const$; $v_{np} = 2 м/с$;

$v_o = 0,2 м/с$.

Из рисунка 2 очевидно, что, при плоской проницаемой поверхности фильтроэлемента гидродинамического очистителя жидкости, вторая непроницаемая поверхность, образующая вместе с первой напорный канал с постоянными продольной и

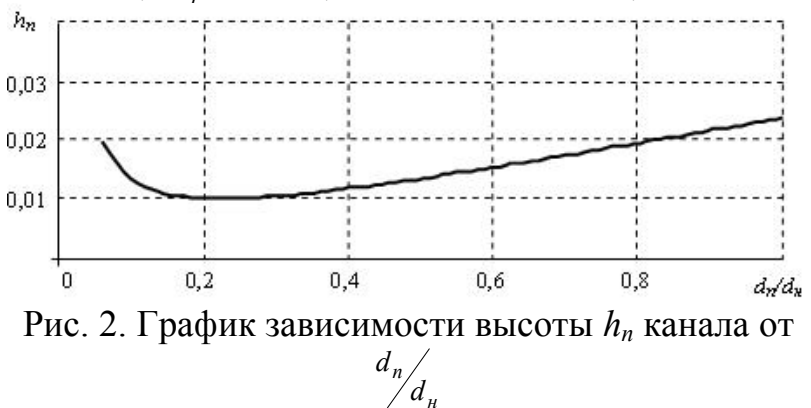


Рис. 2. График зависимости высоты h_n канала от

d_n/d_n

ортогональной скоростями жидкости, должна иметь форму наружной поверхности параболоида. При этом в некотором промежуточном сечении напорного канала имеет место сужение, представленное на рисунке 1 величиной

$h_{\min}$, которая учтена при определении высоты в конце напорного канала по выражению (5), причем как и в щелевом напорном канале $h_{\min} \geq (1,15 \div 1,5) \cdot d_{\max}$.

5. Выводы

Определена оптимальная форма непроницаемой поверхности плоского напорного канала, обеспечивающая стабильную по величине продольную скорость течения жидкости, а при постоянной ортогональной скорости и неизменное соотношение данных скоростей. Движение жидкости в данном канале с постоянной скоростью существенно снизит гидравлические потери, что обеспечит минимальный перепад давления на очистителе. Слив же смывающей части жидкости из напорного канала через выход диаметром d_k со значительно меньшей площадью, в сравнении с площадью входа диаметром d_n , обеспечит минимальные потери жидкости (2-8%), величина которых зависит от степени ее загрязненности, размера и состава загрязнений, вязкости жидкости и т.д.

Так как скорость фильтрации (v_o) жидкости через проницаемую поверхность с одинаковым коэффициентом живого сечения условно можно считать постоянной, то при постоянной продольной скорости (v_{np}) отношение этих скоростей ($\frac{v_{np}}{v_o} = i$) также является постоянным, что в свою очередь обеспечит

постоянство тонкости очистки жидкости по всей проницаемой поверхности. В результате этого улучшатся условия фильтрации из-за отсутствия застойных зон на проницаемой поверхности, а также откроется возможность дополнительного использования очистителей, например для гранулометрического разделения суспензий.

Список литературы: 1. Прутьянова Ю.О. Усовершенствование мембранной технологии доочистки сточных вод с применением гидроциклона [Электронный ресурс / Режим доступа : <http://nauka.kz/diss/detail.php?ID=440712>. 2. Финкельштейн З.Л. Совершенствование способов очистки сточных вод, сбрасываемых в водоемы [Текст] / З.Л. Финкельштейн, В.А. Давиденко, И.Н. Кучин // Вестник МАНЭБ, 2003 – Т. 8, № 5 (65). - С.83-85. 3. Финкельштейн З.Л. Опыт применения фильтров сверхвысокой производительности для очистки промышленных стоков [Текст] / З.Л. Финкельштейн, Л.З. Финкельштейн // Вестник МАНЭБ, 2003 – Т. 8, № 5 (65). - С.94-97. 4. Чебан В.Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей [Текст] // Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып. 31 – Алчевск: ДонГТУ, 2010. – С.115-126. 5. Очисник потоку рідини [Текст] : пат. 56352 Україна, МПК⁹ B01D27/00, 29/11. / Чебан В.Г. ; заявник і патентовласник ДонДТУ. - №u201008134 ; заявл. 29.06.10 ; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1. 6. Спосіб розділення рідини на фільтрат і концентрат [Текст] : пат. 54061 Україна, МПК⁹ B01D37/00, 61/14. / Чебан В.Г. ; заявник і патентовласник ДонДТУ. - № u201004969 ; заявл. 26.04.10 ; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. 7. Гідродинамічний фільтр [Текст] : пат. 54092 Україна, МПК⁹ B01D29/00, 35/30. / Чебан В.Г. ; заявник і патентовласник ДонДТУ. - № u201005308 ; заявл. 30.04.10 ; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. 8. Чебан В.Г. Повышение эффективности гидродинамической очистки жидкости в плоском напорном канале [Текст] / В.Г. Чебан, С.С. Антоненко // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки», № 3. - Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – С.155-162.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, докт. техн. наук., проф., НТУ «ХПИ», Харьков,
В.В. БЕРЕЗУЦКИЙ, докт. техн. наук., проф., НТУ «ХПИ», Харьков,

ИССЛЕДОВАНИЕ СООТНОШЕНИЙ РАЗМЕРОВ СЕЧЕНИЙ В НАПРАВЛЯЮЩИХ ПОТОК ПЕРЕГОРОДКАХ И РАСХОДОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ В ПРОТОЧНОМ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРЕ

У статті приведені результати досліджень співвідношень розмірів перетинів в потік направляючих перегородках і витрат водного середовища в проточній електрокоагуляції при ламінарному характері руху потоку. Приведені вирази для розрахунку об'ємів і кількості камер в електрокоагуляції і експериментально визначено значення коефіцієнта α , для масло водних технологічних середовищ, що містять, що дозволяє точніше розрахувати процеси мікро флотації при очищення їх від масел

Ключові слова: Розміри, перетини, перегородки, електрокоагуляція, масло, водне середовище, мікро флотація, очищення, критерій Кемпа, коефіцієнт.

В статье приведены результаты исследований соотношений размеров сечений в направляющих поток перегородках и расходов водной среды в проточном электрокоагуляторе при ламинарном характере движения потока. Приведены выражения для расчета объемов и количества камер в электрокоагуляторе и экспериментально определено значение коэффициента α , для масло содержащих водных технологических сред, что позволяет более точно рассчитать процессы микро флотации при очистке их от масел.

Ключевые слова: Размеры, сечения, перегородки, электрокоагулятор, масло, водная среда, микро флотация, очистка, критерий Кэмпса, коэффициент.

In the article the results of researches of correlations of sizes of sections are resulted in a stream sending partitions and charges of water environment in a running electro-coagulator at laminar character of motion of stream. Resulted expression for the calculation of volumes and amount of chambers in an electro-coagulator and the value of coefficient is experimentally certain α , for oil of containing water technological environments that allows more exactly to expect processes micro flotation at cleanings them from oil.

Keywords: Sizes, sections, partitions, electro-coagulator, oil, water environment, микро флотація, cleaning, criterion of Kempa, coefficient.

Выполнение соединения отсека с электродами и реакторной камеры с расположенными в ней перегородками с направляющими поток отверстиями при помощи щелевидного канала, позволило осуществить фракционированное коагулирование, которое приводит к более полному коагулированию загрязнений и быстрому уплотнению оседающих частиц [1].

