

T 23

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ТЕЗИ

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ВИКЛАДАЧІВ, СПІВРОБІТНИКІВ,  
АСПІРАНТІВ І СТУДЕНТІВ  
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ,  
*присвяченої Дню науки в Україні*  
(20-29 квітня)**

Частина 1

Суми  
Вид-во СумДУ  
2006

Україна СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІБЛІОТЕКА Читальний зал № 4
--

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
БІБЛІОТЕКА

**ЖИЗНЬ И НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ  
АКАДЕМИКА Б.Г.ЛАЗАРЕВА**

Инж. Бутырина Ю.М.

Академик Национальной академии наук Украины Борис Георгиевич Лазарев – выдающийся ученый, всемирно известный физик-экспериментатор. Родился Б. Г. Лазарев 6 августа 1906 года в с. Миронолье Курской губернии (ныне Сумской области) в семье приходского священника – Георгия Лазарева. Он был десятым ребенком в этой многодетной семье (младше его была только сестра Анна). Дети (7 братьев и 4 сестры) воспитывались в духе лучших традиций русской передовой интеллигенции – стремления к знаниям, добру, любви к людям. Старшие дети разделяли с родителями заботы по воспитанию младших. Жизнь этой дружной семьи была не безоблачной, жизненный путь ее членов был тернист и изобилдовал бедами. Они испытали на себе всё, чем “прославился” минувший 20-й век.

В 1930 году Борис Георгиевич закончил физико-механический факультет Ленинградского политехнического института и полностью посвятил себя науке.

В 1937 году Б. Г. Лазарев возглавил первую в СССР криогенную лабораторию, организованную И.В.Обреимовым и Л.В.Шубниковым в Украинском физико-техническом институте в Харькове и навсегда связал свою творческую жизнь с физикой низких температур и сверхпроводимости. Б.Г.Лазарев – патриарх в этой области физики. Им получен ряд фундаментальных результатов, ставших классическими и сыгравших важную роль в развитии науки. Уникальные измерения магнитной восприимчивости твердого водорода привели к открытию ядерного парамагнетизма; пионерские работы по исследованию электронной структуры ряда металлов и сверхпроводимости при высоких давлениях завершились открытием электронно-топологического фазового

перехода 2,5-го рода. С именем Б. Г. Лазарева связано широкое изучение квантовых осцилляций электронных свойств металлов, изучение сверхтекучести и свойств жидкого гелия.

Многие разработки Б. Г. Лазарева имеют большое прикладное значение. Государственной премией СССР за 1951 год был отмечен новый метод извлечения гелия - три из природного гелия. Им созданы оригинальные методики получения высоких давлений при низких температурах - "ледовая бомба". Под руководством Бориса Георгиевича был разработан новый метод получения высокого и сверхвысокого вакуума - конденсационная откачка. Разносторонние применения нашли вышедшие из отдела Б. Г. Лазарева вакуумные конденсационные и адсорбционные насосы высокой производительности. Для ряда институтов Москвы, Санкт-Петербурга, Киева, Риги, Сухуми, Махачкалы, Харькова, Донецка были изготовлены сверхпроводящие лабораторные соленоиды с уникальными характеристиками. За разработку и исследования сверхпроводников с высокими критическими параметрами Б. Г. Лазарев с соавторами удостоен Государственной премии Украины за 1982 год.

Много практической заботы и внимания уделил Борис Георгиевич организации криогенных лабораторий в Санкт-Петербурге, Киеве, Свердловске, Сухуми, Баку. Учениками Б.Г.Лазарева академиками Б. И. Веркиным и А. А. Галкиным созданы ведущие физические организации Украины - Физико-технический институт низких температур в Харькове и Донецкий физико-технический институт. Б.Г.Лазарев сыграл выдающуюся роль в эвакуации и возрождении после Великой отечественной войны Харьковского физико-технического института. Борис Георгиевич был ответственным человеком и всецело преданным науке, более того преданность науке - это основная черта его характера, основной его жизненный принцип, основное его человеческое качество. Он все делал ради науки, которую любил беззаветно и отдавал ей себя без остатка.

## ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ І МАГНІТОТРАНСПОРТНІ ВЛАСТИВОСТІ МУЛЬТИШАРІВ І НАНОДРОТІВ

асп. Пазуха І.М., магі. Слиненко О.В.,  
магі. Синашенко О.В., асп. Чешко І.В.

Виняткові електрофізичні та магнітотранспортні властивості (ефект Холла, ефект гігантського магнітоопору та ін.) штучно створених нанорозмірних структур все більше і більше змушують привертати до себе увагу. Серед таких структур окреме місце посідають системи зі спін-залежним розсіюванням електронів у вигляді мультишарів та нанодротів. Вони мають значну перспективу подальшого застосування в сенсорній або наноелектроніці. Насамперед це пов'язано з можливістю їх практичного застосування як магнітних елементів у різноманітних пристроях зберігання та обробки інформації, датчиках руху або зміни магнітного поля та інших областях.

Використання на практиці плівкових мультишарів зі спін-залежним розсіюванням електронів показало, що найбільш перспективними серед них є так звані "спін-клапанні" структури. Вони складаються з двох магнітних шарів (Fe, Co, Ni) та немагнітного прошарку (Cu, Au, Ag), що послаблює їхню обмінну феромагнітну взаємодію. Але в одному з магнітних шарів реалізується однонаправлена магнітна анізотропія завдяки присутності так званого "закріплюючого" антиферомагнітного шару (NiO, FeMg). Останнім часом поширюється застосування таких систем, як Gd/Fe, Gd/Co, Tb/Fe. Це обумовлено тим, що рідкоземельні метали (Gd, Tb) в поєднанні з 3d-феромагнітним Fe або Co утворюють сильно структурно-розупорядковані системи зі збереженням феримагнітного упорядкування. В зв'язку з цим значення магнітної насиченості та магнітної анізотропії в таких системах помітно більші ніж у кобальтових сплавів [1].

Сприятливі умови для спостереження магніторезистивного ефекту також реалізуються в гетерогенних нанодротах. Для таких наноструктур є характерною така геометрія, коли електричний струм прикладається перпендикулярно межі поділу шарів, що важко реалізувати для багатошарових плівок з плоскою геометрією. В нанодротах електрони провідності вимушені перетинати магнітні шари з періодичною антипаралельною направленістю їх магнітних моментів і, як наслідок, ефект розсіювання буде більшим [2]. Одним із методів отримання таких структур є електролітичне осадження в пори корундових наномембран. Діаметр пор та їх густину можна контролювати змінюючи умови проведення процесу анодування (напругу, струм та час).

При вивченні електрофізичних властивостей нанорозмірних структур, особливо коли мова йде про нанодроти у вигляді багатошарових плівкових систем, суттєво зростає вплив такого механізму розсіювання як розсіювання носіїв заряду на межі поділу окремих шарів (інтерфейсі). Аналіз літературних даних і результати наших досліджень на прикладі плівкових систем Co/Cu, Gd/Fe і нанодротів Ni вказують, що дане питання знаходяться на початковій стадії вивчення, що обумовлює своєчасність та актуальність даної тематики.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Проценко І.Ю., Чешко І.В., Яворский Я. Явище гігантського магнітного опору в багатошарових плівкових системах (огляд)// Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка–2004. - №10(69). – С.65-81.
2. Doudin B., Wegrowe J.E., Gilbert S.E. et al. Magnetic and transport properties of electrodeposited nanostructured nanowires // IEEE Trans. on Magnetics. – 1998. – V.34, № 4. – P. 968 – 962.

## ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ІЗ СПІН-ЗАЛЕЖНИМ РОЗСІЮВАННЯМ ЕЛЕКТРОНІВ В СУЧАСТНІЙ ЕЛЕКТРОНІЦІ

студ. Артюшенко О.О., асп.Чешко І.В.

Мета роботи полягає в узагальненні літературних результатів про досягнення та перспективи застосування матеріалів із спін-залежним розсіюванням електронів. Це застосування почалося з відкриття ефекту гігантського магнітопору (ГМО) та магнігорезистивного тунелювання, що дозволило створити високоточні сенсори для неруйнівного контролю топографії та інтенсивності магнітного поля в широких діапазонах, високошвидкісні датчики кутового зміщення і датчики для вимірювання сильних постійних струмів. Слід відмітити що такі датчики придатні для застосування в діапазоні температур від криогенних до кімнатних і мають високу стабільність у часі. Впровадження матеріалів зі спін-залежним розсіюванням електронів забезпечило технологічний прорив в технологіях виготовлення модулів пам'яті. Починаючи з 1997 року компанія ІВМ використовує ГМО-головки зчитування для жорстких дисків. Вони мають надзвичайну чутливість при менших розмірах, що дозволило зменшити фізичний розмір бігу інформації. В минулому році компанія Motorola почала масове виготовлення спінтронних модулів пам'яті. Комірки такої пам'яті представляють собою спін-вентельні плівкові структури, що потребують мінімальних енерговитрат для запису та зберігання інформації. Як показує практика, кремнієва технологія може сягнути ліміту своїх можливостей у створенні швидкодіючих пристроїв з низькими енерговитратами та тепловиділенням. На заміну напівпровідниковим прийдуть матеріали зі спін-залежним розсіювання електронів з латентністю у декілька пікосекунд.

## ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ НАДТОНКИХ ОСТРІВЦЕВИХ ПЛІВКОВИХ СПЛАВІВ Ni-Cu

доц. Лобода В.Б., викл. Хурсенко С.М.

Надтонкі плівки сплаву Ni-Cu ( $d=1-10$  нм,  $C_{Cu}=10-95$  ат.%) були отримані у вакуумній установці ВУП-5М при кімнатній температурі методом роздільного випаровування компонент. Концентрація компонент сплавів визначалась методом рентгенівського мікроаналізу за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-103-01 з приставкою ЕДС. Структурні дослідження проводились за допомогою електронного мікроскопа ПЕМ-100-01.

Всі досліджені плівки виявились структурно несучільними, з острівцевою структурою. Як відомо [1, 2], такі металеві плівки мають своєрідні електрофізичні властивості, які суттєво відрізняються від властивостей масивних зразків та суцільних плівок і наближаються до властивостей напівпровідників.

Залежність питомого опору острівцевих плівок від температури можна представити наступним чином [1]:

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \beta T) + c \exp(\varepsilon_a / kT);$$

де перший доданок описує звичайну температурну залежність провідності, а з другим пов'язаний термічно активований процес з енергією активації провідності  $\varepsilon_a$ .

За даними табл.1 можна простежити, як змінюються значення  $\rho$  та ТКО ( $\beta$ ) у залежності від товщини сконденсованого шару та концентрації компонент.

Слід зазначити, що всі плівки товщинами  $\approx 1$  нм мають схожу структуру та залежності  $\rho(T)$  експоненціального характеру (рис.1а) з від'ємним значенням  $\beta$  (це свідчить про активаційний механізм електропровідності [2]).

У той же час, острівцеві плівки сплаву товщиною більше 2,5 нм при відпалюванні ведуть себе подібно до суцільних плівкових зразків і мають  $\beta > 0$  (тобто, для них домінуючим

Таблиця 1

Залежність питомого опору та ТКО від товщини відпалених до 673 К надтонких плівкових сплавів Ni-Cu

d, нм	C <sub>Cu</sub> , ат.%	$\rho \cdot 10^{-8}$ , Ом·м	$\beta \cdot 10^{-4}$ , K <sup>-1</sup>	$\epsilon_a$ , eВ
1	10,0	2900,7	- 33,48	0,105
1	18,5	2625,0	- 28,96	0,086
1	46,7	2538,9	- 34,09	0,095
1	50,3	2580,9	- 77,46	0,098
2,5	36,7	174,2	0,285	-

є звичайний (металевий) температурний механізм електропровідності). Для плівок з  $d \approx 1$  нм можна визначити  $\epsilon_a$  за графіком залежності  $\ln R(T^{-1})$  (рис.1б) в області температур відпалювання 293-673 К.

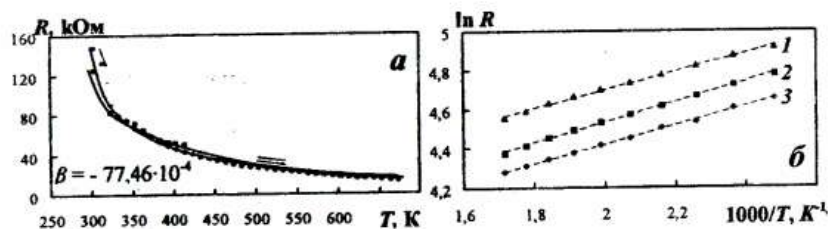


Рис. 1. Температурна залежність опору плівкових сплавів Ni-Cu товщиною  $d \approx 1$  нм: а – C<sub>Cu</sub> = 50,3 ат.%; б – 1: C<sub>Cu</sub> = 18,5 ат.%; 2: C<sub>Cu</sub> = 46,7 ат.%; 3: C<sub>Cu</sub> = 50,3 ат.%

Значення  $\epsilon_a$  плівок сплаву Ni-Cu (табл.1) близькі до значень плівок чистих металів (Ni, Cr, Pt) з подібною структурою [1, 2].

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках. – М.: Мир, 1972. – 436 с.
2. Борзяк П.Г., Кулюпин Ю.А. Электронные процессы в островковых металлических пленках, – К.: Наукова думка, 1980. – 240 с.



## МАГНІТООПІР ТРИШАРОВИХ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ NiFe/Cu/Co

доц. Лобода В.Б., мол. н. с. Шкурдода Ю.О.

Плівки FeNi/Cu/Co з товщинами  $d_{\text{FeNi}}=10-50$  нм,  $d_{\text{Co}}=10-50$  нм та  $d_{\text{Cu}}=1-20$  нм були отримані у вакуумній установці ВУП-5М (тиск газів залишкової атмосфери  $10^{-4}$  Па) при кімнатній температурі. Конденсація плівок здійснювалася на скляні поліровані підкладки з попередньо нанесеними мідними контактними площадками в зовнішньому орієнтуючому магнітному полі з індукцією  $B=10$  мТл. Вихідним матеріалом для наплення шару пермалою був масивний сплав пермалой 50Н. Товщина шарів контролювалась за часом при відомій швидкості конденсації.

Магнітоопір (МО) плівок (у магнітному полі до 100 мТл) вимірювався в спеціально виготовленій установці в умовах надвисокого безмасляного вакууму ( $10^{-7}$  Па), яка дозволяє отримувати залежності повздожнього та поперечного МО від величини зовнішнього магнітного поля при різних температурах (150 – 700 К).

Для всіх досліджуваних зразків NiFe/Cu/Co з  $d_{\text{Cu}} < 2$  нм спостерігається анізотропний магнітоопір (АМО), а магніторезистивні петлі гістерезису подібні відповідним петлям для одношарових плівок феромагнітних металів та сплавів. Наявність АМО при малих товщинах прошарку Cu можна пояснити його несучільністю. Величина повздожнього та поперечного МО при цьому не перевищує 0,1%. При відпалюванні цих зразків до 700 К величина МО зростає і складає 0,2-0,3% для повздожнього і 0,3-0,5% для поперечного МО (температура вимірювання 300 К).

Для невідпалених зразків з  $d_{Cu}=2-10$  нм спостерігається тільки зменшення електроопору при внесенні зразків в магнітне поле незалежно від його напрямку (рис.1а). Цей факт є характерною ознакою гігантського магнітоопору (ГМО) [1]. У переважній більшості робіт ГМО багатошарових плівок пов'язують з утворенням антиферромагнітно впорядкованих областей у магнітних шарах. Величина МО для цих плівок складає 0,2-0,4%.

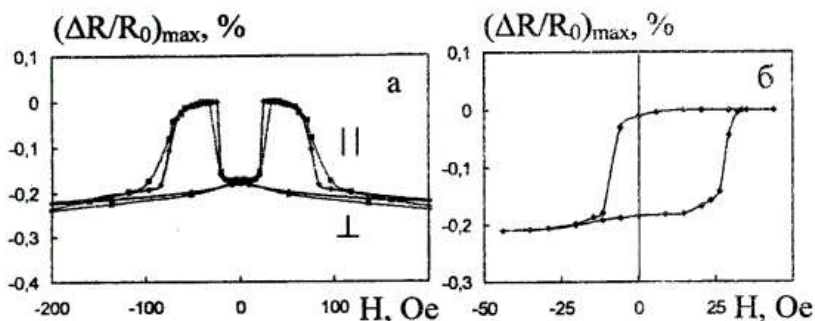


Рис. 1. Повна (а) та частинна (б) магніто-резистивні петлі гістерезису для тришарової структури NiFe(30 нм)/Cu(5 нм)/Co(30 нм)/Пі.

Слід відзначити, що для невідпалених систем NiFe/Cu/Co з  $d_{Cu}=4-6$  нм спостерігається горизонтальна ділянка на магніторезистивній петлі (рис.1а). Цей факт свідчить про роздільне перемагнічування шарів. Різкі зміни МО відповідають перемагнічуванню магнітом'якого (NiFe) та магнітожорсткого (Co) шарів, які відбуваються в полях 20 и 80 Oe відповідно [2]. ГМО реалізується внаслідок зміни взаємної орієнтації намагніченості магнітом'якого і магнітожорсткого шарів [3]. На рис.1б представлена частинна магніторезистивна петля, виміряна в полях, менших поля перемагнічування магнітожорсткого

шару від  $-50$  до  $+50$  Ое. Вона дещо зміщена по осі відносно значення  $H=0$ , що є наслідком взаємодії магнітожорсткого та магнітом'якого шарів через немагнітний прошарок.

Відпалювання зразків з  $d_{Cu}=4-6$  нм при  $T=400$  К приводить до зміни форми магніторезистивної петлі і незначного зменшення  $(\Delta R/R_0)_{max}$ . Для зразків, відпалених при  $T=400$  К, на магніторезистивній петлі горизонтальна ділянка не спостерігається. Очевидно, це пов'язано зі зростанням у процесі відпалювання зв'язку магнітних шарів через немагнітний прошарок. Відпалювання при  $T=550$  К приводить до появи АМО у цих зразках.

Для невідпалених зразків з  $d_{Cu}=6-10$  нм спостерігаються типові (гострий пік) магніторезистивні петлі, характерні для симетричних тришарових систем з ГМО. Відпалювання цих зразків приводить до зростання величини ГМО. Найбільший магніторезистивний ефект (до 1% при кімнатній температурі) був отриманий для системи з  $d_{Cu}=7$  нм, відпаленої при  $T=550$  К. Відпалювання при  $T=700$  К знову приводить до появи АМО в цих зразках.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Иноуэ И., Ито Х, Асано И., Огури А., Маекава С. Теория электронной структуры и магнитотранспортных свойств в многослойных магнитных пленках // ФММ., 1995, – Т.79, вып.1, – С. 54-64.
2. Славов А.В., Савин П.А. и др. Спин-вентильные магніторезистивные структуры на основе многослойных пленок Co/Tb // ЖТФ., – 2002, – Т.72, вып.8, – С. 54-57.
3. L. Kond, Q. Pan, B Cui et al. Magnetotransport and domain structures in nanoscale NiFe/Cu/Co spin valve // J. Appl. Phys., – 1999, – V. 85, № 8, – P. 5492-5494.

# ТЕРМІЧНА СТАБІЛЬНОСТЬ СУБМІКРОКРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЗДЕФОРМОВАНИХ МЕТАЛІВ

Кужел Р., Проценко І.Ю., Черкаська В.О.

У роботі представлені результати дослідження методами рентгеноструктурного аналізу і просвічуючої електронної мікроскопії термічної стабільності субмікроструктурних (СМК) матеріалів ( $\text{Cu}+\text{Al}_2\text{O}_3$ , Fe, Mg та  $\text{Mg}+10\text{ваг.}\% \text{Gd}$ ), отриманих при інтенсивній пластичній деформації крученням. Інтерес до цієї проблеми (див., наприклад [1, 2]) пов'язаний із появою унікальних властивостей СМК матеріалів після її деформації. Зокрема, мова іде про поєднання таких взаємно протилежних властивостей як міцність і пластичність, які реалізуються відповідно наявністю величезної кількості дефектів або зерномежевою дифузією і проковзуванням. Застосування інтенсивної пластичної деформації кручення у випадку нанокристалічного Ni [2], отриманого методом електроосадження привело до збереження нанокристалічного середнього розміру кристалітів (30-40 нм), суттєвому зниженню внутрішніх напружень (в 2-3 рази) і формування принципово нового типу кристалографічної текстури. При інтенсивній деформації Nb [1] межі зерен стають більш тонкими, густина дислокацій всередині них не змінюється і в інтервалі температур 670-970 К нанокристалічна структура термічно стабільна. Отримані нами результати вказують на низьку термічну стабільність чистих СМК металів Cu, Fe і Mg. Однак, добавка 0,5 ваг.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  стабілізує СМК Cu до 670 К. Поряд з цим 1,1 ваг.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не покращує помітно її термічну стабільність. Добавка 10ваг.% Gd в Mg призводить до більш зернистої і високо дефектної структури, яка термічно стабільна до 490 К.

1. Попова Е.Н., Попов В.В., Романов Е.П. и др.// ФММ.- 2006.- Т. 101, № 1.- С. 58-64.
2. Кильмаметов А.Р., Валиев Р.З., Исламгалиев Р.К. и др.// ФММ.- 2006.- Т.101, № 1.- С.83-91.

## ЕЛЕКТРОННІ І МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛІВ (ДО 100-РІЧЧЯ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ АКАДЕМІКА ЛАЗАРЕВА Б.Г.)

асп. Великодний Д.В., асп. Пазуха І.М., асп. Чешко І.В.

Вивченню електронних властивостей багатошарових плівкових систем при термообробці та деформації в останні роки приділялася значна увага. Це пояснюється тим, що нанорозмірні структури є перспективними для створення елементної бази для наноелектроніки. Інтенсивно ведуться дослідження мультишарів зі спін-залежним розсіюванням електронів. Особливістю таких систем є те, що в них спостерігаються унікальні властивості: гігантський і тунельний магнітний опір, ефект Холла та ін. Поряд з цим багато питань, пов'язаних з структурно-фазовим станом та електрофізичними властивостями мультишарів, далекі до свого вирішення. Саме це обумовило мету наших досліджень, яку можна сформулювати таким чином: вивчення термо- і тензорезистивних та магнітних властивостей плівкових матеріалів на основі Cu, Cu/Cr і Co/Cu, Gd/Fe.

Плівкові зразки виготовлювалися шляхом термічного випарування у вакуумній установці ВУП-5М (залишковий тиск  $10^{-4}$  Па) та у високовакуумній установці (залишковий тиск  $10^{-5}$  Па). Температура підкладки складала  $T_n = 300$  К. Контроль товщини окремих шарів здійснювався за допомогою метода кварцового генератора з точністю  $\pm 0,1$  нм. Електронно-мікроскопічні дослідження проводилися за допомогою приладу ПЕМ-125К з високою розрізнявальною здатністю. З метою термостабілізації електрофізичних властивостей плівок та одержання їх температурної залежності проводилася термообробка протягом двох циклів "нагрівання-охолодження". Дослідження електронних властивостей плівкових зразків

при деформації проводилося за методикою, детально описаною в роботі [1]. З метою реалізації комп'ютерної автоматизації фізичного експерименту при дослідженні тензоефекту був розроблений програмний модуль "Машинне бачення" з використанням середовища програмування LabVIEW. За допомогою Web-камери та розробленого програмного забезпечення стало можливо реєструвати положення мікрогвинта в режимі реального часу з точністю 0,01 кроку, величина якого складає 0,02 мм. Вимірювання струму, опору, напруги та температури проводилося за допомогою приладів ADAM 4019 та цифрового вольтметра APPA-109.

Були отримані залежності питомого опору одношарових, двошарових та багатошарових плівок на основі Gd та Fe від температури в процесі термовідпалювання до  $T_b=670-800$  К. При аналізі залежностей  $\rho(T)$  для одношарової плівки гадолінію та двошарових плівок Gd(10нм)/Fe(10нм)/Пі (Пі- підкладка) стає помітним відносна їх схожість. На початку відбудеться зменшення опору до деякого мінімуму в точці  $T \approx 450-500$  К, після якого йде різке зростання і спостерігається максимум в інтервалі  $T \approx 500-550$  К, що можна пов'язати з процесом розпаду гідриду  $GdH_x$ . Подальше зростання опору йде за рахунок утворення  $Gd_2O_3$ . Зворотній цикл (охолодження) та другий цикл термовідпалювання відповідає типовій металевій залежності. Таки висновки підтверджують дослідження структурно-фазового складу [2]. Температурна залежність  $\rho(T)$  тришарових плівок Fe/Gd/Fe/Пі суттєво залежить від товщини верхнього шару Fe та прошарку Gd. При малих товщинах верхнього шару Fe (1-2 нм) залежність втрачає монотонність і проходить через екстремуми.

Як показує аналіз літературних даних, проблема інтерфейсного розсіювання є маловивченою і далекою до свого вирішення. З метою вивчення впливу розсіювання

носіїв електричного струму на межі поділу окремих шарів в багатошаровій плівковій системі (інтерфейсі) проводилися дослідження (див. також [3]) систем однакової загальної товщини але з різною кількістю повторів  $\text{Cu}/\text{Cr}$  в процесі термоциклічної конденсації. Вибір матеріалів для дослідження був обумовлений тим, що мідь та хром – матеріали з низькою взаємною розчинністю (про це свідчать результати проведені методом оже-спектроскопії). Були вивчені особливості температурної залежності опору та залежності термічного коефіцієнту опору (ТКО) від номера термостабілізаційного циклу. Для коректної оцінки внеску інтерфейсного розсіювання на електрофізичні властивості плівкових матеріалів необхідне жорстке дотримання умов конденсації зразків. Аналіз отриманих результатів показує, що величина питомого опору та ТКО залежать не тільки від номера термостабілізаційного циклу, а й від кількості інтерфейсів в системі. А саме при збільшенні від одного інтерфейсу до дев'яти відбувається зменшення ТКО приблизно в 5 разів при майже однаковій загальній товщині зразків.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Э.О. Забіла, І.Ю. Проценко. Методика вивчення тензо-резистивних властивостей плівок хрому при відносно малих і великих деформаціях // УФЖ. – 2005. – Т. 50, № 7. – С. 729 – 736.
2. І.Ю. Проценко, І.В. Чешко. Структурно-фазовий стан нанокристалічних плівкових структур  $\text{Gd}/\text{Fe}$  // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка – 2005 - №8(80). – С. 143 – 148.
3. І.М. Пазуха, С.І. Проценко. Вплив інтерфейсного розсіювання на електрофізичні властивості плівкових матеріалів // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка – 2005. - №8(80). – С. 148 – 153.

# ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ І МАГНІТОТРАНСПОРТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ Fe і Cr

Здоб. Бібик В.В., ст. викл. Проценко С.І.

Відкриття явища гігантського магнітного опру (ГМО) в мультишарах Fe/Cr [1] обумовило надзвичайну увагу до магніторезистивних [2, 4] і мікрохвильових [5, 6] властивостей цієї плівкової системи. Ряд робіт (наприклад [7]), як і наша попередня [8], присвячені питанню модифікації ГМО в мультишарах Fe/Cr. Не дивлячись на великий об'єм досліджень магніторезистивних властивостей, необхідно відмітити, що цілий ряд питань, пов'язаних із мультишарами Fe/Cr, залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, мова іде про відсутність даних з електрофізичних властивостей (електропровідність, ТКО, тензочутливість) мультишарів і багатошарових плівок на основі Fe і Cr. Мета даної роботи як раз і полягала в отриманні і узагальненні цих результатів.

1. Baibich M.N., Broto J.M., Fert A. et al. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices// Phys. Rev. Lett.- 1988.- V.61.- P. 2472-2475.
2. Nesbet R.K. Atomic mechanism for GMR in layered Cr/Fe// J. Mag. Mag. Mat.- 1996.- V.159.- L17 - L22.
3. Balogh J., Kiss L.F., Halbritter A. et al. Magnetoresistance of Ag/Fe/Ag and Cr/Fe/Cr trilayer// Solid State Com.- 2002,- V. 122.- P.59-63.
4. Warda K., Wojtczak L., Wiatrowski G. et al. Giant magnetoresistance of thin multilayer// J. Mag. Mag. Mat.- 2004.- V. 272-276.- P.1433-1434.



5. Ринкевич А.Б., Ромашев Л.Н., Устинов В.В. Микроволновые свойства металлических наноструктур, обладающих гигантским магниторезистивным эффектом// Тонкие пленки в оптике и электронике.- Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2003.- С. 189-204.
6. Ринкевич А.Б., Ромашев Л.Н., Кузнецов Е.А. Взаимодействие электромагнитных волн со сверхрешетками Fe/Cr в волноводе П-образного сечения// Там же.- С. 221-224.
7. Korsecwicz M., Stobiecki F., Jagielski J. et al. Modification of microstructure and magnetic properties of Fe/Cr multilayers caused by ion irradiation// J. Mag. Mag. Mat.- 2005.- V. 286.- P.437-441.
8. Kac M., Toulemonde M., Protsenko S. et al. Swift heavy – ion modification of the interface structure in Fe/Cr multilayers// Vacuum.- 2005.- V.78.- P. 661-665.

## ВИВЧЕННЯ ЗЕРНОМЕЖЕВОЇ ДИФУЗІЇ У ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛАХ МЕТОДОМ РЕЗИСТОМЕТРІЇ

пошук. Говорун Т.П., магістр. Кузнецов В.М.

При дифузії іноридних атомів по межах зерен електричний опір плівкових зразків, обумовлений розсіюванням на зовнішніх поверхнях плівок і фононах, залишається незмінним [1]. Опір меж зерен (МЗ) змінюється за рахунок появи електричних зарядів біля них, зміни сил міжатомної взаємодії і коливного спектру, а також внаслідок утворення нових фаз на межах. Передбачається, що біля МЗ поля пружних деформацій простираються на відстані порядку періоду структури межі. Таким чином, розсіювання електронів провідності відбувається як на самій межі, так і на полі деформації. Проникаючи у МЗ атоми дифузанта викликають релаксацію полів деформацій. Тоді розсіювання носіїв електричного заряду на них, і як наслідок загальний опір плівки, буде змінюватися. У роботі [1] відмічається, що проникнення іноридних атомів в межу зерна може викликати як збільшення, так і зменшення її прозорості, і як наслідок зміну електричного опору. При рівномірному розподілі атомів дифундуючої компоненти та за умови відносно малих концентрацій ( $c_g \ll 1$ ) іноридних атомів зміну коефіцієнта розсіювання електронів на МЗ можна представити у вигляді [1]:

$$R' = R + \gamma_g c_g, \quad (1)$$

де  $R$  – коефіцієнт розсіювання МЗ при відсутності дифундуючих атомів;  $\gamma_g$  – коефіцієнт пропорційності, що визначає характер межі (при  $\gamma_g > 0$  – домішкові атоми призводять до того, що межа стає більш розсіювальною, а при  $\gamma_g < 0$  – більш прозорою).

## РОЗМІРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ОПОРУ ДВОШАРОВИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ Al ТА (Ti АБО Ni)

пошук. Басов А.Г., студ. Мусієнко М.В.,  
асп. Степаненко А.О.

Проблема стабільності характеристик плівкових елементів мікроелектроніки визначає значний інтерес до дослідження електрофізичних властивостей, зокрема температурного коефіцієнту опору (ТКО), як одношарових так і багатошарових металевих плівок. Теоретичний розрахунок розмірної залежності ТКО значно ускладнюється з переходом від одношарових до двошарових плівкових систем, оскільки до всіх явищ, що мають місце в одношаровому зразку, додаються явища розсіювання носіїв електричного струму на межі поділу шарів і взаємної дифузії атомів металів.

Робота присвячена теоретичному прогнозуванню ТКО для двошарових систем на основі Al та Ti або Ni в рамках макроскопічної моделі за співвідношенням:

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 - \frac{d_1 \beta_2 \rho_2 + d_2 \beta_1 \rho_1}{d_1 \rho_2 + d_2 \rho_1},$$

де  $\beta_{1,2}$ ,  $\rho_{1,2}$ ,  $d_{1,2}$  – ТКО, питомий електричний опір і товщина нижнього (1) та верхнього (2) плівкових шарів.

Розрахунок проводився при фіксованій товщині нижнього плівкового шару  $d_1$ . Отримані залежності  $\beta(d_2)$  починаються в точках, що належать  $\beta(d_1)$  нижнього шару, і асимптотично наближаються до  $\beta_{\infty 2}$ . При цьому спостерігається як збільшення, так і зменшення температурного коефіцієнту опору з ростом товщини  $d_2$ , що обумовлено співвідношенням між  $\beta_{\infty 1}$  і  $\beta_{\infty 2}$ .

# ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ФАЗОВИМ СКЛАДОМ ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДВОКОМПОНЕНТНИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ АІ ТА ТІ

маг. Григоренко О.В., маг. Петруша Б.М.,  
асп. Степаненко А.О.

На сьогоднішній день все більшого використання в мікроелектронних технологіях знаходять композиційні плівкові матеріали як альтернатива однокомпонентним. Це обумовлено можливістю подолання ряду недоліків, що характерні для однокомпонентних тонких плівок, та отриманням унікальних електрофізичних властивостей у разі утворення певного фазового складу системи.

Робота присвячена встановленню кореляції між електрофізичними властивостями і фазовим складом плівкових систем на основі АІ та Ті при температурній обробці в інтервалі 300 – 870 К. Двошарові плівкові системи Ті/АІ/П (П – підкладка) в інтервалі товщин 20 – 150 нм отримували методом пошарової конденсації у вакуумі порядку  $10^{-3}$  Па. Алюміній осаджували методом термічного випаровування з вольфрамового “гусарика”. Для одержання шару титану використовували електронно-променеву гармату. Конденсація відбувалася при кімнатній температурі підкладки  $T_{\text{п}}=300$  К. В якості підкладок для вимірювання електричного опору по двозондовій схемі контактами використовували поліровані пластинки ситалу. На підкладках були підготовані контактні майданчики наступної структури: АІ(150нм)УАІ(50нм)УСі(20нм)УП. Така структура контактів дозволяла проводити термообробку плівок без їх розтріскування на сходинці майданчику. Конденсація плівок здійснювалось через маску (розмір вікна 10x1,5 мм) з немагнітної нержавіючої сталі. Дослідження фазового

складу і кристалічної структури плівок проводили методом електроннографії і просвічуючої електронної мікроскопії (прилад ПЕМ-125К). Отримання зразків для електронно-мікроскопічних досліджень відбувалося при паралельній конденсації плівок на ситалові підкладки та на кристалічні сколи NaCl, що дозволяло витримати однакові умови одержання плівок. Після стабілізації електричного опору у свіжесконденсованих плівках (30 хв.), зразки препарували з NaCl на мідні сіточки. Паралельну термообробку зразків для електронно-мікроскопічного і резистивного дослідження проводили за схемою "нагрівання-охолодження" протягом трьох циклів (з метою термостабілізації електрофізичних властивостей і отримання температурної залежності питомого опору). При першому циклі нагрів зразків проводили до повного заліковування дефектів, у більшості випадків це відбувалося до температури 700 К. Другий цикл – також до температури 700 К. При третьому циклі нагрівання проводили до температури 870 К, оскільки при більших температурах відпалювання можливе плавлення плівки алюмінію.

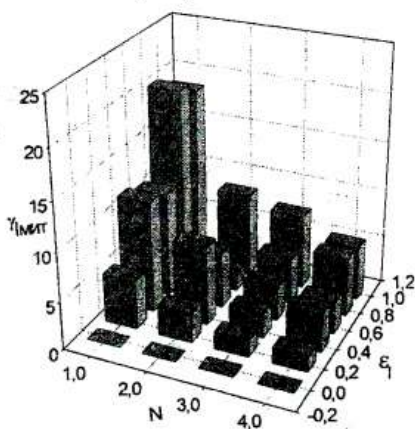
Електроннографічний аналіз свіжесконденсованих двошарових плівок, де шари мають приблизно однакову товщину, показав присутність окремих фаз титану та алюмінію. Температурна залежність на першому та другому циклах термообробки має металевий характер, а електронно-мікроскопічні дослідження показують, що відпалювання спричиняє збільшення середнього розміру кристалітів і не призводить до зміни фазового складу. На третьому циклі нагрівання з температури 820 К спостерігається різке зростання питомого опору. На дифракційних картинах фіксуємо появу кілець, що можливо належать інтерметалідним фазам.

# ТЕНЗОЧУТЛИВІСТЬ ТОНКИХ ПЛІВОК ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ

здоб. Бурик І.П., доц. Одноворець Л.В.

Тензорезистивні властивості тонких плівок і масивних зразків в певній мірі відрізняються. Це підтверджується рядом експериментальних та теоретичних робіт. Аналіз літературних даних вказує на той факт, що теоретичні моделі тензочутливості справедливі для плівкових систем з чітко вираженими шарами, а розсіювання електронів на межі розділу шарів впливає на значення коефіцієнта тензочутливості ( $KT$ ) [1].

У роботі одержані експериментальні результати для  $KT$  плівок тугоплавких металів при повздовжній деформації. На рисунку наведена експериментальна залежність миттєвого  $KT$  ( $\gamma_{\text{Митт}}$ ) від деформації ( $\epsilon_1$ ) та номерів прямих деформаційних циклів ( $N$ ) для плівки  $\text{Mo}(20)/\text{тефлон}$ . Значення  $KT$  при першому деформаційному циклі змінюється від 5 до 20, що можна пояснити тим певним формуванням структури зразка, яке пов'язано з поворотом зерен, перегрупуванням дефектів та ін. На наступних циклах величина  $KT$  в інтервалі  $\epsilon_1=0,4-0,6$  змінюється від 2 до 8.



