



Тернопільський осередок
Наукового товариства ім. Шевченка

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

Том 7

Праці Інженерно-технічної комісії

Тернопіль
Джура
2012

*Тернопільський осередок
Наукового товариства
ім. Шевченка*

Тернопільський осередок
Наукового товариства ім. Шевченка

ЗБІРНИК ПРАЦЬ
Том 7

Праці Інженерно-технічної комісії

Тернопіль
Джура
2012

Ternopil Branch of
Shevchenko Scientific Society

SCIENTIFIC COLLECTION
Volume 7

**Proceedings of Technical Engineering
Commission**

Ternopil
Dzhura
2012

ББК 63.3 (4Укр 4П)

З 41

Редактор тому — заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор **Петро Ясній**

Відповідальний редактор серії — заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент НАМН України, доктор медичних наук, професор **Михайло Андрейчин**.

Редакційна колегія:

доктор технічних наук, професор **Володимир Андрійчук**; заслужений діяч науки і техніки України, доктор економічних наук, професор **Богдан Андрушків**; доктор технічних наук, професор **Богдан Гевко**; доктор технічних наук, професор **Петро Євтух**; доктор технічних наук, професор **Михайло Пилипець**; заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор **Тимофій Рибак**; доктор технічних наук, професор **Роман Рогатинський**; кандидат фізико-математичних наук, доцент **Юрій Скоренький** (відповідальний секретар)

Рецензенти:

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор **Олександр Андрейків**,

доктор технічних наук, професор **Ігор Луців**

Мовна редакція — Єва Гриценко

Затверджено до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (протокол №1 від 30.08.2012 р.)

Видання здійснено за фінансової підтримки

ЗМІСТ

Передмова.....	11
<i>Михайло Андрейчин</i>	
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ІМЕНІ ШЕВЧЕНКА В УКРАЇНІ (ДО 140-РІЧЧЯ ДІЯЛЬНОСТІ).....	13
<i>Олександр Рокіцький</i>	
ТВОРЦІ ФІЗИЧНОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ — ЧЛЕНИ НТШ, ВИХІДЦІ З ТЕРНОПІЛЬЩИНИ.....	22
<i>Василь Шендеровський</i>	
ПІЗНАННЯ ІСТОРИЧНОЇ МИНУВШИНИ В ІМЕНАХ — ПІДҐРУНТЯ ОСВІТИ НАЦІЇ.....	29
<i>Богдан Кожушко, Василь Шендеровський</i>	
ПОЧАТКОВИЙ ЕТАП ВИКЛАДАННЯ ПРЕДМЕТУ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ПОЛІТЕХНІЧНІЙ ШКОЛІ.....	32
МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО	
<i>Петро Ясній, Юрій Пиндус, Олег Галушак</i>	
СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКРИТТЯ ВТОМНОЇ ТРІЩИНИ В СПЛАВІ Д16Т ЗА РЕГУЛЯРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	37
<i>Іван Гевко, Андрій Дячун, Роман Любачівський, Роман Лещук</i>	
РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ	46
<i>Михайло Пилипець, Павло Босюк</i>	
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБТИСКУВАННЯ РІЗИ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ.....	56
<i>Тимофій Рибак, Андрій Бабій</i>	
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНИХ ОПОР ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ.....	62

<i>Тимофій Рибак, Микола Сташків</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ТРИЩИНОЮ	73
<i>Роман Гевко, Володимир Дзюра, Роман Романовський</i> ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИМИ КОНВЕЄРАМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ	80
<i>Роман Рогатинський, Лілія Рогатинська</i> ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ СИПКОГО ВАНТАЖУ В МАШИНАХ НЕПЕРЕРВНОГО ТРАНСПОРТУ	88
<i>Анатолій Матвійчук</i> ОСОБЛИВОСТІ ПОРІЗКИ АВТОТРАКТОРНИХ ШИН ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ ПЕРЕРОБКИ	98
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ	
<i>Сергій Лупенко</i> ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ КАРДІОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ	105
<i>Михайло Михайлишин</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОПРУЖНО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ	113
<i>Михайло Петрик, Дмитро Михалик</i> ФУНКЦІОНАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ДИФУЗІЇ ДЛЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ АЛІФАТИЧНИХ СПОЛУК ЦЕОЛІТАМИ	119
<i>Олександр Крамар</i> ПРОВІДНІСТЬ ДВОКРАТНО ОРБІТАЛЬНО ВИРОДЖЕНОГО МОТТ-ГАББАРДІВСЬКОГО ФЕРОМАГНЕТИКА	126
<i>Юрій Скоренький</i> ЛОКАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОНІВ У МАТЕРІАЛАХ ІЗ	136
<i>Олександр Мацюк, Микола Приймак</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАМИ У ВИГЛЯДІ ЛІНІЙНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ	144

<i>Олег Ясній, Віталій Бревус</i> ЙМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРЕС-КОРОЗІЙНОГО РОЗТРІСКУВАННЯ МАТЕРІАЛУ ПАРОПЕРЕГРІВАЧІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	153
<i>Володимир Андрійчук, Ярослав Осадця</i> ВИМІРЮВАННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА З ДОПОМОГОЮ ФОТОКАМЕР З МАТРИЧНИМИ ОПТИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ.....	158
<i>Петро Євтух, Богдан Оробчук, Олександр Рафалюк, Сергій Пісун</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ МІСТА.....	164
<i>Володимир Яськів</i> ВИСОКОЕФЕКТИВНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ.....	174
<i>Роман Ткачук</i> ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАФІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ НЕЙРОТОКСИКАЦІЇ НА СТАН ЛЮДИНИ	182
<i>Михайло Паламар</i> РОЗРОБКИ НОВИХ АНТЕННИХ СТАНЦІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	193
<i>Микола Підгурський, Майкл Внук</i> УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКІ ПАРАЛЕЛІ ОСВОЄННЯ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ	198
<i>Павло Дудкін</i> ДО ПИТАННЯ АДАПТАЦІЇ СТУДЕНТІВ-ІНОЗЕМЦІВ ДО НАУКОВО-ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ	205
<i>Богдан Андрушків, Ігор Стойко</i> ФЛАГМАНСТВО ЯК ЗАСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ІНІЦІАТИВ. ЄВРОПЕЙСЬКІ АСПЕКТИ.....	209