Задача: исследовать соотношение размеров сечений в направляющих поток перегородках и расходы водной среды в проточном электрокоагуляторе. Способ фракционированного коагулирования реализован пока только в аппаратах предлагаемой конструкции. Существенным условием эффективности процесса является режим ввода коагулянта. На улучшение этого режима направлен процесс фракционирования, реализация которого стала возможной благодаря применению перегородок, размещение в них средств перетока обрабатываемой воды в виде направляющих поток отверстий и щелевидного отверстия

(перегородки со щелевидным отверстием) электродного отсека. Конструкция перегородок представлена на рис. Размеры перегородок соответствуют поперечным размерам реакторной камеры. Основной расчетной величиной в перегородках являются отверстия. Влияние формы отверстия и напора на величину коэффициента расхода, не оказывает существенного влияния [249]. Учитывая то, что для тонкой перегородки коэффициент сжатия струи потока можно принять равным единице, также как и коэффициент Кориолиса (кинетической энергии) и приняв условно коэффициент сопротивления равным нулю, а также учесть то, что при этом коэффициент скорости будет равен единице, сечение направляющего поток отверстия (ω , м²) определяется по выражению [2-4]

$$\omega = \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_c}}, \quad (1)$$

где Q - расход жидкости, м³/ч; H_c - высота столба жидкости над отверстием, м; g - ускорение свободного падения, м/с².

Необходимо учесть, что выражение (1) применяется при свободном истечении струи из тонкой перегородки.

Таблица. Соотношение размеров сечений в перегородках и расходов жидкости, при $H_c = 0,8$ (размеры стороны квадратного сечения приведены в скобках)

Q , м ³ /ч	0,5	0,8	1,0	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5
ω , м ²	0,126 (0,35)	0,2 (0,44)	0,252 (0,5)	0,378 (0,61)	0,454 (0,67)	0,5 (0,7)	0,55 (0,74)	0,631 (0,79)

Одновременно с выполнением фракционирующих функций перегородки задерживают на поверхности жидкости пену, которая затем отводится в пеноотводящий желоб. Выполнение отверстий в перегородках позволяет изменить направление потока жидкости, удлиняя при этом его путь и заставляя поток перемещающейся по реакторной камере жидкости несколько раз пересекать газо-коагуляционный поток - "стенку", образованную восходящим из электродного отсека потоком электролита с коагулянт.

Таким образом, зависимости сформулированные Дерягиным и приведенные в научной литературе [5-6], реализованы конструктивно, что и определило высокую эффективность

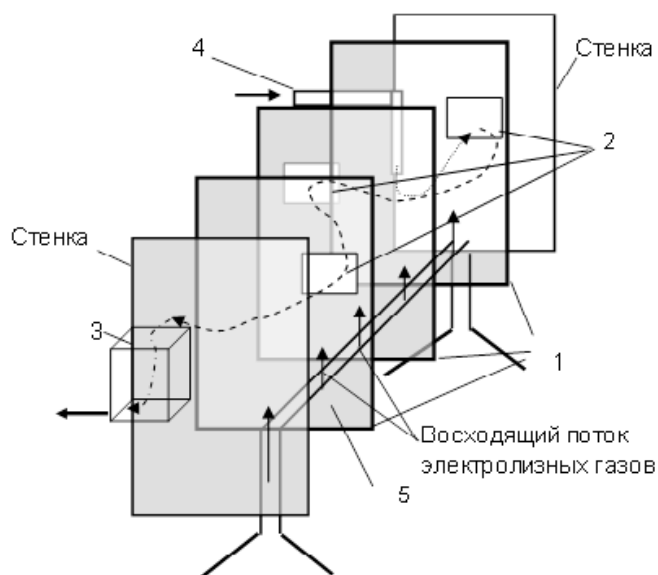


Рис. Схема перегородок в аппарате фракционированного коагулирования: 1 - перегородки; 2 – направляющие поток среды отверстия; 3 - карман отвода очищенной водной среды; 4 - патрубок подачи среды на очистку; 5 - щелевидный канал

описываемого процесса.

А именно, быстрое перемешивание, обеспечивающее высокую вероятность контакта коагулянта, пузырька электролизного газа и частицы примеси, растворенной в водной среде, с последующим далее переходом в ламинарный поток при значении числа Рейнольдса 10^{-1} - 10^{-3} и менее, что обеспечивает оптимальные условия для коагулирования с последующим извлечением образованного комплекса из водной среды. Далее этот процесс повторяется в следующей камере и т.д.

Число перегородок определяется производительностью устройства. Каждый раз, когда пересекается "стенка" очищаемым потоком, из него извлекается часть загрязнений. Каждый из отсеков формирует объем обрабатываемой воды за отрезок времени равный 0,5 часа, что соответствует времени быстрого коагулирования. Исходя из этого объем одного отсека W_1

$$W_1 = Q t, \quad (2)$$

где t - среднее время осаждения коагулированных частиц, ч (в нашем случае оно равно 0,5 ч). Следовательно, при расходе (Q) равном $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ объем одного отсека должен быть равным $0,5 \text{ м}^3$.

Количество отсеков (n) образованных перегородками в реакторной камере будет равно

$$n = \frac{V}{V_1} + 1, \quad (3)$$

где V - объем всей реакторной камеры аппарата; V_1 - объем одного отсека (при условии, что отсеки равны между собой); 1 - добавочный отсек успокоения и отвода очищенной воды.

Теоретические исследования показали, что для успешного протекания процесса сближения и последующего прилипания твердой частицы или капельки нефтепродуктов к пузырьку определяющее значение имеет градиентная коагуляция, характеризующаяся градиентом скорости G [7-9]. Эффективность процесса при потенциальном режиме флотации, определяемом динамическим режимом потока жидкости пересекающего плотный восходящий поток электролизных газов, показала, что выбор безразмерного произведения GT (критерий Кэмпбелла) для оценки гидродинамических условий микро флотации в водных технологических средах, содержащих масло, эффективная величина $G = 60$, а $\alpha = 0,017$. Реализуется это посредством размещения камер и направлением движущегося потока очищаемой жидкости и восходящего (флотирующего и коагулирующего) потока электролизных газов с электрогенерированным коагулянт. Расстояние, которое проходит поток очищаемой жидкости между направляющими поток отверстиями равно 0,5 м, линейная скорость потока $(1-2) \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$. Если проанализировать отношение линейных скоростей потоков очищаемой жидкости и газовых пузырьков, то можно отметить соответствие его величины показателю α , т.е.

$$V_{ж} = \alpha V_{э};$$
$$\alpha = V_{ж} / V_{э} \quad (4)$$

Скорость подъема газовых (электролизных) пузырьков, образующихся при электрокоагуляции, составляет $(58-60) \cdot 10^{-3}$ м/с.

Выводы: в результате исследований установлены соотношения размеров сечений в направляющих поток перегородках и расходов очищаемой воды, при ламинарном характере течения потока жидкости;

-получены выражения для расчета объемов и количества камер в электрокоагуляторе;

-экспериментально определено значение коэффициента α , для маслосодержащих водных технологических сред, что позволяет более точно рассчитать процессы микро флотации при очистки их от масел.

Список литературы: 1. *Березуцкий В.В.* Техногенная безопасность маслоэмульсионных вод / В.В. Березуцкий– Харьков: ХГПУ, – 1998. – 279 с. – (Монография). 2. *Березуцкий В.В.* Аппарат для электрохимической очистки сточных вод Пат. №1691319 Российской федерации. МКИ СО2 F 1/463, №4452193/26; заявл. 04.07.88; опубл.15.11.91 Бюл. №42. 3. Апарат електрохімічного очищення стічних вод Патент на корисну модель №17651 / Березуцький В.В., Максименко О.А.; заявл. 07.03.2006 р. Надрук. 16.10.2006. Бюл. № 10.2006. 4. *Богомолов А.И.* Примеры гидравлических расчетов / А.И. Богомолов – М.: Транспорт, 1984.– 526 с. 5. *Кудрявцева Н.М.* Исследования в области поверхностных сил / Н.М. Кудрявцева, Дерягин Б.В. – М.:АН СССР, 1961. – 183 с. 6. *Дерягин Б.В.* Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок / Дерягин Б.В. – М.: Наука, 1986. – 206 с. 7. Пантелят Г.С. Системы водоснабжения металлургических производств, исключаяющие сброс отработанных вод в водоемы: дис. докт.техн.наук: 05.23.04.- М., 1985. – 517 с. 8. *Пантелят Г.С.* Теоретические аспекты интенсификации очистки городских сточных вод / Г.С Пантелят., Эпоян С.М. – Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – № 10. – С. 11-12. 9. *Эпоян С.М.* Влияние параметров флокуляционного перемешивания на интенсификацию очистки городских сточных вод / С.М. Эпоян – Водоснабжение и санитарная техника. – 1997. – № 4. – С. 17-18.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 654.1: 621.39

І.О. МЕЗЕНЦЕВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП», Харьков,
В.В. ГОРБЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХП», Харьков,
І.М. ЛЮБЧЕНКО, ст. викл., НТУ «ХП», Харьков,
С.В. КОТЛЯРОВА, ст. викл., НТУ «ХП», Харьков

ВПЛИВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

У статті розглядається вплив мобільного зв'язку на організм людини. Представлені показники, за якими регламентують безпеку стільникових телефонів у світі та у деяких країнах СНД. Показані найбільші та найменші значення коефіцієнту питомого поглинання для різних моделей мобільних телефонів. Наведені правила безпечного використання мобільних телефонів.