## ЛІТЕРАТУРА:

1. Забіла Є.О., Проценко І.Ю. Фізико-механічні процеси у тонкоплівковому тензорезисторі // Вісник Сумського державн. універ. - 2005. - №4(56). - С.108-124.

## ХАРАКТЕРИСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПЛІВКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІМС ТА ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В НИХ

доц. Однодворець Л.В.,  
маг. Дудецький Д.П., студ. Яковенко Є.В.

Розвиток сучасних напрямів мікроелектроніки та приладобудування тісно пов'язаний з використанням багат шарових плівкових систем. У зв'язку з високою функціональністю вони широко застосовуються при створенні терморезисторів, тензодатчиків, надрешіток на ін. У мікроелектроніці на основі тонких металевих плівок виконують такі конструктивні елементи: плівкові резистори; електроди і струмопроводи; допоміжні елементи (підшари струмопровідних плівок, масок і ін.). Найбільш важливими в мікроелектроніці є перший і другий типи металевих плівкових елементів.

До металевих плівок пред'являються наступні основні вимоги. Вони повинні мати високу питому провідність, високу адгезію з поверхнею підкладки або з плівкою яка лежить нижче, малим коефіцієнтом теплового розширення. Товщина металевих плівок, застосовуваних для цих цілей, звичайно змінюється в межах 200 – 1000 нм.

Плівкові резистори створюють на діелектричній підкладці або діелектричній плівці, нанесеній на металеву, напівпровідникову або діелектричну підкладки. Конфігурація резисторів (Рис.1) визначається їх номінальним значенням, точністю, методом формування геометричних розмірів, матеріалом резистивної смужки та її питомим опором.

Резистивні смужки, як і плівкові провідники, отримують вакуумними методами з елементів, резистивних сплавів, керметів та ін. Основні характеристики матеріалів, використовуваних для виготовлення плівкових резисторів, наведено в табл. 1.

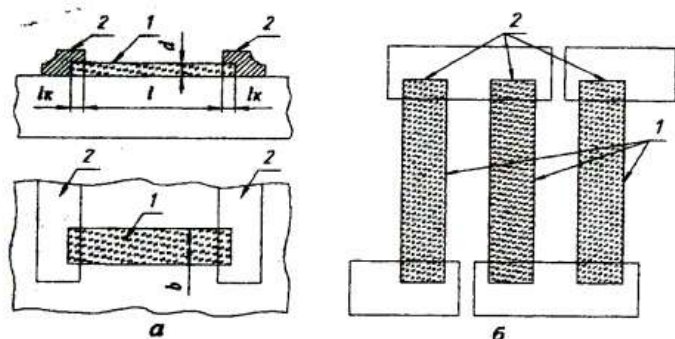


Рис.1 - Резистори інтегрованих мікросхем

Таблиця 1 - Характеристики матеріалів плівкових резисторів

Матеріал резистора	Матеріал контактних площадок	$R_{\square}$ , Ом/□	$\beta \cdot 10^4$ К <sup>-1</sup>
Cr	Cu	500	0,6
Ni-Cr	Cu	300	1,0
Ta	Al з підшаром V	100	-2,0
Полісиліцій p-типу	Al	50...250	+0,5...25
Полісиліцій n <sup>+</sup> -типу	Al	2...5	+1,0

Найважливішим параметром для плівкових резисторів є термічний коефіцієнт опору  $\beta$ , який залежить від товщини плівки. Важливою задачею при розробці резисторів МС є одержання найменшого значення  $\beta$  в діапазоні робочих температур.

1. Прищепа М.М., Погребняк В.П. Мікроелектроніка. -Частина 1. Елементи мікроелектроніки - Київ: Вища школа, 2004. - 432 с.



# КОНТАКТНІ ЯВИЩА У МІКРОЕЛЕКТРОННИХ СТРУКТУРАХ МЕТАЛ-НАПІВПРОВІДНИК

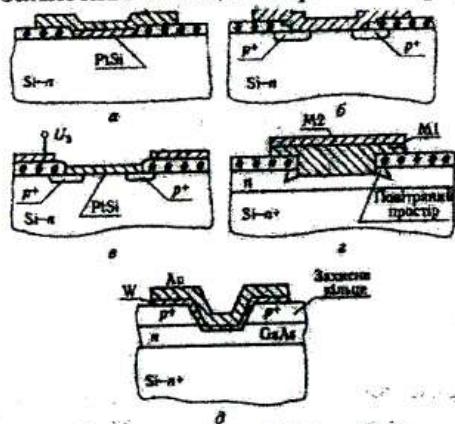
доц. Одноворєць Л.В.,  
маг. Кипарис В. Є., студ. Любивий І.О.

На основі фізичних властивостей контактів метал - напівпровідник засновані принципи дії більшості мікроелектронних елементів. На межі поділу між напівпровідником та металом виникають потенціальні бар'єри, що є наслідком перерозподілу концентрацій рухомих носіїв заряду між контактуючими матеріалами. На основі випрямних переходів формують біполярні діоди та транзистори, тунельні діоди, діоди Шотткі та інші прилади. Широке застосування випрямні переходи знаходять як ізольовані елементи в мікроелектронних пристроях та інтегральних мікросхемах (МС).

Випрямний контакт Ме-НП - бар'єр Шотткі (БШ), історично був основою одного з перших напівпровідникових випрямних діодів, який використовувався в детекторних радіоприймачах для детектування височастотного сигналу. Завдяки досягненням сучасної технології відновилась зацікавленість виробників МС у використанні бар'єру Шотткі як завершеного конструктивно виділеного елемента МС.

Перехід від металевого контакту до НП і є інтегрованим діодом Шотткі (ДШ), структуру якого формують за планарно-епітаксійною технологією із заглибленим  $n^+$  - шаром. ДШ функціонує на основних носіях - електронах, в наслідок чого в контакті Ме-НП немає дифузійної ємності, що стримує швидкодію, завдяки цьому вони можуть працювати на частотах до 100 ГГц. У зв'язку зі швидким розвитком технології МС створено діоди Шотткі з практично ідеальними характеристиками. Проте раніше в МС застосування ДШ стримувалось. Це було пов'язано з тим, що за зворотного зміщення напруга пробою була

менша, ніж напруга р-п-переходів, що спричиняло крайові ефекти (рис. а), для уникнення яких були розроблені конструкції ДШ з розширеною металізацією. Подальше удосконалення конструкцій ДШ привело до створення навколо контакту Ме-НП захисного кільця р-типу (рис. б). Напруга пробою збільшилась від 5 до 27 В. Її збільшенню сприяють конструкції з використанням захисного кільця і додаткового електрода (рис. в), на який подають від'ємну напругу. В таких структурах напруга пробою близька до напруги пробою р-п-переходу. Потім були розроблені ДШ із захисним кільцем і трьома бар'єрами, з двома захисними



кільцями та ін. Основними недоліками таких конструкцій є зменшення швидкості перемикання, яке спричиняє інжекція неосновних носіїв заряду із р-кільця, збільшення ємності діода, ускладнення технологічних процесів.

Структура ДШ (рис. г) не має перелічених недоліків. Контакт металу з напівпровідником здійснюється в спеціальному заглибленні в шарі п-типу. Для таких конструкцій діодів висота потенціального бар'єра  $U_{МН}$  зменшується, зменшується бар'єрна ємність  $C_{ш}$  і опір  $r_s$ . Два різних матеріали, які використовуються для створення контакту, забезпечують термостабільність параметрів ДШ. Основний матеріал ДШ – GaAs.

1. Степаненко І.П. Основи мікроелектроніки. Москва: Лабораторія базових знань, 2000. – 188 с.
2. Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. - Львів: Новий світ, 2003. - 128 с.

# ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНЗОЧУТЛИВОСТІ ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

доц. Олександр Однорець Л.В.,  
маг. Кучма О.І., маг. Марченко Я.Ю.

Дослідженню розмірних ефектів (РЕ) в тензочутливості багат шарових плівкових систем на сучасному етапі приділяється велика увага. Це пов'язано з тією обставиною, що багат шарові плівкові системи загального типу або періодичні (мультишари) на основі металів знайшли широке використання як при створенні приладів оптоелектроніки і мікроелектроніки, так і як об'єкти для дослідження розмірних ефектів в електрофізичних властивостях і дифузійних процесах. Якщо в структурах на основі масивних об'єктів або товстих шарів процеси взаємної дифузії можна не враховувати, то у випадку тонкоплівкових структур це спричиняє твердофазні реакції, що призводять до відмов у роботі електронних приладів. Це пов'язано як з малою відстанню дифузії, так і з високим ступенем дефектності структури, розвинутою міжзеренною поверхнею, добре вираженими структурними, концентраційними і фазовими неоднорідностями.

Величина коефіцієнта тензочутливості (КТ) дво- або багат шарових плівок на основі  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$  та  $\text{Co}$  є більшим у порівнянні з одношаровими плівками такої ж товщини. Це дає підставу для можливого використання таких об'єктів як матеріалів тензодатчиків [1]. Фізичні причини тензоефекту пов'язані з процесами, які відбуваються на макроскопічному рівні в кристаліті (зміна параметра решітки) та на макро- і мікроскопічному рівні на межі плівки та кристалітів (їх взаємні розвернення, зміна концентрації дефектів, видовження або зменшення розмірів кристалітів, виникнення локалізованих енергетичних рівнів,

зміна параметрів  $p$ ,  $r$  та ін.). Тензоефект характеризується двома коефіцієнтами – поздовжньої  $\gamma_l$  та поперечної  $\gamma_t$  тензочутливості. При механічній деформації відбувається зміна взаємного розташування частинок твердого тіла, яка приводить до зміни форми та розмірів тіла і його частин та викликає зміну сил взаємодії між частинками, тобто виникнення напружень. Деформація може бути наслідком теплового розширення, взаємодії магнітного та електричного полів, а також зовнішніх механічних сил.

Узагальнення відомих літературних даних дозволяє визначити особливості тензоефекту в одношарових плівкових матеріалах: по-перше, величина  $\gamma_l$  майже завжди більше  $\gamma_t$ , що пов'язано з особливістю зміни внутрішнього потенціалу кристалічної решітки в процесі деформації; по-друге, в залежності від співвідношення поверхневого розсіювання на межі кристалів коефіцієнти тензочутливості можуть зростати або зменшуватися, прямуючи до величин  $\gamma_{gl}$  або  $\gamma_{gt}$  і при збільшенні товщини (розміра кристалів); величина  $\gamma_l$  або  $\gamma_t$  суттєво залежить від номера деформаційного циклу “навантаження-зняття навантаження” в зв'язку з виникненням залишкової деформації; починаючи з 3-5 циклу величини  $\gamma_l$  і  $\gamma_t$  стабілізуються; КТ не залежать від матеріалу підкладки; у процесі старіння плівкового зразка величина  $\gamma_l$  і  $\gamma_t$  монотонно зменшується, прямуючи до  $\gamma_{\alpha l}$  і  $\gamma_{\alpha t}$ .

У рамках напівфеноменологічної моделі було отримане співвідношення для розрахунку КТ плівкової системи з довільною кількістю шарів [2]. У випадку, коли електричні властивості 1-го (3-го) шару визначаються електронами провідності 2-го і 3-го (1-го) шарів (а це можливо при виконанні умови  $\lambda_{01} \sim d_1 + d_2 + d_3$  і  $\lambda_{03} \sim d_3 + d_2 + d_1$ ), вищевказане співвідношення можна подати у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
\chi = & A_1 \left\{ \left( \gamma_{011}^p + \mu_1^i \right) - \left( 1 - \frac{\beta}{\beta_{01}} \right) \cdot \left[ \left( 2\gamma_{011}^p - 1 - \mu_1^i - \eta_{p1} \cdot \frac{\partial \ln k}{\partial \ln p} - \eta_{Q1} \cdot \frac{\partial \ln k}{\partial \ln Q} - \eta_{r1} \cdot \frac{\partial \ln m}{\partial \ln r} \right) + \right. \\
& + \left( \gamma_{021}^p - 1 - \mu_2^i - \eta_{p2} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln p_2} - \eta_{Q21} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln Q_{21}} - \eta_{r2} \cdot \frac{\partial \ln m_2}{\partial \ln r_2} \right) \frac{\beta_{01}}{\beta_{02}} + \\
& + \left. \left( \gamma_{031}^p - 1 - \mu_3^i - \eta_{p3} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln p_3} - \eta_{Q31} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln Q_{31}} - \eta_{r3} \cdot \frac{\partial \ln m_3}{\partial \ln r_3} \right) \frac{\beta_{01}}{\beta_{03}} \right] + \dots + \\
& + A_3 \left\{ \left( \gamma_{031}^p + \mu_3^i \right) - \left( 1 - \frac{\beta}{\beta_{03}} \right) \cdot \left[ \left( 2\gamma_{031}^p - 1 - \mu_3^i - \eta_{p3} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln p_3} - \eta_{Q31} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln Q_{31}} - \eta_{r3} \cdot \frac{\partial \ln m_3}{\partial \ln r_3} \right) + \right. \\
& - \eta_{r3} \cdot \frac{\partial \ln m_3}{\partial \ln r_3} \left. \right] + \left( \gamma_{011}^p - 1 - \mu_1^i - \eta_{p1} \cdot \frac{\partial \ln k_1}{\partial \ln p_1} - \eta_{Q1} \cdot \frac{\partial \ln k_1}{\partial \ln Q_{13}} - \eta_{r1} \cdot \frac{\partial \ln m_1}{\partial \ln r_1} \right) \frac{\beta_{03}}{\beta_{01}} + \\
& + \left. \left( \gamma_{021}^p - 1 - \mu_2^i - \eta_{p2} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln p_2} - \eta_{Q2} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln Q_3} - \eta_{r2} \cdot \frac{\partial \ln m_2}{\partial \ln r_2} \right) \frac{\beta_{03}}{\beta_{02}} \right\} + 1 + \mu_1^i
\end{aligned}$$

де враховано, що  $\frac{d \ln F}{d \ln k} \cong \frac{d \ln F}{d \ln m} = \left( 1 - \frac{\beta}{\beta_0} \right)$ , де  $\beta_i$  та  $\beta_{0i}$  - ТКО і-

го шару товщиною  $d_i$  та для масивного зразка;  $\gamma_{01}^p$  - КТ масивного зразка, виражений через питомий опір; ;

$\eta_{p1} = -\frac{d \ln p}{d \ln l}$ ,  $\eta_{r1} = -\frac{d \ln r}{d \ln l}$  і  $\eta_{Q1} = -\frac{d \ln Q}{d \ln l}$ . Слід відмітити, що

доданки із індексом  $i$  враховують електричні властивості даного шару, а із індексами  $i \pm 1$  - вплив сусідніх шарів на електричні властивості  $i$ -го шару.

1. Забіла Є.О., Проценко І.Ю. Фізико-механічні процеси у тонкоплівковому тензорезисторі // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. - 2005. - № 4 (76). - С 108 - 124.
2. Проценко С.І., Чорноус А.М. Дослідження і прогнозування тензорезистивних властивостей плівкових систем на основі Cr, Cu і Sc // Металлофиз. новейшие технол. - 2003. - Т.25, №5. - С. 587-601.

# ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ Ni I V

ст. викл. Гричановська Т.М

Тензодатчики на основі металевих плівок зазвичай менш чутливі до деформацій, порівняно з напівпровідниковими, але їх термічна стабільність, стійкість до дії зовнішніх факторів, забезпечують їм постійний науковий інтерес. Основний напрямок пошуку – збільшення коефіцієнта тензочутливості металевих плівок за рахунок використання плівкових сплавів, багатошарових плівкових систем. Важливим аспектом дослідження є прогнозування тензочутливих властивостей. Аналіз причин невідповідності експериментальних і розрахункових даних з тензочутливості двошарових плівкових систем показав, що узгодження має місце, якщо врахувати деформаційну залежність коефіцієнтів дзеркальності проходження меж зерна і міжфазної межі для електронів. Мета роботи полягає в апробації моделі запропонованої [1] на прикладі двошарової плівки Ni і V, компоненти якої утворюють інтерметаліди.

Таблиця 1. Порівняння експериментальних та розрахункових даних для  $\gamma_1$  двошарової плівкової системи.

Плівкові системи. (товщина, нм)	Коефіцієнт тензочутливості $\gamma_1$			$ \gamma_{1\text{експ}} - \gamma_{1\text{розр}} $
	експер.	розрахунок		
		з урахуван. деформ. ефектів	без урахуван. деформ. ефектів	$\gamma_{1\text{експ}}$
Ni(40)/V(20)/П	7,2	5,4	9,3	0,25
Ni(30)/V(40)/П	1,8	2,5	5,0	0,38
Ni(40)/V(80)/П	1,6	2,2	5,2	0,37

Експериментальні дані пророблених досліджень ілюструє рис. 1.

Результати апробації основного співвідношення з урахуванням, або без урахування деформаційних ефектів представлені в таблиці 1.

Помітна відповідність експериментальних і розрахункових даних розкриває можливість прогнозувати коефіцієнти тензочутливості пліткових систем

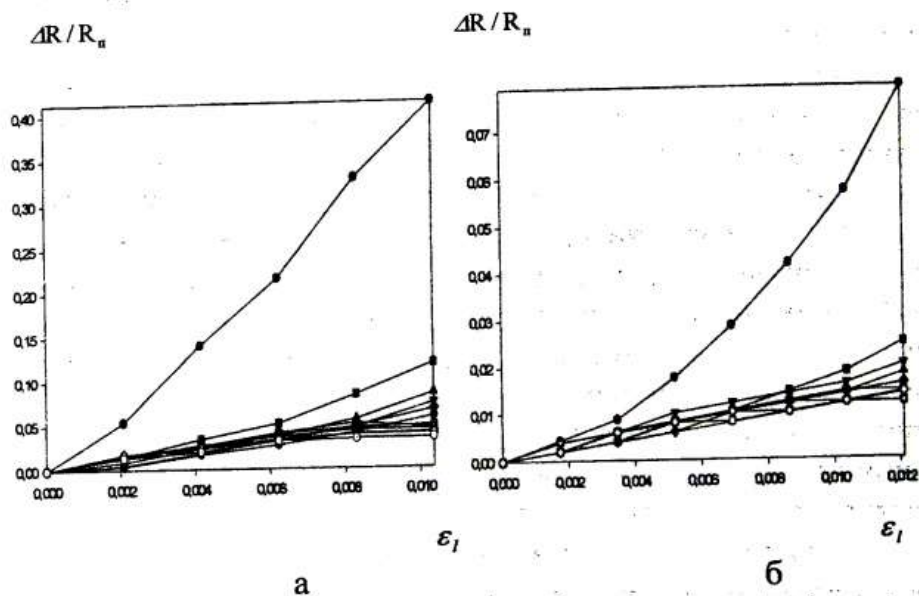


Рис.1. Залежність  $\Delta R/R_0$  від  $\epsilon_1$  для плівок Ni(40nm)/V(20nm)/П (а), Ni(30nm)/V(40nm)/П (б). Номер деформаційного циклу:  $\circ$ -I,  $\square$ -II,  $\Delta$ -III,  $\nabla$ -IV,  $\diamond$ -V,  $\odot$ -VI. П-підкладка,  $R_0$  - початковий опір.

1. Lasyuchenko O., Odnodvorest L., Protsenko I. Microscopic theory of tensosensitivity of multi-layer polycrystalline films //Cryst. Res. Technol.-2000.-V.35, №3.-P.329-332.

## СТРУКТУРА ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ПЛІВОК СПЛАВІВ Co-Ni

Доц. Лобода В.Б., зав.лаб. Кравченко В.О.

Проведено дослідження кристалічної структури та електропровідності тонких плівок сплаву Co-Ni з концентрацією Co 50-90 мас.% в діапазоні товщин 15-130 нм. Зразки були одержані методом електронно-променевого випаровування наважок сплавів відповідного складу з конденсацією на скляні підкладки для досліджень електропровідності та сколи КВг для структурних досліджень [1].

Для термічної стабілізації плівки відпалювалися протягом 2-3 циклів за схемою "нагрівання до 400° - витримка - охолодження". При цьому для зразків усіх концентрацій та товщин спостерігалось необоротне зменшення опору під час І-го циклу, пов'язане як з процесами росту кристалітів, так і з заліковуванням дефектів структури.

Електроннографічні дослідження показують, що в діапазоні концентрацій до 60-65 мас.% Co плівки мають однофазний склад з ГЦК-решіткою з параметром  $a=0,352-0,356$  нм, що є близьким до параметру решітки чистого нікелю ( $a=0,352$  нм [2]). Зі збільшенням вмісту кобальту в сплаві спостерігається зростання параметру ґратки ГЦК-твердого розчину, викликане спотвореннями решітки за рахунок відмінності розмірів атомів компонентів. Невідпаленим зразкам властиві розмиті лінії на електроннограмах, що є наслідком дрібнодисперсної структури плівок. Про це ж свідчать і результати електронно-мікроскопічних досліджень (розміри кристалітів для невідпалених плівок не перевищують 10 нм). Відпалювання протягом трьох циклів приводить до збільшення зерен (середній розмір кристалітів 40-60 нм) і, відповідно, до зменшення ширини ліній на електроннограмах.



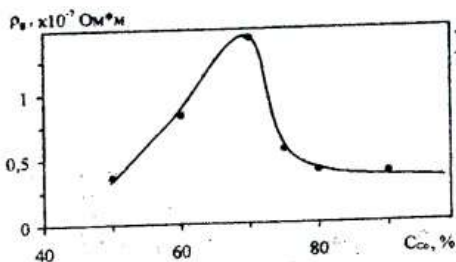


Рис.1. Залежність питомого опору  $\rho_g$  для плівок Co-Ni від концентрації кобальту

У діапазоні концентрацій 65-75 мас.% Co спостерігається поява на електронограмах додаткових ліній ГЦП-ґратки. При вмісті кобальту понад 75 мас.% основною є гексагональна решітка на базі Co ( $a=0,249-0,251$  нм,  $c=0,426-0,430$  нм), наявні також лінії ГЦК-решітки (швидше за все, ГЦК-Co). В цілому картина узгоджується з даними для масивного сплаву.

Дослідження електропровідності сплавів вказують на існування розмірної залежності питомого опору плівок. Порівняння величин питомого опору  $\rho_g$ , одержаних з графіків залежності  $\rho \cdot d(d)$  [3], вказує на наявність максимуму на концентраційній залежності питомого опору при концентрації 70 мас.% Co (рис.1), який, можливо, пов'язаний з існуванням двофазної області при переході від ГЦК до ГЦУ решітки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Лобода В.Б., Кравченко В.О., Салтикова А.І. Структура та електрофізичні властивості тонких плівок сплаву  $\text{Co}_{0,5}\text{-Ni}_{0,5}$  // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. – 2005. - №8 (80). – С.153-159.
2. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронооптический анализ. Приложения. – Москва: Металлургия, 1971.–104 с.
3. Проценко І.Ю. Технологія та фізика тонких металевих плівок.– Суми: Вид-во СумДУ, 2000.–148 с.

# АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ст.викл. Проценко С.І., маг. Терещенко А.О.

На кафедрі прикладної фізики нами створено автоматизовану систему для дослідження процесу деформації тонких металевих плівок.

До складу входять: модулі каналового вводу ADAM-4018 та ADAM-4019+; модуль дискретного виводу ADAM-4068; перетворювач інтерфейсів ADAM-4520; комп'ютер; асинхронний двигун; web-камера.

Керуюча програма написана з використанням технології віртуальних інструментів на мові програмування LabVIEW.

Система дає змогу: проводити велику кількість деформаційних циклів; в масштабі реального часу отримувати інформацію з web-камери та датчиків температури; дистанційно задавати і контролювати параметри експерименту (температуру, величину деформації); здійснювати обробку отриманих даних, розраховувати величину деформації, будувати експериментальні залежності  $R$  від  $\epsilon$  та  $dR/R$  від  $\epsilon$  ( $R$  – опір,  $\epsilon$  – деформація); проводити реєстрацію і обробку даних, кількох одночасно протікаючи, експериментів; керувати різними приводами.

Вдале поєднання апаратної та програмної складової забезпечує вимірювання опору з точністю до 0,001 Ом, а деформації – 0,01%.

Реалізована система є ефективною при проведенні експериментів в області пружної деформації.

# РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

ст. викл. Шпетний І.О., магістр. Недельчев М. П.

Впровадження автоматичної системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) дозволить провести цілий комплекс заходів, результатом яких стане одержання істотного прибутку підприємством. За прогнозами, економічний ефект від впровадження системи буде таким, що дозволить окупити вартість системи вже за півроку.

Впровадження АСКОЕ вирішить наступні задачі:

- Підвищення точності обліку електроенергії. Система показує розходження у вимірюваннях нових цифрових лічильників класу 0,2S або навіть 0,5S у порівнянні зі старими індукційними лічильниками. Це дасть змогу точно зводити баланс, скоротити витрати і знаходити місце втрати електроенергії.
- Зниження споживчої потужності на підприємстві в години пікових навантажень енергосистеми. Система зможе показати, де й коли можна відключити вхолосту працюючі двигуни.
- Перехід на розрахунки за спожиту електроенергію за диференційованими тарифами (електроенергія вночі коштує набагато дешевше, ніж вдень).
- Можливість контролю якості та параметрів електропостачання і т.д.

Для одержання описаних вище результатів, крім установки нових лічильників потрібна автоматизація збору й обробки даних за допомогою контролерів. Так, впровадження АСКОЕ дозволить передавати всю інформацію з лічильників на контролер, а потім вже в обробленому вигляді – передати на комп'ютер для подальшого аналізу.

# СТРУКТУРНО-ФАЗОВИЙ СТАН ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВОЇ СИСТЕМИ Ti/Cu

ст. викл. Шпетний І.О., інж. Соломаха В.А.,  
маг. Терещенко Ю.І.

Широке використання міді, як найбільш перспективного матеріалу у мікроелектроніці для контактних майданчиків та струмомівідних доріжок, стає обмеженим внаслідок проявлення інтенсивних процесів дифузії з кремнієм та діелектриками на основі  $\text{SiO}_2$  внаслідок дії температурного фактору та електричного поля, що призводить до руйнування приладів. Різними авторами пропонується використовувати титан у якості дифузійного бар'єру для систем Cu-Si. Діаграма системи Ti-Cu в масивному стані у високотемпературній частині має досить складний характер. Поряд з утворенням твердих розчинів фіксується  $\text{Cu}_4\text{Ti}$ ,  $\text{Cu}_2\text{Ti}$ ,  $\text{Cu}_3\text{Ti}_2$ ,  $\text{Cu}_4\text{Ti}_3$ ,  $\text{CuTi}$ ,  $\text{CuTi}_2$ . У зв'язку з цим існує необхідність у проведенні комплексних досліджень структурно-фазового стану двошарових плівок на основі Ti та Cu у поєднанні з дослідженнями електрофізичних властивостей методом резистометрії. В результаті відпалювання з постійною швидкістю 2-3 К/хв протягом 2-3 циклів „нагрівання-охолодження” спостерігалось збільшення опору зразка після термовідпалювання порівняно зі свіжесконденсованими плівками. До однієї з причин збільшення опору можна віднести утворення високоомних впорядкованих та невпорядкованих твердих розчинів. При даних умовах електронографічно інтерметалеві фази не фіксувалися, хоча авторами [1] при ізотермічному відпалюванні композиції  $\text{Ti}(200\text{нм})/\text{Cu}(200\text{нм})/\text{Ti}(10\text{нм})/\text{SiO}_2(370\text{нм})/\text{Si}(100\text{нм})$  протягом одного часу починаючи з  $T=870\text{ К}$  фіксуються інтерметаліди.

1. Фазообразование в пленочной композиции  $\text{Ti}(200\text{нм})/\text{Cu}(200\text{нм})/\text{Ti}(10\text{нм})/\text{SiO}_2(370\text{нм})$  на монокристаллическом кремнии (100). / Сидоренко С.И., Ту К.Н., Макогон Ю.Н. и др. // Металлофизика. – 2005. – т.27, № 8. – с. 1017–1025.

# ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДВОШАРОВИХ ПЛІВОК

ст. викл. Шпетний І.О., студ. Кравченко О.В.

На сьогоднішній день контроль та прогнозування експлуатаційних характеристик тонкоплівкових елементів є досить актуальною задачею приладобудування. Порівняння експериментальних та розрахункових значень термічного коефіцієнту опору (ТКО) дозволило встановити межі використання кожної з теоретичних моделей: напівкласичної моделі Дімміха, макроскопічного співвідношення та формули сплавів [1]. Встановлено, що розрахунки ТКО за моделлю Дімміха та макроскопічним підходом якісно узгоджуються з експериментальним значенням ТКО у випадку збереження індивідуальності шарів компонентами двошарової системи. У випадку систем з необмеженою взаємною розчинністю краще узгодження з експериментом дають розрахунки на основі формули сплавів.

На основі вказаних співвідношень для систем з різним типом розчинності (Ni/V, Ni/Cr, Ni/Co) побудовано графічні залежності ТКО від товщини шарів компонентів двошарової плівки. При цьому товщина нижнього шару залишалась постійною, а верхнього змінювалась. Якщо в одношарових плівках  $\beta$  зростає, то в двошарових, в залежності від величини  $\beta_{\infty}$  матеріалів окремих шарів, ТКО може як збільшуватися, так і зменшуватися, асимптотично наближаючись до  $\beta_{\infty 2}$ .

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Лобода В.Б., Пирогова С.М., Проценко С.І. Структура та електрофізичні властивості тонких плівок сплаву Ni – Cu в температурному інтервалі 300-700 К // Вісник СумДУ. Серія фізика, математика, механіка. – 2001. – №3-4. – С. 74 – 83.

# ПРОЦЕСИ ПРИ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНІЙ АТОМІЗАЦІЇ ТА ЇХ МОДЕЛЮВАННЯ

мол. наук. співр. Бугай О.М.

Інформація про процеси, що відбуваються при електротермічній атомізації в атомно-абсорбційному спектрометрі може бути використана при розробці методів покращення аналітичних характеристик. Така інформація найчастіше отримується з атомно-абсорбційного (АА) сигналу і її достовірність залежить від адекватності моделі, яка описує утворення АА сигналу. Для адекватного опису процесу утворення атомно-абсорбційного сигналу, необхідно щоб створена модель враховувала вплив поверхневих явищ.

Найбільш перспективним є підхід, в якому АА сигнал описується за допомогою динамічного накладання процесів утворення вільних атомів та їх динамічного винесення. Для описання динаміки цих процесів було застосовано рівняння дифузії з двома незалежними джерелами, в якому одне джерело описує атомізацію атомів, що знаходяться на поверхні печі, інше – утворення атомів всередині стінки графітової печі та їх вихід в аналітичну зону. Використовуючи ряд фактів та припущень, було отримано рівняння, яке описує утворення АА сигналу в реальних неізотермічних умовах:

$$A(t) = C_1 \frac{k_1^s}{k_2 - k_1^s} (\exp(-k_1^s t) - \exp(-k_2 t)) + C_2 \frac{k_1^p k_{gr}}{k_{gr} - k_1^p} \times$$
$$\times \left[ \frac{1}{k_2 - k_1^p} (\exp(-k_1^p t) - \exp(-k_2 t)) - \frac{1}{k_2 - k_{gr}} (\exp(-k_{gr} t) - \exp(-k_2 t)) \right],$$

де  $k_1^s$ ,  $k_1^p$  – константи швидкостей утворення вільних атомів на поверхні печі та в товщі графіту;  $k_2$  і  $k_{gr}$  – константи швидкостей процесів дифузійного винесення та дифузії в графіті, відповідно.

Зазначимо, що величина константи швидкості утворення вільних атомів та константа швидкості дифузії в графіті залежать від температури печі, а константа швидкості дифузійного винесення вільних атомів залежить від температури газової фази. Для опису залежності температури печі від часу можна застосувати рівняння

$$T_f(t) = T_{end} - (T_{end} - T_{beg}) \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau_c}\right),$$

де  $T_f(t)$  – температура печі в момент часу  $t$ ;  $T_{end}$  – кінцева установочна температура розігріву;  $T_{beg}$  – початкова температура розігріву печі;  $\tau_c$  – характерний час розігріву печі.

Температуру газової фази можна визначити з рівняння:

$$T_{gas}(t) = T_{end} - \frac{T_{end} - T_{begin}}{\tau_{gas} - \tau_c} \left( \tau_{gas} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{gas}}\right) - \tau_c \exp\left(-\frac{t}{\tau_c}\right) \right),$$

де  $T_{gas}(t)$  – температура печі в момент часу  $t$ ;  $\tau_{gas}$  – характерний час розігріву газової фази.

При певному співвідношенні характерних часів розігріву  $\tau_c$  та  $\tau_{gas}$  температура печі і температура газової фази починають співпадати. В такому випадку при моделюванні можна застосовувати лише рівняння залежності від часу температури печі. Можливість використання лише одного рівняння визначається експериментально.

З використанням запропонованої моделі були досліджені механізми атомізації міді, срібла та цинку.

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЛЕГОВАНИХ ОБЛАСТЕЙ ТА РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ДИФУЗІЇ У НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУРАХ

доц. Опанасюк Н.М., студ. Курбатов Д.І.

Дифузія — процес проникнення дрібних (атомів, іонів, молекул) однієї речовини в іншу. У монокристалічних речовинах він в основному пов'язаний з існуванням теплових точкових дефектів у кристалі.

Фізичний механізм дифузії полягає у наступному: кристалічна решітка напівпровідника постійно знаходиться в стані теплообміну з навколишніми тілами. Теплова енергія викликає коливання атомів у вузлах решітки. Деяке число атомів може придбати енергію, що виявиться більше енергії міжатомного зв'язку. У результаті у решітці утворюються вільні від атомів вузли — вакансії. Домішкові атоми, що потрапили в кристалічну решітку надалі можуть переміщатися по вакансіях усередину. Такий процес називається дифузією заміщення (Si, Ge).

Деякі домішки здатні проникати в кристал по міжвузлях. Цей процес називають дифузією впровадження (AsGa). Розходження в механізмі дифузії пояснюється взаємозв'язком між щільністю упакування атомів у кристалі, їхніми розмірами і розмірами домішкових атомів.

Кількість домішкових атомів що попадають у решітку буде тим більше, чим більше в ній вакансій. Тому, щоб дифузія йшла з достатньою швидкістю, кристали повинні знаходитися в нагрітому стані при температурі, часто близькій до температури плавлення (1273 – 1573K).

При проведенні розрахунків дифузійних структур вирішують два основних типи задач: визначення профілю розподілу концентрації домішки на підставі заданого технологічного режиму (пряма задача) і визначення режиму процесу дифузії на підставі параметрів кінцевого



розподілу домішки в структурі (зворотня задача).

Розв'язок прямої задачі впливає з вирішення другого закону Фіка при деяких граничних умовах, звідси можна одержати розподіл концентрації при необмеженому джерелі домішки (етап загонки домішки):

$$C(x,t) = C_{01} \operatorname{erfc}(x/2\sqrt{Dt}), \quad (1)$$

де  $C_{01}$  — поверхнева концентрація;

$x$  — глибина дифузії;

$t$  — час дифузії;

$D$  — коефіцієнт (швидкість) дифузії;

$\operatorname{erfc}(z)$  - додаткова функція помилок, близька до експонентної функції  $e^{-z^2}$ .

При обмеженому джерелі (етап розгонки домішки):

$$C(x,t) = \frac{N}{\sqrt{\pi} \sqrt{Dt}} e^{-x^2/(4Dt)}, \quad (2)$$

де  $N$  - кількість атомів домішки на одиницю площі.

Щодо зворотних задач, то їх розв'язок приводить до визначення добутку  $Dt$ . Потім найчастіше задаються часом  $t$  і за знайденим значенням коефіцієнта дифузії  $D$  визначають температуру  $T$ , або навпаки. Іноді у виборі режимів дифузії варто враховувати не тільки температурну залежність коефіцієнта дифузії  $D(t)$ , але і граничну розчинність домішки  $C_v(t)$ , а також питомий опір вихідної напівпровідникової пластини  $\rho$ .

Тому з точки зору технології виготовлення напівпровідникових структур підбір режимів термічної дифузії (температури, часу, типу домішки і т.д.) дуже впливає на електрофізичні параметри отриманих у результаті напівпровідникових структур, а отже і на їх якість.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Доц. Кульментьева О.П., ст.н.с. Кульментьев А.И.

В настоящее время термин абляция обозначает совокупность сложных физико-химических процессов, результатом которых является удаление вещества, стимулированного пучками высокоэнергетических частиц. При этом различают лазерную абляцию (ЛА), абляцию под действием электронных и ионных пучков.

Абляция используется в машиностроении, приборостроении, микроэлектронике, оптоэлектронике, при производстве компьютеров и др. Особенно перспективно использование ЛА при микрообработке хрупких твердых материалов. Этот метод обработки применяется для получения сложнопрофильных изделий из хрупких материалов, например, микрошестеренок из сапфировых пластин толщиной 0,25 мм, различных деталей из конструкционной керамики, высококачественных катетеров из нержавеющей стали, тантала, биополимеров, которые используются для шунтирования кровеносных сосудов.