CONTENTS

Foreword	11
<i>Mykhaylo Andreychyn</i> SHEVCHENKO SCIENTIFIC SOCIETY IN UKRAINE (ON THE OCCASION OF THE 140-ANNIVERSARY OF CREATION).....	13
<i>Oleksandr Rokitskyy</i> CREATORS OF PHYSICAL TERMINOLOGY — MEMBERS OF SHEVCHENKO SCIENTIFIC SOCIETY ORIGINATED FROM TERNOPIL REGION	22
<i>Vasyl Shenderovsky</i> REVEALING HISTORY THROUGH NAMES AS FOUNDATION OF NATION’S ENLIGHTENMENT	29
<i>Bohdan Kozhushko, Vasyl Shenderovsky</i> INITIAL STAGE OF TEACHING OF ELECTRICAL ENGINEERING AT LVIV POLITECHNIC SCHOOL.....	32
MECHANICAL ENGINEERING, MECHANICS, MATERIALS SCIENCE	
<i>Petro Yasniy, Yuriy Pyndus, Oleh Halushchak</i> FINITE ELEMENT MODELLING OF THE FATIGUE CRACK APPEARANCE IN ALLOY Д16Т AT CYCLIC LOADING	37
<i>Ivan Gevko, Andriy Dyachun, Roman Lyubachivskyy, Roman Leshchuk</i> EXTENSION OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF SCREW CONVEYORS.....	46
<i>Mykhaylo Pylypets, Pavlo Bosyuk</i> OPTIMIZATION OF SCREW-THREAD WRINGING REGIMES BY THE GEOMETRIC PROGRAMMING METHOD	56
<i>Tymofiy Rybak, Andriy Babiy</i> SUBSTANTIATION OF PARAMETERS FOR EFFECTIVE SUPPORTS OF CYLINDRIC RESERVOIRES.....	62
<i>Tymofiy Rybak, Mykola Stashkiv</i> STUDY OF RESIDUAL LIFE OF THIN-WALLED ELEMENTS WITH A CRACK	73

Roman Gevko, Volodymyr Dzyura, Roman Romanovskyy
 DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS FOR
 TRANSPORTATION OF LOOSE MATERIALS BY
 PNEUMATIC CONVEYORS OF PERIODIC ACTION 80

Roman Rogatynskyy, Liliia Rogatynska
 FORMATION OF THE BULK MATERIAL FLOWS IN
 CONTINUOUS TRANSPORTATION MACHINES 88

Anatoliy Matviychuk
 PECULIARITIES OF CUTTING AND PROBLEMS OF RECYCLING
 OF AUTOCAR TIRES 98

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING
 IN TECHNICS AND TECHNOLOGY**

Serhiy Lupenko
 MODERN COMPUTERIZED CARDIOMETRIC
 SYSTEMS: TRENDS OF MATHEMATICAL BASIS
 AND SOFTWARE DEVELOPMENT 105

Mykhaylo Mykhaylyshyn
 MATHEMATICAL SIMULATION OF THERMOELASTIC
 PLASTICITY DEFORMATION OF THIN-WALLED
 STRUCTURAL ELEMENTS 113

Mykhaylo Petryk, Dmytro Mykhalyk
 FUNCTIONAL IDENTIFICATION OF DIFFUSION
 COEFFICIENTS FOR ADSORPTION PROCESS OF ALIPHATIC
 COMPOUNDS IN ZEOLITES 119

Oleksandr Kramar
 CONDUCTIVITY OF THE DOUBLY ORBITALLY
 DEGENERATE MOTT-HUBBARD FERROMAGNET 126

Yuriy Skorenkyy
 LOCALIZATION OF ELECTRONS IN MATERIALS WITH
 ANDERSON-HUBBARD CENTERS 136

Oleksandr Matsiuk, Mykola Pryjmak
 MATHEMATICAL MODEL OF AN ELECTRORETINOGRAM
 IN FORM OF A LINEAR STOCHASTIC PROCESS 144

<i>Oleh Yasniy, Vitaliy Brevus</i> PROBABILISTIC MODELING OF STRESS-CORROSION CRACKING OF POWER PLANTS STEAM SUPERHEATERS	153
<i>Volodymyr Andriychuk, Yaroslav Osadtsa</i> MEASUREMENTS OF PHOTOMETRIC PARAMETERS OF THE SEMICONDUCTING LIGHT SOURCES WITH USE OF PHOTOGRAPHIC CAMERA WITH OPTICAL SENSOR ARRAY	158
<i>Petro Yevtuh, Bohdan Orobchuk, Oleksandr Rafalyuk, Serhiy Piskun</i> SMART CONTROLLING SYSTEM FOR	164
<i>Volodymyr Yaskiv</i> HIGH-EFFICIENCY SEMICONDUCTING POWER CONVERTERS BASED ON HIGH-FREQUENCY MAGNETIC AMPLIFIERS	174
<i>Roman Tkachuk</i> APPLICATION OF ELECTRO-RETINOGRAPHY FOR DETECTION AND PROGNOSTICS OF NEUROTOXICATION IMPACT ON HUMAN CONDITION.....	182
<i>Mykhaylo Palamar</i> DESIGN OF NEW ANTENNAS FOR REMOTE EARTH SURVEILLANCE	191
<i>Mykola Pidhurskyy, Michael P. Wnuk</i> UKRAINIAN-AMERICAN PARALLELS IN SPACE DEVELOPMENTS.....	198
<i>Pavlo Dudkin</i> ON ADAPTATION OF FOREIGN STUDENTS TO SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL PROCESSES	205
<i>Bohdan Andrushkiv, Ihor Stoyko</i> EUROPEAN ASPECTS OF TECHNOLOGICAL INITIATIVES REALIZATION	209

ПЕРЕДМОВА

Перше видання збірника наукових праць інженерно-технічної комісії Тернопільського осередку Наукового товариства ім. Шевченка виходить за рік до святкування 140 — річного ювілею НТШ та є важливою віхою не тільки у житті Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, але і всієї наукової громади Тернопілля.

Інженерно-технічна комісія Тернопільського осередку товариства створена у 2012 році на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя для розвитку та координації наукових досліджень інженерно-технічного спрямування, які сприятимуть збагаченню духовної та матеріальної культури українського народу.

Основу збірника склали публікації останніх результатів досліджень науковців університету, членів НТШ, представлені під час Березневої сесії НТШ на засіданні Інженерно-технічної комісії Тернопільського осередку НТШ, яке відбулося у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя 16 березня 2012 року.

Обговорення нових ідей фахівцями є стимулом для подальшого розвитку досліджень і організації співпраці в перспективних галузях, які мають важливе практичне значення. В працях, що увійшли до збірника, розглянуто проблеми в галузі механіки і математичного моделювання, фізики, електротехніки і світлотехніки, конструювання обладнання, технології машинобудування і транспортування. Загалом, збірник складається із вступної частини та трьох розділів: машинобудування, механіка, матеріалознавство;

фізико-математичне моделювання в техніці та технології; світлотехніка, електротехніка та радіоелектроніка.

Хочу висловити особливу подяку голові Тернопільського осередку НТШ, члену-кореспонденту АМН України, професору Михайлові Андрейчину за ініціативу у створенні та за організаційну підтримку Інженерно-технічної комісії Тернопільського осередку НТШ, а також за фінансову підтримку і видання цього збірника директору фабрики меблів «Нова» Михайлові Гроду, Михайлові та Галині Ратушнякам, директору видавництва «Джура» Василю Ванчурі, шеф-редактору газети «У кожен дім» Вадимові Перцю, директору компанії «Креатор-Буд» Ігорю Гуді. Також хочу подякувати секретареві Інженерно-технічної комісії, завідувачу кафедри фізики університету Юрію Скоренькому, який долучився до формування та впорядкування цього тому збірника НТШ.