В статье рассматривается влияние мобильной связи на организм человека. Представлены показатели, по которым регламентируют безопасность сотовых телефонов в мире и в некоторых странах СНГ. Показаны наибольшие и наименьшие значения коэффициента удельного поглощения для разных моделей мобильных телефонов. Приведены правила безопасного использования мобильных телефонов.

In the article influence of mobile communication is examined on the organism of man. The indicators, which regulate the safety of cellular phones in the world and in some UIS countries are presented. The following major and lowest SAR value for different models of mobile phones are shown. The rules of the safe use of mobile telephones are resulted.

За останні 20 років мобільні телефони зайняли невід'ємне місце у житті кожного українця. Практично кожен житель користується послугами мобільного зв'язку, а іноді навіть декількома операторами. Мобільний зв'язок безумовно суттєво спростив спілкування та доступ до інформації, але останнім часом з'являється все більше інформації щодо впливу мобільних телефонів на здоров'я людей.

На кафедрі «Охорона праці та навколишнього середовища» вже розглядалися питання пов'язані з впливом мобільних телефонів на організм людини [1, 2].

Викладачами кафедри був проведений опит серед студентів декількох факультетів (машинобудівного та інформатика і управління) щодо використання мобільного зв'язку серед молоді. Були поставлені наступні питання:

- 1) Можливе сучасне життя без мобільних телефонів?
- 2) Мобільний зв'язок впливає на стан здоров'я людини?

На перше питання 95% опитуваних відповіли, що не уявляють сучасне життя без мобільного зв'язку. На друге питання 100% студентів відповіли, що мобільний зв'язок негативно впливає на стан здоров'я людини. Тобто молоді люди вважають, що мобільний зв'язок погіршує самопочуття людини, але вони не готові відмовитися від тих переваг, які він надає.

Доки ще проблема впливу мобільних, стільникових та радіо- телефонів залишається дискусійною: одні роботи доводять, що мобільний телефон негативно впливає на здоров'я людини і таких робіт більше, а інші навпаки доводять, що мобільний телефон не впливає на здоров'я людини.

Причина такої суперечності полягає в науковій достовірності доказу впливу дуже слабких за інтенсивністю, переважно високочастотних, електромагнітних полів на людину вважають автори роботи [3]. Для більшості країн сьогодні критерієм впливу електромагнітних полів є лише гігієнічна оцінка так званих гранично-допустимих рівнів. За цими показниками для більшості розвинених країн світу такі «стандарты на гранично-допустимі рівні» відрізняються між собою на декілька порядків.

На сьогоднішній день світові стандарти, які регламентують безпеку стільникових телефонів, характеризують рівень випромінювання параметром SAR (Specific Absorption Rates - коефіцієнт питомого поглинання), який вимірюється в ватах на кілограм. Ця величина визначає енергію електромагнітного поля, яка виділяється у тканинах за одну секунду.

У Європі допустиме значення випромінювання складає 2 Вт/кг. В США обмеження більш суворі: федеральна комісія з питань зв'язку (FCC) сертифікує лише ті стільникові апарати, SAR яких не перевищує 1,6 Вт/кг. Такий рівень випромінювання не призводить до суттєвого нагрівання тканин, стверджують спеціалісти фінського центру радіаційної і ядерної безпеки. Як повідомлялося раніше, проведене в цьому науковому інституті дослідження показали, що рівень

SAR у 28 моделей телефонів, які протестовані знаходяться в межах від 0,45 до 1,12 Вт/кг [4, 5]. Показники SAR для деяких телефонів наведені у вигляді таблиці:

Таблиця. Показники SAR для деяких телефонів

Найбільш високі показники	Найбільш низькі показники
Motorola SLVR L6 (1,58)	Audiovox PPC66001 (0,12)
Motorola V120c (1,55)	Motorola MPx200 (0,2)
Motorola V70 (1,54)	Motorola Timeport L7089 (0,22)
Motorola C290 (1,53)	Qualcomm pdQ-1900 (0,263)
Motorola P8767 (1,53)	T-Mobile Sidekick (0,276)
Motorola ST7868 (1,53)	Samsung SGH-S100 (0,296)
Motorola ST7868W (1,53)	Samsung SGH-S105 (0,296)
Motorola A845 (1,51)	Sony Ericsson Z600 (0,31)
Palm Treo 650 GSM (1,51)	Siemens S40 (0,33)
Panasonic Allure (1,51)	Mitsubishi G360 (0,32)

В Україні допустима інтенсивність електромагнітних полів регламентується санітарними правилами і нормами. Обмеження оцінюються в принципово інших одиницях у порівнянні з загальносвітовими - у ватах на квадратний сантиметр, визначаючи при цьому енергію, яка «входить» у тканину за одну секунду. Причому електромагнітні хвилі в залежності від їх частоти і виду живої тканини, з якою вони взаємодіють, будуть впливати по-різному. Гранично допустимі рівні електромагнітного випромінювання: Україна — $2,5 \text{ мкВт/см}^2$; Росія — 10 мкВт/см^2 ; Скандинавія — 100 мкВт/см^2 ; Угорщина — 10 мкВт/см^2 .

Норми не можна перевести в одиниці SAR простим розрахунковим шляхом. Для того, щоб визначити відповідність нової моделі стільникового телефону українським стандартам, необхідно проводити лабораторні вимірювання. Експерти зазначають, що українські вимоги фактично встановлюють більші обмеження на потужність випромінювання передатчиків стільникових телефонів, ніж рекомендують норми Всесвітньої Організації Здравоохоронення (ВОЗ). Але, за думкою ВОЗ, такі завищення стандартів не мають за собою ніякої наукової потреби.

Як же впливає електромагнітне випромінювання на живий організм? Клінічно достовірно показано, що організм людини випробовує істотний негативний вплив від мобільного телефону. Більш ніж на 37% знижується загальна енергетика організму, окрім цього: на 74% - для нирок, 67% - для печінки; на 60% - для центральної нервової системи і на 60% для ендокринної системи змінюються функціональні стани відносно вихідного стану. Люди, які дуже часто користуються стільниковим зв'язком, з часом можуть набути ознак вегето-судинної дистонії: сонливість, головні болі і дратівливість. Мобільний телефон може стати причиною погіршення зору, із-за нього виникають порушення пам'яті.

Як показує опитування на сьогоднішній день люди, особливо молодь, не готові відмовитись від використання мобільного зв'язку, а тому треба

інформувати населення про правила безпечного користування мобільними телефонами для зменшення шкідливого впливу. Ось основні із таких правил:

- Обмежити час і частоту використання стільникового телефону, не слід розмовляти більше 2-3 хвилин за один виклик і більше 10-15 хвилин на день;

- В умовах нестійкого прийому потужність апарату автоматично підвищується до максимальної величини. Рекомендується утриматись від довгочасних переговорів чи знайти місце зі стійким прийомом;

- Використовувати мобільний телефон в закритих приміщеннях (машина, будинок) рідше, оскільки випромінювані ним хвилі можуть відбиватися стінами і покриттями, що у декілька разів підсилює опромінення;

- Не прикладати мобільний телефон до вуха в той момент, коли він знаходиться в процесі пошуку оператора мережі (це буває при самому включенні телефону і при дуже поганому прийомі);

- Не носити мобільний телефон на поясі, або у кармані, не залишати у спальні, особливо не використовувати мобільний телефон, як будильник;

- Користуйтеся моделями телефону з зовнішніми антенами і гарним заявленим у характеристиках відчуттів, вибирайте модель із зниженим рівнем випромінювання.