Еще одним современным направлением является получение тонких пленок в результате осаждения на подложки абляционной плазмы. Так, методом ИВЕ (Ion Beam Evaporation) производят тонкие пленки со специальными свойствами, включая многослойные пленки из высокотемпературных сверхпроводящих материалов, получают толстые пленки, в том числе из тугоплавких металлов, аморфные и кристаллические слои с заданной структурой, напыляют керамические материалы на металлы, синтезируют наноразмерные ультрадисперсные порошки и алмазоподобные покрытия.

Для примера на рис.1 приведены изображения керамики из карбида кремния и германиевая острая наноструктура

после воздействия на них пучками высокоэнергетических частиц. Видно, что в результате воздействия пучка на поверхности получают рельефные структуры, формирование которых зависит от характера взаимодействия пучка частиц с мишенью и последующей абляции материала.

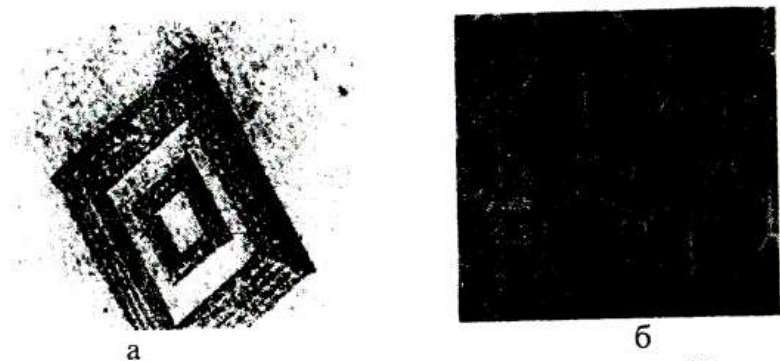


Рис.1. РЭМ-изображения SiC керамики (а) и кремния (б) после воздействия на них пучками высокоэнергетических частиц

Отличительными чертами абляции с теоретической точки зрения являются то, что она непосредственно связана с поглощением энергии в материале; и ее результатом является формирование парогазового облака, состоящего из продуктов абляции. Поэтому для теоретического исследования необходимо моделировать как процесс поглощения энергии излучения мишенью, так и процесс динамической эволюции образующегося в результате парогазового облака. Последний включает как расширение и перемещение этого облака, так и нуклеацию составляющих его частиц.

Исследование динамики разлета пара многокомпонентного облака представляет собой сложную задачу. В работе рассматривался процесс лазерного испарения в рамках тепловой модели. При этом предполагалось, что время формирования начального абляционного облака намного меньше времени его последующего расширения. Это предположение основано на данных эксперимента. Кроме того, счита-

лось, что тяжелые частицы не оказывают влияния на динамику расширения пара легких частиц. Для приближенного решения рассматриваемой краевой задачи использовался метод моментов. В качестве необходимых функций, зависящих от времени, были выбраны температура поверхности  $T_s(t)$  и пространственный масштаб распределения энтальпии  $l(t)$ . Они дают основную информацию о распределении энтальпии в поверхностном слое твердого тела, которое и определяет динамику процесса тепловой абляции.

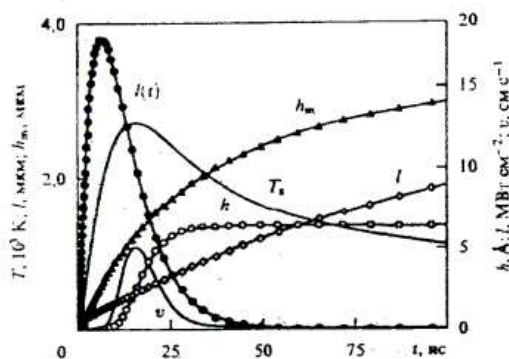


Рис.2. Теоретические зависимости от времени, полученные для нагрева и абляции мишени из YBCO. Показаны глубина прогрева  $l$ , температура поверхности  $T_s$ , положение фронта плавления  $h_m$ , скорость абляции  $v$ , толщина аблированного материала  $h$ .

На рис.2 приведены результаты расчетов кинетики абляции мишени из YBCO под действием излучения Nd:АИГ лазера для характерных режимов его работы. Решения уравнений газовой динамики с помощью приближенных методов позволяют удовлетворительно описать некоторые характеристики такого пара и объяснить качественные эффекты, в частности эффекты нуклеации частиц в расширяющемся облаке и обострение распределения тяжелых частиц (тяжелый пар распространяется внутри легкого в виде сжатого жгута). Эффект обострения отчетливо наблюдается на экспериментальных фотографиях разлета многокомпонентного парового облака.

Анализ полученных результатов по расчету динамики лазерного нагрева и абляции показал, что они удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

## ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

доц. Кульментьева О.П., магистр. Швец А.В.

К современным импульсным технологиям обработки твердых тел относятся ударно-волновое нагружение, ультразвуковая ударная обработка, обработка импульсным магнитным полем, взрывная обработка, электрогидроимпульсная обработка, а также обработки, производимые пучками заряженных частиц, плазмы и лазерными пучками. Как показывает анализ литературных данных, импульсные технологии обработки твердых тел приводят к изменению субструктурного, элементного и фазового состава обработанной поверхности. Так, например, в результате плазменно-детонационной обработки (ПДО) происходит насыщение поверхности легкими элементами из газовой атмосферы и легирующими элементами из паров эродируемого электрода, а после электролитно-плазменной обработки (ЭПО) поверхность легируется элементами из жидкого электролита и из перфорированного анода, через который проходит электролит.

В настоящей работе проведены расчеты коэффициента массопереноса  $D_m$  для различных видов импульсной обработки. Кроме того проведены расчеты коэффициентов термической диффузии  $D_d$  для металлов, находящихся в жидком состоянии. Полученные данные приведены в таблице. Здесь же приведены данные для режимов обработок ( $n$  – число импульсов;  $t$  – длительность импульсов;  $h_{\max}$  – максимальная глубина проникновения легирующего элемента) и обрабатываемых материалах. Сравнение полученных результатов дает основание утверждать, что значение коэффициента массопереноса после импульсных обработок пучками заряженных частиц и плазмы на 1-7 порядков (а для ЛО – на 13 порядков) больше коэффициента термической диффузии в жидкой фазе.

Таблица – Данные по режимам обработки высокоэнергетическими импульсными пучками и параметры переноса для этих видов воздействий.

Вид обработки	Режимы обработки			Полужка	Внедренный атом	Коэффициент диффузии $D_{дл}$ $см^2/с$	Коэффициент массопереноса $D_m$ $см^2/с$
	n	t	$h_{max}$				
Лазерная обработка		30 нс	300 мкм	Ni	Cu	$3,5 \cdot 10^{-11}$	230
ЦДО	4	0,8 мс	15 мкм	$\alpha$ -Fe	N C O	$1,5 \cdot 10^{-6}$ $5,4 \cdot 10^{-5}$ —	$1,74 \cdot 10^{-5}$ $1,2 \cdot 10^{-5}$ $3,39 \cdot 10^{-5}$
	—	10 ч 150 с	3 мм 3 мм	$\alpha$ -Fe	Cu W	$8 \cdot 10^{-6}$ $\sim 10^{-8}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$ $7 \cdot 10^{-7}$
	1 5	50 нс 50 нс	$0,4 \div 1,0$ мкм $0,4 \div 1,0$ мкм	Cu Cu	Ag Ag	$4,9 \cdot 10^{-9}$ $4,9 \cdot 10^{-9}$	$(7 \pm 3,0) \cdot 10^{-2}$ $(1,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-2}$
Обработка ионными пучками	1	50 нс	$0,3 \div 1,4$ мкм	Nb	Al	—	$(2,5 \pm 1,6) \cdot 10^{-2}$
	5	50 нс	$0,3 \div 1,4$ мкм	Nb	Al	—	$(3,0 \pm 2,0) \cdot 10^{-2}$

## ТЕМПЕРАТУРНІ ЕФЕКТИ В ПРОВІДНОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНДЕНСАТІВ Cu ТА Ni

уч. 11-А класу ССШ №17 Булатов С.А., доц. Білоус О.А.

Дослідження температурних і розмірних ефектів в електрофізичних властивостях металевих плівок є актуальним питанням фізики твердого тіла. Комплекс даних про температурні і розмірні залежності питомого опору, температури Кюрі і параметрів електроперенесення в металевих одношарових плівках дозволяють прогнозувати і моделювати характеристики елементів мікроелектронних приладів.

У роботі вивчена методика отримання металевих плівок в робочому об'ємі вакуумної установки ВУП-5М термічним та електронно-променевим випаровуванням. Розглянута схема вимірювання електричного опору та методика визначення товщини плівок інтерферометричним методом. Крім цього в роботі досліджена температурна залежність питомого опору плівок Ni і Cu (товщина 60 нм і 25 нм відповідно). Розрахована залежність температурного коефіцієнта опору  $\beta(T)$ .

На залежності питомого опору плівки нікелю від температури  $\rho(T)$  спостерігалась особливість поблизу температури Кюрі (температура переходу нікелю від феромагнітного до парамагнітного стану). На деяких ділянках залежності  $\rho(T)$  для плівок міді, під час першого відпалювання, виділені проміжки, на яких питомий опір знижується з ростом температури, що пов'язано з ефектом заліковування дефектів кристалічної будови, які виникли при конденсації плівки. Так під дією температури впроваджений атом з залишкової атмосфери стає атомом заміщення вакансії в структурі матеріалу, або переміщується до межі зерна. Такі структурні зміни дещо впорядковують структуру матеріалу, що і пояснює зменшення електричного опору.

# ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ТРАФАРЕТНОГО ДРУКУ НА ЯКІСТЬ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ТА ТОВСТОПЛІВКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГІБРИДНИХ МІКРОСХЕМ

доц. Жуковець А.П.

Друковані плати можуть виготовлятися різними способами. При субтрактивному методі, поряд з фотолітографією, для отримання захисного рисунка схеми широко застосовується трафаретний друк. Роль трафаретного друку особливо зросла у зв'язку з розвитком поверхневого монтажу. В останні роки, завдяки підвищенню якості трафаретних форм, появі сучасного устаткування, нових матеріалів та засобів контролю [1], трафаретний друк знайшов застосування при виготовленні пасивних елементів (провідників, резисторів, конденсаторів), гібридних товстоплівкових мікросхем. Така технологія є високоекономічною, але в ряді випадків вимагає коректури (підгонки) резисторів і конденсаторів [2].

В даній роботі проводились дослідження деяких технологічних параметрів трафаретного друку з метою покращення якості друкованих плат та товстоплівкових гібридних інтегральних мікросхем.

Сума спотворень лінійних розмірів на відбитку визначається за формулою [3]:

$$\Sigma_{\epsilon} = K \frac{L * h^2}{l_1 * l_2},$$

де  $\Sigma_{\epsilon}$  – загальні спотворення;

$K$  – коефіцієнт (змінюється від 0,2 до 0,5);

$L$  – розмір друкарської форми в напрямку друкування;

$l_1, l_2$  – відстань точки, що розглядається, від країв формної рами.



Ця формула не може претендувати на точне визначення спотворень, вона показує лише якісний характер їх зменшення. Таким чином, виникла практична вимога до трафаретної форми: зображення на ній не повинно займати більше, ніж 50% від загальної площі форми.

Дослідження ситових тканин, які є основою для виготовлення друкарських форм, показало, що менші графічні спотворення забезпечують поліамідні, поліефірні та металеві сітки щільністю 120-140 нит./см. Але, порівняно з поліамідними, поліефірні та металеві сітки мають більш високий модуль пружності при розтягуванні, причому величина його, особливо для поліефірних сіток, мало змінюється в процесі експлуатації. Це забезпечує стабільність геометричних розмірів зображення в процесі друку.

Найвищу роздільну здатність забезпечували плівкові світлочутливі матеріали та фотополімери типу «Фотосет» (до 60 лін/см). Виділяюча спроможність їх складала відповідно 0,05 та 0,07 мм. В процесі друкування було встановлено, що оптимальний кут нахилу робочого ракель повинен бути в межах 70-80°. При цьому погонне навантаження на рапель при друкуванні на фольгованому діелектрику, в залежності від умов друкування, може змінюватися у досить широкому інтервалі — від 20 до 300 Н/м.

Використання трафаретного друку в процесі виготовлення електронних приладів дозволяє підвищити продуктивність праці та скоротити витрати на виробництво.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ткачук М.П. Трафаретний друк. — Київ: ХаГар, 2000. — 199с.
2. Тил У., Лаксон Дж. Интегральные схемы. Материалы. Приборы. Изготовление. М.: Мир, 1985.
3. Клечак Р.И. и др. Точность воспроизведения размеров параметров плат способом трафаретной печати // Обмен опытом в радиопромышленности, 1975.— № 5 с. 32-34.

## СТРУМОПРОВІДНІ ПАСТИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЗИСТИВНИХ НОСІЇВ ІНФОРМАЦІЇ

доц. Жуковець А.П., інж. Літвішко З.В.,  
інж. Бригінець Л.А.

Струмопровідні пасти знайшли ефективне застосування в обчислювальній техніці, зокрема при виготовленні резистивних носіїв інформації для програмованих запам'ятовуючих та читаючих пристроїв, які працюють за принципом виявлення резистивної неоднорідності [1, 2]. Записування інформації здійснюється шляхом нанесення рисунку струмопровідними пастами відповідних комунікацій [3]. Економічним способом нанесення таких комунікацій є трафаретний друк. Параметри технологічних процесів нанесення і наступна обробка нанесених паст вивчені недостатньо.

Метою даної роботи було вивчення впливу складу струмопровідної пасти, режимів друкарського процесу та термообробки відбитків на електричні властивості провідників. В якості струмопровідних матеріалів використовували графіт та високодисперсне срібло, яке одержували методом хімічного відновлення з розчинів солей.

Головними факторами, які визначають електричні властивості покриттів, є природа струмопровідного наповнювача, його концентрація та дисперсність. Друкарсько-технічні та фізико-механічні властивості покриттів визначаються, головним чином, складом зв'язуючого. У даній роботі, в якості зв'язуючих паст, використовували розчини термопластів, перхлорвінілових смол, а також етилцелюлози.

При оцінці електричних властивостей струмопровідних покриттів, а також визначенні кількості наповнювача,

враховували дисперсність частинок та питомий електричний опір провідників ( $\rho$ ).

Друкування проводили на автоматичній машині з використанням графаретної форми, виготовленої на поліамідній ситовій тканині. У процесі друкування змінювали швидкість руху та кут нахилу робочого ракеля.

В результаті досліджень встановлено, що для деяких типів графіту, таких, як С-1, С-1(0), формування струмопровідної коагуляційної структури спостерігається вже при 7-15% графіту. Мінімальна кількість графіту С-1(0), при якій забезпечується необхідне значення  $\rho$ , не перевищує 20% (по масі). Але через те, що в області концентрацій 20 – 60% незначна зміна концентрації призводить до різкої зміни опору, для практичного використання доцільно брати системи, що мають 60 – 70 % графіту. Їх можна застосовувати для виготовлення носіїв інформації, які забезпечують  $\rho > 0,01$  ом\*м. Для виготовлення покриттів із  $\rho < 0,01$  ом\*м необхідно використовувати пасту на основі порошків срібла. У зв'язку з тим, що використовувані порошки срібла мають більший розмір частинок і більшу густину, ніж порошки графіту, значення критичної концентрації покриттів зі сріблом *більше* і складає  $\approx 45\%$ . Для високопровідних покриттів доцільно використовувати композиції, що мають 85-90% срібла.

Поряд із рецептурними факторами, на електричні властивості покриттів, як було встановлено, впливають режими друкарського процесу. Зменшення товщини покриттів і збільшення  $\rho$  спостерігається при збільшенні швидкості друку і ступені розведення паст, що відповідає відомим уявленням [4]. Встановлено також, що термообробка відбитків після друкування дозволяє зменшити значення  $\rho$  на 10-20%, що суттєво для струмопровідних покриттів на основі срібла.

Дослідження впливу зміни температури, відносної вологості покриттів різного складу на основі порошків графіту і срібла, а також сумішей срібла і графіту в різних співвідношеннях показали, що в інтервалі температур 20 – 80 °С вольт-амперні характеристики покриттів – лінійні, що свідчить про наявність квазіметалевого типу провідності.

Таким чином, в результаті проведеної роботи визначена оптимальна кількість струмопровідного наповнювача графіту та срібла. В процесі дослідження визначені оптимальні режими друкування способом трафаретного друку з використанням форми на основі поліамідної ситової тканини та відповідних копіювальних шарів.

Розроблена струмопровідна паста на основі срібла після деякої коректури складу (в залежності від вимог до електричних показників), може бути використана для іншої мети, наприклад, при виготовленні елементів товстоплівкових гібридних мікросхем.

В роботі брали участь к.т.н. Бабенко Н.К., к.т.н. Штекельберг М.Х., інж. Лободюк А.А. (м. Київ).

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ильин И. Я., Вайнштейн В. Я. Устройство считывания информации //Автоматика, телемеханика, связь. – 1976. – № 1–С.10.
2. Бабенко Н. К. и др. Программируемое постоянное запоминающее устройство. – В кн.: „Запоминающие устройства”. – Киев, 1977, - с. 68 – 72.
3. Бушин В.В., Литвишко З.В. и др. Методика изготовления информационных карт для полупостоянного запоминающего устройства. // Управляющие системы и машины, 1974 – № 4 – С.57.
4. Жуков И. и др. Особенности трафаретной печати на переплетных крышках. // Полиграфия. – 1978. – № 7, С. 32.

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДУЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ СПРАЦЮВАННІ ВИБУХОПОДАВЛЯЮЧОГО ПРИСТРОЮ

доц. Ігнатенко В.В.

Вибухоподавляючий пристрій (ВПП) застосовується для автоматичного гасіння загоряння вогненебезпечної суміші метану, яке виникає у шахтних виробках при проведенні буровибухових робіт. ВПП експериментально розроблений спеціалістами Макіївського науково-дослідного інституту безпеки робіт в гірничій промисловості.

Мета роботи: побудова математичних моделей основних фізичних процесів, які проходять при спрацюванні ВПП, оптимізація конструкції ВПП з метою зручного і безпечного їх використання в умовах підземних виробок і прогнозування результатів дії ВПП для забезпечення високої надійності гасіння пожеж у вибухонебезпечних середовищах.

Основними експериментальними даними були: максимальний тиск робочих газів у камері згоряння, залежність тиску від часу у заспокоювальній камері, максимальна швидкість руху на різних відстанях від ВПП, дальність польоту і форма викиду інгібітора в навколишнє середовище, об'єм інгібітора, який залишився в контейнері після спрацювання ВПП. Особливий контроль при дослідіах був на можливий викид полум'я із контейнера.

Для аналізу фізичних процесів, які проходять при спрацюванні ВПП, були розроблені математичні моделі та математичні програми мовою програмування TURBO PASCAL, розрахунки за якими виконувались на персональних комп'ютерах.

Процеси детонації порохового заряду в розрядній камері описувались рівняннями газодинаміки з детонацією в лагранжевій системі координат для однієї просторової

змінної. Для розв'язування системи рівнянь застосовувалась чисельна схема "хрест". Була встановлена оптимальна маса порошу (212 г) у порохомому заряді: для ВПП-30. Така маса порошу забезпечувала найбільш оптимальний і безпечний викид інгібітора без викиду полум'я. Результати розрахунків свідчать про те, що цю стадію процесу можна замінити стадією адіабатичного розширення продуктів вибуху з показником адіабати  $\gamma = 1,2$ .

Окремо виконувались розрахунки на міцність матеріалу розрядної камери та оптимальність її конструкції. Закон Гука для опису пружної стадії процесу записувалась у вигляді зв'язку девіаторів тензора напруг і швидкостей, а для пластичної стадії використовувалась модель пластичності Мізеса.

В адіабатичному наближенні виконувались розрахунки діаметрів отворів патрубків і стадії викиду інгібітора із контейнера. Процеси турбулізації порошку через складність моделі турбулентності і нестачі експериментальних даних не враховувались. Був проаналізований вплив сил гравітації на форму викиду інгібітора, тому що за існуючою технологією заповнення контейнера ВПП інгібітором у верхній частині біля діафрагми обов'язкового виникає невелика порожнина незаповнена інгібітором. У результаті розрахунків були вибрані оптимальні діаметри отворів у патрубках для різних моделей ВПП (ВПП-30, ВПП-5) та проаналізована міцність матеріалу дифузора, який деформувався в перших дослідах з ВПП-30. Товщина дифузора була збільшена на 1 мм.

На останньому етапі були виконані розрахунки швидкості руху інгібітора, тому що безпечна швидкість руху інгібітора для людини складає 40 м/с.

У результаті проведених досліджень загальна маса ВПП-30 зменшилась від 120 кг до 70 кг при тій самій ефективності гасіння, що крім економії матеріалів дає зручність застосування в умовах шахтних виробок.

## **ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ „МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ”**

доц. Лепіхов О.І., викл. Шолопутов В.Д.

Однією з найважливіших складових курсу „Матеріали електронної техніки” є лабораторний практикум. Застосування комп'ютерних технологій при створенні лабораторного устаткування дозволяє підвищити ефективність вивчення відповідних розділів курсу, оскільки скорочується час на технічну роботу по обробці результатів експерименту. Комп'ютерні технології дозволяють збільшити інформаційну базу для теоретичної підготовки студентів із курсу „Матеріали електронної техніки”.

В КІ СумДУ створений комплект устаткування для лабораторії «Матеріали електронної техніки». Комплект побудований на засобах багатофункціонального комплексу ДЕКОНТ і складається з автоматизованого робочого місця студента, методичних вказівок для проведення лабораторного практикуму і програмного забезпечення. Автоматизоване робоче місце студента складається із ПЕВМ, контролера Decont-182, 8 - ми каналних модулів введення дискретної інформації DOUT8-R07 і введення аналогової інформації AIN8, мікропроцесорного пульта, перетворювача інтерфейсу RS-485 в RS -232, блоку живлення. ПЕВМ використовується для виконання функцій вимірювальних приладів і управління експериментами.

Основою для побудови програмного забезпечення служить сценарій експерименту, який формується при розробці циклу демонстраційних експериментів або робіт практикуму. Сценарій визначає режим передачі даних від вимірювального блоку в комп'ютер, типи датчиків, що використовуються, і канали вимірювального блоку, до яких

вони підключені, алгоритм первинної обробки даних, спосіб представлення даних на екрані в процесі проведення вимірювань, алгоритм обробки даних і вид висновків. Всі параметри установки, які необхідні для обробки даних і не змінюються в процесі експерименту, також вводяться в сценарій. Сценарій містить інформацію про діапазон параметрів, що вимірюються, межі осей координат графіків, що виводяться, колір ліній, написів на графіках і т. ін. Крім того, в сценарії зазначаються необхідні в даному експерименті операції по управлінню роботою вимірювальної системи і роботі з отриманими даними. Сценарії конкретних експериментів об'єднуються в підрозділи і розділи програми, а система меню забезпечує зручний доступ до будь-якого з них. Проведення експерименту здійснюється шляхом проходження послідовності певних етапів, які реалізовані в програмі у вигляді екранів вибору експерименту, настройки устаткування, проведення вимірювань і представлень результатів обробки даних. Сценарій експерименту являє собою певний порядок його проведення, підтримуваний комп'ютерною програмою і детально описаний у керівництві. Методичні рекомендації, супроводжуючі програму й устаткування, дають чіткі вичерпні рекомендації по підключенню комп'ютерної вимірювальної системи до зібраної експериментальної установки, порядку проведення експерименту і роботи з програмою. Такий підхід дозволяє максимально використовувати можливості комп'ютера як інструменту збору даних і представлення результатів, звести до мінімуму час, необхідний для настройки установки і вимірювальної системи в рамках заняття і при підготовці до нього. Разом із тим, майже в кожному циклі демонстраційних експериментів є пункт меню, що дозволяє викладачу зробити настройку вимірювальної системи і провести експеримент відповідно до своїх планів.



## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

доц. Лепіхов О.І., викл. Захарюгін О.Д.

Магнітна проникність феромагнітних матеріалів змінюється з температурою, набуваючи максимальних значень при температурах, близьких до температури Кюрі. Вище температури Кюрі феромагнетики переходять в парамагнітний (іноді в антиферомагнітний) стан. Лабораторний стенд для дослідження температурних залежностей магнітних матеріалів дозволяє зареєструвати зміну магнітної проникливості зразків.

Стенд складається із змінних датчиків, нагрівача, в який поміщають датчик з досліджуваного магнітного матеріалу та блоку контролю, який візуально дозволяє контролювати нагрів досліджуваного матеріалу до точки Кюрі.

Основою датчика є досліджуваний сердечник кільцевої форми з нікель-цинкового фериту M1200 NH1 з обмоткою. У складі стенду є два датчики з різними точками Кюрі (70 і 90<sup>0</sup>С). При збільшенні температури в нагрівачі датчик нагрівається і відбувається зменшення магнітної проникності його сердечника, а, відповідно, й зменшення його індуктивності. Унаслідок падіння індуктивного опору росте струм в ланцюзі датчика. При подальшому збільшенні температури відбувається збільшення споживаного струму від автогенератора, унаслідок чого його автоколивання зриваються і відповідне реле знеструмлюється та виключає пристрій індикації.

Стенд використовується при проведенні лабораторних робіт з предметів: «Матеріали електронної техніки» і «Електромагнітна техніка».

# МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ БАГАТОМЕТОДОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Головатий М.О.

При дефектоскопії чи при вимірюванні фізичних та геометричних параметрів металевих виробів значної довжини в реальних умовах на результати вимірювань в значній мірі впливають зовнішні фактори: температура, вологість, замисленість, тиск, механічне навантаження. В такому випадку раціонально застосовувати багатометодові вимірювання.

Кожен з методів використовує залежність вимірювальної величини від різних фізичних величин, наприклад, магнітної проникливості, електричної провідності, ступеню нагріву досліджуваного об'єкта, проникливості ультразвуку, рентгенівського та гама-випромінювання.

За результатами вимірювань складають таблицю впливаючих величин та методів вимірювання на прямому симплексі, зворотному симплексі, а за результатами обробки двох симплексів формують комплекс, опрацювавши який, одержують результат вимірювання заданої фізичної величини, в якому враховані похибки від зазначених вище впливаючих факторів.

Такий спосіб обробки результатів вимірювання став можливим з появою сучасних процесів. Швидкість вимірювання чи контролю обмежена лише інерційністю вимірювальних перетворювачів.

1. Планирование и организация измерительного эксперимента / Е.Т. Володарский, Б.Н. Малиновский, Ю.М. Туз. – К.: ВШ Головное издательство, 1987.

# РОЗРАХУНОК ОБ'ЄКТИВНОЇ ЛІНЗИ З МАЛИМ КОЕФІЦІЄНТОМ СФЕРИЧНОЇ АБЕРАЦІЇ

*маг. Жосан П.М., доц. Зелев С.П.*

У багатьох наукових лабораторіях намагаються скорегувати сферичну аберацію магнітних лінз просвічуючих електронних мікроскопів. Так, Зелігер у 1980-х роках запропонував електронно-оптичну систему для корекції сферичної аберації, але з розвитком електронної мікроскопії дана система стала застарілою.

Сферична аберація залежить від розташування зразка в полі лінзи. Зразок бажано розміщувати посередині між передпллям і самою лінзою. Передплля може зменшувати діаметр зонду в 2 – 5 раз. При розрахунку об'єктивної лінзи були взяті параметри полюсного наконечника: діаметр верхнього отвору  $b_1=8$  мм, діаметр нижнього отвору  $b_2=4$  мм та діаметр бокового отвору  $S=3,5$  мм. Розрахунок вівся з урахування наведених параметрів  $j=7110$  Ав значення магнітної індукції  $B_0=1,67$  Тл. При прискорюючій напрузі  $U=125$  кВ розрахована величина коефіцієнту сферичної аберації складає 0,77 мм. Експеримент проводився за методикою Спенса [1] на острівцевих плівках золота. На дифракційній картині за допомогою світлопольного та темнопольного режиму виставляли зонд, а потім вимикали режим мікродифракції і робили знімки з подвійною експозицією в чотирьох ортогональних напрямках для уникнення дрейфу зображення. Результати експерименту добре співпадають з розрахунковими значеннями.

1. Спенс Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения: Пер. с англ. / Под ред. В.Н. Рожанского. – М.: Наука. Гл. ред: физ.-мат. лит., 1986. – 320 с

## СЕКЦИЯ „КОМПЬЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ” ПРИМЕР САР С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Студ. Алтынников С.В., доц. Самедов Ю.Ф.

Использование специальных структур и соответствующих алгоритмов управления являются одним из важнейших путей повышения качества работы систем в динамических режимах. За основу данной работы взята известная из учебников система с переменной структурой, в которой при больших ошибках рассогласования принимается структура с сильным регулятором, а при малых – со слабым регулятором.

Данная задача была обобщена и дополнена как для переходного процесса при набросе сигнала задания, так и при приложении нагрузки. Вначале анализ и моделирование рассматриваемого алгоритма переключения позволило сделать вывод о том, что при переключениях необходимо сохранять значение интегрирующей составляющей управляющего сигнала регулятора.

Моделирование проводилось как на алгоритмических языках программирования, так и в среде Matlab. Было показано, что общим случаем переходного процесса является процесс по нагрузке. В течении переходного процесса характерными являются не менее трех этапов: в первом этапе выходная величина отклоняется от заданного значения – ошибка рассогласования растет по абсолютной величине; во втором этапе выходная величина возвращается к заданному значению при все еще большом значении ошибки рассогласования; на третьем этапе выходная величина подходит к заданному значению при малой ошибке рассогласования.

Соответственно этим этапам и менялись настройки коэффициентов регулятора: на первом этапе устанавливались самые сильнодействующие значения; на втором этапе – менее резкие и на третьем этапе настройки, обеспечивающие не колебательный характер переходного процесса.

# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Студ. Гришина Е.В., доц. Баравой В.Т.

В настоящее время силовая электроника охватывает практически все сферы жизнедеятельности человека – топливно-энергетический комплекс, промышленность, транспорт, связь, авиацию, космос, военную технику, быт, электропривод.

Среди всех типов приборов силовой электроники доминируют два: полевые и биполярные транзисторы с изолированным затвором (MOSFET и IGBT) и интегрированные структуры на их основе – силовые интегральные схемы и гибридные модули. В современных полевых транзисторах используется технология утопленного канала (trench-gate), и сопротивление в открытом состоянии низковольтных MOSFET (до 200В) снижено более чем в 10 раз за последние годы. В ближайшее время на рынке могут появиться полевые транзисторы, управляемые рп-переходом (MOSFET) на базе карбида кремния (SiC), который обладает великолепным сочетанием свойств для применения в приборах силовой электроники:

- работа при высоких температурах (до 600-700°C);
- высокая теплопроводность (3-5 Вт/см град);
- большие плотности рабочих токов (1000 А/см).

Та же технология trench-gate успешно применяется в биполярных транзисторах IGBT и развита в настоящее время для IGBT на 600 и 1200 В.

Совершенствование новых поколений силовых приборов классов MOSFET и IGBT будет основано на:

- технологии тонких пластин;
- технологии суперпереходов;
- применении новых полупроводниковых материалов.

# МОДЕЛЬ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ОБЩИМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

студ. Крупник А.А., доц. Червяков В.Д.

Особенностью работы многодвигательных электроприводов (МЭП) постоянного тока с одним источником питания является одновременное нагружение электродвигателей. Это приводит к тому, что законы изменения частот вращения валов этих двигателей во времени не одинаковы и отличаются от заданных вследствие взаимного влияния двигателей через источник питания, напряжение которого зависит от токов якорей всех двигателей. Повысить точность реализации заданных законов движения двигателей можно путем соответствующим образом организованного управления их магнитными потоками, что является неоправданным усложнением для МЭП. Частичное и часто достаточное повышение качества процессов управления может быть достигнуто соответствующим выбором параметров силовых цепей электропривода, с целью ослабления взаимного влияния двигателей через общий источник питания. Оценить взаимное влияние двигателей МЭП можно с помощью математической модели силовой части электропривода в матричной форме. Построение такой модели, отличающейся от известных возможностью выделения структурных элементов, характеризующих взаимное влияние двигателей через общий источник, является актуальной задачей, решению которой посвящен настоящий доклад.

Построим математическую модель МЭП, воспользовавшись электрической схемой силовой цепи (рис. 1). В схеме рис. 1 приняты обозначения:  $R_u$  – внутреннее сопротивление источника;  $R_k, k = \overline{1, n}$  – сопротивление цепи якоря  $k$ -го двигателя;  $e_u$  – э.д.с. источника;  $e_k, k = \overline{1, n}$  – э.д.с. якоря  $k$ -го двигателя;  $L_u$  – индуктивность источника;  $L_k, k = \overline{1, n}$  – индуктивность цепи якоря  $k$ -го двигателя;  $i_u$  – ток источника;  $i_k, k = \overline{1, n}$  – ток в цепи якоря  $k$ -го двигателя;  $U$  – узловое напряжение.

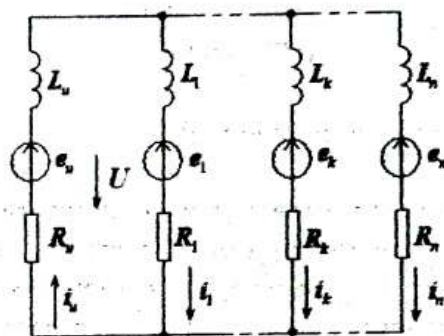


Рис. 1

Математическая модель МЭП представляется уравнениями электромагнитных и электромеханических процессов:

$$U = E_u - A_u I - B_u \dot{I}, \quad (1)$$

$$E_\delta = U - A_\delta I - B_\delta \dot{I}, \quad (2)$$

$$E_\delta = C_\delta \Omega, \quad (3)$$

$$M = C_\delta J, \quad (4)$$

$$M = M_c + J \dot{\omega}, \quad (5)$$

где  $I = (i_1, \dots, i_n)^T$ ,  $U = (U, \dots, U)$ ,  $A_u = (R_u, \dots, R_u)$ ,  $B_u = (L_u, \dots, L_u)$ ,  $E_\delta = (e_1, \dots, e_n)$ ,  $A_\delta = (R_1, \dots, R_n)$ ,  $B_\delta = (L_1, \dots, L_n)$ ,  $C_\delta = (c_f \Phi_1, \dots, c_n \Phi_n)$ ,  $\Omega = (\omega_1, \dots, \omega_n)^T$ ,  $J = (J_1, \dots, J_n)$ ,  $M = (M_1, \dots, M_n)^T$ ,  $M_c = (M_{c1}, \dots, M_{cn})^T$ ,  $c_k, k = \overline{1, n}$  - конструктивный коэффициент  $k$ -го электродвигателя;  $\Phi_k, k = \overline{1, n}$  - основной магнитный поток  $k$ -го двигателя;  $\omega_k, k = \overline{1, n}$  - угловая скорость вращения якоря  $k$ -го двигателя;  $M_k, k = \overline{1, n}$  - электромагнитный момент  $k$ -го двигателя;  $M_{c_k}, k = \overline{1, n}$  - статический момент на валу  $k$ -го двигателя;  $J_k, k = \overline{1, n}$  - момент инерции якоря  $k$ -го двигателя. Сложив (1) и (2), получим

$$\dot{I} = DE_u - DE_\delta - ZI, \quad (6)$$

$$\text{где } D = \left( \frac{1}{L_u + L_1}, \dots, \frac{1}{L_u + L_n} \right), \quad Z = \left( \frac{A_u + A_1}{B_u + B_1}, \dots, \frac{A_u + A_n}{B_u + B_n} \right).$$

Перепишем уравнение (2) в виде

$$\dot{I} = HU - HE_\delta - YI, \quad (7)$$

$$\text{где } H = \left( \frac{1}{B_1}, \frac{1}{B_2}, \dots, \frac{1}{B_n} \right), \quad Y = \left( \frac{A_1}{B_1}, \frac{A_2}{B_2}, \dots, \frac{A_n}{B_n} \right).$$

Перепишем (5) в виде

$$\dot{\omega} = MG - M_c G, \quad (8)$$

$$\text{где } G = \left( \frac{1}{J_1}, \frac{1}{J_2}, \dots, \frac{1}{J_n} \right).$$





Структурная схема МЭП представлена на рис.2. Она отличается от известных наглядностью процесса формирования общего управляющего воздействия – напряжения  $U$  как вектора с одним и тем же значением всех его компонент. Это позволяет произвести декомпозицию структурной схемы на функциональные структурные блоки-модели двигателей и источника с выходным сигналом  $U$ , и с помощью этой модели исследовать взаимосвязи двигателей через общий источник энергии. Структурная схема рис.2 универсальна в смысле применимости и для однодвигательного электропривода. Отличие будет заключаться лишь в том, что в уравнениях (1) – (7) для электропривода с одним двигателем (например, с условным номером 1) матрицы и векторы становятся одномерными:  $I = i_1$ ,  $U = U$ ,  $A_u = R_u$ ,  $B_u = L_u$ ,  $E_d = e_1$ ,  $A_d = R_1$ ,  $B_d = L_1$ ,  $C_d = c_1 \Phi_1$ ,  $\Omega = \omega_1$ ,  $M = M_1$ ,  $M_C = M_{C1}$ ,  $J = J_1$ ,  $D = \frac{1}{L_u + L_1}$ ,  $Z = \frac{R_u + R_1}{L_u + L_1}$ ,  $H = \frac{1}{R_1}$ ,  $Y = \frac{R_1}{L_1}$ ,  $G = \frac{1}{J_1}$ . Следовательно, в структурной схеме рис.2 для однодвигательного электропривода сигнальные связи будут одноканальными.