*Петро Ясній,
Голова Інженерно-технічної комісії
Тернопільського осередку НТШ*

Михайло Андрейчин

НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ІМЕНІ ШЕВЧЕНКА В УКРАЇНІ (ДО 140-РІЧЧЯ ДІЯЛЬНОСТІ)

У стислій формі висвітлено головні віхи становлення і розвитку Наукового товариства ім. Шевченка в Україні (НТШ). Названо фундаторів Товариства та його перших дійсних членів, серед яких значились уродженці Тернопільщини. Вказано на основні здобутки до 1939 р., особливо у видавничій роботі, та після відновлення діяльності в 1989 р. Коротко описано хроніку НТШ на Тернопільщині й творчий доробок обласного осередку.

Ключові слова: наукове товариство імені Шевченка, історичні віхи, Тернопільський осередок, творчий доробок.

Це найстаріше, тривалий час єдине й провідне українське наукове об'єднання було засноване 11 грудня 1873 р. у Львові. Спершу мало назву «Товариство ім. Шевченка», головною метою якого була розбудова літературної та видавничої діяльності української спільноти за умов заборони її розвитку в межах царської Росії. Не випадково ініціаторами й фундаторами нового об'єднання були громадські та культурні діячі Східної і Центральної України: письменник Олександр Кониський, історик Володимир Антонович, промисловець Василь Симиренко, меценат Євген Чикаленко, лікар Павло Пелехин, Єлизавета Скоропадська-Милорадович, а також тернополянин священник Степан Качала та ін. Їхніми коштами було придбано друкарню і два великих будинки у Львові [1].

У 1892 р. Товариство заходами О. Кониського і В. Антоновича перейменоване на Наукове товариство ім. Шевченка (НТШ), яке далі фактично виконувало функції академії наук українського народу, що на той час не мав своєї держави. Воно мало три секції: Історико-філософську, Філологічну і Математично-природописно-лікарську. Кожна з них складалася з кількох дослідницьких комісій. Секції та комісії очолювали авторитетні вчені, які мали вагомий

науковий доробок. До роботи комісій було залучено широкі кола українських науковців і ряд видатних чужоземних учених. У 1899 р. внесено зміну до статуту з розподілом членства на дійсних і звичайних, чим надано НТШ більшого академічного характеру. Під головуванням М. Грушевського і при сприянні В. Гнатюка та І. Франка НТШ досить швидко розбудувалось у неформальну Академію наук і посіло вагоме місце в науковому та культурному розвої українців не тільки в Галичині, а й на всіх українських землях [1, 2].

Першими дійсними членами НТШ були обрані В. Антонович, Ф. Вовк, М. Грушевський, С. Дністрянський, В. Охримович, С. Томашівський, Я. Шульгин та інші (з історико-філософської секції), О. Барвінський, В. Гнатюк, С. Колесса, О. Кониський, О. Огоновський, С. Смаль-Стоцький, К. Студинський, І. Франко (з філологічної секції), Г. Величко, І. Верхратський, І. Горбачевський, О. Дакура, В. Левицький, П. Огоновський, Є. Озаркевич, І. Пулюй, Х. Щасний-Сельський, С. Черняхівський, В. Шухевич (з Математично-природописно-лікарської секції).

У різні роки, від заснування Товариства і до початку другої світової війни, його головами були Корнило Сушкевич, Сидір Громницький, Дем'ян Гладилевич, Юліан Целевич, Олександр Барвінський, Михайло Грушевський, Степан Томашівський, Василь Щурат, Кирило Студинський, Володимир Левицький, Іван Раковський (подано в хронологічному порядку) [1, 2].

Серед дійсних членів НТШ того часу чимало уродженців Тернопільщини: Іван Верхратський, Володимир Гнатюк, Юліан Гірняк, Станіслав Дністрянський, Марія Деркач, Мирон Кордуба, Володимир Кучер, Володимир Левицький, Степан Рудницький, Зиновій Храпливий, Євген Храпливий, Микола Чайковський та багато інших. Олександр Барвінський очолював Товариство в 1893–1897 роках, Кирило Студинський — у 1923–1932 роках. Вихідці з Тернопільщини не тільки зробили примітний внесок у різні галузі науки, вони сприяли розбудові та зміцненню НТШ у цілому [3, 4].

Включно до 1939 р. силами НТШ видано 118 томів наукових збірників усіх трьох секцій, «Етнографічного збірника» та «Збірника правничої комісії», а також 88 випусків «Хроніки НТШ», 22

томи «Матеріалів до української етнології», 15 — «Українсько-руського архіву», 22 — «Джерел історії України-Руси». А ще видавалась «Українська бібліотека» і «Літературно-науковий вісник». На їх сторінках друкувались художні твори тогочасних українських і зарубіжних письменників. З 1897 р. почав виходити «Збірник Математично-природописно-лікарської секції», а згодом окремо — «Лікарський збірник» і «Хроніка НТШ». Серед фундаментальних праць треба назвати видання «Історії України-Руси» М. Грушевського (8 томів), «Гуцульщина» В. Шухевича (5 томів), серію праць І. Франка, першу «Українську Загальну Енциклопедію» (ред. І. Раковський), «Атлас України та сумежних країн» (ред. В. Кубійович) тощо. Не буде перебільшенням стверджувати, що на окреслений історичний період між двома світовими війнами припадає «золота доба» діяльності НТШ [2, 3].

В рамках Історично-філософської секції під проводом Михайла Грушевського сформувалась оригінальна школа українських істориків. До неї входили Степан Томашівський, Іван Джиджора, Іван Кревецький, Іван Крип'якевич, Мирон Кордуба, а також правники і суспільники Кость Левицький, Володимир Охримович, Станіслав Дністрянський, Михайло Лозинський.

Філологічну секцію репрезентували такі видатні вчені та письменники, як Іван Франко, Омелян Огоновський, Степан Смаль-Стоцький, Кирило Студинський, Сергій Єфремов, Василь Щурат, Михайло Возняк, етнологи Володимир Гнатюк, Олександр і Філарет Колесси та багато інших. Ці вчені фактично заклали підмурівок дослідження історії української мови, давньої й нової української літератури. Періодично видавались «Пам'ятки української мови і літератури», побачили світ п'ятитомник староукраїнських апокрифів за редакцією І. Франка, серії «Матеріалів до українсько-руської бібліографії», «Етнографічного збірника», «Матеріалів до українсько-руської етнології» тощо. Крім того, виходила «Українська бібліотека», де друкувались твори українських письменників, і «Літературно-науковий вісник», розрахований на широке коло читачів.