Список література: 1. Котлярова С. В., Горбенко В.В., Мезенцева И.А. Влияние мобильных телефонов на организм человека. Тези доповідей науково-методичної конференції “Безпека життєдіяльності”. Харків, 2007. – с.65. 2. Мезенцева И.О., доц. Горбенко В.В., ст. вик. Котлярова С.В. Здоров’я людини та мобільний зв’язок. Тези доповідей науково-методичної конференції “Безпека життєдіяльності”. Харків, 2008. – с.58. 3. http://ekobukovina.at.ua/index/vlijanie_mobilnogo_telefona_na_organizm_cheloveka. 4. <http://www.mobile.infostore.org> 2006/. 5. <http://www.vrednost.ru/sarfirm.php>.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 628.31

Н.А. БУКАТЕНКО, канд.техн.наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В МОЮЩИХ РАСТВОРАХ ПОСЛЕ МОЙКИ АВТОМОБИЛЕЙ

У даній статті наведені експериментальні дослідження по дисперсійному складу домішок миючих розчинів після миття автомобілів.

Ключові слова: миючі розчини, дисперсність.

В данной статье приведены экспериментальные исследования по дисперсионному составу примесей моющих растворов после мойки автомобилей.

Ключевые слова: моющие растворы, дисперсность.

In this article the experimental data about a pollution composition dispersion of detergent solutions after washing of automobiles are given.

Keywords: detergent solutions, dispersion.

1. Введение

Дисперсность, как технологический показатель, имеет большое значение при очистки моющих растворов (МР) после мойки автомобилей, т.к. позволяет

получить полную картину распределения частиц по размерам. После мойки автомобилей в МР попадает пыль и грязь, которые являются источниками создания грубодисперсной системы. Как правило, эти системы седиментационно неустойчивы, т.е. их частицы оседают под действием силы тяжести. Эффективность процесса очистки МР зависит не только от количества, но и от характера взвешенных частиц, в частности от степени их дисперсности.

В настоящее время дисперсионный анализ включает различные способы определения размеров свободных частиц в жидких средах. Одни из методов дисперсионного анализа позволяют получать полную картину распределения частиц по размерам, а другие дают лишь усредненную характеристику дисперсности.

К первой группе относятся методы определения размеров отдельных частиц непосредственным измерением (ситовый анализ, оптическая и электронная микроскопия) или по косвенным данным: скорости оседания частиц в жидкой среде (седиментационный анализ в гравитационном поле и в центрифугах), величине импульсов электрического тока, возникающих при прохождении частиц через отверстие в непроводящей перегородке (кондуктометрический метод) или другим показателям.

Анализ вышеизложенных методов дисперсионного анализа показал, что для экспериментального исследования дисперсности, предпочтение имеет микроскопический метод. Этот метод хотя и является весьма трудоёмким, однако обладает рядом преимуществ: дает возможность непосредственного подсчета числа частиц определенного размера, а не их массы; полученные данные не зависят от плотности частиц; повышение точности результатов достигается с увеличением числа просмотренных полей зрения и т.д.

2. Основное содержание работы

Эффективность извлечения из МР загрязнений в процессе отстаивания определяется в зависимости от эквивалентного диаметра частиц и их процентного соотношения. Поскольку распределение частиц по их размерам оказывает существенное влияние на скорость их осаждения и качество очистки.

В качестве основного прибора при исследованиях использовался микроскоп биологический рабочий МБР-1, предназначенный для исследования препаратов в проходящем свете в светлом поле.

Для определения дисперсности необходимо определить размер частиц и их количество. Подсчет частиц производился с использованием микроскопа и счетной камеры Горяева – Тома, которая представляла собой толстое предметное стекло, разделенное бороздками. На центральную часть стекла нанесена сетка. Площадь квадрата сетки указана на одной из сторон предметного стекла и соответствует $1/25 \text{ мм}^2$ (большой квадрат) или $1/400 \text{ мм}^2$ (малый квадрат). Часть предметного стекла, на которой нанесена сетка, на $0,1 \text{ мм}$ ниже двух других сторон. Это глубина камеры, она всегда указывается на предметном стекле.

С целью изучения дисперсионного состава примесей в изучаемых МР после мойки автомобилей, проведены экспериментальные исследования по подсчету количества и распределения по размерам загрязняющих веществ в этих

растворах. Исследования проводились по методике, изложенной в подразделе 2.3.1 [1]. Результаты этих исследований приведены в табл.

Таблица . Результаты подсчета количества частиц по размерам в МР

Состав МР	Количество частиц при эквивалентном диаметре, см · 10 ⁻³								
	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	14	21
Н _{ср} В _{ср} С _{ср1}	24	15	11	5	4	2	2	-	-
Н _{ср} В _{ср} С _{ср2}	17	8	8	7	3	-	2	2	-
Н _{ср} В _{ср} С _{ср3}	55	26	25	3	3	-	-	-	-
Н _{ср} В _{ср} С _{ср4}	35	17	14	7	3	-	-	-	-
Н _{ср} В _{ср} С _{ср5}	14	10	10	6	3	1	1	-	-
Н _{ср} В _{ср}	25	19	12	8	5	-	-	2	1

Из таблицы видно, что все МР содержат различное количество частиц одинакового размера, а некоторые типы растворов в своем составе не имеют более крупного эквивалентного размера. Так, например, в растворах Н_{ср} В_{ср} С_{ср3} и Н_{ср} В_{ср} С_{ср4} не обнаружены частицы эквивалентного диаметра уже свыше $8,4 \cdot 10^{-3}$ см. Однако, в этих растворах значительно больше частиц размером $1,4 \cdot 10^{-3}$ см.

Из всех изученных растворов наиболее ярко, по количеству частиц более мелкого размера, выделяется раствор Н_{ср} В_{ср} С_{ср3}. Это обстоятельство, очевидно, указывает на тот факт, что этот раствор, содержащий в своем составе Синтамид-5, способен создавать более тонкодисперсные системы.

Подсчитав по экспериментальным данным дисперсность, как величину обратную эквивалентному диаметру частиц, построены графики зависимости распределения частиц минерального происхождения в исследуемых МР по их дисперсности, представленные на рис.1, 2 и 3.

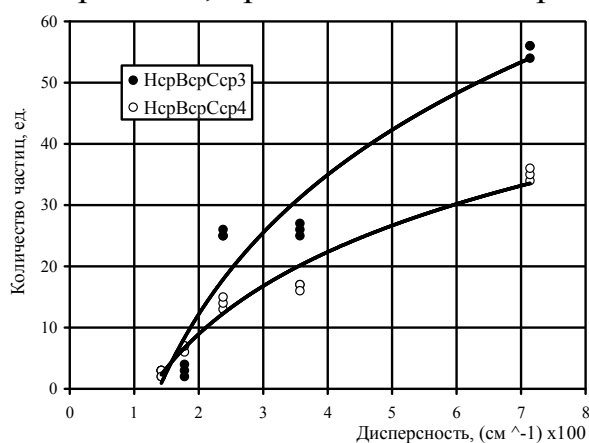


Рис. 1. Распределение частиц минерального происхождения в МР Н_{ср}В_{ср}С_{ср3}, Н_{ср}В_{ср}С_{ср4} по их дисперсности

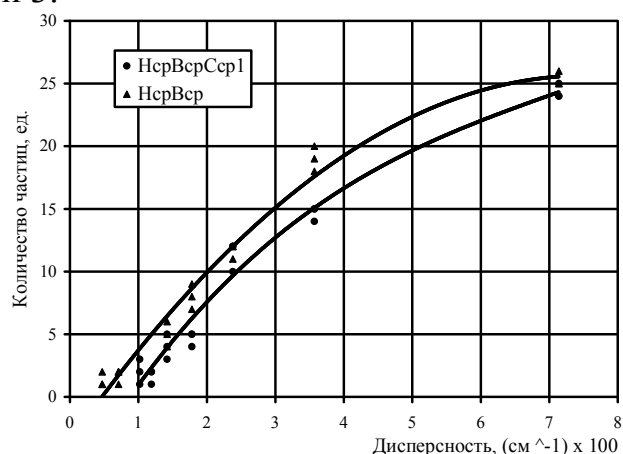


Рис. 2. Распределение частиц минерального происхождения в МР Н_{ср}В_{ср}С_{ср1}, Н_{ср}В_{ср} по их дисперсности

Анализ зависимостей, приведенных на рисунках, свидетельствует о том, что в диапазоне дисперсностей от 200 до 700 см^{-1} , одним и тем же значениям

дисперсности соответствует различное количество частиц минерального происхождения для всех вышеперечисленных растворов.