В результате эквивалентных преобразований она легко приводится к известной структурной схеме однодвигательного электропривода по схеме "управляемый преобразователь – двигатель постоянного тока" [1, с.228], что подтверждает достоверность схемы рис.2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилук та ін.; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.

# МЕТОД ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ПОСЛІДОВНОСТІ ПОМИЛОК У СИСТЕМІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

студ. Щокотова О.М.

Для забезпечення можливості спостережності процесу передачі дискретних повідомлень в адаптивних системах передачі даних (СПД) необхідно визначення статистичних характеристик цього процесу. Одним з актуальних питань є побудова моделей помилок для інформаційних каналів (ІК) СПД, в більшій мірі об'єктивних і точних у порівнянні з відомими. Таку можливість дає застосування функції Вейбула [1], яка широко використовується в теорії надійності. Доповідь присвячено методу побудови моделі послідовності помилок в ІК СПД на підґрунті статистичного розподілу Вейбула.

Вихідна послідовність ІК формується як результат додавання по mod2 вхідної послідовності  $X_k$  і послідовності помилок

$$X_k + Z_k = Y_k \pmod{2}. \quad (1)$$

Відповідно до формули (1), кількість  $\xi$  помилок у прийнятому повідомленні  $Y_k$ , яку називають кратністю помилок [2], дорівнює числу елементарних символів послідовності помилок  $Z_k$ , що мають значення 1. Вичерпною статистичною характеристикою послідовності помилок  $Y_k$  є функція розподілу  $F_\xi(j)$  випадкової величини  $\xi$  [3], що дорівнює імовірності  $P_\xi(<j)$  події " $\xi < j$ ":

$$F_\xi(j) = P_\xi(<j), \quad j = 0, n. \quad (2)$$

Однак практичний інтерес уявляє не сама функція розподілу  $F_\xi(j)$ , а так звана функція помилок, що представляє собою закон розподілу імовірності події " $\xi \geq j$ ":

$$P_{\text{ош}}(j) = P_\xi(\geq j) = 1 - F_\xi(j), \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Цю функцію вважають статистичною моделлю послідовності помилок. Функція  $P_{\text{ош}}(j)$  в її області визначення  $j \in [0, n]$  дає зручну оцінку стійкості до впливу перешкод процесу передачі повідомлень в СПД. Не вимагає доказу рівність

$$P_{\text{ош}}(0) = P_\xi(\geq 0) = 1. \quad (4)$$

Не представляє технічної складності визначення "частоти" стирання повідомлень без перепитань (тобто заборони їхнього надходження в декодер). Тому можемо вважати відомою (вимірною) імовірність  $P_{\xi}(>r)$  події " $\xi > r$ " або, що те ж саме, імовірність  $P_{\xi}(\geq r+1)$  події " $\xi \geq r+1$ ", де  $r$  – виправляюча здатність коду. Інакше кажучи, у системах з вирішальним зворотним зв'язком і (або) блокуванням вимірно, принаймні приблизно, значення функції  $P_{\text{ош}}(r+1)$ . Однак закон розподілу помилок у цьому діапазоні не має практичного значення, у зв'язку з чим може бути прийнятий зручний з будь-яких розумінь вид функції  $P_{\text{ош}}(j)$  при  $0 < j < r+1$ . Зокрема, може бути прийняте визнане в теорії і практиці систем зв'язку показниковий розподіл [2]

$$P_{\text{ош}}(j) = (n/j)^{1-\alpha} p, \quad (5)$$

де  $\alpha$  - показник групування помилок;  $p$  - імовірність викривлення одного символу вхідної послідовності  $X_k$  каналу у припущенні незалежного розподілу помилок у цій послідовності, в процесі передачі її по каналу, який при цьому припущенні називають симетричним. Оскільки послідовності  $Y_k$  з числом виявлених помилок  $\xi_0 \leq r$  виправляються і декодуються так само, як і послідовності  $Y_k$  з невиявленими помилками, то цілком може бути прийнято рівність функції помилок одиниці на всьому інтервалі  $[0, r]$ :

$$P_{\text{ош}}(j) = 1, \quad j = \overline{0, r}. \quad (6)$$

Зауважимо, що для кодів, які лише виявляють помилку,  $r=0$ .

Таким чином, функцію помилок  $P_{\text{ош}}(j)$  на інтервалі  $[0, r+1]$  можна вважати спостережною, оскільки на інтервалі  $[0, r]$  вона визначається аналітично, а у точці  $j=r+1$  вона обчислюється приблизно по вимірюваній частоті стирань без перепитань. Приймаючи модель помилок на інтервалі  $[0, r]$  у вигляді (6), визначаємо умови впливу перешкод на канал як найбільш "важкі", оскільки в такому випадку припускається, що при виправляючій здатності коду, рівної  $r$ , кожна послідовність  $Y_k$  містить помилку кратності  $j \geq r$ . У точках  $\xi \geq r+1$  модель (6) застосовувати вже неприпустимо через можливість багаторазового завищення оцінки значення функції  $P_{\text{ош}}(r+1)$ , що може привести до прийняття нерационального рішення про необхідність збільшення виправ-

ляючої здатності коду для досягнення необхідного значення вірності передачі повідомлень по даному каналу. Для одержання значення  $P_{om}(r+1)$  варто прийняти строго рівність

$$P_{om}(r+1) = 1 - P_e, \quad (7)$$

де  $P_e$  – вірність передачі повідомлень.

Для ідентифікації функції  $P_{om}(j)$  у реальній СПД досить, у залежності від обраного типу моделюючої функції, знати значення  $P_{om}(j)$  для двох–трьох значень  $j$ . Два значення ми завжди маємо, це  $P_{om}(r)$  і  $P_{om}(r+1)$ . У якості третього зручно прийняти значення  $P_{om}(n)$ , що дорівнює імовірності повної інверсії сигналу  $X_k$ . Імовірність  $P_{om}(n)$  можна визначити технічними засобами, але цілком можна прийняти  $P_{om}(n)=0$ , оскільки в реальних СПД при великих значеннях  $n$  повна інверсія сигналу  $X_k$  практично виключена.

Аналіз спостереження результатів впливу перешкод на корисний сигнал дає підстави затверджувати, що незалежно від способу кодування повідомлень, симетричності і стаціонарності каналу мають місце такі закономірності:  $P_{om}(0)=1$ ; функція  $P_{om}(j)$  являється незростаючою при невеликих значеннях аргументу  $j$ , а при достатньо великих значеннях  $j$  – спадаючою та строго випуклою. Отже, функція  $P_{om}(j)$  може мати точку перегибу при деякому (невеликому) значенні  $j=j' \geq 0$ ; при  $0 < j < j'$  функція  $P_{om}(j)$  являється впалою [2]; чим більша довжина  $n$  кодових комбінацій, що передаються, тим більше середнє статистичне число елементарних сигналів, що викривляються перешкодами (шумом). Це значить, що характер функції  $P_{om}(j)$  залежить від параметру  $n$  таким чином, що для двох кодових комбінацій довжиною  $n_1$  та  $n_2$ , при  $n_2 > n_1$  та  $j' \leq j \leq n_1$  має місце нерівність

$$P_{om,2}(j) > P_{om,1}(j), \quad (8)$$

де  $P_{om,1}(j)$  та  $P_{om,2}(j)$  – імовірності подій  $\xi \geq j'$  при  $n=n_1$  та  $n=n_2$  відповідно; ймовірність  $P_{om}(n)$  інвертування значень усіх елементарних символів, що передаються кодовою комбінацією  $X_k$  значно менше одиниці та тим менше, чим більше довжина  $n$  послідовності  $X_k$ . Отже,  $P_{om}(n) \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ .

В якості класу законів розподілу, відповідаючих описаним закономірностям, пропонується вибрати розподіл Вейбула

[1], модифікований шляхом масштабування значень експоненціальної функції:

$$P_{\text{ош}}(j) = \begin{cases} 1 & \text{при } j \leq r, \\ \alpha \cdot \exp\left\{-((j-\mu)/\sigma)^{\nu}\right\} & \text{при } j \geq r+1. \end{cases} \quad (9)$$

Тут  $\mu$  – параметр зсуву ( $0 \leq \mu \leq j$ ),  $\nu > 0$  та  $\sigma > 0$  – параметри форми кривої розподілу,  $\alpha > 0$  – параметр масштабу експоненти (власне розподіл Вейбула має місце при  $\alpha=1$ ). Тут ми прийняли, що число викривлених символів не менше ніж  $r$ , тобто здатність виправлення коду погоджена з агресивністю перешкод у найбільш "жорсткому" варіанті. Цей же факт відображає й рівність (6).

Вибір значення параметра зсуву  $\mu$  природно поставити в залежність від виправляючої здатності коду. Очевидно, варто задати  $\mu < r+1$ . Чим більше значення  $\mu$ , тим вище агресивність перешкод, оскільки зі збільшенням  $\mu$  зростають значення  $P_{\text{ош}}(j)$  при  $j \geq r+1$ .

Можливість завдання практично будь-якого закону розподілу помилок виду (9) забезпечується варіацією параметрів  $\sigma$ ,  $\mu$  і  $\nu$ . Для одержання значення  $P_{\text{ош}}(r+1)=1-P_e$  треба застосувати масштабування функції  $P_{\text{ош}}(j)$  при  $r+1 \leq j \leq n$  за допомогою масштабного коефіцієнта  $\alpha$  за правилом

$$\alpha = (1-P_e) / \exp\left(-((r+1-\mu)/\sigma)^{\nu}\right). \quad (10)$$

Доповідь проілюстровано графіками функції помилок при варіації параметрів  $\sigma$ ,  $\mu$ ,  $\nu$  і  $\alpha$ , що підтверджує можливість ідентифікувати будь-яку функцію помилок в реальних СПД на підставі результатів її іспитів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Математическая энциклопедия. /Ред. коллегия: И.М. Виноградов (глав. ред.) [и др.] Т.1 – М.: «Советская Энциклопедия», 1977. – с.793.
2. Элементы теории передачи дискретной информации / Под ред. Л.П.Пуртова. – М.: Связь, 1972.
3. Ивашев– Мусатов О.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ И ЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИМИ АГРЕГАТАМИ

Студ. Петрюченко И.Г., Сухомлин Н.А., доц. Самедов Ю.Ф

Развитие и реконструкция газовой промышленности связано с созданием нового оборудования и с совершенствованием САУ ими. В работе содержатся основы разработки САУ ГПА, приведены программно-технические средства системы управления и ее структура, описание противоположного регулирования нагнетателя, основы построения логической системы управления, контроля, сигнализации и защиты агрегата.

Система автоматического управления является представителем нового поколения управляющих систем, выполненных на базе программно-технических средств Series 4. Эта стандартная система для оснащения ГПА позволяет обеспечить выпуск автоматизированных турбокомпрессорных агрегатов в полной заводской готовности.

Единая система управления, выполняющая все функции обеспечения работы ГПА, заключается в интегрированном подходе к комплексному управлению технологической системой турбоагрегатов. Такая САУ предназначена для выполнения следующих функций:

- управление и защита ГПА с его вспомогательными механизмами и устройствами на всех режимах;
- автоматическое регулирование и ограничение параметров двигателя нагнетателя;
- непрерывный контроль, индикация и регистрация технологических параметров с предоставлением необходимой информации оператору.

В САУ имеется возможность связи с вышестоящим (цеховым, станционным) уровнем управления для обеспечения работы в составе цеха или станции.

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И АНТИПОМПАЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Студ. Снижко А.А., ст. преп. Павлов А.В.

Газоперекачивающий агрегат является очень сложным объектом, работающим в сложных условиях эксплуатации. В свою очередь это находит свое отражение в системе управления, обеспечивающей его бесперебойную эксплуатацию и предупреждение аварийных ситуаций в работе компрессора.

С этой целью производится непрерывный контроль технологических параметров агрегата с выводом результатов на монитор оператора. Эти функции выполняет программно-аппаратный модуль SERIES 4. К основным функциям управления относятся:

- подготовка агрегата к пуску;
- холодная прокрутка агрегата;
- автоматический пуск агрегата;
- нормальный останов;
- аварийный останов;
- управление расходом топлива двигателя;
- антипомпажное регулирование нагнетателя;

Особое внимание уделяется компрессорному блоку как основой и наиболее важной части ГПА. В частности проводится контроль помпажа и антипомпажное регулирование компрессора. Эти функции выполняет регулятор антипомпажный в составе логического модуля GTLC. Система управления обрабатывает полученные параметры, оценивает состояние ГПА в целом, определяет близость к границе помпажа и в зависимости от этого применяет соответствующий закон регулирования. Также все эти параметры выводятся на операторскую панель, где технолог имеет возможность их отследить и проконтролировать.

# ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ С ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Зав. лаб. Темченко С.А., ст. преп. Павлов А.В.

Разбросы параметров объекта управления, которые возникают во время его работы, негативно влияют на показатели качества системы. Для уменьшения этого вредного эффекта используют адаптивное управление, которое подстраивает корректирующее звено, заграждающий фильтр и цепь обратной связи, используя информацию о поведении объекта управления.

По методу получения этой информации адаптивные САУ разделяют на три типа. Первый тип использует показания датчиков параметров среды и известные зависимости параметров объекта управления от параметров среды. Второй тип использует реакции объекта управления на команды или возбуждения. Третий тип использует реакции системы на специально генерируемый пробный сигнал.

В данной работе значительное внимание уделено 3-му типу адаптации. При таком способе идентификации состояния системы с целью ускорения процессов самонастройки, повышения их достоверности предлагается включить в основной контур регулирования заграждающий фильтр, настроенный на частоту пробных колебаний. Такое включение обычно не приводит к существенному ухудшению динамических характеристик основного контура, позволяя в то же время сохранить процесс управления объектом. Этот принцип получил название принципа частотного разделения каналов управления и самонастройки, или частотно-зависимой обратной связи (ЧЗОС).

В работе предложены схемы построения адаптивных регуляторов с пробным гармоническим сигналом. Следует отметить наличие цифрового заграждающего фильтра в основном контуре регулирования в рассматриваемых структурах адаптивных регуляторов. Данные преимущества использования самонастраивающихся систем показывают перспективность развития адаптивной теории управления.



ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
ПО СИСТЕМЕ "КВАЗИЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ -  
АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ" ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН  
С ТЯЖЕЛЫМИ УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Каваре Я.Х., аспирант

Высокая жесткость механических характеристик асинхронного двигателя (АД) в квазичастотном режиме позволяет получать стабильную частоту вращения ротора АД без применения обратных связей по скорости и в широком диапазоне моментов сопротивления, а увеличение (примерно в 2 раза) максимального момента позволяет применять АД для преодоления моментов сопротивления, существенно превышающих паспортное значение критического момента. Значимым преимуществом является возможность бесконтактного реверсирования двигателя при работе в квазичастотном режиме. Таким образом, чередование ступеней малых скоростей привода при повышенном моменте может быть использовано для автоматизации процесса разблокирования трансмиссии привода, что актуально для электроприводов транспортных установок (например, конвейеров для транспортировки сыпучих материалов).

Опыт эксплуатации конвейеров для транспортирования сыпучих материалов свидетельствует о частых перегрузках их электроприводов, вызванных стопорениями рабочих органов. Тяжелые условия эксплуатации обусловлены, в частности, тем, что конвейер зачастую выполняет роль накопителя транспортируемого сыпучего материала в случае, если происходит отключение привода до освобождения става от имеющегося на нем груза. Если груз изначально влажный, то находясь длительное время на стае конвейера, он слеживается. В результате существенно повышается момент сопротивления, что зачастую препятствует пуску АД. Разблокирование электропривода вручную - трудоёмкий процесс, сопряженный со значительными простоями объекта. Поэтому разработка технических решений, позволяющих выявить подобную перегрузку и автоматизировать процесс разблокирования привода - актуальная задача.

Возможности квазичастотного принципа управления АД позволяют решить поставленную задачу путем кратковременного включения АД на напряжение частоты модуляции ( $f_m$ ) 7,14 Гц, а спустя кратковременную паузу, на напряжение частоты модуляции 10,00 Гц обратного порядка чередования фаз. Схема реализации способа приведена на рис. 1. Ее принцип действия поясняется диаграммой (рис. 2).

Сигнал о несостоявшемся пуске привода может быть сформирован блоком токовой защиты (БТЗ) с плавающей уставкой по потребляемому току АД. В частности, при пуске АД эта уставка ( $I_{уст}$ ) должна превышать 1,2 пускового тока (что соответствует обычной уставке срабатывания максимальной токовой защиты). По истечении времени 5 с уставка снижается до 1,5 от номинального тока АД. Если к этому времени разгона АД не произойдет, его ток останется на уровне пускового, что и приведёт к срабатыванию защиты ( $I_{уст} < I_{АД}$ ). По команде БТЗ блок управления режимами (БУР) формирует команду на отключение шунтирующего контактора КМ и далее, - команды по программе с соответствующими продолжительностями в последовательности: “пауза” – “ $U_{10}$  - квазичастотное электропитание  $f_m = 10,00$  Гц” (откат назад на малой скорости) – “пауза” - “ $U_7$  - квазичастотное электропитание  $f_m = 7,14$  Гц” (движение вперёд на малой скорости) – “пауза” – “ $U_{КМ}$  - включение контактора КМ” (повторный пуск привода).

Для формирования управляющих импульсов квазичастотного режима электропитания АД предусматривается блок квазичастотного управления (БКУ). Гальваническую развязку и усиление выходных сигналов последней осуществляет выходной развязывающий блок (ВРБ), который строится на основе трансформаторной или оптронной развязки.

Предложенный вариант системы электропривода может найти широкое применение в технологических установках с тяжелыми условиями пуска асинхронных электродвигателей, например, в приводах крупных компрессоров и насосов, работающих в условиях холодного климата, центрифугах сахаропесочного производства и др.

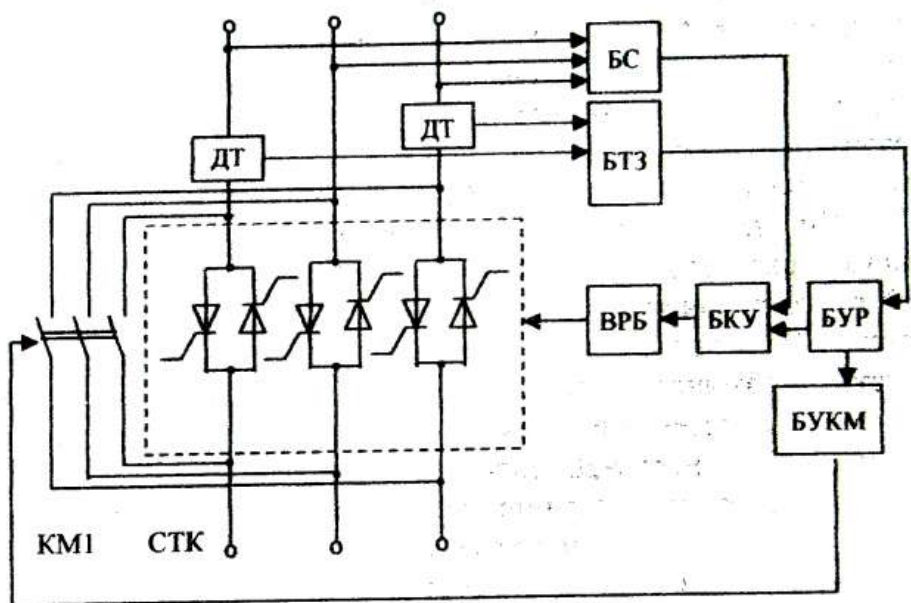


Рис. 1

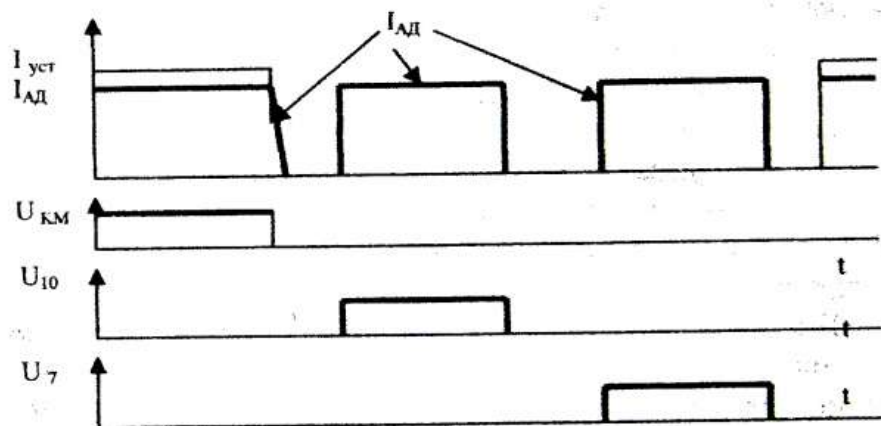


Рис. 2

# МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА НА БАЗІ PDM ТА ERP-СИСТЕМ

Толбатов В.А.

Аналіз підходів щодо впровадження CALS технологій на підприємствах показує, що існує велика кількість підходів, методів та технологічних рішень, які безпосередньо або опосередковано відносяться до робіт по створенню інтегрованого інформаційного середовища (ІІС). Однак вони не інтегровані на рівні методологій і, як результат, можна спостерігати велику кількість методологій, де основний акцент зроблено на побудову ІІС підприємства з нуля. Слід відмітити, що більшість сучасних вітчизняних підприємств вже використовують частково автоматизовані бізнес-процеси, які як правило мають розрізнені бази даних, тобто існує нагальна потреба в їх інтеграції в ІІС з використанням нових систем класу PDM, ERP (MRP, MRPII).

Таким чином, в ситуації, яка склалася щодо методів та підходів побудови ІІС підприємств машинобудівної галузі необхідно дослідити та переосмислити підходи, які вже існують, що робить розробку методики побудови ІІС підприємства актуальною задачею, яку і вирішує автор в своїй роботі.

Автором розглядається питання створення ІІС, яке поєднує інформаційні системи для автоматизації етапів життєвого циклу (ЖЦ) виробу: системи управління маркетингом; CAD/CAM/CAE; PDM; ERP (MRP, MRPII) в рамках процесу впровадження CALS технологій на конкретному підприємстві машинобудівної галузі. Методика

створення ІС підприємства (рис.1) представлена у вигляді діаграми IDEF3, як послідовність кроків, які реалізують методологію CALS щодо інформаційної підтримки ЖЦ виробу.

Детальний розгляд кожного з етапів побудови ІС, здійснений автором, та розробка конкретних алгоритмів та моделей для реалізації зазначених етапів мають велику практичну цінність для системних аналітиків, керівництва підприємств машинобудівної галузі та фахівців робочих груп розробки ІС для розробки коректну стратегію інформаційної інтеграції та плану впровадження ІС на підприємствах з урахуванням його ресурсів та цілей.

Розроблена методика побудови ІС підприємства дозволить зробити процес впровадження ІС на підприємствах машинобудівної галузі прозорим і зрозумілим для всіх його учасників за рахунок чіткої формалізації всіх етапів та розмежування границь між ними в часі (рис.2).

Аналіз методики дозволяє зробити висновок про те, що створення ІС підприємства машинобудівної галузі виходить далеко за межі установки програмного забезпечення і передбачає великий об'єм попередніх робіт, пов'язаних з детальним аналізом та реінжинірингом бізнес-процесів та навчанням персоналу роботі з системою. Реорганізація бізнес-процесів здійснюється в першу чергу для того, щоб підвищити ефективність діяльності підприємства, а не для того щоб підігнати бізнес-процеси під функціональність системи. Автоматизувати неефективні бізнес-процеси немає ніякого сенсу.

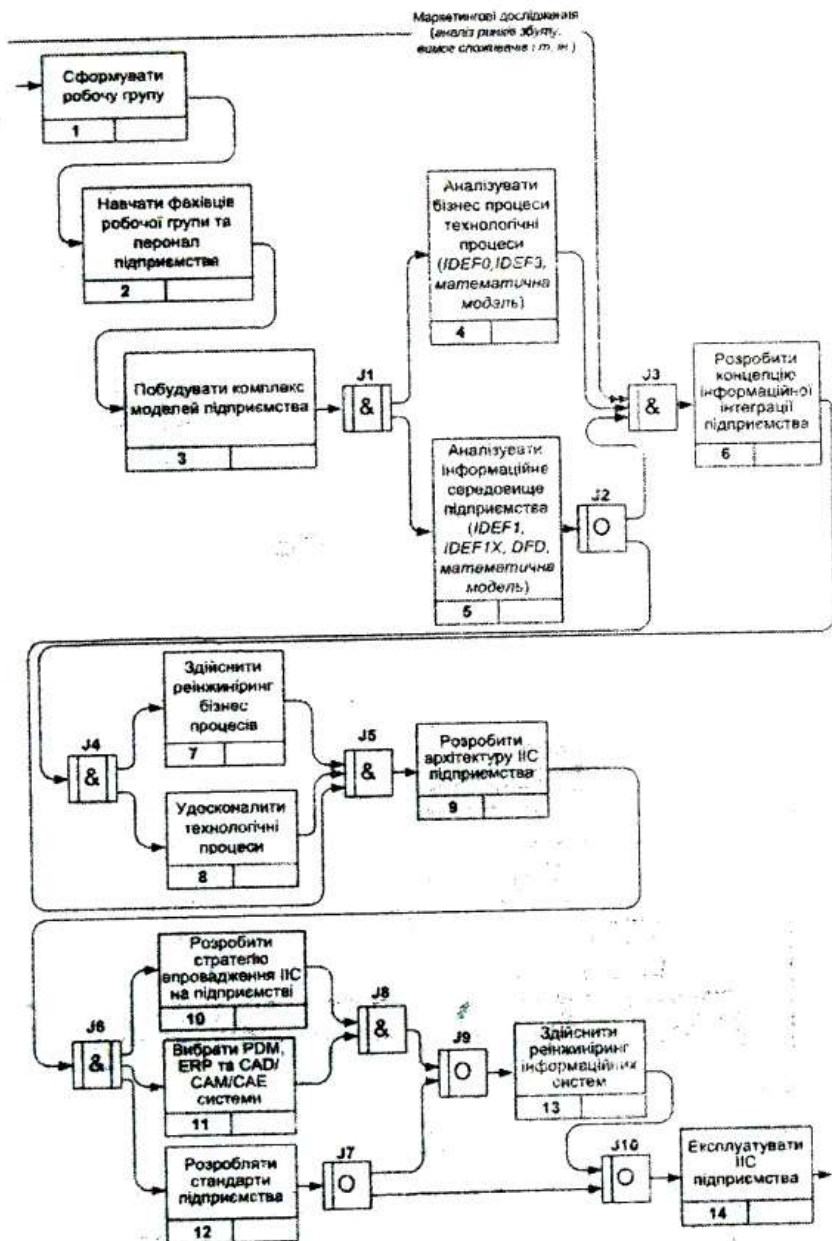


Рисунок 1 - IDEF3-діаграма методики побудови ІІС підприємства машинобудівної галузі

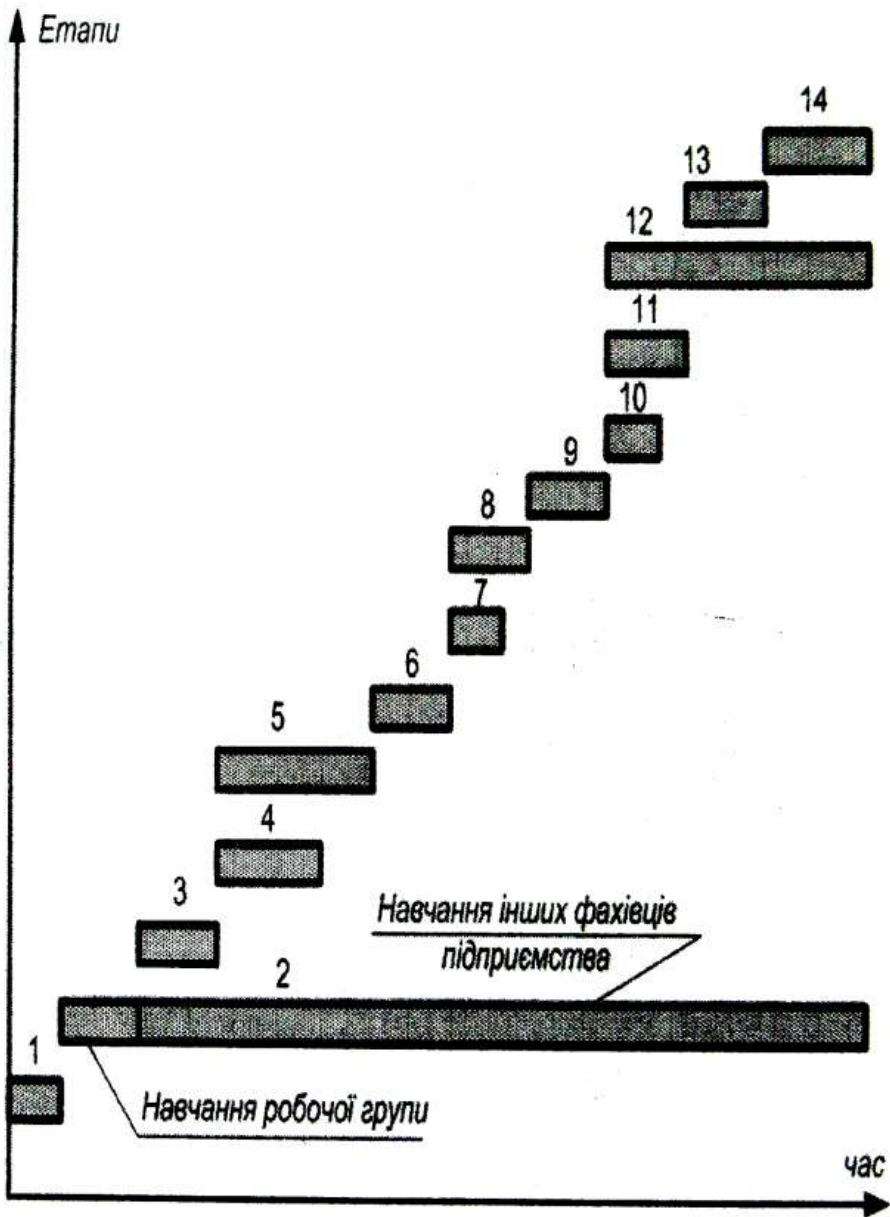


Рисунок 2 - Розподіл етапів побудови ІІС підприємства в часі

# РЕІНЖИНІРИНГ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЯК СКЛADOVA РЕІНЖИНІРИНГУ ПІДПРИЄМСТВА МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Толбатов В.А.

Реінжиніринг визначається як “фундаментальне переосмислення та радикальне перепроєктування бізнес-процесів компаній для досягнення докорінного покращення в основних актуальних показниках їх діяльності: вартість, якість, послуги та темпи” [1].

Створення інтегрованого інформаційного середовища підприємства починається з реінжинірингу – кардинальної революційної перебудови процесів підприємства, що пов’язані з переходом на нові принципи його побудови.

Автором коротко проаналізовані умови для успішної реалізації проєкту з реінжинірингу в умовах сучасного машинобудівного підприємства [2].

Для найбільш повного опису бізнес-процесів підприємства автором пропонується використовувати імітаційне моделювання, яке забезпечує не тільки найбільш глибоке представлення моделей для користувачів, але й найбільш повні засоби для аналізу цих моделей. Моделі створюються у вигляді потокових діаграм, де представлені основні робочі процедури, які використовуються на підприємстві, описано їх поведінка, а також інформаційні і матеріальні потоки між ними.

Слід зазначити, що хоча імітаційні моделі й забезпечують найбільшу детальність в описанні поведінки процесів (в тому числі і технологічних), їх побудова пов’язана з великими трудовитратами та є доволі складним процесом, а їх аналіз, як правило, виходить за рамки простого збору статистики за термінами та вартостями і вимагає від



користувача спеціальної підготовки.

Зазначені труднощі на шляху створення імітаційної моделі долаються використанням більш простих аналітичних моделей (особливо для аналізу технологічних процесів) з достатнім рівнем точності, або ж використанням методів інженерії знань.

Реінжиніринг бізнес-процесів підприємства займає досить великий відрізок часу. Аналіз існуючих процесів підприємства і побудова нових бізнес процесів є кропіткою роботою цілих колективів [3]. В якості приклада автором запропоновано декілька діаграм, які безпосередньо розкривають процес виробництва продукції за замовленням клієнта.

Реінжиніринг не можна спланувати детально і виконати дрібними й обережними кроками. Це пропозиція виду "все або нічого" з невизначеним результатом. Проте, у більшості компаній просто немає вибору – треба набратися сміливості і почати роботу. Для багатьох реінжиніринг – це єдина надія порвати з застарілими процесами, що тягнуть їх на дно.

## Література

1. Робсон М., Уллах Ф. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес процессов/ Пер. с англ.–М.: Аудит; ЮНИТИ, 1997.–224 с.
2. Толбатов В.А. Алгоритм побудови моделі підприємства машинобудівної галузі. Вісник Сумського державного університету. Серія технічні науки №9(81)' 2005, Суми, СумДУ, 2005.
3. Левин А.И., Окулесский В.А., Юденков А.Г. Количественная оценка характеристик бизнес-процессов в функциональных моделях сложной структуры// НИЦ CALS технологий. М.: Москва, 2001. – 24 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ LOGO! ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОТАМИ

Студ. Сніжко А.А., Гримайло С.В., ст. викл. Панич А.О.

В лабораторії кафедри поряд з іншим навчальним обладнанням застосовуються пневматичні промислові роботи ПР5-2Е. Керування даними роботами відбувається за цикловим за часовим принципом через блок пневморозподільників. В якості системи управління використовується контролер МКП-1, що побудований на базі мікропроцесора КР580. Програма вводиться в пам'ять контролера шляхом послідовного набору команд на клавіатурі пульта управління.

На теперішній час контролер МКП-1 являється морально та фізично застарілим, що значно знижує ефективність навчального процесу та ускладнює його експлуатацію. Через це було вирішено позбутися старої системи управління та побудувати нову на базі інтелектуального модуля LOGO! фірми Siemens, що буде одночасно керувати двома роботами.

LOGO! – це універсальний логічний модуль, він включає в себе блок управління, блок живлення (24 В), панель управління, інтерфейси для модулів розширення, може приймати 8 вхідних сигналів та має 4 виходи, інтерфейс для програмного модуля і кабелю РС та багато іншого. LOGO! дає можливість вирішувати багато технічних задач, таких як електрообладнання житлових приміщень, управління машинами і апаратами, реалізація спеціальних систем управління в теплицях, попередня обробка сигналів управління при підключенні комунікаційного модуля, реалізація централізованого управління машинами і процесами на робочому місці. Основними його перевагами є простота, дешевизна і компактність.

Програмування LOGO! здійснюється на мові функціональних блоків, які розділені на кілька розділів: основні функції, спеціальні функції, комунікація, та містить блоки таймерів, реле. Сам модуль має варіант виконання з вбудованим дисплеєм та клавішами для введення програм вручну, а також спеціальний вхід для підключення до персонального комп'ютера або комунікації з картою пам'яті. Також існує можливість написання програм безпосередньо на персональному комп'ютері за допомогою Logo Soft Comfort.

Програма Logo Soft Comfort має зручний інтерфейс та надає можливість тестування написаних програм і виправку їх в модуль. При програмуванні за допомогою Logo Soft Comfort можна виділити такі етапи роботи:

- розробляється комутаційна програма;
- шляхом емуляції на комп'ютері імітується робота комутаційної програми для перевірки правильності її роботи та виправлення помилок;
- за необхідності програма може бути роздрукована, до неї можуть бути додані коментарі;
- готова програма зберігається у вигляді файлу на комп'ютері;
- за допомогою спеціального кабелю програма пересилається в LOGO!.

Слід зазначити, що наявність в Logo Soft Comfort режиму емуляції значно підвищує зручність використання LOGO! в навчальному процесі, тому що це надає можливість швидко перевіряти програми, складені студентами та прискорює процес налагодження.

Для застосування в навчальному процесі розроблені завдання різного рівня складності, а також приклади програм.

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СТЕНДА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ ЛЕТУЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Студ. Гребнева Т.А., ст. викл. Панич А.О.

Летучі механізми являють собою робочі машини, які застосовуються в багатьох галузях промисловості для обробки різноманітних виробів, що рухаються, без їх зупинки. Вони мають у своєму складі декілька виконавчих механізмів, серед яких окремо виділяється несучий орган. У загальному випадку необхідно керувати положенням, швидкістю та зусиллям привода несучого органа, який найчастіше являється електричним.

З метою дослідження алгоритмів керування несучим органом летучих механізмів запропонований лабораторний стенд, що складається з механічної частини, приводу зчеплення, двох електродвигунів, датчиків положення, перетворювачів для керування двигунами, потужного контролера та операторської панелі.

Система управління стенду має дворівневу структуру. Верхній рівень реалізує досліджувані алгоритми та контролює параметри процесу, він базується на контролері серії SIMATIC S7-400 з функціональним модулем FM 458-1DP та модулем розширення EXM 438-1. Для відображення інформації та зручного керування установкою застосовується сенсорна операторська панель TP270.