Всі міжвоєнні роки дуже плідно працювала третя секція, яка

охоплювала широкий спектр точних наук. Завдяки розробці української наукової термінології досить швидко вдалось створити вагомий національний науковий продукт. Світове визнання здобули наукові праці електротехніка Івана Пулюя, біохіміка Івана Горбачевського, математика Володимира Левицького, природодослідника Івана Верхратського, винахідника Олександра Смакули. Появились видатні вчені в нових напрямках науки: Іван Фещенко-Чопівський (металургія), Володимир Кучер, Олександр Смакула, Зенон Храпливий, Василь Стасів (фізика), на новий рівень піднялись географічні студії, здійснені Володимиром Кубійовичем і його колегами. Праці цих вчених систематично друкувались у «Збірниках МПЛС», реферати — у «Звідомленнях із засідань МПЛС».

У цілому, серед 108 дійсних членів Математично-природописно-лікарської секції 77 вчених представляли українську науку, 31 — світову. Серед видатних зарубіжних учених, які були обрані дійсними членами НТШ, — Нобелівські лауреати Альберт Айнштайн, Фріц Прегль і Макс Планк. На тлі європейських наукових студій поступ НТШ був настільки помітний та вагомий, що вчені-чужинці пишались обранням їх дійсними членами цього Товариства. У зв'язку з цим, промовистими є слова М. Планка (Нобелівська премія з фізики 1918 р.) у подячному листі на ім'я голови НТШ: «... я розглядаю це обрання як особливо високу відзнаку і ... буду гордитись тим, що надалі зможу вважати себе членом цієї поважної організації» [1, 2, 5].

В роки першої світової війни Товариство зазнало значних людських і матеріальних втрат, довелося відмовитися від ідеї його перебудови в Академію наук, що було заплановано на 1916 р. Під час російської окупації (1914–1915) діяльність НТШ була заборонена, як і інших демократичних об'єднань. У повоєнні роки польська влада протидіяла діяльності НТШ. Попри це, Товариство стало підґрунтям для організації в 20-ті роки у Львові підпільних Українського університету та Української політехнічної школи. З появою Української Академії наук у Києві (1920 р.) НТШ втратило роль центрального наукового осередку, а зі встановленням радянської влади в Західній Україні було закрито (1940 р.) і на його базі утворе-

но філіал Академії наук Української РСР. Під час німецької окупації діяльність НТШ обмежувалася засіданнями секцій і деяких комісій. У післявоєнні роки в Західній Європі, Північній Америці та Австралії створено осередки НТШ, переважно з учених-мігрантів. Для координації їх діяльності було обрано Головну раду Наукових товариств ім. Шевченка.

У жовтні 1989 р. у Львові групі патріотично налаштованих професорів, учителів, відомих учених АН України, працівників архівів і бібліотек, письменників вдалося поновити НТШ. Цьому сприяли проголошені в Радянському Союзі перебудовчі процеси. Відродження Товариства послужило могутнім стимулом його розвитку в нових історичних умовах, уже за державної незалежності України. За короткий час було створено 6 наукових секцій і 35 комісій в Львові та 15 територіальних осередків в областях, налагоджено випуск «Записок НТШ», «Хронік НТШ», лікарського, фізичного, екологічного та інших збірників, видано ряд монографій та інших цінних наукових праць. Щорічно проводяться березнева Наукова сесія і загальні збори НТШ [2, 4].

З ініціативи української сторони і за підтримки видатних учених та громадських діячів діаспори 1996 р. в Нью-Йорку було прийнято новий Статут Світової ради НТШ, що постала на основі Головної ради. Місце осідку Генерального секретаріату Світової ради перенесено до Львова. Промоторами цих подій були генеральний секретар Світової ради і голова НТШ в Україні Олег Романів та науковий секретар (на той час) Олег Купчинський, а з боку діаспори — голова НТШ Америки Ярослав Падох і Леонід Рудницький, обраний президентом Світової федерації Наукових товариств ім. Шевченка [6].

Протягом останніх семи років НТШ в Україні очолює професор Олег Купчинський, уродженець с. Сороцьке, що в Тербовлянському районі Тернопільської області. Видатний учений є автором низки ґрунтовних праць з української і слов'янської ономастики, джерелознавства, архівознавства, спеціальних допоміжних історичних дисциплін. За його головування у Товаристві спостерігається значний науково-організаційний, дослідницький та видавничий по-

ступ. Помітно зросла кількість членів НТШ майже в усіх обласних осередках і АР Крим. Налагоджено плідну міжнародну співпрацю.

У перші роки незалежності діяльність НТШ на Тернопільщині поширювалась завдяки праці знаного громадського діяча і археолога Ігоря Герети, фундатора Інституту національного відродження України в м. Тернопіль. Регулярно відбувалися березневі читання НТШ, які привертали увагу місцевих науковців і студентів [7].

Однак свідоцтво про державну реєстрацію Тернопільський міський осередок отримав аж у 2002 р., вже після кончини І. Герети. Головою осередку було обрано Михайла Андрейчина, заступниками голови — Марію Крупу та Григорія Возняка, науковим секретарем — Володимира Юкала.

До 2010 р. працювали 4 комісії — історична (голова Елла Бистрицька), філологічна (голова Любов Струганець), медична (голова Іван Кліщ), мистецтвознавча (голова Олег Смоляк). У 2011 р. створено ще археологічну комісію (голова Богдан Строцьєнь) та інженерно-технічну (голова Петро Ясній). Число членів НТШ зросло із 40 (в рік легалізації осередку) до 210 на кінець 2011 р.

У зв'язку з розбудовою міського осередку і створенням кількох районних осередків (Кременець, Чортків, Бережани, Теребовля, Козова) 5 квітня 2012 року на установчих зборах засновано Тернопільський обласний осередок НТШ, який зареєстровано в Головному управлінні юстиції в Тернопільській області. До складу президії обласного осередку було обрано Михайла Андрейчина (голова), Богдана Андрушківа (заступник голови), Еллу Бистрицьку, Григорія Возняка, Богдана Головина, Івана Кліща, Богдана Строцьєня, Любов Струганець, Ірину Федорів (науковий секретар).

Вже стало традицією проведення у Тернополі щорічних березневих наукових сесій, приурочених до чергової річниці з дня народження Т.Г. Шевченка. Вони складаються із секційних засідань наукових комісій і спільного пленарного засідання, на якому заслуховуються ретельно відібрані проблемні доповіді з різних галузей науки. Крім того, члени НТШ беруть участь у багатьох наукових конференціях, з'їздах і конгресах за профілем наукової роботи, співпрацюють з іншими науковими товариствами та асоціаціями.