Наибольшее количество частиц при наивысшей дисперсности соответствует растворам $H_{cp}V_{cp}C_{cp3}$ и $H_{cp}V_{cp}C_{cp4}$, среднее – растворам $H_{cp}V_{cp}C_{cp1}$ и $H_{cp}V_{cp}$ и наименьшее – $H_{cp}V_{cp}C_{cp2}$ и $H_{cp}V_{cp}C_{cp5}$. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что чем меньше размер частицы, тем больше некоторые типы синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) способствуют устойчивости взвешенных веществ (ВВ).

В диапазоне дисперсностей от 0 до 200 см^{-1} , одним и тем же значениям дисперсности, для всех изученных растворов, соответствует, примерно, одинаковое количество частиц минерального происхождения. На основании чего можно сделать вывод о том, что при относительно больших частицах минерального происхождения, все типы СПАВ не оказывают существенного влияния на устойчивость ВВ.

При наложении всех графиков друг на друга оказывается, что для некоторых растворов, зависимости распределения частиц минерального происхождения в МР по их дисперсности пересекаются между собой. Так, кривые растворов $H_{cp}V_{cp}C_{cp2}$ и $H_{cp}V_{cp}C_{cp5}$ пересекаются в точке, соответствующей количеству частиц около 12. Это характеризует тот факт, что в этой точке для указанных растворов, дисперсности равны и составляют около 450 см^{-1} . Кривые растворов $H_{cp}V_{cp}C_{cp4}$ и $H_{cp}V_{cp}$ пересекаются в точке, соответствующей количеству частиц около 13. Дисперсности в этой точке, для указанных растворов, составляют около 240 см^{-1} .

Из рис.1, 2 и 3 видно, что экспериментальные данные по распределению частиц минерального происхождения, для всех изученных растворов, имеют относительно большой разброс. Это объясняется тем, что в ходе эксперимента трудно было отобрать пробы с количеством частиц одинакового эквивалентного диаметра. Полученные экспериментальные данные по сериям опытов, специально не усреднялись, в отличие от данных

табл.1, с целью получения более близкой интерполяционной зависимости.

Для каждой кривой, представленной на рис. 1, 2 и 3, получено уравнение зависимости распределения частиц минерального происхождения в исследуемых МР от их дисперсности, которые имеют вид:

$$\text{для раствора } H_{cp}V_{cp}C_{cp1} \\ n = 0,047x^3 - 1,0249x^2 + 9,3723x - 7,4536; \quad (1)$$

$$\text{для раствора } H_{cp}V_{cp}C_{cp2} \\ n = -0,1368x^2 + 3,3664x - 0,5594; \quad (2)$$

$$\text{для раствора } H_{cp}V_{cp}C_{cp3}$$

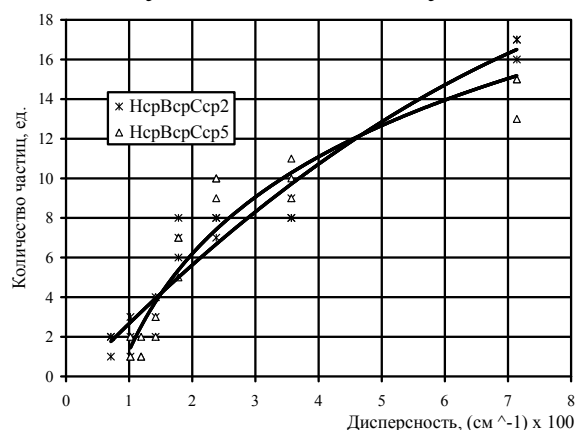


Рис. 3. Распределение частиц минерального происхождения в МР $H_{cp}V_{cp}C_{cp2}$, $H_{cp}V_{cp}C_{cp5}$ по их дисперсности

$$\text{для раствора } H_{\text{cp}}V_{\text{cp}}C_{\text{cp}4} \quad n = 32,869\text{Ln}(x) - 10,617; \quad (3)$$

$$\text{для раствора } H_{\text{cp}}V_{\text{cp}}C_{\text{cp}5} \quad n = 19,344\text{Ln}(x) - 4,47; \quad (4)$$

$$\text{для раствора } H_{\text{cp}}V_{\text{cp}} \quad n = 7,0587\text{Ln}(x) + 1,3012; \quad (5)$$

$$\text{где } n - \text{количество частиц, шт.}; \quad n = -0,5148x^2 + 7,7463x - 3,5095, \quad (6)$$

x – дисперсность, 10^2 см^{-1} .

Максимальная погрешность расчета количества частиц по уравнениям 1 – 6) и расчетам, полученных по экспериментальным данным, не превышает 8%.

Выводы

Результаты проведенных экспериментальных исследований по дисперсности показали, что изученные растворы имеют полидисперсный характер и довольно широкий диапазон загрязнений частицами эквивалентного диаметра. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе фильтрующих материалов и числа фильтрующих перегородок при очистки МР методом фильтрования.

Список литературы: 1. Букатенко Н.А. Усовершенствование процессов мойки автомобилей с обеспечением экологической безопасности и рационального использования водных ресурсов: дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: 21.06.01 / Букатенко Наталья Алексеевна. – Х., 2009. – 164 с.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

УДК 502.58:57.51-76:622.765

Г.В. ВАСИЛЕНКО, асп, наук.спів., УкрНІЕП, Харків

ЕКОЛОГО–ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ФЛОТАЦІЇ НА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОМУ КОМБІНАТІ

Наведена послідовність здійснення аналізу еколого–економічної ефективності водоохоронних заходів при впровадженні флотаційного дозбагачення на ГЗК. Обґрунтовано зміст та порядок розрахунку показників екологічного ефекту, витрат і ефективності у задачі, що розглядається.

Ключові слова: флотаційна доводка, екологічний ефект, витрати, еколого-економічна ефективність.

Приведенна последовательность осуществления анализа эколого-экономической эффективности водоохраных мероприятий при внедрении флотационного дообогащения на ГОК. Обоснованы содержание и порядок расчета показателей экологического эффекта, затрат и эффективности в рассматриваемой задаче.

Ключевые слова: флотационная доводка, экологический эффект, затраты, эколого-экономическая эффективность.

The sequence analysis of the environmental and economic benefits of water conservation measures in the implementation of the flotation beneficiation processing plant. Justified by the content and procedure of calculating the environmental impact, costs and effectiveness in this problem.

Keywords: flotation finishing, ecologically effects, cost, environmental and economic efficiency.

Постановка проблеми

В умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку залізорудної сировини зростають вимоги до якості товарних залізорудних концентратів. Тому на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) при невисокої ефективності технології магнітного збагачення у випадку бідних і важкозбагачуваних руд впроваджують флотаційне дозбагачення.

В процесі флотації кількість флотореагенту може поступово зростати до небезпечних концентрацій у водогосподарській системі (ВГС) ГЗК, яка складається з оборотної системи на базі хвостосховища з можливістю скиду надлишкових виробничих стічних вод у водний об'єкт при наявності позитивного дебалансу. Скидання надлишкових (дебалансних) вод ВГС ГЗК у поверхневі водні об'єкти (ПВО) може здійснювати негативний вплив на їх водну екосистему та, як наслідок, погіршення показників якості води понад нормативні вимоги.