Нижній рівень реалізує контури управління швидкістю та представлений перетворювачами серії SIMOVERT MASTERDRIVE MC з синхронними двигунами 1FK6, які обладнані імпульсними датчиками. Перетворювачі являють собою два інвертори з загальним AFE-блоком живлення-рекуперації. Використання таких перетворювачів дозволяє реалізовувати та досліджувати енергозберігаючі алгоритми управління.

# ОСНОВИ МЕТОДИКИ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДИСКРЕТНИХ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Ас. Толбатов А.В.

При обробці даних виникає необхідність обчислення статистичних оцінок різних параметрів, що характеризують сигнали управління в АСУ газотурбінних електростанцій (ГТЕ) [1]. Для обґрунтування вказаної методики наведемо у сконцентрованому виді відповідні теоретичні результати, терміни і визначення, необхідні при означеннях точкових та інтервальних оцінок.

Статистичне оцінювання є завершальним етапом визначення параметрів і характеристик випадкових процесів і є їхньою невід'ємною частиною. Цей етап називають також статистичною обробкою експериментальних даних. Від правильності цієї обробки і від вибору методів і алгоритмів визначення оцінок у значній мірі залежить успіх і точність отриманих результатів вимірювань. Зокрема, методичні погрішності можуть виникати саме за рахунок застосування недосконалої методики статистичного оцінювання.

Статистичне оцінювання можна умовне розділити на параметричне і непараметричне. Зупинимось більш детально на параметричному оцінюванні, яке можна умовно розділити точкове та інтервальне.

Розглянемо побудову точкових та інтервальних оцінок вимірюваного числового чи векторного параметра, а також на їхніх властивостях. Припустимо, що спостереженню піддається деяка випадкова величина  $\xi(\omega)$ , з функцією розподілу  $F(x, \theta)$ , де  $\theta$  - деякий невідомий параметр, що підлягає статистичній оцінці за результатами вимірювань реалізацій  $\xi(\omega)$ . Передбачається також, що  $F(x, \theta)$  - відома з точністю до  $\theta$  функція розподілу. Якби  $\xi(\omega)$  була

детермінованою, то досить було б провести тільки один вимір, тобто всі наступні результати повинні цілком збігатися з результатом однократного виміру. На практиці така ситуація мало ймовірна, а якщо і спостерігається, те тільки у випадку дуже низької точності застосовуваних вимірювальних прикладів. Тому виникає питання, що вважати дійсним значенням випадкової величини.

Розглянемо конкретний приклад по побудові інтервальної оцінки. Нехай маємо вибірку з незалежними елементами  $\xi_j(\omega), j = \overline{1, n}$ . Для оцінки математичного сподівання гауссівської випадкової величини з відомою дисперсією  $\sigma^2$ , тобто  $\xi \in N(\theta, \sigma^2)$ , треба побудувати довірчий інтервал із заданим довірчим коефіцієнтом  $\gamma$ .

Позначимо через  $N(\theta, \sigma^2)$  гауссівські величини з математичним сподіванням  $\theta$  і дисперсією  $\sigma^2$ . При цьому випадкова величина  $v_1$ ,

$$v_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

Маємо також гауссівський розподіл  $N(\theta, \sigma^2/n)$ . Це видно з характеристичної функції

$$Me^{iuv_1} = \prod_{j=1}^n Me^{i(u/n)x_j} = e^{i(u/n)\theta - (u/n)^2 n \sigma^2 / 2}$$

Тому нормовані відхилення  $\frac{v_1 - \theta}{\sigma} \sqrt{n}$  мають гауссівський розподіл  $N(0,1)$ , для якого по таблицях знаходимо довірчий коефіцієнт  $\gamma$  і визначаємо  $a_\gamma$ ,

$$P\left\{-a_\gamma \leq \frac{v_1 - \theta}{\sigma} \sqrt{n} \leq a_\gamma\right\} = \gamma.$$

Наприклад, при  $\gamma = 0,95$ ,  $a_\gamma = 1,96$ ; при  $\gamma = 0,99$ ,  $a_\gamma = 2,59$ .

Вираз у фігурних дужках можна перетворити так:

$$P\left\{v_1 - a_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \theta \leq v_1 + a_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right\} = \gamma.$$

Звідси можна відразу записати шукані границі довірчого інтервалу

$$T_n^{(1)} = v_1 - \Delta; T_n^{(2)} = v_1 + \Delta,$$

де

$$\Delta = \frac{T_n^{(2)} - T_n^{(1)}}{2} = a_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Використовуючи останній вираз, при заданому  $v$  обчислюємо необхідний обсяг вибірки для досягнення заданої точності при статистичній обробці по методу довірчих інтервалів. Відзначимо, що у випадку інтервального оцінювання або задається точність або визначаються двома числами  $\gamma$  і  $2\Delta$ , при цьому порівнювати точність для різних вимірювань можна тільки при одному з них фіксованому, тобто або  $\gamma$  або  $2\Delta$ .

### Література

1. Мацюк О.В., Приймак М.В., Толбатов А.В. Методологія статистичної обробки даних газоспоживання // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2004. – №4(13). – С. 80-84.

# АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ ERP-СИСТЕМ

Студ. Никитин В.Е., асс. Толбатов А.В.

Говоря о современном предприятии как объекте автоматизации, условно можно выделить две группы его задач: производственные и административные. Как уже видно из их названий, первая группа относится строго к производственной деятельности предприятия, а вторая - к административно-хозяйственной. Системы, решающие задачи управления производством называются автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП), а системы для управления административно-хозяйственной деятельностью - автоматизированными системами управления предприятием (АСУП).

В отличие от систем первой группы, имеющих важное значение только для предприятий с технологическими производственными структурами, решения второй группы потенциально могут применяться на всех предприятиях, они относятся к классу систем ERP (Enterprise Resource Planning - планирование ресурсов предприятия).

В соответствии со Словарем APICS, термин «ERP-система» (Enterprise Resource Planning — Управление ресурсами предприятия) может употребляться в двух значениях. Во-первых, это — информационная система для идентификации и планирования всех ресурсов предприятия, которые необходимы для осуществления продаж, производства, закупок и учета в процессе выполнения клиентских заказов. Во-вторых (в более общем контексте), это — методология эффективного планирования и управления всеми ресурсами предприятия, которые необходимы для осуществления продаж, производства, закупок и учета при исполнении заказов клиентов в сферах



производства, дистрибуции и оказания услуг. Таким образом, термин ERP может означать не только информационную систему, но и соответствующую методологию управления, реализуемую и поддерживаемую этой информационной системой.

ERP системы внедряются для того, чтобы объединить все подразделения компании и все необходимые функции в одной компьютерной системе, которая будет обслуживать текущие потребности этих подразделений.

ERP система автоматизирует задачи, встроенные в выполнение бизнес-процессов. При получении заказа от потребителя менеджер имеет всю информацию об отношениях с заказчиком и его кредитный рейтинг. Когда одно подразделение заканчивает работу с заказом, тот автоматически передается в следующее подразделение. При этом исключаются многократные ошибки ввода информации, потери документов и т.п. В итоге заказы обрабатываются быстрее и без ошибок. Аналогичные возможности возникают у многих других служб - службы персонала, производственного отдела, отдела маркетинга, службы снабжения. Единая информационная база позволяет учитывать взаимосвязь отдельных процессов, как, например, загрузка заказами на текущий месяц и график отпусков.

ERP система меняет отношение персонала в отдельности и служб в целом к своей работе. Теперь менеджеры, ведущие заказ, владеют информацией о его состоянии в каждый момент времени и по всем аспектам: поступила ли оплата за работу, достаточно ли комплектующих на складе, стоит ли в графике выполнения работ их заказ к нужному сроку. И если, например, склад не вовремя введет в систему информацию о запасах, то получивший запрос клиента менеджер, справившись в системе о состоянии склада, может ответить отказом на его обращение, увидев, что запас на складе недостаточен или

нужное изделие отсутствует. Тем самым ERP система повышает ответственность каждого за общее дело.

Внедрение закрытых ERP систем предполагает изменение внутренних процедур в компании, а также изменения в работе ее сотрудников. В связи со сложностью проекта сроки внедрения систем подобного рода достаточно большие (2-3 года).

Другие же ERP системы (более гибкие) можно с легкостью подстроить под работу сотрудников компании. Их настройка может осуществляться на любой дальнейшей стадии развития компании. И при этом нет необходимости привлекать консультантов фирмы, которая занималась внедрением, настройку сможет выполнить и администратор системы. Внедрение такой ERP системы займет от 6 до 18 месяцев.

*Компании выбирают ERP системы, исходя из трех основных соображений.*

#### *Объединение финансовых данных*

Когда управляющий хочет составить представление об общем положении дел в компании, он может получить много версий, и все они будут верны. Каждое подразделение ведет свой учет, каждое имеет свое мнение относительно вклада в общее дело, и далеко не всегда легко понять - затраты на маркетинг достаточны или избыточны, окупаются или нет. При использовании ERP системы затрудняются манипуляции с данными, поскольку данные едины и все подразделения используют одну и ту же систему.

#### *Стандартизация производственных процессов*

Производственные компании, особенно те, у которых много подразделений, географически удаленных, расположенных в разных странах и на разных континентах, осознают, что отдельные подразделения могут пользоваться разными методами учета, разными компьютерными системами, так что не всегда концы сходятся с концами.

Объединенная мультивалютная система позволяет сократить персонал и унифицировать учетные процессы. Развитие Internet обеспечивает простой доступ к данным из любого, самого удаленного места. Кроме того, когда производство конечного продукта раздроблено на производство комплектующих в разных местах, не менее важно обеспечить техническую совместимость, единство методов контроля, своевременность поставок партий сырья, заготовок, комплектующих.

#### *Стандартизация информации в системе кадров*

ERP система с успехом решает задачи объединения данных о персонале в различных подразделениях - кадровый подбор, перспективы роста, переподготовка и т.п. С помощью системы облегчается возможность связи с каждым сотрудником. Фактически ERP системы являются своеобразным компьютерным представлением способов ведения бизнеса различными компаниями. Каждая отрасль промышленности имеет свои особенности, поэтому разработчики систем ориентируют их на применение в различных областях, где их возможности будут проявлены максимально. Вот почему потребители из соответствующей отрасли промышленности требуют от разработчиков максимального соответствия их потребностям.

#### Современная структура модели ERP

Модель ERP включает в себя следующие подсистемы, которые часто называют также блоками или сериями:

- управление запасами;
- управление снабжением;
- управление сбытом;
- управление производством;
- планирование;
- управление сервисным обслуживанием;
- управление цепочками поставок;
- управление финансами.

# НОВАЯ ИНИЦИАТИВА КОМПАНИИ INTERNET SECURITY SYSTEMS ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДУЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Студ. Исаев С.А., асс. Толбатов А.В.

Угрозы, окружающие современные информационные системы, растут с астрономической скоростью. Состав преступников колеблется от неопытных недовольных пользователей, ищущих признания, до хорошо организованных организаций, использующих сложнейшие структурированные атаки для промышленного шпионажа. Вопросы, касающиеся защиты информации, являлись движущей силой, стоящей за образованием Комиссии по защите наиболее важных инфраструктур при Президенте США (United States President's Commission on Critical Infrastructure Protection). В своих первых материалах комиссия констатировала: "Возможность нанесения вреда - особенно через информационные сети - является реальной; она возрастает с угрожающей скоростью, и у нас небольшая защита против этого". Работы комиссии указывают на необходимость перехода на более высокий уровень совместного использования информации для улучшения понимания шагов, которые необходимо предпринять правительственным агентствам и корпорациям Америки для эффективной защиты сетевых ресурсов.

Проект Spotlight (Project Spotlight) – новая программа, которая решает эти вопросы и представляет первую официальную инициативу, направленную на информационное обеспечение как частного, так и общественного секторов о современном состоянии защиты информации.

Организаторами Project Spotlight стали ведущие компании, внесшие уникальный вклад в области защиты

информации: Client/Server Labs, первая испытательная лаборатория в области информационных технологий для проведения широкомасштабных проверок предприятия; компания Internet Security Systems, Inc. (ISS), ведущий поставщик средств адаптивного управления сетевой безопасностью, которые автоматически обнаруживают и реагируют на нарушения безопасности; META Group, ведущая фирма, занимающаяся исследованиями и предоставляющая аналитические услуги в области информационных технологий.

"Project Spotlight представляет первую попытку собрать наиболее важные количественные данные, которые предоставят более высокий уровень знаний, касающийся защиты от угроз и облегчат разработку эффективных контрмер по противодействию нарушениям безопасности", сказал, бывший сенатор и последний сопредседатель Консультационного комитета Комиссии по защите наиболее важных инфраструктур при Президенте. "Цель проекта - дальнейшее развитие технологий в области защиты информации, которые позволят организациям осуществлять более активную защиту систем своего предприятия, благодаря более высокой осведомленности в вопросах защиты, а также предоставит методы и решения по управлению рисками".

Project Spotlight будет включать подобранную группу из компаний, входящих в списки Fortune 500 и Global 2000. Команда Project Spotlight будет заниматься установкой программного обеспечения по обнаружению атак и анализу защищенности, а также собирать и анализировать данные об атаках и уязвимостях. Углубленный анализ и соответствующие отчеты позволят лучше понять возможность использования той или иной уязвимости или угрозы, имеющих место в информационных системах участников проекта Spotlight.

"Одно из правил American Electronics Associations - оказывать влияние на Public Policy", - заявила исполнительный директор Южно-Восточного подразделения АЕА Бетти Грей-Роуз (Betty Gray-Rose). "В этом смысле, мы считаем, что Project Spotlight и преследуемая им цель ознакомления как общественного, так и частного секторов с современным состоянием в области защиты информации, является чрезвычайно важной. Кроме того, в том, что касается участников этой компании, информация, которую они получают о состоянии защиты своей собственной информационной системы, будет бесценной для них".

Участникам Project Spotlight будет предоставлена следующая информация:

Реальные данные по угрозам и уязвимостям, собранные в промышленном секторе - эта информация будет оцениваться с целью определения ее потенциального воздействия на корпоративные информационные системы и сети.

Специальные данные по уязвимостям - эта информация позволит участникам проекта своевременно принимать соответствующие меры по устранению уязвимостей.

База данных по уязвимостям и угрозам, организованная по отраслям промышленности - предназначена для проведения анализа направления внешних воздействий.

Количественный и качественный статистический анализ - основа для ранжирования и создания предпосылок для будущих инвестиций в технологию защиты информации.

Всесторонний отчет по уязвимостям и угрозам - сравнение состояния защиты участника проекта с состояниями защиты других корпораций и промышленных предприятий.

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РТК НА БАЗІ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ФІРМИ SIEMENS

Студ. Гордієнко О.В., ст. викл. Панич А.О.

В навчальному процесі кафедри використовується робототехнічний комплекс (РТК), побудований на базі трьох роботів ЦПР-1П. Це пневматичні промислові роботи з цикловим та часовим принципами керування. Для контролю положень руки на роботах встановлені індуктивні датчики. Для контролю наявності заготовки встановлені кінцеві вимикачі. В системі управління роботами використовуються контролери МКП-1, які приймають інформаційні сигнали з датчиків та видають управляючі сигнали на відповідні пневморозподільники роботів.

Контролери МКП-1 встановлені в керуючі стойки, які містять, крім того, пульт управління, блок живлення, штекери та блок підготовки повітря. В існуючій системі управління застосовуються дві стойки керування. Це зумовлене тим, що кожна з них за кількістю штекерів, потужністю блоків живлення та підготовки повітря розрахована на управління не більше, ніж двома роботами.

На теперішній час проведена модернізація системи управління РТК. Апаратною базою нової системи управління стало обладнання фірми SIEMENS, а саме промисловий логічний контролер серії S7-200 та сенсорна операторська панель TP 070. Вказаний контролер має кількість входів-виходів достатню для управління всією установкою, тому були розроблені і реалізовані раціональні конструктивні рішення, що дозволили відмовитися від другої управляючої стойки. При цьому обидва блоки підготовки повітря були встановлені поза стойками безпосередньо біля роботів, а на вільне місце у стойці був встановлений другий блок живлення з усіма вхідними-вихідними електричними колами.

## ЗАСОБИ ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРІВ СЕРІЇ S7-200 ТА ПРИСТРОЮ НМІ TP 070

Студ. Клейбенко Р.М., ст. викл. Панич А.О.

В модернізованій системі управління робототехнічного комплексу (РТК), що побудована на базі трьох пневматичних промислових роботів ЦПП-1П, застосовуються промисловий логічний контролер серії S7-200 та сенсорна операторська панель TP 070. Для реалізації необхідних алгоритмів роботи РТК слід скласти відповідну програму та занести її у контролер. Крім того, для організації інтерфейсу оператора слід також створити відповідну програму та занести її в операторську панель.

Для програмування контролерів серії S7-200 фірма SIEMENS надає оболонку програмування STEP 7 Micro/Win з дружнім графічним інтерфейсом. Контролери S7-200 обладнані інтерфейсом RS 485, тому для зв'язку з комп'ютером необхідно мати відповідний перетворювач інтерфейсів, наприклад RS 232/RS 485, будь-якого виробника. При роботі на об'єкті бажано мати ноутбук, що збільшує мобільність та забезпечує повноцінне налагодження програм. Існують також інші можливості програмування. Для програмування контролерів S7-200 можуть бути використані мови LAD (Ladder Diagram – діаграми драбинної логіки), STL (Statement List – список інструкцій) FBD (Function Block Diagram – діаграми функціональних блоків).

Програмування операторської панелі TP 070 виконується за допомогою пакета розширення TP Designer, що вбудовується в оболонку STEP 7 Micro/Win. Панель обладнана інтерфейсом RS 485. За допомогою TP Designer на екрані панелі можуть бути розміщені поля введення та виведення, кнопки, написи, графічні об'єкти та ін..



# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛЕТУЧОЇ ПИЛИ

Студ. Петренко М.О., ст. викл. Панич А.О.

Летучі пили широко використовуються в технологічних лініях для мірного порізу довгомірних матеріалів, що рухаються. Летуча пила має у своєму складі декілька виконавчих механізмів, серед яких важливе місце займає несучий орган. Енерговитрати летучої пили у робочому циклі й точність порізу оброблюваного виробу переважно визначаються законом руху несучого органу.

Наявність ділянок робочого циклу електроприводу несучого органу з різним характером руху, серед яких є ділянка очікування, з урахуванням зміни заданої мірної довжини порізу оброблюваного виробу та швидкості його руху дозволяє мінімізувати витрати електроенергії в перехідних процесах електропривода несучого органу методами математичного програмування.

Для дослідження процесів управління електроприводом несучого органу летучої пили розроблена математична модель системи управління летучої пили. Вона побудована у підсистемі Simulink пакета Matlab. Особливістю даної моделі є наявність блока управління Stateflow, за допомогою якого організоване управління приводом несучого органу у відповідності з етапами робочого циклу летучої пили.

Розглянуті циклограми двох робочих циклів з різними алгоритмами управління, порівняні витрати електроенергії при роботі за застосованими алгоритмами.

# ДОСТАТНІСТЬ ТА БЕЗНАДЛИШКОВІСТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛЕТУЧОЇ ПИЛИ

Ст. викл. Панич А.О.

Летучі пили являються характерним підкласом летучих механізмів [1]. Вони широко використовуються в технологічних лініях для мірного порізу довгомірних матеріалів, що рухаються. Летуча пила має циклічний режим роботи та містить у своєму складі декілька виконавчих механізмів, серед яких важливе місце займає несучий орган. Значна кількість представників класу летучих пил, досить складні алгоритми управління, помітний потенціал для ресурсозбереження шляхом застосування сучасних інформаційних технологій та розробки енергоефективних законів управління приводом несучого органу зумовлюють актуальність побудови об'єктно-орієнтованої системи управління летучої пили.

Створена з використанням об'єктно-орієнтованого підходу функціональна схема системи управління летучої пили запропонована у [2]. Вона має набір функціональних блоків та сигналів, достатній для вирішення задач з управління об'єктом (летучою пилою). Згідно з функціональною схемою система має дворівневу структуру. Верхній рівень представлений системою управління мірним порізом (СУМП). Вона отримує сигнали з датчиків на об'єкті та систем нижнього рівня, найскладнішою з яких є автоматизований привід несучого органу. Окрім того, СУМП обмінюється інформацією з оператором через пульт управління, а також з системою управління технологічної лінії, що знаходиться на вищому рівні.

У функціональній схемі поданий повний набір сигналів, якого достатньо для реалізації енергоефективних алго-

ритмів управління летучою пилою [3]. При цьому СУМП координує роботу всіх виконавчих механізмів, та виробляє сигнали завдання для приводу несучого органу. Таким чином досягається децентралізація системи, що зменшує набір сигналів, які циркулюють в системі та збільшує її надійність. Система має модульну побудову, що полегшує її модернізацію, монтаж та обслуговування.

Реалізація вказаних на функціональній схемі ліній передачі сигналів може відбуватися різними способами. Найкращим з точки зору зменшення кількості каналів буде застосування сучасних промислових мереж, наприклад Profibus, Industrial Ethernet, Simolink фірми SIEMENS.

Таким чином, запропоновану функціональну схему системи управління летучої пили [2] можна вважати достатньою та безнадлишковою за основним набором сигналів та функціональних блоків.

#### Література

1. Червяков В.Д., Паньч А.А. Летучие механизмы как класс рабочих машин в аспекте задач управления// Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сборник научных трудов. – Магнитогорск: МГТУ. – 1998. – Вып. 3. – С.176-182.
2. Червяков В.Д., Паньч А.А. Функциональная схема объектно-ориентированной системы управления летучими пилами// Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. Вып. 1. – Кременчуг: КГПИ. – 1999. – С.60-64.
3. Паньч А.А. Энергетический аспект ресурсосбережения в процессах управления приводом несущего органа летучей пыли// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип. 1(12). – С.200-204.

## ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ ФІРМИ SIEMENS

Студ. Ніканоров О.І., Комісаров С.О., ст. викл. Панич А.О.

Сучасні приводи робочих машин характеризується значним рівнем автоматизації, що дозволяє з достатньо високою точністю дотримуватися вимог технологічного процесу та заощаджувати енергоресурси. Значним споживачем електроенергії в промисловості являється асинхронний електропривод, в якості сучасних засобів автоматизації якого значного розповсюдження набули перетворювачі частоти. Фірма SIEMENS виготовляє декілька серій перетворювачів, що відрізняються за комплектацією та призначенням. Перетворювачі серії Micromaster мають модульну конструкцію та можуть застосовуватися в багатьох галузях промисловості.

На базі перетворювачів Micromaster 420 та Micromaster 440 (більш функціональна модель з векторним керуванням) створюється лабораторна установка для дослідження приводів. Вказані перетворювачі обладнані пультами (BOP – базова панель оператора) та модулями для підключення до мережі Profibus. У якості системи управління верхнього рівня застосовується контролер серії S7-300 та сенсорна операторська панель TP 170B з кольоровим дисплеєм.

Установка має просту конструкцію, передбачені прозорі дверцята, що за необхідності відкриваються. Для подачі дискретних сигналів на входи контролера використані вісім тумблерів. Інші сигнали планується вводити через операторську панель, а також від датчиків з механічної частини. У якості механічної частини передбачено використати вентилятор (для порівняння регулювання дроселюванням та зміною частоти обертання) та передачу гвинт-гайка (для дослідження алгоритмів управління).

ДО ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІДИН ПРИ  
ВПЛИВІ НА НИХ ЗОВНІШНІХ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ

І.Ю. Зимак, К.Ю. Наталуха, А.М. Хмаренко, Л.М. Черняк

Енергозбереження – проблема, яку на порядок дня поставило життя в усьому світі. Вона полягає не тільки в заощадженні енергії при виробництві різної продукції, але і в енергозбереженні за рахунок зберігання вже готової продукції. Останнє полягає в тому, що чим довше зберігається виготовлена продукція, тобто, чим менше псується готова продукція, тим менше енергії треба затратити на її нове відтворення.

Серед усіх продуктів виробництва істотна частка належить рідинам (харчові, медичні та багато інших рідин).

Для пролонгації строку зберігання рідкої, наприклад, харчової, медичної та іншої продукції, до неї зараз додають консерванти. Консерванти не тільки пригнічують життєдіяльність шкідливих мікробів або органічних сполук, але вони, як правило, є шкідливими для людського організму (канцерогенними).

Уже давно встановлено, що вплив фізичних полів на окремі рідини може вести до кардинальних змін їх властивостей, у тому числі, до подовження строків зберігання рідких продуктів без додавання будь-яких реагентів. Це говорить про те, що в результаті різних фізичних впливів (теплових, магнітних, електричних, ультразвукових полів) на рідини, змінюються властивості рідин, які можуть виявитися дуже корисними для тих чи інших цілей.

Для того, щоб проаналізувати експериментальні дослідження, необхідна теорія (модель) рідкого стану.

Для створення моделі рідкого стану на базі молекулярно-кінетичної теорії необхідно враховувати дві прямо протилежні умови: для рідкого стану властиво, з однієї сторо-

ни, відносно просторове розупорядкування у розташуванні частинок, характерне для газів, а з іншого боку, рідинам притаманна порівняно сильна міжмолекулярна взаємодія, характерна для твердих тіл. Тому послідовна молекулярна теорія рідкого стану може будуватися тільки на базі квантової механіки та квантової статистики з урахуванням характеру взаємодії та властивостей, як окремих молекул, так і їх груп [1-2].

В останні роки до вивчення властивостей рідин намагаються застосувати методи синергетики [3]. Математичні труднощі при застосуванні квантової теорії разом з синергетикою величезні. Тому, незважаючи на те, що теорія рідкого стану досягла деяких успіхів, всі спроби створити послідовну «устояну» загальновизнану (базисну) модель рідкого стану, яка б дозволила одержувати строгі математичні визначення основних теплофізичних та інших характеристик рідин, поки що не мали успіху.

Це змушує використовувати так звані напівфеноменологічні теорії і моделі, які постулюють ті або інші сторони рідкого стану речовини [наприклад, 4]. Всі такі теорії засновані на результатах експериментальних досліджень теплофізичних, електричних, магнітних та інших властивостей рідин. Такі теорії в більшості випадків створюються навіть не для всіх рідин, а для певного їхнього класу [наприклад, 7-10]. Однак безперечним є те, що кожна теорія для "своїх" рідин має "раціональне зерно".

Із цього короткого огляду видно, що вирішення багатьох проблем, необхідних для обґрунтування пошуків найбільш перспективних способів і напрямків подовження строків зберігання готової продукції у вигляді рідин, можливо тільки на базі глибоких експериментальних досліджень змін властивостей рідин під впливом різних фізичних полів.

На кафедрі загальної та експериментальної фізики фізи-

ко-технічного факультету СумДУ група студентів і співробітників почали відновлювати експериментальні науково-дослідні роботи з вивчення впливів фізичних полів на зміни властивостей реальних рідин.

Зокрема, почалися роботи з вивчення впливів фізичних полів на електричну провідність рідин, зміну їх магнітної та діелектричної проникностей, кута повороту площини поляризації і ряду інших у тому числі і визначальних хіміко-біологічних споживчих характеристик рідин.

Як показали попередні дослідження, кут повороту площини поляризації, електричні, магнітні та інші характеристики деяких органічних рідин під дією температурного, магнітного, електричного та ультразвукового впливів однозначно змінюються. Попередні дослідження виявили досить цікаві кореляції між впливом полів і визначальними параметрами рідин [наприклад, 9].

[1] Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: АН СССР, 1952. – 538с.

[2] Лифшиц Б.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. – М.: Наука, 2002. – 528с.

[3] Хакен Г.С. Синергетика: иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. Пер. с англ. М, 1985.

[4] Дорош А.К. Структура конденсированных систем. – Львов: Вища школа, 1981. – 176с.

[5] Бернал Д., Фаулер Р. Структура воды и ионных растворов // Успехи физических наук – 1934, т.14. – № 5. – с.584-644.

[6] Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М.: АН СССР, 1957. – 202с.

[7] Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Новые свойства жидкостей. – М.: Наука, 1971.

[8] Антонченко В.Я. Физика воды. – К.: Наукова думка, 1986. – 128с.

[9] Стадник О.Д., Черняк Л.М. Електричні і магнітні технології зневоднення нафти і палива. – Суми: Вісник СумДУ – 2002 – № 5-6. – с.95-99.

# МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КРАПЕЛЬ З ПОВЕРХНЕЮ РІДИНИ ПРИ МАЛИХ ШВИДКОСТЯХ

І.Ю. Зимак, К.Ю. Наталуха, А.М. Хмаренко, Л.М. Черняк

Робота присвячена експериментальному дослідженню фізичних процесів при співударі крапель рідини з поверхнею рідини.

Процеси співударяння крапель з поверхнями відбуваються за короткий час. Це значно ускладнює їх спостереження та реєстрацію, і складає основні труднощі в їх експериментальних дослідженнях. Основними методами фіксації окремих фаз взаємодії при співударі крапель є методи фотозйомки та високошвидкісної кінозйомки.

Спеціалізовані високошвидкісні кінокамери для реєстрації таких короткочасних процесів повинні знімати з частотою до 20000 кадрів за секунду і навіть більше. Це досить унікальне наукове обладнання. Крім того, для високошвидкісної кінозйомки необхідна високочутлива кіноплівка з світлочутливістю до 4000 одиниць ГОСТ і спеціальні методи хімічної обробки. Цей спосіб реєстрації співударяння крапель з поверхнею доцільний при дослідженні удару крапель, які рухаються з великими швидкостями.

При багаторазовому повторенні процесу з однаковими початковими умовами усі фази взаємодії під час падіння однакових крапель кожен раз проходять майже однаково. Тому фотографування окремих дискретних фаз взаємодії краплі з поверхнею дає можливість нагромадити матеріал і відтворити неперервний процес співудару краплі з поверхнею.

У випадку малих швидкостей високошвидкісну кінозйомку можна замінити фотографуванням окремих фаз співударяння звичайним фотоапаратом, якщо він може



сприймати витримку освітлення до 1/2000с. Такими фотоапаратами є цифрові фотоапарати. Крім всього іншого, застосування цифрового фотоапарата дає можливість швидкого отримання зображення на екрані монітора комп'ютера, його аналіз, а також створення псевдоанімації процесу.

Для чіткого фотографування певних фаз співудару необхідно забезпечити спрацьовування імпульсної лампи у відповідні моменти часу. Своєчасний спалах імпульсної лампи створювався завдяки спеціально розробленій системі синхронізації. Ця система складається з датчика прольоту краплі, системи затримки синхроімпульсу і системи підпалювання спалаху імпульсної лампи.

Крапля, що створюється генератором монодисперсних крапель, падає вертикально в захищеному від руху повітря каналі і, перетинаючи пучок світла, викликає імпульсну зміну струму в колі фотодіода. Цей імпульс після підсилення подається на генератор гострих електричних імпульсів. Створені генератором синхроімпульси подаються на систему підпалювання спалаху у високовольтному блоці живлення імпульсної лампи-фотоспалаху. Регулюючи час затримки синхроімпульсу по відношенню до моменту перетину краплею світлового потоку в датчику прольоту краплі можна отримати спалахи імпульсної лампи в певні фази співудару краплі з поверхнею рідини.

Розміри крапель визначались об'ємно-лічильним методом. Для цього імпульси з датчика прольоту крапель подавались на електронний лічильник імпульсів і після встановлення певного стабілізованого режиму відриву крапель з крапельниці, підраховувалась кількість крапель та їх відповідний об'єм.

Для зміни величини розміру крапель підбирався відповідний діаметр вихідного капіляра.

Визначення швидкості краплі у момент співудару з поверхнею проводилось двома методами: розрахунковим

верхнею проводилось двома методами: розрахунковим та експериментальним. Експериментально швидкість краплі визначали за часом прольоту між двома датчиками прольоту краплі. При розрахунковому визначенні швидкості краплі враховувалась сила опору повітря, її залежність від швидкості, а також залежність коефіцієнта лобового опору від критерію Рейнольдса.

Збільшуючи поступово час затримки спалаху імпульсної лампи після проходження краплі через датчик прольоту можна фіксувати послідовні фази взаємодії і визначати проміжок часу між цими фазами.

За описаною методикою отримано кілька сотень фотознімків різних фаз співударів крапель різних діаметрів і різних швидкостей в момент удару.

Отримані фотознімки співударів крапель з поверхнею рідини дозволяють прослідити послідовність стадій (фаз) взаємодії і зафіксувати особливості процесу, які неможливо побачити при візуальному спостереженні.

На рисунку 1 показані деякі з одержаних фотознімків співудару крапель води з поверхнею води, в якій розчинено невелика кількість гліцерину. На фотознімках чітко видно розвиток явищ, які супроводжують співудар крапель. Справа на кадрі швидкість краплі води складає величину 4,1 м/с.



Рисунок 1. Фази взаємодії краплі з поверхнею рідини

# ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛОКАЛІЗОВАНИХ СТАНІВ В ПРОСТОРОВО НЕГОМОГЕННИХ ЗРАЗКАХ МЕТОДОМ СТРУМІВ ОБМЕЖЕНИХ ПРОСТОРОВИМ ЗАРЯДОМ

М.М. Колесник, А.С. Опанасюк

Одержання інформації про основні параметри локалізованих станів (ЛС) у напівізолюючих матеріалах, їх глибину залягання та концентрацію, є актуальною науковою задачею, оскільки ці стани зумовлюють такі важливі характеристики матеріалу, як час життя носіїв заряду, їх довжину вільного пробігу та інше. У теперішній час з цією метою широкого використання набув метод, що заснований на аналізі вольт-амперних характеристик (ВАХ) струмів, обмежених просторовим зарядом (СОПЗ) [1]. Як правило при обробці ВАХ СОПЗ вважається, що просторовий розподіл ЛС у зразках є однорідним. Однак, це припущення не може бути використане для багатошарових структур, де на межі напівпровідник-метал в наслідок технологічних операцій можуть утворюватися перехідні шари з підвищеним вмістом точкових дефектів та поверхневі ЛС. Таким чином, просторова негомогенність плівок може суттєвим чином вплинути на вигляд ВАХ СОПЗ та привести до некоректності визначення параметрів ЛС у напівпровідникових шарах.

У зв'язку з цим, у роботі досліджена достовірність визначення концентрації та глибини залягання ЛС в неоднорідних зразках з ВАХ СОПЗ.

При дослідженні використовувалось наближення [2], яке припускало, що функція яка описує розподіл ЛС може бути розділена на дві частини, одна з яких залежить від енергії, а друга від просторової координати:  $h(E, x) = h(E)S(x)$ . Вважалось, що у зразку присутні

об'ємні та поверхневі стани, які локалізовані біля одного з електродів. Тоді просторовий розподіл пасток може бути заданий у вигляді  $S(x) = S_0 + S_1 \exp(-x/r)$ , або  $S(x) = S_0 + S_1 \exp((x-L)/r)$ , де  $S_0$  – концентрація об'ємних, а  $S_1$  – міжфазних станів,  $r$  – параметр просторового розподілу. Використовувалася наступна умова нормування:  $S_0 + S_1 = 1$ . Енергетичний розподіл ЛС описувався експоненціальною функцією.

Корегуючі коефіцієнти  $\delta_1$  та  $\delta_2$ , що враховують неоднорідність розподілу пасток за товщиною зразка розраховані із наступних співвідношень

$$\delta_1 = \frac{L}{L_{ef}} \left( \frac{\int_0^L S(x) dx}{L_{ef}} \right)^\beta,$$

$$\delta_2 = \left( \frac{L}{L_{ef}} \right)^2 \left( \frac{\int_0^L S(x) dx}{L_{ef}} \right)^{\beta-1},$$

де  $\beta = 1 - \gamma$ ;  $L$  – дійсна;  $L_{ef}$  – ефективна товщина зразків;

$\gamma = \frac{d^2 \lg U}{(d \lg I)^2}$  – нахил ВАХ у подвійних логарифмічних координатах.

Розрахунки корегуючих коефіцієнтів  $\delta_1$  та  $\delta_2$  для різних параметрів просторового розподілу пасток наведені на рис.

Встановлено, що неоднорідність розподілу пасток за товщиною зразка приводить до суттєвої зміни напруги повного заповнення пасток і відповідно похибок у визначенні дійсної концентрації ЛС. Шляхом моделювання показано, що якщо просторовий градієнт пасток не враховується, виникає систематичний зсув їх енергетичного положення,

який складає  $-kTl\ln\delta_1$ , відповідно концентрація ЛС може бути завищеною або

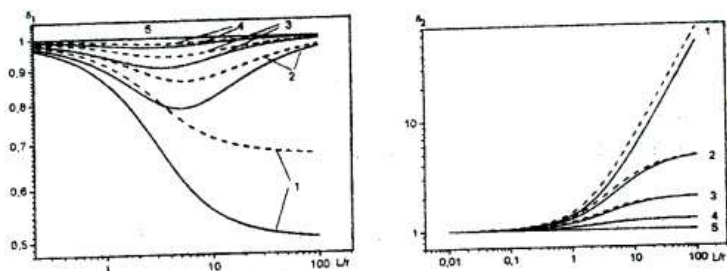


Рис. 1 – Залежність корегуючи коефіцієнтів  $\delta_1$  і  $\delta_2$  від співвідношення  $L/r$  для випадку максимуму ЛС на інжектуючому електроді: 1 –  $S_0=0$ ; 2 –  $S_0=0,2$ ; 3 –  $S_0=0,5$ ; 4 –  $S_0=0,8$ ; 5 –  $S_0=1$ . Сполошні лінії –  $\beta=1$ , штрихові лінії –  $\beta=0,5$ .