Налагоджено видавничу діяльність. Систематично видається збірник праць Тернопільського осередку НТШ обсягом до 27 ум. др. аркушів. Тематика збірників відображає поле наукових інтересів комісії осередку. Головна тема тому 1 — «Літературознавство, мовознавство. Історія України, релігієзнавство», тому 2 — «Національно-визвольні змагання українського народу у ХХ столітті», тому 3 — «Українсько-польські відносини вчора і сьогодні», тому 4 — «Видатні постаті в українській культурі і науці», тому 5 — «Нобелівський рух і Україна», тому 6 — «Актуальні питання екології та охорони здоров'я». Готуються до друку два наступних томи «Збірники праць» ТО НТШ. Президія НТШ в Україні відзначила поступ у діяльності Тернопільського осередку, насамперед у виданні наукових праць [8].

Видані праці зацікавили не тільки фахівців, а й широкі кола читачів, про що свідчать численні відгуки в газетах і журналах. Презентація кожного виданого тому перетворюється в цікаву наукову дискусію. На запрошення ректора Жешувського університету відповідальний редактор презентував четвертий том «Праць НТШ» у цьому славетному навчальному закладі Польщі. Під грифом Тернопільського осередку НТШ видано низку монографій і збірників наукових конференцій. Палітра наукових інтересів тернопільських ентузіастів досить велика, однак вона принципово не поширюється на поточні політичні процеси в Україні та світі. За останні 10 років шеренгу дійсних членів НТШ поповнило 6 тернополян, що вказує на загальноукраїнське визнання їх наукового доробку. Разом з тим, більшої уваги потребують наукові зв'язки із зарубіжними вченими.

Президія і члени Тернопільського осередку НТШ брали активну участь у багатьох важливих громадських заходах. Ось деякі з них: урочиста академія, присвячена 140-річчю від дня народження акад. Кирила Студинського, відзначення 125-річчя від дня народження Леся Курбаса, 165-річчя — Івана Пулюя, святкування 120-річчя від дня народження видатного математика Мирона Зарицького; 50-річчя від заснування Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя; Міжнародні Річинські читан-

ня; щорічні Нобелівські читання; презентація першої книги творів Т. Шевченка в'єтнамською мовою.

Таким чином, НТШ і його Тернопільський осередок роблять свій посильний внесок у розвиток української культури і науки. Сподіваємося, що творчий доробок наших науковців буде збільшуватись, і це служитиме науково-технічному прогресу в Україні.

Література

1. Наукове товариство ім. Шевченка // Енциклопедія українознавства / за ред. В. Кубійовича. — Репринтне видання. — Львів, 1996. — Т. 5. — С. 1711–1713.
2. Романів О. М. Наукове товариство ім. Шевченка. 130 років праці для України / О. М. Романів. — Львів, 2003. — 40 с.
3. Андрейчин М. А. Наукове товариство імені Т. Шевченка (НТШ) / М. А. Андрейчин // Тернопільський енциклопедичний словник. — Тернопіль: ВАТ ТВПК «Збруч», 2005. — Т. 2. — С. 611.
4. Купчинський О. А. 20 років відновлення і розбудови Наукового товариства ім. Шевченка в Україні / О. А. Купчинський // Вісник НТШ. — 2009. — Ч. 42. — С. 1–9.
5. Бубній П. М. Неформальна академія наук / П. М. Бубній, Ю. Ф. Ковальков // Тернопільський осередок Наукового товариства ім. Шевченка. Збірник праць. Т. 5. Нобелівський рух і Україна. — Тернопіль: Джура, 2010. — С. 176–180.
6. Рудницький Л. І. Про статут Світової ради крайових НТШ, Світову раду крайових НТШ та наукові українознавчі перспективи / Л. І. Рудницький, О. А. Купчинський, А. Ф. Карась // Вісник НТШ. — 2012. — Ч. 47. — С. 1–2.
7. Герета І. П. Статті. Спогади. Світлина / І. П. Герета. — Тернопіль: ТОВ «Видавництво Астон», 2012. — 228 с.
8. Загальні звітно-виборні збори Наукового товариства ім. Шевченка в Україні // Вісник НТШ. — 2012. — Ч. 47. — С. 7–14.

Mykhaylo Andreychyn

**SHEVCHENKO SCIENTIFIC SOCIETY IN UKRAINE
(ON THE OCCASION OF THE 140-ANNIVERSARY OF
CREATION)**

Major milestones of the formation and development of the Shevchenko Scientific Society in Ukraine are outlined. The founders of the Society and its first full members are listed, some among them born in Ternopil region. The main achievements, especially in publishing, before 1939 and after restoration of the activity in 1989 are mentioned. The chronicle of Shevchenko Scientific Society in Ternopil and heritage of regional branches are briefly described.

Keywords: *Shevchenko Scientific Society, achievements, Ternopil branch milestones.*

УДК 53.01

Олександр Рокіцький

ТВОРЦІ ФІЗИЧНОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ — ЧЛЕНИ НТШ, ВИХІДЦІ З ТЕРНОПІЛЬЩИНИ

У статті подано короткі біографічні відомості про членів НТШ, народжених на Тернопільщині: Івана Пулюя, Юліяна Гірняка, Володимира Кучера, Зенона Храпливого, які плідно працювали над створенням україномовних наукових статей, підручників та, зокрема, наукової термінології. Зроблено загальний огляд праць вчених-діячів НТШ та видань НТШ, які виходили до 1939 року.

Ключові слова: українська наукова термінологія, дійсні члени НТШ.

Наступного року українська науково-культурна громадськість відзначатиме 140-літній ювілей заснованого у 1873 році Наукового товариства ім. Шевченка у Львові, організації, що стала фактично Національною Академією наук.

Фізики, математики, біологи та медики у структурі Товариства входили до Математично-природописно-лікарської секції (МПЛС). Її періодичне видання під назвою «Збірник математично-природописно-лікарської секції» («Збірник МПЛС») стало, власне кажучи, першим україномовним науковим журналом з природничо-математичних наук.

Нині минає 120 років від часу створення МПЛС (1892 р.) і 115 років від заснування «Збірника МПЛС». В тогочасних умовах названий український журнал сприяв розвитку науки та освіти у трьох аспектах:

- 1) вироблення наукової термінології;
- 2) ознайомлення з найновішими здобутками європейської науки: публікація оглядів та рефератів;
- 3) освітній аспект.

У царині української наукової природознавчо-математичної і технічної термінології вчені НТШ були її першопочинателями. Ма-

тематики, фізики, біологи, медики, інженери і техніки йшли неторованими стежками для залучення нашої науки та освіти до загальносвітового прогресу. І хоча проблеми науково-технічного термінотворення ніколи не втрачають актуальності, все ж треба віддати належне членам МПЛС і, зокрема, авторам публікацій «Збірника МПЛС», а згодом — авторам перших українських підручників з фізики та суміжних наук за цю велику працю. Завдяки НТШ наприкінці ХІХ ст. та у перші десятиліття ХХ ст. фізична термінологія інтенсивно збагачувалася та нормалізувалася. При МПЛС був утворений термінологічний відділ, який систематично публікував термінологічні додатки у «Збірнику МПЛС». Першим, хто заповнив такий додаток до своєї статті «Безпечна станція телефонів», був Іван Пулюя. За період від 1897 до 1939 р. на сторінках «Збірника МПЛС» опубліковано близько сотні статей та повідомлень на фізичні теми. Деякі з них спеціально присвячені термінологічним проблемам. У статтях, на сторінках «Збірника МПЛС», науковці також апробували новостворені терміни. Згодом у «Збірнику МПЛС» з'явилася нова рубрика — «Термінольоґічна частина», в якій відображалися матеріали термінологічних дискусій. З середини 1920-х років такі матеріали епізодично публікувалися також у «Технічних вістях» — журналі Українського технічного товариства у Львові, популярних виданнях «Просвіти».