Для запобігання такої ситуації при впровадженні зворотної катіонної флотації чи зміні обсягів її використання необхідно прогнозувати поведінку флотореагенту у хвостосховищі ГЗК та впроваджувати певні водоохоронні заходи, які б сприяли дотриманню вмісту флотореагенту у воді, що потрапляє до ПВО, встановленим природоохоронним нормативам.

Аналіз основних досліджень і публікацій

В [1] показано, що на передпроектній стадії впровадження флотаційних технологій дозбагачення залізних руд на ГЗК потрібно проводити дослідження, які дозволяють зробити дані технології безпечними відносно ПВО. Сутність досліджень полягає в тому, що виконується прогноз динаміки вмісту флотореагенту у воді хвостосховища, потім прогнозується вміст флотореагенту у контрольному створі ПВО, куди надлишкові води хвостосховища можуть потрапляти при наявності позитивного дебалансу технічної води ВГС ГЗК. У випадку, коли вплив флотореагенту на ПВО є екологічно небезпечним потрібно визначити та проаналізувати варіанти водоохоронних заходів щодо зниження впливу флотореагенту на ПВО до нормативних показників [1]. До варіантів водоохоронних заходів можливо віднести наступні:

- будівництво локальних очисних споруд (ЛОС) для очищення дебалансних вод;
- перехід на замкнену оборотну систему без скиду виробничих стічних вод у водні об'єкти. У випадку позитивного дебалансу технічної води до ПВО можуть бути скинуті тільки невикористані кар'єрні води;
- у випадку відсутності позитивного дебалансу технічної води - очищення на ЛОС стічних вод та їх повернення у хвостосховище;
- продувка хвостосховища кар'єрними водами та водою обвідного каналу у весняний період та інші.

Реалізація наведених водоохоронних заходів є досить кошовною, тому для вибору найкращого з них в умовах конкретного ГЗК пропонується дослідити їх еколого-економічну ефективність.

Мета статті – обґрунтувати порядок здійснення аналізу еколого-економічної ефективності водоохоронних заходів при впровадженні флотаційного дозбагачення на ГЗК.

Виклад основного матеріалу. За основу при обґрунтуванні вибору найкращого водоохоронного заходу в умовах конкретного ГЗК запропоновано використати підхід щодо оцінки еколого-економічної ефективності природоохоронних заходів [2], з урахуванням особливостей застосування аналізу еколого-економічної ефективності водоохоронних заходів при впровадженні флотаційного дозбагачення. Послідовність реалізації запропонованого підходу наведена на рис. 1.

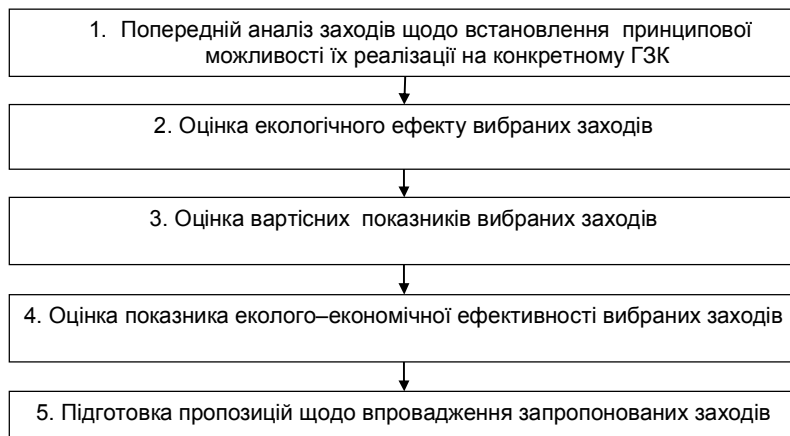


Рис. 1. Послідовність реалізації аналізу еколого-економічної ефективності водоохоронних заходів при впровадженні флотаційного дозбагачення

Розглянемо кожний з наведених етапів з обґрунтуванням необхідності та порядку їх реалізації.

1. *Попередній аналіз заходів щодо встановлення принципової можливості їх впровадження на конкретному ГЗК.* Кожний з наведених вище заходів для своєї успішної реалізації потребує наявності на конкретному ГЗК відповідних умов, які слід розглядати як можливе обмеження реалізації того чи іншого заходу. Наприклад, реалізація заходу «будівництво ЛОС для очищення дебалансних вод» потребує для свого здійснення наявності на ГЗК вільних площ для розташування ЛОС. Другий приклад - реалізація заходу «продувка хвостосховища кар'єрними водами та водою обвідного каналу у весняний період» потребує для свого здійснення наявності у кар'єрі та обвідному каналі у весняний період необхідних обсягів води. Витрати продувних вод істотно залежить від ступеня зменшення концентрації флотореагента хвостосховищі та об'єму його ставка-відстійника.

Далі по кожному з заходів, які будуть відібрані після аналізу обмеження їх реалізації на конкретному ГЗК, необхідно здійснити наступні дослідження: аналіз балансу технічної води ГЗК з урахуванням впровадження додаткових заходів; розробку розрахункової схеми обігу флотореагенту у системі дозбагачення залізної руди ГЗК; експериментальне визначення основних параметрів розрахункової схеми обігу флотореагенту; розробку прогнозової моделі поведінки флотореагенту у часі; прогнозування зміни накопичення флотореагенту у хвостосховищі ГЗК (з впровадженням додаткових заходів); прогнозування концентрації флотореагенту у воді, що потрапляє до ПВО. Порядок здійснення цих досліджень наведено в [1].

В результаті по кожному заходу буде отримано прогнозне значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО - $C_{ск\ i}$ (i – номер заходу, що розглядається). Ті з заходів, для яких виконується співвідношення $C_{ск\ i} < C^{гдк}$, залишаються для подальших досліджень (де, $C^{гдк}$ - критеріальне значення вмісту флотореагенту, за допомогою якого здійснюється контроль за

нормуванням якості води у ПВО при скиданні до нього вод, що містять флотореагент).

Таким чином, попередній аналіз заходів щодо встановлення принципової можливості їх реалізації на конкретному ГЗК дозволяє відібрати для подальшого аналізу тільки ті заходи, реалізація яких можлива на конкретному ГЗК, а також ті з них, що забезпечують значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО нижче його критеріального значення.

2. *Оцінка екологічного ефекту вибраних заходів.* Кожний з відібраних водоохоронних заходів, що пропонується для впровадження, буде результатом організованої дії, яка спрямована на зменшення вмісту концентрації флотореагенту у ПВО. Тому показник екологічного ефекту конкретного водоохоронного заходу при впровадженні флотаційного дозбагачення на ГЗК пропонується визначити за допомогою порівняння якості води у контрольному створі ПВО до ($C_{ск\ Б}$) і після ($C_{ск\ i}$) впровадження запропонованого заходу [3]. У цьому випадку величина екологічного ефекту від впровадження i -го заходу (ΔC_i) може бути розрахована за формулою:

$$\Delta C_i = C_{ск\ Б} - C_{ск\ i} . \quad (1)$$

Отже, впровадження водоохоронного заходу припускає зменшення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО, тобто одержання екологічного ефекту. Величину цього екологічного ефекту передбачається оцінити за допомогою показника, який визначається за формулою (1).

3. *Оцінка вартісних показників вибраних заходів.* Проміжною метою реалізації послідовності досліджень (рис.1) є визначення витрат на реалізацію водоохоронних заходів, що розглядаються.

Ефективність - це властивість дії давати ефект, але ефект не безвідносний, а зіставлений з витратами ресурсів на його досягнення [4]. Тому на даному етапі пропонується розкрити особливості розрахунку вартісних показників по водоохоронних заходах, які підлягають оцінюванню. Ці заходи можуть відрізнятися значними витратами на їх будівництво та експлуатацію, що мають суттєвий розподіл у часі. Тому при визначенні еколого-економічної ефективності водоохоронних заходів будимо їх характеризувати двома різновидами економічних показників [2]:

- показниками обсягу необхідних витрат на реалізацію водоохоронного заходу;
- часовими показниками щодо створення об'єкту водоохорони, при реалізації конкретного заходу та періоду його експлуатації.