заниженою у  $\delta_2$  разів. При цьому максимальна похибка визначення енергії пасток в неоднорідних зразках при ігноруванні неоднорідності не перевищує 15 %, в той же час похибка у визначенні їх концентрації може сягати 1-2 порядки за величиною.

Отримані результати показують, що густина ЛС одержаних з експериментальних ВАХ СОПЗ можуть бути переоцінені або недооцінені як мінімум на декілька порядків по величині, але їх енергетичний профіль повинен бути принаймні схожим з дійсним.

- [1] В.О. Любчак, А.С. Опанасюк, Н.В. Тиркусова, В.І. Харченко Метод інжекційної спектроскопії для вивчення глибоких центрів у плівках телуриду кадмію // УФЖ – 1999 – Т.44, №6. – С. 741-747.
- [2] К. Као, В. Хуанг Перенос електронів в твердых телах: В 2 т.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – Т.1 Перенос електронів в твердых телах. – 352 с.

# ЯВИЩА ПЕРЕНЕСЕННЯ ПРИ ОДЕРЖАННІ ПЛІВОК CdTe МЕТОДОМ КВАЗІЗАМКНЕНОГО ОБ'ЄМУ

В.В. Косяк, А.С. Опанасюк

Унікальні фізичні характеристики телуриду кадмію дозволяють використовувати даний матеріал для створення цілого ряду приладів мікроелектроніки. При цьому в якості базових шарів різноманітних пристроїв все частіше застосовуються плівки халькогеніду. У теперішній для отримання плівок з контрольованими електрофізичними властивостями широке використання набув метод випаровування сполуки у квазізамкненому об'ємі (КЗО).

З використанням теорії перенесення [1], враховуючи можливість існування конвективних і дифузійних складових [2], розроблена модель перенесення компонентів сполуки у газовій фазі, яка має вигляд системи диференціальних рівнянь (1) та (2).

$$\frac{D_{Cd}}{kT} \frac{dP_{Cd}}{dx} + \frac{R^2}{8\eta} n_{Cd} \left( -\frac{dP}{dx} \right) = J_{Cd}, \quad (1)$$

$$\frac{D_{Te}}{kT} \frac{dP_{Te}}{dx} + \frac{R^2}{8\eta} n_{Te} \left( -\frac{dP}{dx} \right) = J_{Te}, \quad (2)$$

де  $D_{Cd}$ ,  $D_{Te}$  – коефіцієнти дифузії компонентів;  
 $T$  – температура випаровувача;  
 $P_{Cd}$ ,  $P_{Te}$  – тиски компонентів сполуки;  
 $P$  – загальний тиск суміші;  
 $n_{Cd}$ ,  $n_{Te}$  – концентрації компонентів сполуки;  
 $R$  – радіус робочого об'єму;  
 $J_{Cd}$ ,  $J_{Te}$  – потоки компонентів.

Розв'язок даної системи дозволив провести розрахунок потоків кадмію та телуру  $J$  безпосередньо біля підкладки та випаровувача в залежності від фізико-технологічних умов одержання плівки та геометричних розмірів КЗО. Розрахунки проведені для випадків випаровування стехіометричного матеріалу і співвипаровування сполуки з металом або халькогеном із додаткових джерел.

Використовуючи розраховані значення потоків компонентів сполуки безпосередньо біля підкладки отримано значення поверхневої концентрації адсорбованих атомів з допомогою співвідношення (3).

$$N_A = \frac{J}{\nu_0} \exp\left(\frac{E_a}{kT_s}\right), \quad (3)$$

де  $N_A$  - поверхнева густина адсорбованих частинок;

$\nu_0$  - власна частота коливань атома на поверхні;

$E_a$  - енергія активації адсорбції.

В подальшому отримано залежності потоків адсорбції, десорбції компонентів  $CdTe$ , а також швидкості росту плівки, від температури випаровувача, підкладки і геометричних розмірів КЗО.

Показано, що процеси перенесення, суттєво змінюють значення потоків компонентів в газовій фазі та впливають на стехіометрію сполуки. Різниця між значеннями потоків компонентів сполуки біля випаровувача та підкладки складає  $10^2$ - $10^1$   $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$  в широкому діапазоні температур випаровувача та геометричних розмірів КЗО.

[1] Р. Берд, В. Стьюарт Явления переноса. – М.: Химия, 1974. – 687 с.

[2] G. Il'chuk, *Semicond. Sci. Technol* **15**, 1141 (2000).

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСА ДЛЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ НАНОЧАСТИЦЫ С ПОКРЫТИЕМ

Т.В. Лютый, А.Ю. Поляков, А.В. Рот-Серов

Наночастицы с комплексной структурой по типу ядро-оболочка представляют собой объект все более растущего интереса современных исследователей. В значительной степени это стимулируется перспективами использования таких частиц в индустрии современных магнитных накопителей со сверхвысокой (свыше 1 Тбит/дюйм<sup>2</sup>) плотностью записи. Увеличение плотности записи сопряжено с уменьшением размеров наночастиц, которые являются элементарными носителями информации. Это приводит к потере устойчивости их магнитных моментов относительно тепловых флуктуаций, а, следовательно, к снижению надежности хранения информации. В предельном случае, когда магнитная энергия наночастицы становится близкой к тепловой энергии, наступает так называемый суперпарамагнитный предел, при котором за счет тепловых флуктуаций магнитный момент наночастицы хаотически изменяет свое направление – т.е. ведет себя подобно магнитному моменту атома парамагнетика.

Для преодоления суперпарамагнитного предела было предложено использовать наночастицы со сложной структурой типа ядро – оболочка [1]. Ядро образуется ферромагнетиком, а оболочки, которых может быть несколько, выполняется из антиферромагнитных или ферромагнитных материалов. Возникающие при этом эффективные магнитные поля обменной природы способны существенно увеличить термическую стабильность таких частиц, а, значит, повысить надежность хранения информации при заданной плотности записи.



Рассмотрим ферромагнитную наночастицу, покрытую слоем антиферромагнетика. При действии на частицу внешнего переменного магнитного поля, спиновые магнитные моменты ферромагнитного ядра испытывают ориентационное действие со стороны этого поля, в то время как спиновые моменты оболочки удерживаются более сильным эффективным полем анизотропии. Если изначально те спиновые магнитные моменты оболочки, которые непосредственно прилегают к ферромагнитному ядру, ориентированы определенным образом, то вдоль выделенного направления возникает некоторое эффективное магнитное поле. Такое поле называется полем однонаправленной анизотропии или обменным полем смещения.

Несмотря на то что впервые на это явление было указано еще в 1956 году [2], его природа остается не выясненной до конца и в настоящее время. В отсутствие исчерпывающего теоретического описания, большую роль приобретает численный эксперимент. Традиционно для поиска равновесных свойств ансамблей магнитных моментов используется так называемое микромагнитное моделирование, основанное на методах Монте-Карло [3].

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования явления гистерезиса двумерной системы спиновых магнитных моментов, лежащих в плоскости распределения и ограниченных круговой областью заданного размера. Считалось, что в середине области взаимодействие есть ферромагнитным, а на границах – антиферромагнитным. Гамильтониан  $H$  такой системы записывается в виде

$$\begin{aligned}
 H = & -J_{FM} \sum_{\langle i, j \in FM \rangle} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j - \sum_{i \in FM} K_{iFM} (\mathbf{S}_i \cdot \mathbf{e}_i)^2 - J_{AM} \sum_{\langle i, j \in AM \rangle} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j - \\
 & - \sum_{i \in AM} K_{iAM} (\mathbf{S}_i \cdot \mathbf{e}_i)^2 - J_{IF} \sum_{\langle i \in FM, j \in AM \rangle} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j - \mathbf{h} \cdot \sum_i \mathbf{S}_i, \quad (1)
 \end{aligned}$$

здесь  $J_{FM}$  – константа обменного взаимодействия для ферромагнитного ядра,  $J_{AM}$  – константа обменного взаимодействия для антиферромагнитной оболочки,  $J_{IF}$  – константа обменного взаимодействия для спиновых моментов пограничного слоя,  $S_i$  – вектор спинового магнитного момента,  $K_{iFM}$  – константа анизотропии ферромагнитного ядра,  $K_{iAM}$  – константа анизотропии антиферромагнитной оболочки,  $e_i$  – орт, указывающий направления осей анизотропии,  $h$  – внешнее поле.

Гамильтониан (1) соответствует модели Гейзенберга. В случае большой анизотропии часто используется более простая модель Изинга, согласно которой вектор  $S_i$  может иметь лишь два равновесных направления вдоль заданной оси анизотропии. В данной работе моделирование было проведено как в рамках модели Изинга так и для модели Гейзенберга. Из сравнения полученных результатов следует, что в обоих случаях наблюдается сдвиг петли гистерезиса построенной в координатах «внешнее поле  $h$  – намагниченность  $M$ » вдоль оси  $h$ . Показано, что величина и направление смещения  $\Delta h$  определяется параметрами системы, формирующими гамильтониан (1). Зависимость  $\Delta h$  от этих параметров была всесторонне изучена.

Для модели Гейзенберга были визуально исследованы процессы неоднородного перемагничивания в такой системе, связанные с появлением вихревых структур, что согласуется с результатами, полученными в работе [4].

- [1] V. Skumryev, Nature, **423**, 850 (2003).
- [2] W.H. Mielejohn, C.P. Bean, Phys. Rev. **102**, 1413 (1956).
- [3] Х. Гулд, Я. Тобочник Компьютерное моделирование в физике: в 2-х частях. – М.: Мир, 1990.
- [4] O. Iglesias, Phys. Rev. B **72**, 212401 (2005).

# НАМАГНИЧЕННОСТЬ СИСТЕМЫ НАНОЧАСТИЦ, ИНДУЦИРОВАННАЯ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОЛЕМ

С.И. Денисов, Т.В. Лютый

Интерес к упорядоченным системам ферромагнитных наночастиц обусловлен как развитием фундаментальных исследований в нанофизике, так и прикладными аспектами, в том числе в области современных технологий записи и хранения информации [1]. Одними из наиболее важных характеристик таких устройств являются их надежность, определяемая средним временем тепловой переориентации магнитных моментов, и быстроедействие, определяемое средним временем перемагничивания наночастиц.

В данной работе изучено влияние циркулярно поляризованного магнитного поля на средние времена тепловой переориентации магнитных моментов и предсказан эффект намагничивания ансамблей наночастиц таким полем. Суть эффекта состоит в том, что благодаря естественной прецессии магнитных моментов, магнитное поле, поляризованное в плоскости, перпендикулярной легким осям наночастиц, по-разному воздействует на противоположно направленные магнитные моменты. С одной стороны, это приводит к появлению слабой динамической намагниченности таких ансамблей, а с другой, — к ее существенному усилению посредством тепловых флуктуаций.

Для описания этого эффекта, который ввиду отсутствия постоянной составляющей магнитного поля вдоль легких осей не является самоочевидным, мы использовали уравнение Ландау-Лифшица. Решая его в случае, когда амплитуда  $h$  вращающегося поля намного меньше эффективного поля анизотропии  $H_a$  ( $h \ll H_a$ ), мы получили следующее выражение для угла  $\theta_a (\ll 1)$  установившейся прецессии вектора магнитного момента:

$$\theta_{\sigma} = \frac{(1 + \lambda^2)\gamma h}{\sqrt{[(1 + \lambda^2)\omega_r - \rho\sigma\omega]^2 + \lambda^2\omega^2}}. \quad (1)$$

Здесь  $\sigma = \pm 1$  в зависимости от того, в каком из двух равновесных положений находится магнитный момент,  $\lambda$  – параметр затухания в уравнении Ландау-Лифшица,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $\omega_r = \gamma H_a$  – резонансная частота прецессии,  $\omega$  – частота вращения поля,  $\rho = -1$  в случае поля, поляризованного по часовой стрелке, и  $\rho = +1$  – против часовой стрелки. Согласно (1), динамическая намагниченность системы, определяемая в отсутствие тепловых флуктуаций как  $\mu_d = (\theta_{-1}^2 - \theta_{+1}^2)/4$ , имеет вид

$$\mu_d = -\rho \frac{(1 + \lambda^2)\gamma^2 h^2 \omega \omega_r}{[(1 + \lambda^2)\omega_r^2 + \omega^2]^2 - 4\omega^2 \omega_r^2}. \quad (2)$$

Ее зависимость от  $\omega$  имеет резонансный характер, однако максимальная величина  $\mu_d$  очень мала, поскольку пропорциональна второй степени отношения  $h/H_a$ .

Действие термостата, учитываемое путем введения в уравнение Ландау-Лифшица теплового магнитного поля, приводит к стохастизации динамики магнитных моментов наночастиц. Как следствие, появляются конечные вероятности  $p_{\sigma}$  их переориентации из состояния  $\sigma$  в состояние  $-\sigma$ , которые зависят от углов прецессии  $\theta_{\sigma}$ . Определив приведенную намагниченность, обусловленную этими переориентациями, как  $\mu_t = p_{+1} - p_{-1}$  и вычислив  $p_{\sigma}$  методом обратного уравнения Фоккера-Планка, которое отвечает стохастическому уравнению Ландау-Лифшица [2], мы получили

$$\mu_t = \tanh\left[\alpha(\theta_{-1}^2 - \theta_{+1}^2)/2\right], \quad (3)$$

где  $a = H_a m / 2kT$ ,  $m$  – магнитный момент наночастицы,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура. Как и  $\mu_d$ , зависимость  $\mu_t$  от  $\omega$  имеет резонансный характер и, поскольку обычно  $a \gg 1$ , выполняется условие  $\mu_t \gg \mu_d$ , означающее, что тепловые флуктуации существенно усиливают динамическую намагниченность системы.

Учет влияния магнитодипольного взаимодействия на величину индуцированной намагниченности квадратной решетки наночастиц проведен численно в рамках разработанного ранее метода [2]. Показано, что это взаимодействие, имеющее антиферромагнитный характер, уменьшает индуцированную намагниченность и приводит к расширению ее частотной зависимости.

Поскольку резонансные методы являются очень точными и чувствительными, экспериментальное изучение этого эффекта может дать важную информацию о таких системах, включая распределение в них дипольного поля. Кроме того, возможность селективного изменения термостабильности магнитных моментов, контролируемой характеристиками вращающегося поля, может быть полезной при разработке альтернативных способов перемагничивания наночастиц.

Работа выполнена в рамках проекта “NANOSPIN”, контракт № NMP4-СТ-2004-013545.

- [1] A.J. Moser, Phys. D: Appl. Phys **35**, R157 (2002).  
[2] S.I. Denisov, T.V. Lyutyu, K.N. Trohidou, Phys. Rev. B. **67**, 014411 (2003).

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ "NANOSPIN"

С.И. Денисов, Т.В. Лютый

В феврале 2005 года стартовал научный проект NMP4-СТ-2004-013545 "NANOSPIN"[1], который выполняется в рамках Европейской программы FP-6 [2]. Длительность работ по проекту – 3 года. Для реализации целей проекта создан международный консорциум, в который вошли научные группы из следующих учреждений:

1. Университет Лейчестера, Великобритания (University of Leicester, UK), координатор проекта.
2. Университет Ридинга, Великобритания (University of Reading, UK).
3. Национальный Центр научных исследований «Демокритос», г. Афины, Греция (NSCR "Demokritos", Athens, Greece).
4. Сумский государственный университет, Украина.
5. Институт структуры материалов Национального совета исследований, г. Рим, Италия (ISM-CNR, Rome, Italy).
6. Университет Барселоны, Испания (Universitat de Barcelona, Spain).
7. Университет Суррея, Великобритания (University of Surrey, UK).
8. ИТ-МДТ, г. Зеленоград, Россия.

Основная цель проекта – разработка методов исследования, создание и производство термически устойчивых ферромагнитных наночастиц (носителей информации) размером менее чем 5 нм, а также их упорядоченных ансамблей.

Столь малые размеры не позволяют использовать частицы стандартных ферромагнетиков, таких как Fe или Co, поскольку переход в суперпарамагнитное состояние для них происходит при температурах гораздо ниже комнат-

ных. Преодоление суперпарамагнитного предела осуществляется путем реализации комплексного строения наночастицы по типу ядро – оболочка. Ядро образуется ферромагнитным материалом, а оболочки, которых может быть несколько, – из антиферромагнитных и ферромагнитных материалов. Возникающие при этом эффективные магнитные поля обменной природы существенно повышают термическую стабильность таких частиц. Научной группой университета Лейчестера создана уникальная установка для их производства методом конденсации металла в микрокаплях сверхтекучего гелия.

Другие цели проекта включают, в частности, изучение спиновой структуры нанокластеров (для получения наночастиц с заранее заданными свойствами) и разработку новых методов перемангничивания наночастиц. Важной частью данного проекта является также получение новых фундаментальных знаний в области наномангнетизма.

В рамках проекта “NANOSPIN” исследовательская группа Сумского университета отвечает за аналитическое и численное описание магнитных свойств комплексных наночастиц и их ансамблей, ведет поисковые работы. В частности, уже проведено исследование доменной структуры и существования квазиферромагнитного состояния конечных цепочек Изинга, предсказаны эффекты переключения магнитных моментов наночастиц и возникновения намагниченности ансамблей наночастиц под воздействием циркулярно поляризованного магнитного поля, разработана программа для численного моделирования магнитной релаксации в ансамблях взаимодействующих наночастиц.

[1] <http://www.nanospin.le.ac.uk/index.pl>

[2] [http://europa.eu.int/comm/research/fp6/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.html)

# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ВОЗБУЖДЕННОЙ ИОННОЙ ЦЕПОЧКИ

Е.С. Денисова

Многие физические системы рассматриваются как атермальные (нетермодинамические), если тепловые флуктуации их структурных элементов пренебрежимо малы. Примерами таких систем могут служить зерна в гранулированных системах, цилиндрические магнитные домены в ферромагнетиках, вихри в сверхпроводниках, дислокации в твердых телах и другие. В общем случае элементы таких систем взаимодействуют друг с другом, их системы разупорядочены, и они возбуждаются полем переменной силы. Обычно для изучения поведения таких систем применяются динамические методы. Однако в ряде случаев возможно использование и термодинамического подхода к их описанию, исходя из следующих соображений. Благодаря совместному действию вышеперечисленных факторов элементы систем могут совершать хаотическое движение, что позволяет ввести в рассмотрение некоторую эффективную температуру системы. Если эффективная температура известна, то далее можно рассматривать систему как термодинамическую. Недавно такой подход был успешно реализован в случае возбужденной полосовой доменной структуры магнитных пленок. В рамках же данной работы построена термодинамическая теория возбужденной ионной цепочки, находящейся в случайном (в пространстве) потенциале. Найдена эффективная температура цепочки в случаях большого и малого радиусов корреляции неоднородностей среды, получены термодинамические функции (свободная энергия, энтропия, химический потенциал), а также записано уравнение, определяющее равновесное расстояние между частицами цепочки.



# РЕЖИМЫ АНОМАЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ, КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ГАУССОВСКОГО ЦВЕТНОГО ШУМА

А.Н. Витренко

При изучении диффузии сильно затухающих частиц со степенным во времени параметром затухания, возбуждаемых аддитивным и мультипликативным с линейной амплитудой гауссовскими белыми шумами было обнаружено новое стохастическое явление: режимы аномальной диффузии могут контролироваться интенсивностью мультипликативного шума [1]. Наша цель – обобщение этого явления на случай аддитивного и мультипликативного гауссовских цветных шумов, для чего используем точно разрешимую модель [2]. В ее рамках можно показать, что среднее значение координаты частицы может равняться нулю, а асимптотика дисперсии координаты имеет вид

$$\sigma^2(t) \sim at^{b\Delta_r} \quad (t \rightarrow \infty),$$

где  $a$  и  $b$  – некоторые заданные параметры системы,  $\Delta_r = \int_0^\infty dur(u)$  – интенсивность мультипликативного цветного шума,  $r(u)$  – его корреляционная функция. Таким образом, частицы демонстрируют субдиффузию при  $b\Delta_r < 1$ , нормальную диффузию при  $b\Delta_r = 1$ , и супердиффузию при  $b\Delta_r > 1$ .

- [1] S.I. Denisov, A.N. Vitrenko, W. Horsthemke, and P. Hänggi, Phys. Rev. E. **73**, 036120 (2006).  
[2] A.N. Vitrenko, Physica A **359**, 65 (2006).

# СТОХАСТИЧНА ДИНАМІКА НАМАГНІЧЕНОСТІ 2D СИСТЕМИ ФЕРОМАГНІТНИХ НЕВЗАЄМОДІЮЧИХ НАНОЧАСТОК У ЗМІННОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ

В.Ф. Нефедченко, А.М. Юнда

В роботі розглянуто 2D систему невзаємодіючих феромагнітних наночастинок з перпендикулярною анізотропією (легка вісь намагніченості  $Oz$  перпендикулярна до площини шару  $XY$ ). У наближенні, якщо характерна частота теплового магнітного поля суттєво перевищує характерні частоти макроскопічної еволюції магнітного моменту системи, стохастична динаміка магнітного моменту описується рівнянням прецесії (з релаксаційним доданком у формі Ландау-Лифшиця), в якому в ефективне магнітне поле діюче на магнітний момент крім теплового магнітного поля, представленого, виходячи з вищевказаного наближення, як гаусівський білий шум, включене детерміноване осцилююче магнітне поле. Розглянуто випадок коли стала і змінна компоненти зовнішнього магнітного поля направлені вздовж легкої осі намагніченості системи.

Беручи до уваги, що модуль магнітного моменту частки є сталою величиною, на підставі рівняння прецесії було записано систему стохастичних рівнянь для полярного  $\psi_1$  та азимутального кутів  $\psi_2$  магнітного моменту. Відомо, що ця система описує двовірний дифузійний марківський процес компонентами якого є кути  $\psi_1, \psi_2$ .

В інтерпретації вищезазначеної системи за Стратоновичем були одержані загальні вирази прямого (для сумісної функції розподілу ймовірності  $P(\psi_1, \psi_2, t)$ ) і оберненого (для умовної щільності ймовірності  $P(\psi_1, \psi_2, t | \psi_1', \psi_2', \tau)$ ) рівнянь Фоккера-Планка. Проведений аналіз одержаних результатів.

# ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УРАВНЕНИЯ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОВ

В.М. Игнатенко

При давлениях газа существенно меньших критического давления, и температурах существенно больших критической температуры, можно считать, что газ находится в идеально газовом состоянии и использовать для расчетов уравнение состояния Менделеева-Клайперона

$$p \cdot v = R \cdot T. \quad (1)$$

Теплоемкость идеального газа  $c_p$  считается не зависящей от давления, т.е. является функцией температуры  $c_p^{ид} = f(T)$ .

$$c_p^{ид} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3. \quad (2)$$

Формулы для расчета термических и калорических параметров идеального газа имеют простую форму (например, энтальпия идеального газа  $i^{ид} = c_p^{ид} \cdot T$  - является функцией только температуры), поэтому использование уравнения состояния Менделеева-Клайперона, в тех случаях, когда обеспечивается приемлемая точность расчетов, является удобным.

Однако свойства реального газа значительно отличаются от свойств идеального, поэтому использование уравнения (1) ограничено.

Существует значительное количество (более ста) уравнений состояния для определения термодинамических свойств реальных газов. Начиная с простых уравнений состояния Дюпре (1864), Гирна (1865), Ван-дер-Ваальса (1873), были получены уравнения, которые позволяли определять термодинамические свойства газов все с большей

точностью. Уравнения состояния в вириальной форме — Тиссена (1885), Камерлинг-Оннеса (1901) и др. содержат коэффициенты (*вириальные коэффициенты*), которые зависят только от температуры. Уравнения состояния в вириальной форме записываются либо относительно удельного объема (3), либо давления (4)

$$z = \frac{p \cdot v}{R \cdot T} = 1 + \frac{B}{v} + \frac{C}{v^2} + \frac{D}{v^3} + \dots, \quad (3)$$

$$z = \frac{p \cdot v}{R \cdot T} = 1 + B' \cdot p + C' \cdot p^2 + D' \cdot p^3 + \dots. \quad (4)$$

Использование уравнений состояния Битти-Бриджмена, Загорученко, Редлиха-Квонга и др. возможно, если известны значения индивидуальных коэффициентов компонентов газовой смеси и коэффициентов, учитывающих взаимодействие компонентов.

Большое распространение вследствие простоты и физической наглядности получило уравнение *Ван-дер-Ваальса*

$$\left( p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = R \cdot T. \quad (5)$$

Константы уравнения *Ван-дер-Ваальса* определяются, как правило, по известным критическим параметрам из условий

$$\left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_{T_{кр}} = -\frac{R \cdot T}{(v - b)^2} + \frac{2 \cdot a}{v^3} = 0 \quad (6)$$

$$\left( \frac{\partial^2 p}{\partial v^2} \right)_{T_{кр}} = \frac{2 \cdot R \cdot T}{(v - b)^3} - \frac{6 \cdot a}{v^4} = 0 \quad (7)$$

Совместное решение этих уравнений дает

$$v_{кр} = 3 \cdot b; \quad p_{кр} = \frac{a}{27 \cdot b^2}; \quad T_{кр} = \frac{8 \cdot a}{27 \cdot R \cdot b}.$$

Тогда критический коэффициент сжимаемости

$$z_{кр} = \frac{p_{кр} \cdot v_{кр}}{R \cdot T_{кр}} = \frac{3}{8} = 0,375. \quad (8)$$

Значение  $z_{кр}$  для реальных газов заметно меньше (0,27-0,3), чем получается из уравнения *Ван-дер-Ваальса*. Как и другие простые уравнения состояния с двумя индивидуальными параметрами уравнение *Ван-дер-Ваальса* является неточным. В практических расчетах данное уравнение, как правило, не используется, но имеет принципиальное значение, потому что:

1) уравнение было получено из модельных представлений о свойствах реальных газов и жидкостей, а не явилось результатом эмпирического подбора функции  $f(p, v, T)$ ;

2) на основе этого уравнения построено много других уравнений состояния;

3) с помощью уравнения *Ван-дер-Ваальса* впервые удалось описать явление перехода газа в жидкость и проанализировать критические явления. В этом отношении уравнение *Ван-дер-Ваальса* имеет преимущество перед более точными уравнениями в вириальной форме.

Причиной недостаточной точности уравнения Ван-дер-Ваальс считал ассоциацию молекул в газовой фазе, которую не удается описать, учитывая зависимость параметров  $a$  и  $b$  от объема и температуры, без использования дополнительных постоянных. Выяснилось, что ни одно из уравнений состояния, содержащих менее 5 индивидуальных постоянных, не оказалось достаточно точным для описания реальных газов в широком диапазоне  $p$ ,  $V$ ,  $T$ , и все эти уравнения оказались непригодными в области конденсации газов.

# КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИНАМИКЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОНОВ

В.М. Брацыхин, Е.В. Алтынникова

Дороговизна и отсутствие финансирования делают для кафедры общей и экспериментальной физики (КОЭФ) невозможным постановку или усовершенствование практически любых лабораторных работ (ЛР). Поэтому в некоторых ЛР до сих пор приходится мириться с упрощениями, граничащими с некорректностью, а иногда и просто с неверной трактовкой физических процессов, и подгонкой их к получаемым экспериментальным результатам путем подбора коэффициентов.

Типичным примером таких ЛР является, например, работа, посвященная определению удельного заряда электрона методом магнетрона. С целью упрощения расчетов в работе используется явно не соответствующая действительности форма траектории электронов в вакуумном диоде. Необходимые для ЛР заводские вакуумные лампы вообще не выпускались и не выпускаются. Это приводит к использованию в ЛР обычных кенотронов и построения искусственной модели эксперимента, не соответствующей действительности.

В ЛР по изучению законов термоэлектронной эмиссии нет возможности учесть влияния искажения электрических полей в реальных вакуумных диодах и триодах. Эти принципиальные сложности не дают четко проследить проявление закона  $3/2$  и закона Ричардсона-Дэшмана.

Большие экспериментальные погрешности не позволяют поставить ЛР по проверке распределения термоэлектронов по энергии.

По этим причинам работы с термоэлектронной эмиссией можно было бы давно снять с лабораторного практику-

ма. Однако богатство затрагиваемых физических явлений делает эти ЛР весьма ценными для учебного процесса. Спасти положение позволяет постановка корректной компьютерной работы.

Компьютерная версия ЛР всегда более гибкая по сценарию и позволяет более строго разрабатывать рабочие модели. Естественно, что преимущества компьютерной ЛР могут проявиться только в случаях, когда исследуемые физические процессы и явления в реальной ЛР абсолютно ясны и однозначны. Именно это характерно для ЛР с термоэлектронами.

Теория термоэлектронной эмиссии в случае цилиндрически симметричных электрических полей прекрасно разработана и проверена. В компьютерной лабораторной работе «Определение удельного заряда электрона» предусмотрено изменение материала и геометрии катода, диаметра и устройства анода в достаточно широких пределах. Поэтому на базе этой ЛР можно дополнительно проводить еще четыре компьютерных ЛР – «Проверка закона  $3/2$  для термоэмиссии в условиях экранировки катода электронами», «Проверка закона Ричардсона-Дэшмана для термоэмиссии электронов», «Проверка статистики термоэлектронов по энергии», «Определение работы выхода электронов их вольфрама».

В заключение отметим, что программа обеспечивает возможность построения экспериментальных графиков с изменением масштабов отображения отдельных участков графика, что усиливает иллюзию работы с реальными объектами.

## КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО П/П ЭЛЕКТРОНИКИ

В.М. Брацыхин, В.И. Верблюдов, Д.М. Михайленко

Связующим объектом для всех лабораторных работ (ЛР) комплекса является электронно-дырочный переход (ЭДП) на границе двух полупроводников с различным типом проводимости. ЭДП является основным элементом большинства полупроводниковых приборов и микросхем, его свойствами определяется принцип действия и функциональные возможности этих приборов.

Комплекс включает следующие компьютерные лабораторные работы.

«Исследование вольт-амперной характеристики (ВАХ) выпрямительного диода» – снимаются прямая и обратная ветви ВАХ с учетом влиянием температуры нагрева диода;

«Исследование полупроводникового стабилитрона» – снимается обратная ветвь ВАХ с учетом влияния температуры;

«Исследование варикапа» – снимается частотная характеристика варикапа в зависимости от приложенного обратного напряжения;

«Исследование туннельного диода» – снимается общая ВАХ с выделением туннельной и дрейфовой части прямого тока ЭДП;

«Исследование биполярного транзистора в схеме с ОЭ» – определяются коэффициенты усиления по току и напряжению, малосигнальные параметры транзистора в схеме ОЭ;

«Исследование биполярного транзистора в схеме с ОБ» – определяются параметры, аналогичные ЛР для схемы ОЭ.



## КОМПЬЮТЕРНЫЙ СТЕНД «УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ»

В.М. Брацыхин, Б.В. Дегтяренко, А.В. Отроков

В нашей работе мы продолжаем уже традиционный подход к разработке комплексов компьютерных лабораторных работ (ЛР).

Интерес к современным индикаторам отображения информации (ИОИ) объясняется тем, что эти устройства находятся на передовых рубежах высоких технологий. В них органически сочетаются высокая надежность и длительный срок службы, экономичность и требуемая мощность, быстроедействие и способность сохранять информацию. Эти особенности реализуются на уникальных физических свойствах и многообразии физических явлений, используемых в ИОИ. Исследование этих свойства и является целью компьютерных ЛР комплекса стенда. В сгруппированном виде эти ЛР позволят студентам быстро и достаточно полно ознакомиться с современным уровнем отображения информации.

В завершеном виде стенд будет включать следующие компьютерные ЛР: «Исследование электрических токов в газах», «Исследование электролюминисценции», «Исследование термопластов». В настоящее время завершена разработка трех ЛР – «Исследование оптических свойств жидких кристаллов», «Исследование полупроводникового лазера» и «Исследование светодиодов». В каждой ЛР предусмотрена демонстрация примеров использования изученного физического явления в ИОИ.

## КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ТУННЕЛЬНОМУ МИКРОСКОПУ

В.М. Брацыхин, А.И. Писаненко, М.И. Сиротенко

В самом простейшем представлении сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) представляет собой систему механического и электронного блоков.

Механический блок включает в себя острую иглу и пьезоэлектрических устройств очень точного перемещения иглы вблизи поверхности исследуемого образца в трех направлениях. Электронный блок определяет величину туннельного тока между иглой и образцом и управляет перемещением иглы. Величина туннельного тока при постоянном приложенном напряжении сильно зависит от расстояния образец-игла. В процессе сканирования игла движется вдоль образца, а величина тока меняется в зависимости от топографии поверхности. На основе изменения тока создается профиль поверхности.

СТМ является уникальным прибором, он дает разрешение по высоте неровностей – до  $0,5 \text{ \AA}$  (межатомные расстояния более  $2,5 \text{ \AA}$ ). Естественно, такой прибор дорог и в наши дни существует немного даже научных лабораторий, располагающих СТМ, которые работали бы с истинно атомным разрешением.

В СТМ реализуются двумерное сканирование поверхности образца, обеспечивается и измеряется туннельный ток, проводится локальное зондирование.

В комплекс входят следующие ЛР. «Исследование прямого пьезоэффекта»; «Исследование обратного пьезоэффекта»; «Исследование туннельного тока»; и, как итог, «Знакомство с работой сканирующего туннельного микроскопа».

## СИНХРОНИЗАЦИЯ КУРСОВ ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ

В.М. Брацькихин, Л.И. Брацькихина, Н.И. Одарченко

Провозглашенный курс на адаптацию высшего образования в Украине к Европейским стандартам и выбранные сроки и способы такой адаптации создает в нашем университете если не шоковую, то стрессовую ситуацию в учебном процессе. И если преподавательский коллектив в любом случае преодолет издержки надвигающейся революции, то для студентов она может иметь катастрофические последствия. Резкое сокращение числа аудиторных занятий и внезапное превращение преподавателя из основного источника информации в организатора учебного процесса оставляет студента сам на сам в хаотическом море учебно-методической информации. Это весьма опасная ситуация, тем более, что от неаккуратно выбранных приоритетов в реорганизации учебного процесса негативные последствия неизбежно будут прослеживаться в течение длительного срока.

Огромное значение приобретает логичность в процессе непрерывного образования студента, которая проявляется в синхронизации прохождения учебных курсов и укрепления межпредметных связей. Для технических специальностей нашего университета в первую очередь это относится к физико-математическому образованию, т.е. к курсам физики и высшей математики.

Недопустимы разбежности в сроках прохождения курсов физики и математики. В проектах новых учебных планов не учтены последовательности прохождения разделов физики и математики. Надеяться при этом на школьные знания студентов нельзя, т.к. наличие у студента аттестата о среднем образовании (даже с отличными оценками!) от-

нюдь не гарантирует, что его обладатель имеет даже минимальный уровень базовых знаний.

Математика является стабильной, в некоторой степени даже консервативной наукой, в которой на протяжении десятилетий отработан традиционный курс высшей математики, самодостаточный и не требующий оглядки на физику и технические дисциплины. Но мы уверены, что преподавать “чистую” математику для технических специальностей нецелесообразно. С другой стороны, наблюдается тенденция к снижению математической строгости курса физики, к его упрощению с мотивировкой – наши студенты не в состоянии освоить строгое изложение. Очевидно, истина находится, как всегда, посередине.

Мы проводим большую организационную работу в течение семестра по синхронизации тематики занятий по физике и математике, практически еженедельно. Но этого недостаточно.

Как известно, эффективность обучения находится в прямой зависимости от количества необходимых связей между понятиями, явлениями, процессами и примерами. Однако, преподавание физики, математики и специальных дисциплин часто не согласовано. Не согласовано не только во времени, но и аксиоматике, терминологии и даже в обозначениях величин. Естественно, у студентов складывается впечатление, что курсы физики и математики не имеет никакого отношения к реальным задачам.

Мы уверены, что синхронизация курсов должна проводиться не в порядке личных инициатив и энтузиазма, а быть основной работой кафедр в период составления новых учебных планов. Пусть эта работа потребует большего времени, но мы не допустим формального подхода к работе, от которой очень много зависит.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ САМОПОДОБНЫХ  
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Проф. Олемской А.И., студ. Борисюк В.Н.

Анализ временных рядов является основой разработки и верификации макроскопических моделей, позволяющих последовательным образом представить эволюцию сложных систем на основе микроскопических данных. Такой анализ сводится к вычислению корреляционных функций векторов состояний, представляющих временные последовательности величин, которые характеризуют систему.

Будучи традиционным разделом статистики, анализ временных рядов основывается на классе моделей гармонического осциллятора, которые отвечают простейшему случаю гауссовского случайного процесса. Однако в действительности оказывается, что реальный временной ряд скорее отвечает полётам Леви, нежели чем гауссовским процессам, которые являются их частным случаем. Известная особенность полётов Леви состоит в их инвариантности относительно масштабных преобразований, в связи с чем проблема исследования временных рядов сводится к анализу самоподобных стохастических процессов.

Использование формализма неаддитивной статистической физики показывает, что простейший временной ряд может быть представлен моделью идеального газа, фазовый объём которого задаётся скоростью изменения стохастической переменной. Использование энтропии Реньи и статистики Цаллиса позволяет стандартным образом ввести температуру и энтропию, объём и давление, внутреннюю и свободную энергии. Принципиально важным условием предложенной

схемы является свойство самоподобия временного ряда, означающее масштабную инвариантность к изменению размера системы. Формально это выражается в том, что все термодинамические характеристики определяются характерной комбинацией числа частиц и параметра неаддитивности, которая задаётся фрактальной размерностью ряда.