Найвагомішим набутком НТШ у царині українського фізичного термінотворення була праця Володимира Левицького «Матеріяли до фізичної термінології», яка започаткувала обґрунтовану наукову систематизацію фізичної термінології і значною мірою слугувала зразком на майбутнє. Дотримуючись європейської термінотворчої традиції, автор намагався найперше спиратися на національні словотворчі принципи, водночас залучаючи грецькі та латинські терміноелементи, що були в основі міжнародної термінології.

Активними учасниками термінологічних дискусій та творцями української фізичної термінології, окрім вже згаданого І. Пулюя, були й інші вихідці з Тернопільщини, зокрема: Юліян Гірняк, Володимир Кучер, Зенон Храпливий.

Щодо діяльності Івана Пулюя, то з нею добре ознайомлена переважна більшість учасників нашого зібрання. Тому дозволю

собі лише зауважити, що праця для утвердження української мови в церковній літературі, освіті та науці була справою усього його життя. Підтвердженням цього є його видання українською мовою «Молитвослова», україномовні переклади Біблії, книг з природничих наук для середніх шкіл та гімназій, публікацій наукових та науково-популярних статей на сторінках «Збірника МПЛС» та у популярних виданнях «Просвіти».

Учень І. Пулюя Юліан Гірняк — учений у галузі хімії та фізики, громадський діяч, публіцист. Народився 8 березня (за іншими даними 8 вересня) 1881 року в с. Струсів Тереховлянського району. Початкову освіту здобув у рідному селі й 1893 року вступив до Станіславської гімназії, 1901-го вступив до Львівського політехнічного інституту й одночасно навчався і у Львівському університеті, де впродовж чотирьох років вивчав фізику і хімію. Здібного студента зауважив І. Пулюй і запросив у свою лабораторію до Праги, де він здійснив цікаві дослідження з теплопровідності цукру у водному розчині, що дозволило йому в 1905 році захистити докторську дисертацію у Львові. З 1905 року працював викладачем у гімназіях Станіслава. В 1912 р. продовжував навчання в Лейпцігському фізико-хімічному інституті, після чого повернувся до Львова, де працював учителем в українській гімназії. Коли в 1918 р. у Кам'янці-Подільському був відкритий Український державний університет, Ю. Гірняка запросили туди на викладацьку роботу. Після його закриття вчений повернувся до Львова, де взяв активну участь у відкритті Українського таємного університету, в якому викладав фізику на кафедрі дослідницької фізики. Юліан Гірняк відомий своїми роботами у галузі фізичної і хімічної кібернетики, дослідженнями впливу синхронної зміни концентрації на хід хімічних реакцій, залежності швидкості хімічних реакцій від зміни температури. Свого часу вчений чітко поставив питання про зв'язок швидкостей хімічних реакцій з будовою молекул, які беруть участь у перетворенні. При цьому висловив здогад, що в хімічній кінетиці не слід надто захоплюватися математикою, бо провідна роль у хімії належить лабораторному експерименту. У 1939 р. отримав призначення на посаду доцента кафедри фізичної та колоїдної хімії Львівського політехнічного інституту. Член НТШ від 1908 року, регулярно друку-

вав результати своїх наукових досліджень на сторінках «Збірника математично-природописно-лікарської секції НТШ». У 1914 р. видав україномовний підручник з хімії для гімназій. 1941 р. емігрував до США і продовжував там плідно працювати до останніх днів свого життя (5 червня 1970 р.)

Володимир Кучер народився 18 жовтня 1885 року в містечку Глусте (тепер селище Товсте) Заліщицького повіту на Тернопіллі в сім'ї селян-хліборобів. Початкову освіту отримав у рідному селі, а далі було гімназійне навчання у Бучачі. В 1905 — 1909 роках продовжив навчання на філософському факультеті у Львівському університеті, вивчав фізику та математику, слухав лекції з історії та літератури відомих професорів Михайла Грушевського, Філарета Колесси, Кирила Студинського. Курси теоретичної фізики молодому студенту читав славетний польський фізик-теоретик Мар'ян Смолуховський. Саме цей вчений своїми лекціями прищепив Володимирові Кучеру любов до наукової діяльності. Це був час становлення нової науки — квантової механіки. Будучи ще студентом, Володимир друкує у VIII томі «Збірника НТШ» свою першу статтю «Основи електроніки», в якій пропагує передові досягнення цієї науки. Після закінчення навчання в університеті деякий час працює в Станіславі, а в 1910 році викладає фізику і математику у державній гімназії в Тернополі. З вибухом 1-ої світової війни переїжджає до Відня, де після стажування в Інституті теоретичної фізики здобуває вчений ступінь доктора філософії. У 1918 р., як і Ю. Гірняка, його запрошують на викладацьку роботу до Кам'янця-Подільського державного університету. Але військові події перешкодили цій праці й учений знову їде у наукове відрядження. На цей раз до Берліну в інститут Кайзера Вільгельма. Тут він стає учасником семінарів у самого творця квантової теорії Макса Планка, лауреата Нобелівської премії 1918 року. Серед учасників семінару — лауреати Нобелівської премії: основоположник фізичної хімії Вальтер Нернст (1920) та визначний фізик-теоретик Макс Лаве (1914). Можна лише собі уявляти сьогодні науковий рівень цього семінару! Результатом такого «підвищення кваліфікації» стала з'ява трьох наукових публікацій молодого вченого з питань теоретичної фізики: «Причинки до теорії структури етеру», «Сучасна атомістична теорія» та «Ви-

брані питання з теорії квантів енергії». Професійне зростання Володимира Кучера 2 вересня 1919 року було визнано обранням його дійсним членом НТШ. Разом із визначними українськими вченими на чолі з Іваном Горбачевським він долучається до справи створення у Львові спочатку українських університетських курсів, а згодом, у 1920 році — перетворення їх на зразок університетів Західної Європи. Подальше життя Володимира Кучера тісно переплетене з діяльністю українського (таємного) університету. Його обирають членом сенату навчального закладу від філософського «відділу» НТШ, разом з Володимиром Левицьким, Романом Цегельським він входить до іспитових комісій з фізики і математики, читає лекції з термодинаміки, теоретичної фізики. Після закриття університету (1925 р.) викладає фізику у гімназіях Львова. Від 1940 до 1941 р. та в повоєнний період викладає статистичну фізику у Львівському університеті, очолює кафедру теоретичної фізики у Львівському сільськогосподарському інституті.