До вартісних показників об'єкту водоохоронни, який реалізує i -й захід віднесемо:

- будівельну вартість об'єкту водоохорони - капітальні вкладення (K_i), обумовлені кошторисно-фінансовими чи укрупненими розрахунками;
- вартість річних експлуатаційних витрат на утримування об'єкту водоохорони (B_i), що визначаються за відповідною калькуляцією.

До часових показників віднесемо:

- інтервал часу будівництва об'єкту водоохоронни (інтервал розподілу капітальних вкладень – T_{ki});

- інтервал
експлуатації
водоохоронни (T_{Bi}).

На практиці всі чотири економічних показники (K_i , B_i , T_{Ki} і T_{Bi}) зручно представити відповідно до часової діаграми розподілу витрат по роках на будівництво й експлуатацію системи водовідведення [5] (рис. 2).

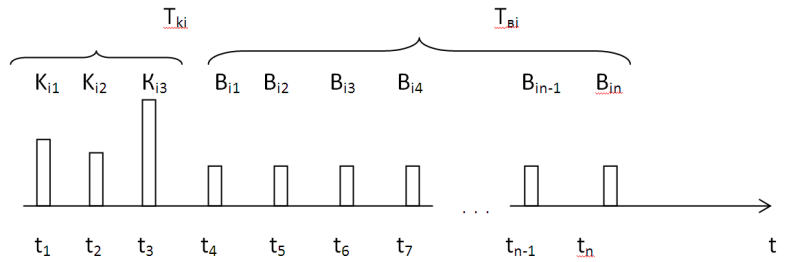


Рис. 2. Часова діаграма розподілу витрат на будівництво та експлуатацію об'єкту водоохорони

Безпосередньо для визначення еколого-економічної ефективності об'єкту водоохорони, який реалізує i -й захід діаграма витрат непридатна. Для цього можна використовувати показник чистої поточної вартості ($ЧПВ_i$), що розраховується з використанням даних, одержуваних на основі часової діаграми витрат (рис. 2), [7]:

$$ЧПВ = \sum_{t=1}^{T_k} K_t (1+E)^{T-t} + \sum_{t=T_k+1}^{T_c} B_t (1+E)^{T-t}, \quad (2)$$

де: E – бар'єрна (процентна) ставка, яка визначає фінансову віддачу, очікувану від вкладень;

T – момент часу, до якого приводять витрати. Він вибирається вільно, але при порівнянні варіантів він повинен мати однакове значення для усіх варіантів, що зіставляються.

Відповідно до [6] необхідна віддача (величина бар'єрної ставки – E), що очікується від капітальних вкладень, включає два компоненти – вільну від ризику ставку і страхову премію.

Вільна від ризику ставка є базовою чи опорною. Вона являє собою мінімально прийнятний прибуток від вкладень у відсутності всіх практичних ризиків (наприклад, прибуток, одержуваний за короткостроковими урядовими позиками). Це найменш ризикований фінансовий механізм. Його величина встановлюється на кілька пунктів вище запланованого рівня інфляції, що перешкоджає ерозії вкладеного капіталу і враховує міркування ліквідності.

Величину страхової премії при створенні (вдосконаленні) об'єктів водоохорони можна прийняти рівною нулю. Це обумовлено тим, що капітальні вкладення в об'єкти водоохорони відносяться до категорії обов'язкових екологічних витрат, рівень ризику за якими, у порівнянні з загальним ризиком по інших напрямках капітальних вкладень (на зниження собівартості товару, проекти розширення підприємств, створення нових товарів і вивід їх на ринки чи вкладення в дослідження і розробки) приймається як відсутній узагалі. Наприклад, при підході до визначення значення бар'єрної ставки на 2012 рік її величина складе $E = 10,8\%$ ($8,8\%$ - прогнозований в Законі України «Про бюджет на 2012 р.» рівень інфляції на 2012 рік., 2% - підйом бар'єрної ставки на два пункти для захисту капіталу від ерозії [7]).

При оцінюванні величин B_i і T_{Bi} варто мати на увазі наступне.

Періоди експлуатації систем – $T_{\text{вi}}$ можуть бути дуже значними (світова практика має приклади використання в наш час систем водовідведення, які були створені у середні віки). При проектуванні сучасних систем водовідведення строки експлуатації конкретно не визначаються. В умовах динамічної ситуації економіки перехідного періоду в Україні не представляється можливим сказати щось визначене про зміни у величині річних експлуатаційних витрат на тривалий період.

Тому можливо запропонувати:

- 1) для обох варіантів (базового і нового) прийняти значення T_c однаковим і рівним 10 рокам;
- 2) для кожного з варіантів будуть визначені свої величини B_6 і B_n , які будуть мати місце на момент проведення розрахунків. Потім отримані величини річних експлуатаційних витрат по кожному варіанту варто установити однаковими на усі 10 років розглянутого періоду експлуатації і рівними B_6 і B_n відповідно.

З урахуванням прийнятих припущень вираз для ЧПВ замість виду (2), буде мати новий вигляд:

$$\text{ЧПВ} = \sum_{t=1}^{T_k} K_t (1+E)^{T-t} + B \sum_{t=T_k+1}^{T_k+10} (1+E)^{T-t}. \quad (3)$$

Показник ЧПВ_i визначає поточну (тобто приведену до моменту Т) вартість витрат на будівництво та експлуатацію об'єкту водоохорони, який реалізує і-й захід. Чим менша величина ЧПВ_i за проектом системи водовідведення, тим краще.

4. *Оцінка показника еколого–економічної ефективності вибраних заходів* Як показано вище, ефективність - це не просто здатність давати ефект, а саме дієвість такої здатності, тобто результативність, яка є співвіднесеною з витратами ресурсів усіх видів. Тому оцінювання еколого–економічної ефективності по і-тому водоохоронному заходу при впровадженні флотаційного дозбагачення повинно передбачати спільний аналіз екологічного ефекту по цьому заходу (ΔC_i) й витрати ресурсів на його досягнення, які характеризуються показником чистої поточної вартості (ЧПВ_i) для цього варіанту. Тобто одиничний варіант заходу характеризується двома показниками. Одним зі способів вирішення завдання порівняння варіантів при наявності декількох показників (так званий показник-вектор), які характеризують одиничний варіант є введення по цьому варіанту складного показника у вигляді дробу [8]. Чисельником дробу є показник, що характеризує одну із сторін і-го заходу (наприклад, витрати на його проведення - ЧПВ_i), знаменником дробу - є інший показник (наприклад, результат проведення заходу - ΔC_i). Дробовий одиничний показник (Π_i), який характеризує і-й водоохоронний захід, буде мати вигляд:

$$\Pi_i = \frac{\text{ЧПВ}_i}{\Delta C_i}. \quad (4)$$

Таким чином, Π_i у формулі (4) є показником еколого–економічної ефективності і-го водоохоронного заходу, який показує витрати ресурсів, які є необхідними для одержання одиниці екологічного ефекту. Чим менше значення цього показника, тим краще.

5. Підготовка пропозицій щодо впровадження запропонованих заходів. Відомо, що еколого–економічне обґрунтування саме по собі не призначене для автоматичного прийняття рішень. Воно повинно давати особі, що приймає рішення, результати оцінки різних способів і рекомендації з вибору кращого з них [9]. До результатів оцінки щодо аналізу еколого–економічної ефективності водоохоронних заходів при впровадженні флотаційного дозбагачення варто віднести:

1) загальні характеристики водоохоронних заходів і водного об'єкту, на який замикається водогосподарська система ГЗК;

2) докладні результати оцінювання показників екологічного ефекту по водоохоронних заходах, що розглядаються, із вказівкою підтверджуючих даних про виміри значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО до впровадження заходу;

3) отримані по кожному водоохоронному заходу економічні показники – часові діаграми розподілу витрат і показники чистої поточної вартості;

4) можливий перелік факторів по кожному із водоохоронних заходів, що не вдалося врахувати при визначенні показників екологічного ефекту і витрат. Але ці фактори, на думку розроблювачів, можуть вплинути на ухвалення рішення.