Поведения реального временного ряда определяется поправками к приближению идеального газа, обусловленными действием внешнего поля и межчастичным взаимодействием. Использование модели Ван-дер-Ваальса приводит к температурным зависимостям теплоёмкости и восприимчивости, условия положительности которых определяют предсказуемость поведения ряда. Эти условия приводят к появлению максимального размера временного интервала и минимального масштаба изменения стохастической переменной. Ограничения на фрактальную размерность оказываются несущественными.

Статистическая картина поведения временного ряда определяется эффективной температурой, которая зависит экспоненциально от фрактальной размерности и степенным образом - от максимального разброса стохастической переменной. Численное исследование ряда, представленного неаддитивными случайными блужданиями, подтверждает эти зависимости, а также закон равномерного распределения, согласно которому эффективная температура равна средней энергии, приходящейся на степень свободы. Существенный разброс численных данных обусловлен мультифрактальным характером и кластеризацией временных рядов. Мультифрактальный характер временного ряда подтверждает численный расчет функции мультифрактального спектра.

## ТОНКИЕ ПЛЕНКИ МЕДИ – ФРАКТАЛЫ.

Студ. Дрозденко М.А.

Фрактал (от лат. Fractus) обозначает структуру, состоящую из частей (фрагментов), которые подобны целому. Фракталы характеризуются дробной размерностью и являются самоподобными объектами.

Самоподобие означает, что некий геометрический объект (образ) смотрится одинаково при различных степенях его увеличения. Кривая Кох, ковер Серпинского, пирамида Серпинского и множество Мандельброта. Размерность фрактала описанного двумя координатами находится в пределах от 1 до 2. В природе не существует идеальных фракталов, которые можно описать математическими функциями, но в некотором приближении можно сказать, что кораллы, береговая линия являются самоподобными, т.е. фракталами.

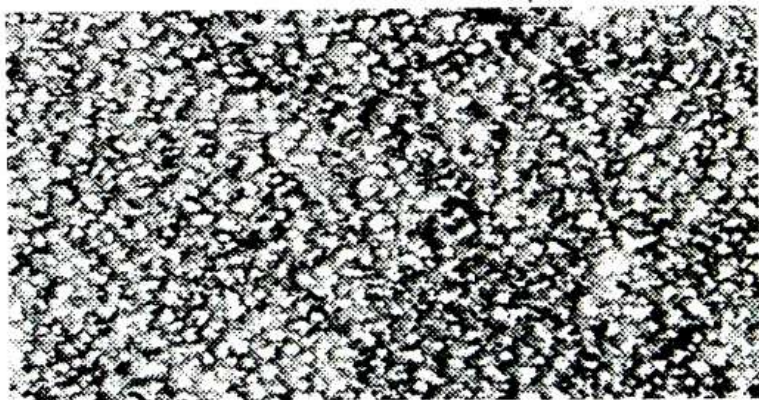


Рисунок 1 – Фотография тонкой пленки меди при многократном увеличении.

Объектом исследования моей работы были тонкие пленки меди, полученная напылением атомов на подложку, и целью – подтверждение либо опровержение того предположения, что поверхность этой пленки также

является фракталом. Работа проводилась с фотографиями поверхности тонких медных пленок (рис. 1), полученных с помощью многократного увеличения под электронным микроскопом.

Визуально фотографии тонких пленок напоминают самоподобные объекты (рис. 1). Для подтверждения этого предположения следует исходные фотографии сравнить с их фрагментами. Потому как пленки имеют рельефную поверхность, то для представления их на плоскости было необходимо выбрать условную высоту и отбросить верхушки, тем самым получить условную береговую линию на конкретной высоте, размерность которой сравнивалась с размерностью фрагментов.

Для подтверждения предположения самоподобия было проведено исследование спектра фотографий тонких медных пленок таким образом, что для каждой фотографии рассчитывались фрактальные размерности береговой линии на разных уровнях высоты. Затем из каждой фотографии вырезался небольшой кусочек, с которым, увеличивая его до оригинальных размеров фотографии, проводились те же самые действия. Анализ результатов двух методов (метод покрытий и корреляционный метод) показал, что спектр фрактальных размерностей любой фотографии совпадает со спектром размерностей её фрагмента.

Это подтверждает предположение о самоподобии поверхностей тонких медных пленок и их фрагментов независимо от условного уровня высоты. Из этого можно предположить, что поверхности других тел также являются фракталами.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feder, E. (1988) *Fractals*, New York, Plenum.



## ПОЛУЧЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ СТРУКТУР ВБЛИЗИ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ ПАР-КОНДЕНСАТ

Доц. Перекрестов В.И., студ. Прошкина Д.А.

Островковые структуры обладают необычными электрофизическими свойствами, поэтому интерес к ним не ослабевает. Для получения слоев нанокристаллов используют различные технологии. Начальная стадия появления конденсата при осаждении паров металлов сопровождается формированием островковых пленок в виде слоя сверхкритических зародышей. При дальнейшей конденсации пара происходит коалесценция островков, образование структуры каналов и затем сплошной пленки. Исходя из этого, можно выделить три варианта получения островковых структур.

Первый заключается в приостановке технологического процесса до момента образования структуры каналов.

Второй вариант основан на подавлении процессов коалесценции и срастания островков при осаждении металлов в среде активных газов ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$  и т.д.). При этом формируются сплошные пленки, которые представляют собой кристаллы металлов, соединенные между собой прослойками окислов, нитридов и т.д. Такие структуры называются гранулированными пленками.

Третий вариант образования беспримесных макроскопических островковых структур происходит при осаждении паров с предельно низким пересыщением. Рост островковых структур в этом случае объясняется „рассасыванием“ докритических зародышей диффузионными процессами, которые способствуют образованию отдельных относительно крупных островков. Качественным критерием слабого пересыщения паров можно считать факт образования крупномасштабных островковых структур при их конденсации.

В данной работе изучается структурообразование слоев нанокристаллов при осаждении паров Al с низким пересыщением. Выбор Al связан с его относительно низкой температурой плавления. Это позволяет реализовать механизмы конденсации пар-жидкая фаза-кристалл ( $P \rightarrow Ж \rightarrow K$ ) и пар  $\rightarrow$  кристалл ( $P \rightarrow K$ ). Получение слоев производилось методом магнетронного распыления на постоянном токе в среде высокоочищенного Ar. Установлены условия образования статистически однородных слоев нанокристаллов в зависимости от температуры осаждения, парциальных давлений Ar и химически активных газов.

Таким образом, используя конденсацию слабопересыщенных паров можно эффективно управлять технологическим процессом с целью получения различных по структуре слоев нанокристаллов.

# ВЛИЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ НА ФАЗОВУЮ ДИНАМИКУ УЛЬТРАТОНКОЙ ПЛЕНКИ МАСЛА

Доц. Хоменко А.В., студ. Палиенко М.В.

Исследование влияния шума на процесс плавления ультратонкой пленки масла имеет очевидное фундаментальное и практическое значение, поскольку в конкретных экспериментальных ситуациях флуктуации изменяют поведение критическим образом, например, обеспечивая условия для уменьшения трения. В частности, тепловой шум, проявляющийся в любых экспериментах, может переводить ультратонкую пленку смазки из устойчивого твердоподобного состояния в жидкоподобное и, таким образом, преобразовывать сухое трение в скольжение или прерывистый (stick-slip) режим. Поэтому в последнее время значительное внимание уделялось изучению влияния шума и случайных примесей в граничной области на статическое и динамическое трение. Эти исследования показали, что периодические поверхности характеризуются меньшим коэффициентом трения в процессе скольжения, чем непериодические. В работе развит аналитический подход, который позволяет описать переходы между режимами трения под влиянием флуктуаций упругих и тепловых полей.

Уравнения системы являются уравнениями типа Максвелла и Кельвина-Фойгта для описания вязкоупругой среды соответственно. Последнее учитывает зависимость сдвиговой вязкости от безразмерной температуры. Еще одно уравнение представляет собой выражение для теплопроводности, которое описывает передачу тепла от поверхностей трения к пленке смазки, эффект диссипативного разогрева вязкой жидкости, текущей под

действием напряжений, и обратимый механокалорический эффект в линейном приближении. Эти уравнения формально совпадают с синергетической системой Лоренца, в которой упругие сдвиговые напряжения играют роль параметра порядка, сопряженное поле сводится к упругой сдвиговой деформации, а температура представляет управляющий параметр. Известно, что эта система используется для описания как фазовых термодинамических, так и кинетических превращений.

Предлагаемая работа основана на концепции динамического сдвигового плавления ультратонкой пленки смазки. Такой подход позволяет описать прерывистое трение и представить плавление как результат действия упругого поля сдвиговой компоненты напряжений, вызванного нагреванием поверхностей трения выше критического значения. Существенным ограничением данного подхода является тот факт, что он не учитывает способ приведения системы в движение, а именно влияние константы упругости пружины и массы сжимающих стенок, хотя указанная зависимость влияет критическим образом на характер прерывистого трения.

Приведенное рассмотрение влияния шумов теплового и упругого полей на плавление ультратонкой пленки смазки позволяет определить области сухого, жидкого и прерывистого трения на фазовой диаграмме системы, так что флуктуации приводят к ее усложнению. В зависимости от начальных условий рост шума температуры пленки смазки может уменьшать или увеличивать трение, а рост шума упругой сдвиговой деформации лишь увеличивает область жидкого трения. Область сухого трения небольшими значениями интенсивностей шумов температуры и напряжений

Таким образом, предложенный подход прогнозирует возможность для контроля процесса трения.

# ВЛИЯНИЕ КОРЕЛЛИРОВАННЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМАЗКИ НА ФАЗОВУЮ ДИАГРАММУ

доц. Хоменко А. В., студ. Люлев А. В.

Интерес к проблеме трения скольжения обусловлен ее прикладным значением. В данном докладе работа основывается на компьютерных симуляции пленок с простыми сферическими молекулами. В частности, обнаружено в плоскости прочный порядок молекул в дополнение к наслаиванию. Этот порядок в плоскости играет весьма важную роль в передаче сдвигового напряжения. Вся пленка может кристаллизироваться, когда разделение стенок составляет менее чем 5-6 молекулярных промежутков, приведенных к ограниченному напряжению тягучести. Напряжение больше чем это значение уничтожает кристаллический порядок. Прерывистое движение включает периодическое сдвиговое плавление и рекристаллизацию пленки. Симуляции выполнялись в плоскости, геометрии Коутта, которая имеет близкое сходство с экспериментальными системами.

Для описания перехода первого рода проведен учет дефекта модуля сдвига. Показано, что изменение значения интенсивности флуктуаций температуры трущихся поверхностей может перевести систему из режима сухого трения к жидкостному, при этом последний возникает при двух значениях упругих сдвиговых напряжений. На фазовой диаграмме появляются области, где прерывистый (stick-slip) режим трения характеризуется наличием метастабильного жидкоподобного состояния смазки, а также могут происходить периодические переходы между метастабильным и устойчивым жидкостными режимами трения.

# ВЛИЯНИЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФАЗОВУЮ ДИНАМИКУ АМОРФНОЙ УЛЬТРАТОНКОЙ ПЛЕНКИ СМАЗКИ

Доц. Хоменко А.В., студ. Можневская Ю.В.

В работе проводилось экспериментальное исследование атомарно плоских поверхностей слюды, разделенных ультратонким слоем смазки, которая при определенных условиях проявляла свойства твердого вещества. В частности, наблюдалось прерывистое движение (stick-slip), присущее сухому трению.

Исследование влияния шума на процесс трения скольжения также имеет и практическое значение, поскольку в конкретных экспериментальных ситуациях флуктуации изменяют фрикционное поведение критическим образом. В частности, тепловой шум, проявляющийся в любых экспериментах, может переводить ультратонкую пленку смазки из устойчивого твердоподобного состояния в жидкоподобное и, таким образом, преобразовывать сухое трение в жидкостное или прерывистый режим.

В предлагаемой работе в рамках модели Лоренца для описания вязкоупругой среды показано, что внутренние флуктуации указанной температуры, имеющие смысл аддитивного шума, приводят к усложнению фазовой диаграммы, определяющей различные динамические режимы трения. Рассмотрен стационарный режим такой системы для непрерывного превращения соответствующего плавлению аморфной смазки. Поскольку упругие сдвиговые напряжения характеризуют фазовое состояние смазки, выяснено влияние на их поведение температуры поверхностей трения. Описано влияние величины времени корреляции исследуемых флуктуаций на фазовую диаграмму.

# УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫМИ И РЕЗОНАНСНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОТКРЫТЫХ РЕЗОНАТОРОВ

асп. Журба В.О., асист. Петровский М.В.,

вед. инж. Крутько Ю.А.

В электронике и технике миллиметровых и субмиллиметровых волн широкое применение нашли открытые резонаторы (ОР), являющиеся важнейшими элементами целого ряда измерительных и генераторных устройств [1]. В [2] показано, что при введении в объем ОР периодической металлодиэлектрической структуры электродинамические характеристики такой системы существенно изменяются по отношению к базовым резонаторам: сфероидальным и полусферическим. Вместе с тем, недостаточный объем исследований по влиянию на спектр ОР как диэлектрических, так и периодических металлических структур затрудняет понимание физики процессов формирования колебаний в таких системах.

В данной работе исследованы резонансные свойства ОР с диэлектрическими неоднородностями, в виде призм из фторопласта ( $\epsilon = 2,05$ ) и поликора ( $\epsilon = 10$ ). При этом базовыми являлись измерения спектральных и резонансных характеристик сфероидального и полусферического ОР в диапазоне частот  $f = 69 - 77$  ГГц. Экспериментально установлено, что наличие диэлектрической призмы в объеме резонатора уменьшает эффективное расстояние между зеркалами для возбуждаемых типов колебаний, величина которого зависит от толщины диэлектрика. Кроме того, введение диэлектрической неоднородности в ОР приводит к качественно новым электродинамическим свойствам такой системы, по сравнению с базовыми ОР: путем изменения толщины диэлектрика и значений относительной диэлектрической проницаемости возможна реализация режимов затухания энергии в ОР либо увеличения амплитуды колебаний и их добротности, селекции колебаний. Данные результаты указывают на возможность управления

свойствами ОР путем внесения диэлектрической неоднородности с заданными параметрами.

Применение металлических неоднородностей в виде ленточных дифракционных решеток, помещенных в объем сфероидального ОР, приводит к образованию связанной системы и позволяет значительно расширить полосу пропускания резонатора при оптимальных расстояниях между зеркалами. Так в частности, в случае одиночной ленточной решетки максимальная амплитуда колебаний в связанном ОР реализуется для равных расстояний между зеркалами. При этом ОР возбуждается практически на одной частоте, что указывает на селективные свойства такой системы. Наряду с этим, применение сдвоенных ленточных решеток показало, что при оптимальной настройке такой связанной системы, которая характеризуется примерно равными расстояниями между зеркалами ОР и плоскостью ленточных решеток, полоса пропускания резонатора может достигать значений  $\Delta f \approx 2,4$  ГГц, что больше чем в 10 раз превышает полосу пропускания базовой структуры.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения исследуемых в работе электродинамических систем при построении новых модификаций селективных и генераторных устройств миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.

#### Литература

1. Генераторы дифракционного излучения / Под ред. Шестопалова В.П. – Киев. – 1991. – 320 с.
2. Воробьев Г.С., Петровский М.В., Журба В.О., Крутько Ю.А., Перспективы использования пространственно-развитых резонансных структур в дифракционной электронике // 15-я Международная Крымская конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. – Севастополь: “Вебер”. – 2005. – С. 265 – 266.



## БИОСОВМЕСТИМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАНТОВ

Ст. преп. Косминская Ю.А., студ. Гранько Г.А.

Ортопедические имплантанты применяются для замещения поврежденных частей тканей и органов человеческого организма. Заменяться могут, например, поврежденные суставы, сердечные клапаны, поврежденные участки кости, также к ортопедическим имплантантам относятся зубные протезы.

Традиционно используемые в имплантологии материалы — металлы, керамика и пластмассы — не физиологичны: они взаимодействуют с тканями, переносятся в результате транспортных реакций в другие части тела, изменяют иммунные реакции. Металлические имплантанты удобны в изготовлении и установке, однако не физиологичны. Многие металлы слабо выводятся из организма и с течением времени обнаруживаются во многих тканях и органах организма.

В настоящее время для изготовления эндопротезов широко используются нержавеющая сталь, сплавы кобальта с хромом, титан и его сплавы. Особенно распространенным титановым сплавом является Ti-6Al-4V, который чаще всего используется при изготовлении имплантантов подвергающихся механическим нагрузкам (например, в тазобедренных и коленных суставах). Однако несоответствие твердости и упругости материала протеза и кости ведет к изменению напряжения скелета, что приводит к резорбции имплантанта и выходу его из строя. Кроме того, материал протеза испытывает не только механические нагрузки. Он подвержен и коррозионному разрушению в достаточно агрессивной среде. Скорость коррозии материалов протезов очень низкая, однако,

в контакте тканями организма даже небольшие количества продуктов коррозии могут быть опасны, приводя к запуску патологических иммунных процессов, разрастанию соединительной ткани, присоединению инфекции.

Для устранения вышеуказанных недостатков имплантируемых протезов, имплантанты покрываются специальными покрытиями, которые предотвращают распространение материала имплантанта в ткани живого организма. В качестве таких защитных покрытий перспективны углеродные, поскольку углерод является основным элементом в живых организмах и не вызывает существенных отрицательных реакций. Исследования *in vitro* с использованием мышинных тканей и тесты *in vivo* на овцах показали очень хорошую биосовместимость углеродных плёнок. При взаимодействии углеродных кластеров с живой тканью и кровью в отличие от металлов не происходит проникновения активных ионов в организм. Необходимо также отметить, что среди углеродных выделяют алмазоподобные углеродные покрытия, которые являются химически инертными и обладают высокой твердостью.

Таким образом, перспективным представляется нанесение углеродных покрытий, и в том числе алмазоподобных, на базовые титановые сплавы. Кроме того, создание переходной прослойки из карбида титана между углеродным покрытием и основным материалом поможет улучшить механические свойства готового имплантанта.

Предлагаемые покрытия могут иметь как сплошную структуру с гладкой поверхностью (например, в замещенных суставах для трущихся частей), так и пористую (для улучшения адгезии биологических тканей на имплантантах).

# СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМЫ

ст. преп. Возный В.И.; ст. Нагорный В.А

Среди обширного набора диагностических методик, используемых для определения различных параметров плазмы, важное место занимают сверхвысокочастотные (СВЧ) методы исследования. Они основаны на взаимодействии электромагнитного излучения и электронов плазмы и позволяют определить одну из важнейших характеристик - электронную концентрацию (электронную плотность) плазмы. Среди СВЧ методов исследования наибольшее развитие получила СВЧ интерферометрия, основой которой является наблюдение интерференции двух лучей от одного и того же генератора. Один из лучей проходит через исследуемую плазму и испытывает фазовый сдвиг, связанный с электронной плотностью плазмы. Методы и аппаратура СВЧ интерферометрии получили значительное развитие применительно к потребностям экспериментов в области управляемого термоядерного синтеза. В частности, широкое распространение получили интерферометры с переносом измерений фазового сдвига на пониженную (промежуточную) частоту, использующие неравноплечный волноводный мост и пилообразную частотную модуляцию СВЧ генератора. Такие интерферометры позволяют измерять фазовые сдвиги, начиная от долей

градуса, нечувствительны к затуханию сигнала в плазме, обладают хорошей помехоустойчивостью.

Все эти качества очень полезны при измерении электронной плотности стационарной плазмы. Вместе с тем, стационарная плазма требует повышенной долговременной стабильности начальной фазы на индикаторе. Основными источниками нестабильности фазы являются уход частоты СВЧ генератора и изменения длины волноводных линий при прогреве.

В докладе представлены результаты исследования нескольких модификаций интерферометра на волну 8 мм, разработанного в Институте прикладной физики НАН Украины для измерения электронной плотности плазмы высокочастотного источника ионов. Исследованы схемы с различными модулями для формирования опорного сигнала промежуточной частоты. Выяснены основные факторы, оказывающие влияние на стабильность начальной фазы, определены условия оптимального применения исследованных схем. Показано, что наилучшей стабильностью обладает схема интерферометра с опорным волноводным мостом специальной конструкции. Разработанная конструкция опорного неравноплечного волноводного моста позволила сократить расход волноводной трубки и улучшила стабильность схемы почти на порядок. Измеренный дрейф начальной фазы в таком интерферометре составил величину не более 0,1 град/час. Достигнутая долговременная стабильность облегчила проведение измерений на водородной плазме малой плотности, позволив автоматизировать основные стадии эксперимента.

## РУХ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТОК У КЛАСИЧНОМУ ФІЛЬТРІ ВІНА

Доц. Мордик С.М., студ. Надточий А.С.

У роботі були проведені розрахунки оптимальних умов мас-сепарації пучку іонів  $Ag^+$ ,  $^{13}C^{16}O_2^-$ ,  $^{12}C^{16}O_2^+$  класичного фільтру Віна мас спектрометра з індуктивно зв'язаною плазмою для ранньої діагностики гастриту. Проведені розрахунки розподілу магнітних та електростатичних полів в фільтрі Віна. Отримані траєкторні рівняння руху пучків заряджених часток в схрещених магнітних та електричних полях. Отримані вирази для скалярних магнітного та електростатичного потенціалів фільтру Віна.

Досліджені умови фокусування пучка у класичному фільтрі Віна з урахуванням аберацій третього порядку. Для знаходження абераційних коефіцієнтів другого та третього порядку чисельними методами був застосований метод занурення в простір фазових моментів та метод матрицантів. Проведено дослідження еволюції фазових множин в компактному фільтрі Віна в режимі масової роздільної здатності з дисперсією (dM/M~60).

Визначені технічні умови на розміри об'єктної та кутової діафрагми, величину магнітного та електростатичного поля фільтру Віна та величину енергетичного розкиду пучку. Результати розрахунків показали, що компактний класичний фільтр Віна з ефективною довжиною магнітного та електричного поля 120 мм, при розмірі об'єктної апертури 200 мкм, кутовому розкиді  $\pm 1$  мрад, енергетичному розкиді  $\pm 50$  еВ, може бути використаний в якості мас спектрометра для ранньої діагностики гастриту.

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИФФУЗИИ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 20

Красуля О.А.

*Сумский Государственный Университет  
Кафедра физической электроники*

Запах духов, как известно, ощущается на довольно большом расстоянии. Объясняется это тем, что пары духов весьма легко диффундируют в воздухе. Капля жидкого красителя в воде легко диффундирует по всему сосуду. Намного труднее наблюдать диффузию в твердом теле. По этой причине изучение диффузии в твердых телах стало одним из наиболее интересных исследований в физике наших дней.

В настоящее время мы хорошо представляем себе, что даже наиболее плотное твердое тело – всего-навсего довольно слабо связанный набор атомов. А в результате теплового движения атомы непрерывно колеблются относительно некоторого усредненного по различным возможным местам их нахождения положения. Амплитуда таких колебаний соответственно меняется от атома к атому и во времени.

Таким образом, атом может перескочить из своего положения равновесия и перескочить в соседнее вакантное место. Теория механизма диффузии с помощью вакансий должна учитывать, что 1) энергия образования дефекта в решётке включает также изменение состояния в некотором, окружающем вакансии, объёме и 2) перемещение в решётке является результатом кооперированного движения нескольких ближайших атомов. Безусловно, тенденция к этому резко возрастает, если мы подогреваем тело.

Коэффициент диффузии зависит не только от энергии активации (энергии связи), но также и от энергии связи и её производных через температурнезависящий

множитель. Таким образом, коэффициент диффузии определяется комплексом характеристик прочности связи и зависит от особенностей структуры и механизма диффузионных перемещений.

Коэффициент диффузии (как и частота скачков атомов, как и концентрация вакансий) растет с ростом температуры. Уравнение описывающее температурную зависимость коэффициента диффузии, называется уравнением Аррениуса:

$$D = D_0 \exp(-E/RT),$$

здесь  $D_0$  – предэкспоненциальный множитель,  $E$  – энергия активации процесса диффузии. Обе величины не зависят от температуры и  $E > 0$ . Поэтому коэффициент диффузии растет с ростом температуры вплоть до температуры плавления и тем сильнее, чем больше энергия активации.

Диффузия атомов чистого металла (так называемая «самодиффузия») может быть измерена с использованием незначительной доли радиоактивных атомов этого элемента. Металл может диффундировать в другой металл лишь при наличии вакансий в кристаллической решетке. Однако атомы неметаллического элемента, размеры которого много меньше, чем размеры атомов металла, могут втиснуться между атомами в металлическом кристалле. При этом диффузия не зависит от вакансий и, следовательно, происходит намного быстрее. Одним из таких примеров может служить диффузия углерода в железо.

Свойства стали меняются в зависимости от содержания в сплаве углерода. Сталь с небольшим содержанием углерода не очень прочна и хорошо куется. Повышение содержания углерода делает сталь более прочной, но более хрупкой.

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ САМОПОДОБНЫХ СИСТЕМ

Проф. Олемской А.И., студ. Ткаченко О. А.

На современном этапе развития науки особое значение для изучения представляют системы, в которых фазовый переход приводит к новому типу симметрии — относительно изменения их масштаба, т.е. самоподобные системы.

Самоподобие фазового пространства очевидным образом связано с его перемешиванием в ходе эволюции системы. Простейший нетривиальный пример такой системы представляет странный аттрактор, являющийся самоподобным множеством, в котором отсутствует перемешивание. В стохастических системах, подверженных действию случайной силы, свойство перемешивания может нарушаться как на макроскопическом, так и микроскопическом уровнях. В первом случае это приводит к неаддитивности энтропии, а во втором — к нарушению мультипликативности функций распределения отдельных частей системы. Поэтому исследование связи между степенью перемешивания фазового пространства и макроскопическими свойствами самоподобных систем является основным вопросом. Перемешивание фазового пространства является необходимым условием, которое обеспечивает применимость эргодической гипотезы, лежащей в основе статистической физики. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования сложных систем, в которых фазовое пространство, сохраняя самоподобие, частично или полностью теряет свойство перемешивания.

В работе исследуются статистических свойства самоподобных систем, обладающих различным перемешиванием фазового пространства. С этой целью рассматриваются самоорганизующиеся системы, обладающие



фрактальной обратной связью, самоподобные временные ряды и стохастические системы с цветным мультипликативным шумом. Исследование первой из указанных систем, которая обладает неперемешиваемым фазовым пространством, сводится к определению условий перехода в режим странного аттрактора. Рассмотрение самоподобных временных рядов сводится к построению термодинамической модели.

В результате проведенных исследований можно сделать выводы: 1) Сложная система обладает свойством самоподобия при условии, что любое растяжение или сжатие её фазового пространства не изменяет распределение микросостояний при выборе соответствующего масштаба. Самоподобные системы, проявляющие непредсказуемое поведение, подразделяются на два класса: системы, обладающие детерминистическим хаосом, и стохастические системы. 2) Согласно теореме Рюэля—Таккенса, поведение системы может оказаться непредсказуемым даже в том случае, если она описывается детерминистическими уравнениями. Для этого необходимо, чтобы число степеней составляло не менее трёх, а сама система обладала положительной обратной связью. В таких условиях, несмотря на полную детерминированность траекторий в пространстве состояний, сколь угодно слабое отклонение от начальных условий может привести к экспоненциальному удалению от начальной траектории. 3) Непредсказуемость поведения стохастических систем обусловлена случайной силой — ланжевенковским источником, действие которого нарушает перемешивание фазового пространства. Если это свойство нарушается на макроскопическом уровне, то термодинамические величины типа энтропии теряют аддитивный характер, а функция распределения микросостояний приобретает степенную особенность.

# СЕКЦІЯ „ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА”

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВНІЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

к.т.н., доц. Лебединський І.Л., студ. Мартиненко С.П.

Північна ЕС є четвертою за потужністю трансформаторів енергосистемою у складі Національної енергетичної компанії „Укренерго”, яка забезпечує стале електропостачання Північного регіону України.

Північна ЕС утворена у 1998 році, вона у той же час має глибокі історичні корені, які через історію Північного регіонального диспетчерського центру, Північних магістральних електричних мереж та Виробничого об'єднання „Харківенерго” (ВЕО „Харківенерго”) сягають далеко углиб двадцятих років минулого століття – 22.11.1929 року за рішенням Ради Праці і Оборони СРСР було утворено трест „Харківське об'єднання державних електричних станцій”.

Напередодні радикальної реформи української енергетики у 1994 – 1995 роках на території трьох адміністративних областей (Харківської, Сумської, Полтавської) індустріальної Півночі України ВЕО „Харківенерго” здійснювало повний цикл енергозабезпечення народного господарства і населення: виробництво, транспортування, розподілення електро- та теплової енергії і, врешті-решт, подача її до кожного споживача.

Для досягнення своїх виробничих цілей ВЕО „Харківенерго” виконувало цілий комплекс функцій:

- експлуатацію та ремонт діючого устаткування,
- диспетчерське керування режимами енергопостачання,
- енергетичний нагляд за споживанням,
- облік постаченої електроенергії,
- проектування окремих вузлів енергоустановок,

систему, утворену на базі Північного РДЦ і Північних МЕМ. Датою створення Північної ЕС стало 4 вересня 1998 року. Сьогодні Північна ЕС є представником державного сектора в електроенергетиці регіону, який охоплює території трьох областей: Харківської, Сумської, Полтавської, загальною площею 84 тис. кв. км., з населенням 5,84 млн. чол.

Північна ЕС здійснює такі основні завдання:

- забезпечення функціонування енергетики регіону як складової частини Об'єднаної енергетичної системи України;
- організація централізованого оперативного-диспетчерського керування:

  - в частині магістральних електричних мереж напругою 330 -750 кВ,
  - міждержавних електромереж ,

- мережі 110 -150 кВ обласних енергопостачальних компаній,
- електростанції різної потужності усіх форм власності,
- забезпечення надійної паралельної роботи із сусідніми енергосистемами,
- запобігання порушенням режиму й аваріям системного значення;
- виконання необхідних техніко-економічних розрахунків електромереж регіону та їх оптимізація;
- забезпечення високого рівня проведення ремонтів і експлуатації устаткування і ПЛ магістральних і міждержавних мереж і міждержавних мереж;
- здійснення державного енергетичного нагляду.

Мережі Північної ЕС межують з мережами Донбаської ЕС, Дніпровської ЕС, Центральної ЕС НЕК „Укренерго”, ВАТ „Брянськенерго”, ВАТ „Курськенерго” та ВАТ „Белгороденерго” РАО „Єдині енергетичні системи” (Російська Федерація).

До складу електроенергетичної системи входять структурні підрозділи з експлуатації й ремонту магістральних електричних мереж (Харківські, Сумські та Полтавські магістральні електричні мережі) та Державна інспекція з нагляду за режимами споживання електричної та теплової енергії. Сумські магістральні електричні мережі створено у 1998 році як структурний підрозділ Північної ЕС. Загальна кількість персоналу становить 342 чоловіка.

Працівники Сумських МЕМ обслуговують ПС-750 кВ „Північноукраїнська”, ПС-330 кВ „Суми”, „Суми Північна”, „Шостка”, „Конотоп” із загальною установленою потужністю трансформаторів 2776 МВА, 1 ПЛ-750 кВ загальною протяжністю 99,7 км, 9 ПЛ-330 кВ – 483,4 км, 4 ПЛ-110 кВ – 71,2 км. Загальна кількість умовних одиниць – 23637,002

За організаційною структурою всі 5 підстанцій підпорядковано службі підстанцій СМЕМ. У складі служби ліній є 2 лінійних дільниці: Сумська і Шосткінська.

Сумські МЕМ створено з метою організації експлуатації та забезпечення надійної роботи електричних мереж 330 кВ, а також електромереж, через які здійснюється обмін електричною енергією з іншими державами з інфраструктурою, що є у його господарському віданні; забезпечення надійної передачі електроенергії відповідно до диспетчерського графіка до Магістральних та Міждержавних електромережах, забезпечення постачання електроенергії із шин ПС 330 кВ і вище в електричній мережі енергопостачальних компаній області усіх форм власності та споживачів, що мають прямі договори з Північною ЕС і створення умов для ефективної роботи Магістральних та Міждержавних електромереж у межах області як складової частини інфраструктури ринку електроенергії України.

- будівельні роботи на діючих об'єктах,
- модернізацію застарілого устаткування,
- налагодження режимів енергоустановок,
- транспортне забезпечення виробничих процесів.

Цю багатоманітність функцій у складі ВЕО виконували спеціалізовані підприємства: електростанції, підприємства електричних та теплових мереж, ремонтні підприємства, підприємство з налагоджування – загалом 24.

У 1994 – 1995 роках за рішенням уряду України розпочалась реорганізація енергетичної галузі країни. У результаті реорганізації на базі ВЕО „Харківенерго” утворились нові юридично самостійні суб'єкти господарювання.

У їх числі було утворено державні підприємства:

- для виконання функцій диспетчерського керування – „Північний регіональний диспетчерський центр”,
- для виконання функцій експлуатації та ремонту магістральних мереж – „Північні магістральні електричні мережі”.

У 1997 році відповідно до наказу Міненерго України від 01.10.97 р. № 23 у Харківській, Полтавській і Сумській областях почалося утворення відособлених підрозділів ДЕК „Укрелектропередача” з експлуатації магістральних електричних мереж.

У 1998 році з метою підвищення ефективності керування державними сектором енергетики, ефективного використання державного майна, кадрового потенціалу і фінансових ресурсів відповідно до наказу Міненерго України від 15.04.98 р. № 54 було створено державне підприємство „Національна енергетична компанія „Укренерго”. Наказом Міненерго України від 01.07.98 р. № 107 ДП „НЕК „Укренерго” було створено 8 відособлених структурних одиниць, у т.ч. Північну електроенергетичну

## ХАРАКТЕРИСТИКА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КОМПАНІЇ «УКРЕНЕРГО»

к.т.н., доц. Лебединський І.Л., студ. Матрос А.О.

Основною потужного енергетичного комплексу України є Об'єднана енергетична система (ОЕС), яка забезпечує централізоване енергопостачання власних споживачів і взаємодія з енергосистемами сусідніх країн. В ОЕС входять електростанції енергогенерувальних компаній (14 ТЕС, 4 АЕС, 7 ГЕС, 1 ГАЕС), 97 ТЕЦ, 8 ВЕС, малі ГЕС та інші, магістральні мережі Національної енергетичної компанії (НЕК). Компанія України НЕК "Укренерго" є керівним центром ОЕС України, виконує функції оператора енергосистеми та оператора електричних мереж.

До складу НЕК "Укренерго" входять відособлені структурні одиниці: 8 електроенергетичних систем, яким підпорядковані 32 структурні підрозділи експлуатації магістральних і міждержавних ліній електропередавання.

"Укренерго" забезпечує паралельну роботу ОЕС України з енергосистемами Росії та інших країн СНД, об'єднанням енергетичних систем Європи ІСТЕ. ОЕС

України має зв'язки з енергосистемами сусідніх країн через електричні мережі різної напруги:

- об'єднанням ІСТЕ - 220, 400, і 750 кВ;
- ЄЕС Російської федерації - 110, 220, 330, 500, та 750 кВ;
- лінія постійного струму напругою 800 кВ;
- ОЕС Республіки Білорусь 110 і 330 кВ;
- ЩЕС Республіки Молдова 110 і 330 кВ;

Кроком до інтеграції енергетичних систем України та Європи стала організація так званого "Острова Буштинської ТЕС" і приєднання його в липні 2002 р. до об'єднання енергетичних систем Європи ІСТЕ.

"Острів" включає Бурштинську ТЕС, Калужську ТЕЦ і Терембю-Ріцьку ГЕС сумарною потужністю 1800 МВт, відповідну інфраструктуру мереж 220-270 кВ та розподільчі мережі карпатського регіону України.

Згідно з Угодою між Урядом України та Європейським Співтовариством система обліку реалізується в три етапи:

- заміна лічильників електроенергії та модернізація вимірювальних комплексів у розрахункових точках ОРЕ (практично завершена);
- створення АСКОЕ локального рівня (пілотний проект);
- створення АСКОЕ регіональних та центральних рівнів (пілотний проект).

У 2002 році введені в експлуатацію повітряні лінії (ПЛ) 750 кВ Південно донбаська-Донбаська та ПЛ 330 кВ Хмельницька АЕС -Хмельницький.

У 2003 році завершене будівництво ПЛ 330 кВ Рівненська АЕС-Луцьк Північна, на напругу 330 кВ переведена підстанція (ПС) "Луцьк північна", в повному обсязі виконана реконструкція ПС 330 кВ "Хмельницька".

У 2004 році буде переведена на напругу 750 кВ ПЛ Рівненська АЕС - Західноукраїнська з реконструкцією ПС 750 кВ "Західноукраїнська". Для надійного електропостачання східного Донбасу буде завершено будівництво ПС 500 кВ "Новодонбаська".

У 2005 році планується спорудження другої лінії ПЛ 330 кВ Аджалик-Усатове для підвищення надійності електропостачання споживачів Одеської області.