Зіновій (Зенон) Храпливий — фізик-теоретик, народився 1904 р. в с. Лисівцях Заліщицького району. Середню освіту отримав у Тернопільській народній школі. Після завершення навчання у Львівському університеті (1929 р.) викладає фізику у приватній жіночій, а опісля — в чоловічій державній гімназії м. Перемишля. У 1936 р. повертається до Львова на посаду вчителя фізики 1-ої Академічної української гімназії. Зважаючи на катастрофічну нестачу української книжки у школі, вже у 1938 році З. Храпливий видає «Нарис фізики» — підручник для IV класу гімназії, що складався з трьох частин: механіки, електрики і магнетизму та оптики. Кожен з розділів тієї чи іншої частини завершувався коротким історичним оглядом. У кінці підручника вміщено складений автором українсько-польський термінологічний словничок. Структура підручника, підбір матеріалу, його надзвичайно дохідливе висвітлення, що супроводжується численними ілюстраціями, спроможні зацікавити й сьогодні. Вдало використовуючи приклади з повсякденного життя, автор легко вводить читача у світ фізичних понять і величин, буквально «на пальцях» з'ясовує фізичну сутність розглядуваних явищ і процесів, чисто логічно, з мінімальним використанням математичного апарату обґрунтовує фундаментальні

фізичні закони. Останнє зумовлено тим, що підручник написаний для навчальних закладів гуманістичного типу і найважливішою метою автора є домогтися серед учнів загального розуміння предмету фізики. Щодо структури підручника, його тематики та насиченості матеріалу, то в механіці, крім звичних для сьогодення розділів, присвячених поняттям і законам кінематики та динаміки матеріальної точки, законам збереження, коливанням і хвилям, автор розглядає різного роду машини, їх будову, принцип дії та характеристики, механізм виникнення підйимальної сили, що діє на крило літака, історію розвитку парових машин, автомобілізму та летунства. Друга частина, крім традиційних, містить окремі розділи, присвячені електрохімічним явищам, основам електротехніки та радіотехніки, телефонії, катодному й рентгеновському промінню, явищу радіоактивності. В останній частині основну увагу зосереджено на законах геометричної оптики, будові та призначенні різноманітних оптичних приладів, спеціальний розділ присвячено спектрам та спектральному аналізу. Загалом автор особливо наголошує на важливості фізики для розвитку науки і техніки, практичному застосуванні її здобутків у повсякденному житті людини. Варто зауважити, що професор Зенон Храпливий як дійсний член НТШ від 1934 року активно і плідно працював над творенням української наукової термінології, а його підручник для українських гімназій був і своєрідною реакцією вченого на антиукраїнську, шовіністичну політику польського уряду. Працював професором кафедри теоретичної фізики Львівського університету та проректором університету (до 1941 року). Після війни — професор Міжнародного Вільного університету у Мюнхені, а згодом (з 1948 року) — професор фізики в університеті м. Сент-Луїс у США. Професору Храпливому належать важливі наукові результати в релятивістській квантовій механіці (публікації в *Acta Physica Polonica*, *Physical Review*, *J. Phys.*) та нелінійній електродинаміці (*C. R. Acad. Sci. Paris*, *Acta Physica Polonica*). Зенон Храпливий був членом Нью-Йоркської Академії наук, членом Американського фізичного товариства.

Сподіваюся, що цей короткий огляд життя і діяльності наших видатних земляків послужить для талановитої молоді взірцем служіння не лише науці, але й українській національній ідеї.

Oleksandr Rokitskyy

**CREATORS OF PHYSICAL TERMINOLOGY — MEMBERS OF
SHEVCHENKO SCIENTIFIC SOCIETY
ORIGINATED FROM TERNOPIL REGION**

Biographical information about the members of Shevchenko Scientific Society born in Ternopil region, namely Ivan Puluž, Julian Girniak, Volodymyr Kucher, Zeno Chraplyvy who fruitfully worked on scientific papers, Ukrainian textbooks and Ukrainian scientific terminology is presented. Oeuvre of these prominent scientists and Shevchenko Scientific Society publications before 1939 are reviewed.

Keywords: *Ukrainian scientific terminology, full members of Shevchenko Scientific Society.*

УДК 001:001.8.62

Василь Шендеровський

ПІЗНАННЯ ІСТОРИЧНОЇ МИНУВШИНИ В ІМЕНАХ — ПІДҐРУНТЯ ОСВІТИ НАЦІЇ

У статті обґрунтовано тезу про важливість історичних постатей видатних українців для розвитку української національної еліти.

Учися дитино, бо вчитися треба!
Учися, голубко, най розум не спить,
Най серце і воля, і дух росте в силу!
Для життя, для світа треба ся учить!

Володимир Масляк

Відродження історичних, патріотичних та культурних традицій українського народу є головним завданням гуманітарної стратегії незалежної Української держави. Ми, українці, нація дуже стара і свою духовну культуру наші пращури почали творити далеко до християнського періоду в Україні. Слава про Київську Русь гриміла світами. Приміром, ще князь Олег Віщий на знак перемоги прибив свій щит на брамі Царгорода. Ще в IX столітті Київську Русь називали Гарданією, тобто країною міст. Дочок князів брали собі дружинами найславніші королі Франції, Чехії, Німеччини, Польщі.

Разом з християнством Візантія принесла нам культуру; але саме свою культуру, а не культуру взагалі. У нас в Україні вже була національна культура, і цю культуру творили наші національні вчені. Ось дещо з історії. Перші відомості про зацікавлення природознавством, медициною знаходимо вже в «Ізборнику Святослава» (1073 рік). Згодом Ярослав Мудрий засновує при Софіївському соборі школу і бібліотеку. За його ініціативою почалася в Києві праця над перекладами грецьких та інших книг церковнослов'янською мовою, укладається літописний звід.

Вже у XV столітті український вчений Юрій Котермак стає широко відомим в Європі як автор одного з перших у світі астроно-

мічних календарів, як доктор медицини, ректор Болонського університету, професор Ягеллонського університету у Кракові, лекції якого слухав Микола Коперник.

З початком діяльності Києво-Могилянської академії (1632 рік) рівень натурфілософської науки вже не поступається тодішнім університетам Європи.

Не випадково 1927 року в Парижі князь Микола Трубецкой напише у своїй книзі таке: «Та культура, яка з часів Петра живе і розвивається в Росії, є органічним і безпосереднім продовженням не московської, а київської української культури».

Отже, нині ми повинні прищеплювати почуття гідності й самоусвідомлення, що саме український народ спромігся видати з себе без перебільшення велику плеяду славетних учених, що своїми науковими доробками збагатили скарбівню світової науки і культури.