Рекомендації з вибору кращого із водоохоронних заходів формуються шляхом їх ранжування. Проект із найменшим значенням Π_i займає перше місце, друге місце займає проект із наступним по величині значенням Π і т.д.

$$\begin{matrix} (1) & (2) & (3) \\ \Pi_m > \Pi_n > \Pi_k > \dots \end{matrix} \quad (5)$$

Якщо два проекти мають однакові значення Π_i , то перевага надається тому з них (призначається більш високе місце), у якого величина екологічного ефекту (ΔC_i) – більша.

Таким чином, в результаті реалізації послідовності вирішення задачі аналізу еколого–економічної ефективності водоохоронних заходів при впровадженні флотаційного дозбагачення:

1) відібрані для аналізу тільки ті водоохоронні заходи, реалізація яких можлива на конкретному ГЗК, а також ті з них, що забезпечують значення концентрації флотореагенту у контрольному створі ПВО нижче його критеріального значення.

2) з відібраних заходів складено їх ранжований перелік, у якому вони розташовані в порядку переваги відповідно до розрахованого еколого–економічного показника.

Остаточне рішення по вибору водоохоронного заходу, спираючись на надані оцінки і рекомендації, що отримані за умови реалізації усіх етапів послідовності (рис.1), є виключним правом особи, що приймає рішення.

Отже, реалізація розглянутої послідовності проведення досліджень на ГЗК дозволить зробити екологічно безпечними, відносно поверхневих водних об'єктів, флотаційні технології для дозбагачення залізних руд вже на передпроектній стадії її впровадження і зробити це найбільш доцільним шляхом з економічної точки зору.

Список літератури: 1.Дмитрієва О.О.Екологічна безпека поверхневих водних об'єктів при впровадженні флотаційної доводки збагачення залізних руд / О. О. Дмитрієва, О. Л. Тертичний, Г. В. Василенко / Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, тематич. вип.: Екологічна безпека та природокористування. – К., 2012. Вип. 9 – 93-104 с. 2. Дмитрієва О. О. Екологічно безпечне водовідведення у населених пунктах України : монографія / О. О. Дмитрієва. – К. : Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України, 2008. – 459 с. 3.Мельник Л.Г.Экологическая экономика: Учебник.— Сумы: Издательство «Универсальная книга», 2001. – 350 с. 4.Хачатуров Т. С. Эффективность природоохранных мероприятий / Т. С. Хачатуров, К. В. Папенова. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 224 с. 5.Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь/ Л. И. Лопатников. – М. : Наука, 1987. – 510 с. 6.Холт Роберт Н. Планирование инвестиций/ Н. Холт Роберт, Б. Барнес Сет: Пер. с англ. – М.: Дело ЛТД, 1994. - 120 с. 7.Закон України про Державний бюджет України на 2012 рік : за станом на 22.12.2011 р., документ 4282-17 / Верховна Рада України [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4282-17> 8.OECD (2007), Handbook for Appraisal of Environmental Projects Financed from Public Funds, OECD, Paris (Организация Экономического Сотрудничества и Развития, 2007 г. «Руководство по оценке экологических проектов, финансируемых за счет государственных средств») – 206 с. 9.Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ / С.Ф. Викулов, Г.П. Жуков, В.Н. Ткачев / Учебник/ М-во обороны Российской Федерации - М.: Военное издательство, 2001. – 349 с.

Поступила в редколлегию 15.02.2012

СОДЕРЖАНИЕ

М.О. Юрчук, І.М. Діордіца Формування структури середньозернистого твердого сплаву вк11 за температури існування рідкої фази	3
Н.В.Ширяева, К.В.Аврамов, Д.В.Бреславський, О.С. Галас Численный анализ нелинейных колебаний лопасти ветровой энергетической установки	10
Г.А. Крутиков, М.Г. Стрижак Определение областей устойчивости аналогового электропневматического преобразователя в пространстве его конструктивных параметров	14
Ю.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, В.В. Мацийчук, С.В. Малых Особенности оценки эффективности получения отливок способом литья под высоким давлением	21
И.Ш. Невлюдов, М.А. Проценко, И.С. Хатнюк, Л.С. Федосеев Использование метода планирования экспериментов при оптимизации процесса микромонтажа многослойных конструкций гибких коммутационных структур	30
В.И. Чимшир Динамика формирования целей управления процессами функционирования сложных систем в пространстве ситуаций	36
В.В. Рапин, А.И.Федюшин Влияние флуктуаций крутизны на информационный параметр сигнала синхронизированного автогенератора	40
А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, И.В. Жарикова Методы мониторинга технологического оборудования при производстве радиоэлектронных средств	44
Е.В. Высоцкая, А.Н. Страшненко, С.А. Синенко, Ю.А. Демин Синтез математической модели диагностики первичной открытоугольной глаукомы	52
Н.В. Захарченко, Д.Ю. Ильин, С.В. Хомич, Ж.А. Торк Оценка параметров надежности многоканальных сегментов сложных информационных систем	58

Е. А. Гридина	62
Анализ алгоритмов автоматического аннотирования текста на основании семантического представления	
В.С. Бойко, Н.И. Сотник, И.Н.Сотник	66
Повышение энергетической эффективности обратного водоснабжения системы золоудаления тепловых электростанций	
А.В. Кошельник, В.М. Кошельник, А.А. Мигура	75
Применение нейросетевых моделей для прогнозирования интенсивности теплообмена в насадке регенеративного воздухонагревателя стекловаренной печи	
А.Е. Бармин	82
Термическая стабильность структуры и свойств вакуумных конденсатов FE И FE-W	
А.В. Писарев, С.А. Тузіков, А.Ф. Лазутський, В.О. Табуненко	87
Фізико-хімічні основи застосування плівок і покриттів	
Н.П. Кунденко, А.Д. Черенков	91
Алгоритм расчета диффузного потока к поверхности сфероида, моделирующего спермий	
А.В. Фролов	95
Применение корреляционного анализа для прогнозных оценок выходных характеристик кремниевых монокристаллических фотопреобразователей	
О.В. Савцова, Г.М. Шадріна	101
Особливості підготовки поверхні металу при отриманні склокристалічних покриттів по титану для кісткового ендопротезування	
М.Л. Тонюк, О.О. Варанкина	105
Дослідження впливу концентрації початкового сусла на утворення побічних продуктів бродіння в технології високогустинного пивоваріння	
О.В. Савцова, О.В. Бабіч, Г.М. Шадріна, Д.Ю. Шемет	109
Вплив оксиду цинку на тклр кальційсилікофосфатних стекол	
В. А. Юрченко , А. Ю. Бахарева	113
Оценка эколого-экономического ущерба, причиняемого промышленными газообразными выбросами формальдегида	

А.М. Коваленко	118
О формировании региональных приоритетов в решении проблем обращения с твёрдыми бытовыми отходами	
В. Д. Солодкий, Ю.Г. Масікевич, В.Ф. Моїсєєв, І.В. Пітак	123
Нові підходи до моніторингу довкілля Буковинських Карпат	
В.Г.Чебан, А.А.Бревнов	127
Повышение эффективности очистки жидкостей в гидродинамическом очистителе с плоским каналом	
Л.Л. Товажнянский, В.В. Березуцкий	135
Исследование соотношений размеров сечений в направляющих поток перегородках и расходов водной среды в проточном электрокоагуляторе	
І.О.Мезенцева, В.В. Горбенко, І.М. Любченко, С.В. Котлярова	138
Вплив мобільного зв'язку на організм людини	
Н.А. Букатенко	141
Результаты исследований распределения загрязняющих веществ в моющих растворах после мойки автомобилей	
Г.В. Василенко	145
Еколого–економічна ефективність водоохоронних заходів при впровадженні флотації на гірничо-збагачувальному комбінаті	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №9

Науковий редактор докт. техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

Обл.-вид. №55-12

Підписано до друку 29.03.2012. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.
Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. №9. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ»
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Типографія "Технологічний центр"
вул. Новгородська, 3а, м. Харків, 61145