У перспективі передбачається будівництво ПЛ 750 кВ Рівненська АЕС - Київська з ПС 750 кВ "Київська" та Запорізька АЕС - Каховська з ПС 750 кВ "Каховська", а також ПЛ 330 кВ Ново одеська - Арциз. На напругу 330 кВ буде переведена ПЛ Сімферополь — Севастополь.

# ЭКСПЕРНАЯ СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ОЦЕНКИ ЗА ДИКТАНТ

ст. преп. Ноздренков В.С.

Построение автоматизированных систем контроля знаний, в которых формализованы методы преподавателя при выставлении оценки является актуальной задачей. В связи с этим перспективным представляется подход, в котором для формализации логики преподавателя используются модели оценивания знаний реализованные с помощью теории нечетких множеств и нечеткой логики.

В данной работе предлагается подход к выставлению оценки за диктант. Для этого введем лингвистические переменные «Орф. ошибки» = {«Отл.», «Хор.», «Уд.», «неуд.»}, «Пункт. ошибки» = {«Отл.», «Хор.», «Уд.», «неуд.»}.

На вход системы поступают два значения  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — характеризующие число орфографических и пунктуационных ошибок соответственно. На выходе система формирует оценку  $O = \{«Отл.», «Хор.», «Уд.», «неуд.»\}$ . Определим совокупность нечетких предикатных правил функционирования экспертной системы нечеткого логического вывода оценки за диктант.

$R^{(1)} : IF \alpha_1 \text{ is "неуд." and } \alpha_2 \text{ is "неуд." THEN } (O \text{ is "неуд."}),$

$R^{(2)} : IF \alpha_1 \text{ is "уд." and } \alpha_2 \text{ is "уд." THEN } (O \text{ is "уд."}),$

$R^{(3)} : IF \alpha_1 \text{ is "хор." and } \alpha_2 \text{ is "хор." THEN } (O \text{ is "хор."}),$

$R^{(4)} : IF \alpha_1 \text{ is "отл." and } \alpha_2 \text{ is "отл." THEN } (O \text{ is "отл."}),$

Реализуем нечеткий логический вывод согласно алгоритму Мамдани, в котором степени истинности



предпосылок каждого нечеткого правила  $R^{(k)}$  вычисляются следующим образом:

$$\tau_1 = \min \{ \mu_{неуд}(\alpha_1), \mu_{неуд}(\alpha_2) \},$$

$$\tau_2 = \min \{ \mu_{уд}(\alpha_1), \mu_{уд}(\alpha_2) \},$$

$$\tau_3 = \min \{ \mu_{хор}(\alpha_1), \mu_{хор}(\alpha_2) \},$$

$$\tau_4 = \min \{ \mu_{отл}(\alpha_1), \mu_{отл}(\alpha_2) \}.$$

Итоговое нечеткое подмножество для оценки за диктант:

$$\mu(O) = (\tau_1 \wedge \mu_{неуд}(O)) \vee (\tau_2 \wedge \mu_{уд}(O)) \vee (\tau_3 \wedge \mu_{хор}(O)) \vee (\tau_4 \wedge \mu_{отл}(O))$$

Для вычисления четкого значения выходной переменной воспользуемся центроидным методом приведения к четкости:

$$O = \int_{\Omega} O \mu(O) dO / \int_{\Omega} \mu(O) dO.$$

Предложенный подход позволяет формализовать методы преподавателя при проверке диктантов и может быть использован для устранения субъективизма при проверке работ.

Следует отметить, что предложенный метод может быть реализован и в ECTS шкале. Для этого следует преобразовать систему нечетких предикатных правил, в соответствии с требованиями шкалы.

В перспективе рассматриваются возможности реализации предложенного метода для проверки формализации проверки сочинений и других работ гуманитарного направления.

# РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНОЙ НЕЧЕТКО-НЕЙРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ст. преп. Ноздренков В.С.

Реформирование высшего образования, вызванное социально-экономическими и государственно-политическими преобразованиями, постоянный рост объема информации, увеличение количества изучаемых дисциплин при стабильных сроках обучения в вузах, поставили перед системой профессиональной подготовки специалистов ряд серьезных проблем.

Ключевыми из них являются перевод подготовки студентов на качественно новый уровень, отвечающий современным требованиям интеграции в Европейское пространство высшего образования и Болонской хартии, в строгом соответствии с нормативными актами; интенсификация образовательного процесса за счет оптимального сочетания традиционных и инновационных форм, методов и средств обучения; информатизация образования, основанная на творческом внедрении современных информационных технологий.

В данной работе предлагается подход к вычислению итоговой рейтинговой оценки знаний с использованием гибридной нечетко-нейронной информационной технологии. Предложена структура нечеткой экспертной системы вывода итоговой оценки знаний согласно модифицированному алгоритму Сугено.

На выходе система должна выдавать итоговую оценку знаний в традиционном виде  $O_{\Sigma} = \{ \text{"не зачтено"}, \text{"зачтено"} \}$ ,  $O_{\Sigma} = \{ \text{"неудовлетворительно"}, \text{"удовлетворительно"}, \text{"хорошо"}, \text{"отлично"} \}$  или согласно ECTS шкале. В общем виде оценка может

соответствовать  $N$ -балльной шкале  $O_{\Sigma} = \{ "1", "2", \dots, N \}$ . Независимо от значения  $N$ -шкалы оценивания должны выполняться соотношения между оценками ECTS-шкалы, пятибалльной национальной и рейтинговыми баллами.

На вход системы поступает вектор  $\bar{A} = \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \}$ . Значениями элементов вектора являются числа в диапазоне от 0 до 1, характеризующие степень владения обучаемым конкретным понятием или умением.

Экспертной системой должно быть реализовано отображение:

$$O_{\Sigma} = f(\bar{A}) = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n f(s_i, \alpha_i) \alpha_i, \quad (1)$$

где  $O_{\Sigma}$  – итоговая рейтинговая оценка,  
 $s_i$  – сложность  $i$ -го задания (весовой коэффициент),  
 $\alpha_i$  – оценка за выполнение  $i$ -го задания,  
 $n$  – количество заданий.

Для решения поставленной задачи воспользуемся элементами теории нечетких множеств и нечеткой логикой. Определим лингвистическую переменную  $O = \text{"ОЦЕНКА"}$ , которая в зависимости от вида шкалы может иметь несколько терм-множеств  $T_1(O) = \{ \text{"не зачтено"}, \text{"зачтено"} \}$ ,  $T_2(O) = \{ \text{"неудовлетворительно"}, \text{"удовлетворительно"}, \text{"хорошо"}, \text{"отлично"} \}$ ,  $T_3(O) = \{ \text{"A"}, \text{"B"}, \text{"C"}, \text{"D"}, \text{"E"}, \text{"F"} \}$ . В общем случае для  $N$ -балльной шкалы  $T_4(O) = \{ "1", "2", \dots, "N" \}$ .

Основой функционирования системы нечеткого логического вывода итоговой оценки знаний является метод логического вывода *modus ponens*. Воспользовавшись модифицированным алгоритмом Сугено получаем итоговую рейтинговую оценку знаний.

Для корректировки функций принадлежности термов лингвистической переменной  $O = \text{"ОЦЕНКА"}$  с учетом требований конкретного преподавателя предлагается реализовать экспертную систему вывода итоговой оценки знаний с помощью гибридной нечетко-нейронной информационной технологии. Применение гибридных нейронных сетей, в которых выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей позволяет использовать не только априорную информацию, заложенную в систему нечетких предикатных правил, но и приобретать новые знания.

Новизна предложенного метода заключается в том, что в отличие от известной скалярной формулы подсчета рейтинговой оценки, модуль нечеткого логического вывода реализует зависимость (1), в которой весовой коэффициент важности ответа на задание зависит не только от его сложности, но и от полученной оценки. Новизна предложенного метода адаптации заключается в том, что для вычисления итоговой оценки знаний используется гибридная нечетко-нейронная система, сочетающая в себе нечеткую логику и нейронные сети, что позволяет использовать достоинства обеих информационных технологий.

Данный метод вычисления итоговой оценки знаний обучаемых может быть использован в автоматизированных обучающих системах как в традиционном образовании так и в системе дистанционного образования. В перспективе с помощью предложенного математического аппарата возможна реализация не только системы контроля знаний, но и систем, предназначенных для формирования тестовых и контрольных заданий.

# МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ МРЗС-05

Ст. преп. Ноздренков В.С., асс. Червякова Л.П.,  
студ. Криловецкий О.

Одним из основных требований, предъявляемых к современным устройствам, которые применяются в системах электроснабжения, является энергосбережение и повышение надежности функционирования системы электроснабжения в целом. Одним из путей повышения надежности систем электроснабжения является использование достижений в области электроники и микропроцессорной техники.

Перевод устройств релейной защиты на микропроцессорную элементную базу позволит существенно повысить надежность защищаемого объекта (системы электроснабжения), что в свою очередь приведет к энергосбережению.

Рассмотрим устройство микропроцессорного реле защиты МРЗС-05.

## 1. Устройство:

Блок датчиков тока и напряжения БДТН-05-МРЗС предназначен для гальванической развязки от вторичных цепей измерительных трансформаторов тока и напряжения, для согласования уровней токов  $i(t)$ , напряжений  $u(t)$  с уровнями входных аналоговых сигналов узла аналого-цифрового преобразователя (АЦП) блока БВ-МРЗС.

Блок вычислителя БВ-МРЗС предназначен:

— для выполнения аналого-цифрового преобразования входных аналоговых сигналов  $i(t)$ ,  $u(t)$  в цифровые сигналы  $i(nT)$ ,  $u(nT)$ ;

–выполнения всех функций измерения, защит, автоматики, диагностики, регистрации аварийных событий с привязкой к реальному времени;

–настройки МРЗС; управления всеми программно-доступными блоками (БДВВ-МРЗС, 2БД-МРЗС, БИ-МРЗС):

–производит обмен информацией с внешними устройствами и пользователем.

Блок интерфейсный БИ-МРЗС предназначен для подключения МРЗС к компьютеру через интерфейс RS232, а также в локальную сеть через интерфейс RS485.

С помощью компьютера имеется возможность произвести настройку МРЗС, записать уставки, считать зарегистрированные аварийные события.

Блок дискретных входов выходов БДВВ-МРЗС предназначен для гальванической развязки МРЗС, согласования по уровню и считывания в вычислитель восьми входных дискретных сигналов, и выход на семь реле.

Блок дисплейный 2БД-МРЗС содержит жидкокристаллический индикатор (две строки по 16 символов в строке), четыре кнопки, семь светодиодов и предназначен для организации взаимодействия пользователя с МРЗС:

- настрой и конфигурирования;
- ввода уставок;
- установки времени;
- вывода на индикатор текущей информации об аварийных событиях;
- сигнализации обо всех срабатываниях систем защиты через светодиоды.

Устройства релейной защиты и автоматики МРЗС-05 выполнены с применением передовых технологий, имеют параметры на уровне лучших зарубежных аналогов,

и зарекомендовали себя конкурентоспособными, эффективными, надежными и удобными в эксплуатации.

Базовое устройство МРЗС-05 содержит три ступени МТЗ, АПВ, АЧР и при равной стоимости с зарубежными аналогами имеет значительно большие функциональные возможности.

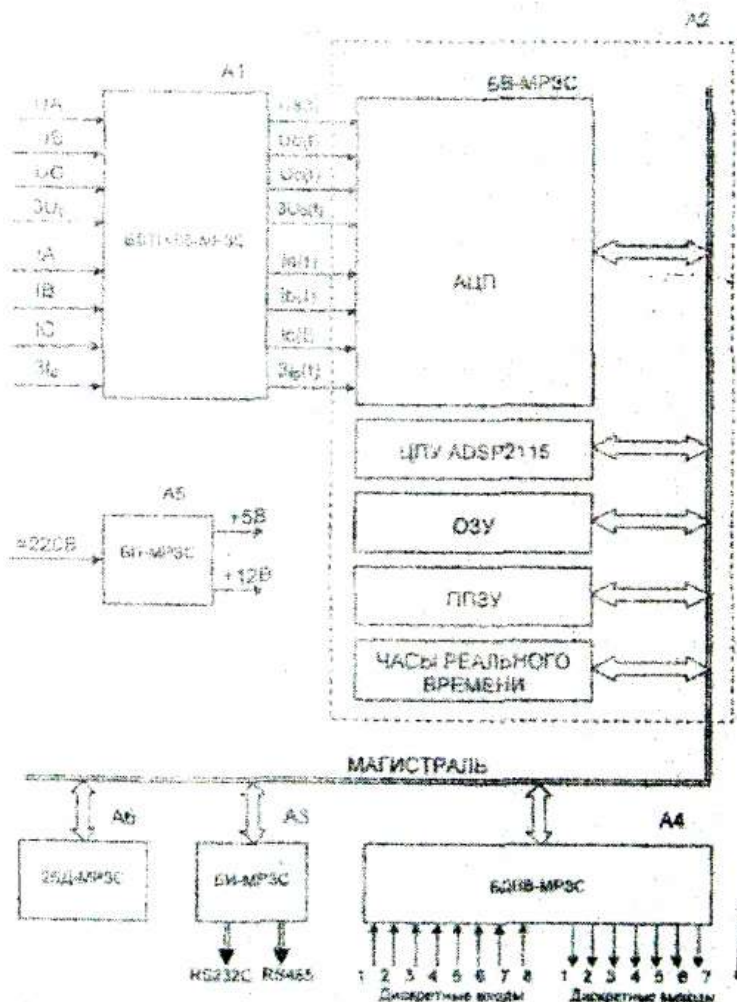


Рисунок 1- Структурная схема МРЗС-05

## 2. Работа

На входные обмотки трансформаторов МРЗС (блок БДТН-05-МРЗС) поступают токи  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $3I_0$ , напряжения  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,  $3U_0$ . Номинальное линейное входное напряжение трансформаторов напряжения – 100 В. Номинальный ток трансформаторов тока – 5 А; номинальный ток трансформатора  $3I_0$  – 0,1 А.

Во вторичных обмотках трансформаторов тока стоят согласующие резисторы. С выходов обмоток трансформаторов через низкочастотные RC-фильтры аналоговые сигналы  $ia(t)$ ,  $ib(t)$ ,  $ic(t)$ ,  $3i_0(t)$ ,  $ua(t)$ ,  $ub(t)$ ,  $uc(t)$ ,  $3u_0(t)$  поступают на вход АЦП. В АЦП производится преобразование их в пятнадцатиразрядные двоичные коды, считываемые процессором блока вычислителя.

В процессоре производится цифровая обработка сигналов:

- выполняются преобразования Фурье;
- вычисляются действующие значения токов  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $3I_0$ ;
- вычисляются действующие значения напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,  $3U_0$ ;
- вычисляются углы фазовых сдвигов между всеми токами и напряжениями;
- производится расчет активной мощности, реактивной мощности, частоты сети.

Перевод устройств релейной защиты на микропроцессорную элементную базу позволит существенно повысить функциональные возможности защиты системы электроснабжения, а именно надежность и селективность.

Гибкая настройка микропроцессорных систем релейной защиты, посредством изменения микропрограммы, позволяет эффективно производить смену уставок.



# НОВІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ОЦІНОК КОЕФІЦІЄНТІВ НЕОДНОРІДНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ІЗ КІНЦЕВИМ ЧИСЛОМ СТУПЕНІВ ВІЛЬНОСТІ

к.т.н., доц. Пузько І.Д., студ. Пелепей Р.

Оцінка коефіцієнтів неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку або системи неоднорідних диференціальних рівнянь із обмеженим числом ступенів вільності, що приведена до обмеженої множини незалежних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, може бути забезпечена при виконанні наступних тверджень.

## ТВЕРДЖЕННЯ 1

Оцінка коефіцієнтів системи диференціальних рівнянь із кінцевим числом ступенів вільності після проведення операції декомпозиції і формуванні множини незалежних диференціальних рівнянь другого порядку може бути проведена і отримана в замкнутій формі при реалізації обмеженої кількості режимів розгортки частот правих частин множини автономних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку.

## ТВЕРДЖЕННЯ 2

Оцінка коефіцієнтів множини автономних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку може бути отримана при реалізації умови спостережливості і фіксації множини частот, амплітуд і фаз множини максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків, що однозначно відповідають множині швидкостей розгортки частоти правих частин множини диференціальних рівнянь другого порядку.

### ТВЕРДЖЕННЯ 3

Кількість режимів постійних і різних швидкостей розгортки частоти правих частин системи автономних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, що необхідно для отримання оцінок значень коефіцієнтів диференціальних рівнянь, що найменше дорівнює двом.

### ТВЕРДЖЕННЯ 4

Оцінка коефіцієнтів обмеженої множини автономних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку може бути отримана при формуванні множини лінійних або нелінійних регресійних залежностей, в кожній з яких фіксують постійну швидкість розгортки частоти у вигляді безумовного математичного сподівання, причому кожна регресійна залежність отримана як результат наближеного рішення автономного диференціального рівняння другого порядку в замкнутій формі.

### ТВЕРДЖЕННЯ 5

Оцінка коефіцієнтів обмеженої множини автономних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку із нестационарною правою частиною після рішення задачі декомпозиції може бути отримана при виконанні умови відсутності явної залежності від швидкості розгортки частоти правої частини автономного диференціального рівняння при реалізації щонайменше чотирьох режимів розгортки частоти з двома постійними швидкостями  $V_i, V_j$

$$-\text{sign } V_i = 1,$$

$$-\text{sign } V_j = -1,$$

де  $(i=1,2; j=1,2; i \neq j)$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ 6 кВ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

асс. Лебедева С.Н., студ. Коваленко А.Д.

При однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в электрических сетях часто возникают переходные процессы от перемежающейся дуги. Это приводит к значительной кратности внутренних перенапряжений, высокой вероятности возникновения двойных замыканий на землю и повреждений электротехнического оборудования.

Проведен вычислительный эксперимент с применением реализованной на ЭВМ математической модели электрической сети. Исследованы переходные процессы, возникающие в кабельных сетях 6 кВ при ОЗЗ, определены основные параметры протекающих процессов.

Для исследования электромагнитных переходных процессов выполнена разработка и программная реализация математической модели кабельных сетей на основе уравнений в фазных координатах и неявных методов численного интегрирования. С ее использованием выполнялись многовариантные расчеты для выяснения основных влияющих факторов и оценки степени их влияния на характер протекания и параметры переходных процессов.

ОЗЗ с перемежающейся дугой в протяженных кабельных сетях сопровождаются значительными импульсами тока и перенапряжениями, соизмеримыми с уровнем изоляции сети. При повторных гашениях дуги треугольник фазных напряжений смещается, и это смещение сохраняется длительное время, так как перераспределение зарядов, оставшихся на фазных емкостях, через изоляцию происходит медленно. Вследствие этого перенапряжения воздействуют на изоляцию длительное время.

## УРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН С ЦЕПНЫМ ТЯГОВЫМ ОРГАНОМ

К.т.н., доц. Муриков Д.В., к.т.н., доц. Василега П.А.,  
студ. Савченко С.Н., Кучмий В.А.

Уравнительный механизм для транспортирующих машин с цепным тяговым органом (скребковых, планштинчатых, грузотекущих и т.д.) представляет собой вводимое в привод устройство, предназначенное для снижения неравномерности движения цепного тягового органа и связанных с ней динамических нагрузок в установившемся режиме работы.

Неравномерность движения цепного тягового органа объясняется спецификой передачи движения от тяговой цепи, проявляющихся в том, что при постоянной угловой скорости звездочки скорость набегания звеньев цепи на звездочку является величиной переменной и определяется зависимостью

$$v = R\omega f(\varphi) = k f(\varphi),$$

где  $v$  – скорость набегания тяговой звеньев цепи на звездочку;

$R$  – радиус тяговой звездочки;

$\omega$  – угловая скорость тяговой звездочки;

$f(\varphi)$  – периодическая функция угла  $\varphi$  поворота тяговой звездочки с периодом, равным времени поворота звездочки на угол между двумя соседними зубьями,  $k = R\omega = \text{const}$ .

Для того, чтобы обеспечить равномерную скорость набегания звеньев тяговой цепи на звездочку, необходимо выполнить условие:

$$\omega = \frac{k}{f(\varphi)}, \quad (1)$$

т.е. сообщить тяговой звездочке переменную периодическую угловую скорость, изменяющегося во вращении обратно пропорционально функции  $f(\varphi)$  что и выполняет уравнительный механизм.

Уравнительный механизм выполнен в виде цепной передачи и состоит из ведущей двухрядной звездочки 3 приводной звездочки 5 и трехрядной цепи 4 (рис 1)

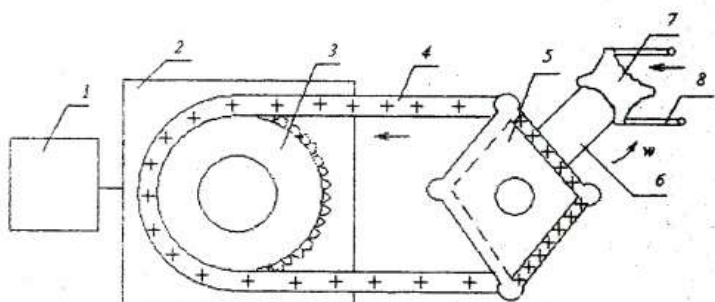


Рис 1.

Ведущая звездочка на тихоходном валу редуктора 2, вращение на который передается от приводного двигателя 1. Приводная звездочка изготавливается идентичной тяговой звездочке 7, зубья которой находятся в зацеплении с шарнирами звеньев тяговой цепи 8. Обе звездочки располагаются на общем приводном валу 6.

Трехрядная цепь состоит из двух крайних и одного среднего ряда звеньев. Крайние ряды имеют шаг, равный шагу зубьев ведущей звездочки. Шаг среднего ряда равен шагу приводной звездочки.

Относительно большое число зубьев ведущей звездочки и малый шаг обеспечивает практически постоянную линейную скорость трехрядной цепи, но поскольку шаг среднего ряда звеньев трехрядной цепи в 4 или 5 раз больше шага крайних рядов, угловая скорость приводной звездочки будет переменной и закон ее изменения во времени описывается равенством (1). Такую же угловую скорость имеет и тяговая звездочка.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ УКРАИНЫ

К.ф.-м.н., ст. преп. Ильяшенко М.В.,  
студ. Нора И.Н., студ. Воропай В.В.

В связи с опубликованием энергетической стратегии Украины до 2030 года представляется необходимым обсудить, насколько рационально заменять газ углём в топливно-энергетическом балансе Украины.

К основным преимуществам природного газа следует отнести:

- простоту и дешевизну его транспортировки к потребителю (разумеется при наличии соответствующей инфраструктуры);
- лёгкой регулируемостью объёмов транспортируемого газа и слабой зависимостью от метеоусловий;
- экологической чистотой процесса сгорания (при высокотемпературном горении в основном выделяются только окислы азота) и стабильностью энергетических характеристик;
- высоким к.п.д. электростанций на парогазовом цикле;
- простотой, надёжностью, низкой стоимостью и долговечностью топливной аппаратуры;
- простотой автоматизации;
- возможностью использовать природный газ как автомобильное топливо;
- ценностью природного газа как химического сырья.

В отличие от природного газа уголь значительно менее технологичен при добыче и транспортировке. Существует большое количество марок угля, значительно различающихся по теплотворной способности и качеству. Поэтому потребителям приходится специализироваться на

определённых углях, а взаимозаменяемость и универсальность зачастую невозможна.

Уголь (в зависимости от марки) содержит много зольных включений и серы. Это приводит к загрязнению атмосферы кроме стандартных окислов азота также оксидами серы и копотью. «Лисьи хвосты» котелен содержат также канцерогены, способствуют образованию кислотных дождей и смога, поэтому для больших городов являются неприемлимыми.

Более прогрессивные технологии углесжигания требуют либо более дорогих и сложных технологий приготовления (очистка и мелкодисперсное дробление для «кипящего слоя» и др.), либо «подсветки» с помощью того же природного газа. Но несмотря на более высокую стоимость оборудования в этом случае, его необходимо более часто ремонтировать, чистить от золы (а золу вывозить и утилизировать) и т.д., а сопоставимый к.п.д. всегда будет меньше, чем при использовании газа.

Отдельно необходимо поговорить о Киотском протоколе. Замена каждого миллиарда кубометров природного газа в топливном балансе приводит к увеличению выбросов  $\text{CO}_2$  приблизительно на миллион тонн. Можно конечно возразить, что метан является более активным парниковым газом, а при добыче, транспортировке и потреблении его утечка неизбежна. Однако парадокс заключается в том, что при добыче угля выбросы метана значительно более объёмны.

Также не выдерживает критики и идеология энергетических «самостийников». Знаменитый тезис о том, что наш валовый национальный продукт во много раз более энергоёмок, чем в развитых странах, является следствием не столько уровня развития энергосберегающих технологий, сколько структуры экономики (большой ролью металлургии, добывающей и тяжёлой промышленности и т.д.).

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ „ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ ТА ПРИСТРОЇ”

- Бутиріна Ю.М. Життя і наукова діяльність академіка Б.Г.Лазарева. 3
- Пазуха І.М., Чешко І.В., Синашенко О.В., Слиненко О.В., Електрофізичні і магнітотранспортні властивості мультишарів і нанодротів (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.). 5
- Чешко І.В., Артюшенко О.О. Застосування матеріалів із спин-залежним розсіюванням електронів в сучасній електроніці (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.). 7
- Лобода В.Б., Хурсенко С.М. Електропровідність надтонких острівцевих плівкових сплавів Ni-Cu (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.). 8
- Лобода В.Б., Шкурдода Ю.О. Магнітоопір тришарових плівкових систем NiFe/Cu/Co (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.). 10
- Проценко І.Ю., Кужел Р., Черкаська В.О. Термічна стабільність субмікроструктурної структури zdeформованих металів (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.). 13
- Проценко І.Ю., Чешко І.В., Великодний Д.В., Пазуха І.М. Електронні і магнітні властивості плівкових матеріалів (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.). 14



- Проценко С.І., Бібик В.В. Електрофізичні і магнітотранспортні властивості плівкових систем на основі Fe і Cr (до 100-річчя з дня народження академіка Лазарева Б.Г.): 17
- Чорноус А.М., Бібик В.В., Говорун Т.П., Кузнецов В.М. Вивчення зерномежевої дифузії у плівкових матеріалах методом резистометрії. 19
- Чорноус А.М., Степаненко А.О., Басов А.Г., Мусієнко М.В. Розмірна залежність температурного коефіцієнту опору двошарових плівок на основі Al та (Ti або Ni) (стендова доповідь). 22
- Чорноус А.М., Степаненко А.О., Григоренко О.В., Петруша Б.М. Взаємозв'язок між фазовим складом та електрофізичними властивостями двокомпонентних плівок на основі Al і Ti. 23
- Однодворець Л.В., Бурик І.П. Тензочутливість тонких плівок тугоплавких металів. 25
- Однодворець Л.В., Дудецький Д.П., Яковенко Є.В. Характеристичні параметри плівкових елементів ІМС та фізичні процеси в них. 26
- Однодворець Л.В., Кипарис В.Є., Любивий І.О. Контактні явища у мікроелектронних структурах метал-напівпровідник. 28
- Однодворець Л.В., Марченко Я.Ю., Кучма О.І. Теоретичні дослідження тензочутливості плівкових матеріалів. 30

- Проценко І.Ю., Гречановська Т.М. Дослідження і прогнозування тензорезистивних властивостей плівкових систем на основі Ni і V. 33
- Лобода В.Б., Кравченко В.О. Структура та електропровідність плівок сплавів Co-Ni. 35
- Проценко С.І., Терещенко А.О. Автоматизована система для дослідження тензорезистивних властивостей плівкових матеріалів. 37
- Шпетний І.О., Недельчев М.П. Розробка автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії з використанням мікро контролерів. 38
- Шпетний І.О., Соломаха В.А., Терещенко Ю.І. Структурно-фазовий стан та електрофізичні властивості плівкової системи Ti/Cu. 39
- Шпетний І.О., Кравченко О.В. Використання теоретичних моделей для прогнозування електрофізичних властивостей двошарових плівок (стендова доповідь). 40
- Бугай О.М. Процеси при електротермічній атомізації та їх моделювання. 41
- Опанасюк Н.М., Курбатов Д.І. Розрахунок параметрів легованих областей та режимів термічної дифузії у напівпровідникових структурах. 43
- Кульментьев О.І., Кульментьева О.П. Теоретическое описание абляционной плазмы и ее практическое применение. 45

- Кульментьєва О.П., Швець О.В. Імпульсні технології обробки твердих тіл. 48
- Білоус О.А., Булатов С.А. Температурні ефекти в провідності металевих конденсатів Cu та Ni. 50
- Жуковець А.П. Вплив технологічних факторів трафаретного друку на якість друкованих плат та товстоплівкових елементів гібридних мікросхем. 51
- Жуковець А.П., Бригінець Л.А., Літвішко З.В. Струмопровідні пасти для виготовлення резистивних носіїв інформації. 53
- Ігнатенко В.В. Математичне модулювання основних фізичних процесів при спрацюванні вибохоподавляючого пристрою. 56
- Лепіхов О.І., Шолопутов В.Д. Використання промислових контролерів для обладнання лабораторії „Матеріали електронної техніки”. 58
- Захарюгін О.Д., Лепіхов О.І. Лабораторний стенд для дослідження магнітних матеріалів. 60
- Головатий М.О. Математична обробка результатів багатометодових вимірювань. 61
- Жосан П.М., Зелєв С.П. Розрахунок об'єктивної лінзи з малим коефіцієнтом сферичної аберації. 62

СЕКЦІЯ "КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ"

- Алтинніков С.В., Самедов Ю.Ф. Пример САР с 63  
переменной структурой.
- Гришина О.В., Боровий В.Т. Тенденции развития 64  
приборов силовой электроники.
- Крупник О.О. Черв'яков В.Д. Модель 65  
многодвигательного электропривода с общим  
источником питания.
- Щокотова О.М. Метод побудови моделі послідовності 69  
помилки у системі передачі даних.
- Петрюченко І.Г., Сухомлин Ю.Ф., Самедов Ю.Ф. 73  
Регулирование и логическое управление  
газоперекачивающими агрегатами.
- Сніжко А.А., Павлов А.В. Система управления и 74  
антипомпажного регулювання газоперекачивающего  
агрегата.
- Темченко С.О., Павлов А.В. Построение адаптивных 75  
систем с частотно-зависимой обратной связью.
- Каваре Я.Х. Применение электропривода по системе 76  
"квазичастотный преобразователь - асинхронный  
двигатель" для технологических машин с тяжелыми  
условиями эксплуатации.
- Толбатов В.А. Методика побудови інтегрованого 79  
інформаційного середовища промислового  
підприємства на базі PDM та ERP-систем.

- Толбатов В.А. Реінжиніринг інформаційної системи як складова реінжинірингу підприємства машинобудівної галузі. 83
- Сніжко А.А., Гримайло С.В., Панич А.О. Застосування інтелектуального модуля LOGO! для управління роботами. 85
- Панич А.О., Гребнева Т.А. Система управління стенда дослідження приводів летучих механізмів. 87
- Толбатов А.В. Основи методики статистичної обробки дискретних даних вимірювань. 88
- Толбатов А.В., Нікітін В.Є. Архитектура современных ERP-систем. 91
- Толбатов А.В., Ісаєв С.А. Новая инициатива компании Internet Security Systems по обеспечению безопасности ведущих промышленных предприятий. 95
- Панич А.О., Гордієнко О.В. Система управління РТК на базі засобів автоматизації фірми SIEMENS. 98
- Панич А.О., Клейбенко Р.М. Засоби програмування контролерів серії S7-200 та пристрою HMI TP 070. 99
- Панич А.О., Петренко М.О. Дослідження процесів управління електроприводом летучої пили. 100
- Панич А.О. Достатність та безнадлішковість функціональної схеми системи управління летучої пили. 101

- Панич А.О., Ніканоров О.І., Комісаров С.О. 103  
Лабораторна установка дослідження приводів на базі обладнання фірми SIEMTNS.

### СЕКЦИЯ ОБЩЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

- Черняк Л.М., Хмаренко А.М., Зимак І.Ю., 104  
Наталуха К.Ю. До вивчення фізичних параметрів рідин при впливі на них зовнішніх фізичних полів.

- Черняк Л.М., Хмаренко А.М., Зимак І.Ю., 107  
Наталуха К.Ю. Методика дослідження ударної взаємодії крапель з поверхнею рідини при малих швидкостях.

- Опанасюк А.С., Опанасюк А.С. Визначення 110  
параметрів локалізованих станів у просторово негетогенних зразках методом струмів, обмежених просторовим зарядом.

- Опанасюк А.С., Косяк В.В. Явища перенесення при 113  
одержанні плівок CdTe методом квазізамкненого об'єму.

- Лютый Т.В., Поляков А.Ю., Рот-Серв А.В. 115  
Моделирование явления гистерезиса для ферромагнитной наночастицы с покрытием.

- Денисов С.И., Лютый Т.В. Намагниченность 118  
системы наночастиц, индуцированная вращающимся полем.

- Денисов С.И., Лютый Т.В. Международный научный проект "Nanospin". 121
- Денисова Е.С. Термодинамический подход к описанию возбужденной ионной цепочки. 123
- Витренко А.Н. Режимы аномальной диффузии, контролируемые интенсивностью гауссовского цветного шума. 124
- Нефедченко В.Ф., Юнда А.М. Стохастична динаміка намагніченості 2D системи феромагнітних невзаємодіючих наночасток у змінному магнітному полі. 125
- Игнатенко В.М. Об использовании уравнения Ван-дер-Ваальса для расчета термодинамических свойств газов. 126
- Брацыхин В.М., Алтынникова Е.В. Комплекс компьютерных лабораторных работ по динамике термоэлектронов. 129
- Брацыхин В.М., Верблюдов В.И., Михайленко Д.М. Комплекс компьютерных лабораторных работ по п/п электроники. 131
- Брацыхин В.М., Писаненко А.И., Сиротенко М.И. Комплекс компьютерных лабораторных работ по туннельному микроскопу. 133
- Одарченко Н.И., Брацыхин В.М., Брацыхина Л.И., Синхронизация курсов физики и математики. 134

## СЕКЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

- Олемской А.И., Борисюк В.Н. Статистическая теория самоподобных временных рядов. 136
- Олемской А.И., Дрозденко М.А. Тонкие пленки меди – фракталы. 138
- Перекрестов В.И., Прошкина Д.А. Получение островковых структур вблизи равновесия системы пар-конденсат. 140
- Хоменко А.В., Палиенко М.В. Влияние аддитивных флуктуаций на фазовую динамику ультратонкой пленки масла. 142
- Хоменко А.В., Люлев А.В. Влияние коррелированных флуктуаций температуры смазки на фазовую диаграмму. 144
- Хоменко А.В., Люлев А.В. Влияние коррелированных флуктуаций температуры на фазовую динамику аморфной ультратонкой пленки смазки. 145
- Журба В.О., Крутько Ю.А., Петровский М.В. Управление спектральными и резонансными характеристиками открытых резонаторов. 146
- Косминская Ю.А., Гранько Г.А. Биосовместимые материалы для ортопедических имплантатов. 148



Возный В.И., Нагорный В.А. Сверхвысокочастотный интерферометр для диагностики стационарной плазмы. 150

Мордик С.М., Надточий А.С. Рух заряджених частинок у класичному фільтрі Віна. 152

Красуля О.А. Изучение процессов диффузии при химико-термической обработке стали 20. 153

Олемской А.И., Ткаченко О.А. Статистическая теория самоподобных систем. 155

### СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Лебединский І.Л., Мартиненко С.П., Характеристика північної електроенергетичної системи. 157

Лебединский І.Л., Матрос А.А. Характеристика національної енергетичної компанії "Укрэнерго". 161

Ноздренков В.С. Экспертная система нечеткого логического вывода оценки за диктант. 163

Ноздренков В.С. Реализация рейтинговой системы оценки знаний с помощью гибридной нечетко-нейронной информационной технологии. 165

Червякова Л.П., Ноздренков В.С., О.Криловецкий. Микропроцессорное устройство защиты МРЗС – 05 168

- Пузько І.Д. Нові принципи отримання оцінок коефіцієнтів неоднорідних диференціальних рівнянь із кінцевим числом ступенів вільності. 172
- Лебедка С.Н., Коваленко А.Д. Исследование переходных процессов в кабельных линиях 6 кВ при однофазных замыканиях на землю. 174
- Василега П.А., Муриков Д.В., Кучмий В.А. Уравнительный механизм для транспортирующих машин с цепным тяговым органом. 175
- Ильяшенко М.В., Воропай В.В., Нора И.Н., Перспективы природного газа в топливно-энергетическом балансе Украины. 177

## Наукове видання

### ТЕЗИ

науково-технічної конференції  
викладачів, співробітників, аспірантів і  
студентів фізико-технічного факультету,  
присвяченої Дню науки в Україні  
Частина 1

Редакційна колегія:

Г.С. Воробйов (відп. редактор),  
А.І. Новгородцев,  
О.В. Савісько

Стиль та орфографія авторів збережені.

Підп. до друку 19.04.2006.  
Наклад 50 прим.

Обл.- вид. арк. 8,15.  
Ум. друк. арк. 14,16.  
Формат 60x84/16.  
Замовл. № 271.

Вид-во СумДУ. Р.с. №2365 від 08.12.2005 р.  
40007, м. Суми, вул. Р.-Корсакова, 2.  
Друкарня СумДУ. 40007, Суми,  
вул. Римського-Корсакова, 2.