Сьогодні перед дослідниками історичної минувшини відкрився (правда ще не в повній мірі) доступ до архівних джерел. І навіть при цьому обмеженому доступі до інформації перед дослідниками постала жаклива правда. Україна зазнала безпрецедентних втрат серед еліти. Всесвітньо відомий фізик Іван Пулюй писав: «Інтелегенція у кожного народу, то «сіль землі», а коли вона «звітріє», то чим солити? Вже й звітріла тая дорогоцінна і благодатна сіль землі руської: нічим вже солити! Тай не заготовляють нову сіль... Вона готується в університетах, інститутах, лабораторіях і в школах не під доглядом поліції і жандармерії, а під доглядом і щирою опікою людей науки.»

Нищили ту «сіль» і царський уряд, і такі проводирі-мудреці як Катков, Аксаков, Побідоносцев. А ми додамо, нищили до революційних вакханалій, нищили і після революцій, коли вже інші більшовицькі керманічі, хизуючись фразою «Мы академий не кончали», змітали з дороги своїх антиподів — людей освічених. І нищили ретельно, з жорстокою послідовністю, нищили інтелект нації, нищили вони і тую «сіль землі», і «животворящу силу», що має бути «основою духовного розвитку» народу і кращої його долі. Злочини ставали системою, злочини без кари...

І, здається, досягли свого. Народ, нація без національної еліти,

як зазначає Іван Белебеха, «збіговисько безбатченків, а суспільство — конгломерат космополітів; релігійні діячі без національної еліти — каста лжепророків».

І знову доречно пригадати слова славетного Івана Пулюя: «Який же може бути «духовний поступ» в такій державі, де гонять людей науки і тяжкою тюрмою тих карають, що для освіти народу працюють, або посміють сказати одважне слово в обороні правди, в такій державі, де роблять страшенне насилля людській совісти, де і за слово Боже на рідній мові людей як преступників карають...

Чи можливий поступ там, де таке варварство дозволено царським указом?!»

Складна доля української еліти. Щоб досягнути її в усій повноті, необхідно перегорнути багато сторінок нашої історії, щоб пересвідчитись, що український народ завжди породжував і породжує людей, здатних бути інтелектом нації...

Про багатьох таких світочів нашого народу, дослідників і подвижників, які своїми досягненнями в науці стимулювали «духовний поступ» у світі написано у тритомовому виданні «Нехай не гасне світ науки»...

Література

1. Шендеровський В. А. Нехай не гасне світ науки / В. А. Шендеровський — Вид. 2-ге. — К.: ВД «Простір», 2009. — Т.1. — 416 с.; 2009. — Т. 2. — 328 с.; 2011. — Т. 3. — 344 с.

Vasyl Shenderovsky

REVEALING HISTORY THROUGH NAMES AS FOUNDATION OF NATION'S ENLIGHTENMENT

In the paper the idea of outstanding historical figures importance for formation of Ukrainian national elite is substantiated.

УДК 621.3 (09); 621.3 (477)

**Богдан Кожушко,
Василь Шендеровський**

ПОЧАТКОВИЙ ЕТАП ВИКЛАДАННЯ ПРЕДМЕТУ ЕЛЕКТРО- ТЕХНІКИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ПОЛІТЕХНІЧНІЙ ШКОЛІ

Подано історичні відомості про становлення львівської електротехнічної школи, її найвизначніших представників та найвагоміші досягнення.

Електротехніка — одна з перших галузей техніки, яка виникла внаслідок практичного застосування наукових винаходів. Історія становлення електротехнічної науки свідчить про тісну взаємодію електротехніки з іншими природничими науками. Досягнення в галузі електротехніки базуються на застосуванні фізичних законів про електрику і магнетизм до тих процесів, які проходять в електричних колах та пристроях, математичному описі цих процесів. Спираючись на досягнення наукових досліджень, була створена галузь промисловості, яка забезпечила виробництво різноманітних електротехнічних виробів, сприяла розвитку науки і техніки.

Як і всі прикладні науки, електротехніка має теоретичну базу. Результати експериментальних досліджень, які були накопичені практикою, аналізуються, систематизуються, узагальнюються, встановлюються закони, зв'язки між окремими явищами. Іншими словами, теоретична електротехніка — це галузь науки, яка вивчає електричні явища, закони, методи розрахунків і досліджень. Навчальна дисципліна «Теоретичні основи електротехніки» (ТОЕ) займає провідне місце в системі підготовки сучасного інженера-електрика [1].

Наприкінці XIX ст. — початку XX ст. в Україні були закладені та почали розвиватися три основні наукові електротехнічні центри: у Львові, Харкові та Києві. Всі вони знаходилися у стінах вищих технічних навчальних закладів, відповідно: Львівська політехнічна школа, Харківський технологічний інститут, Київський політехнічний інститут. Від цього часу розпочинається викладання електро-

техніки як окремої навчальної дисципліни. Пріоритет в цій сфері належить Львівській політехнічній школі (так називався до 1921 р. Національний університет «Львівська Політехніка»), де курс лекцій з електротехніки було впроваджено до навчального плану у 1887 р. До складу нового предмету входили розділи: теоретична електротехніка, електричні машини та застосування електричної енергії, електричні вимірювання. Слід зазначити, що, наприклад, до навчальних планів Санкт-Петербурзького електротехнічного інституту спеціальний курс електротехніки було вперше впроваджено лише в 1891 р. [2].

Початок електротехнічним дослідженням у Львові заклав перший ректор Технічної академії фізик Фелікс Стржелецький, випускник Віденського університету, учень знаменитого німецького фізика, барона Андреаса Еттінгшаусена, який прославився як перший розробник електромагнітної машини (яка може працювати як електричний генератор або як електродвигун). Стржелецький аналітично описав «фігури Ліссажу», які експериментально відкрив французький фізик Ж. Ліссажу у 1850 р. Після цього згадане явище знайшло широке застосування в електротехніці.

7 жовтня 1877 р. у Політехніці відбулася знакова подія: перша на теренах Австро-Угорської монархії публічна лекція із успішною демонстрацією нового винаходу — телефону. Зала головного корпусу була з'єднана двома мідними дротами з амфітеатральною аудиторією будинку хімії. В актовій залі лекцію читав приват-доцент Роман Гостковський (1837–1912), а в будинку хімії — доцент Бруно Абданк-Абаканович. Згодом, Б. А.-Абаканович (1852–1900) став професором математики і електротехніки, залишив слід у світовій науці як винахідник інтегратора (автор патенту з 1880 р.). Спеціально для Р. Гостковського у 1890 р. створили кафедру теорії залізничного транспорту, на якій електротехнічна проблематика була серед домінуючих. Предмет «теорія залізничного транспорту» він читав першим в Австрійській імперії і тільки через чотири роки таку доцентуру було створено у Відні. Його наукові праці стосувалися питань електричних двигунів, генераторів постійного струму, використання електричної енергії для залізничного транспорту

тощо. Постійно друкував важливі статті в «Технічному журналі», який виходив у Львові, зокрема: «Передача сили за допомогою електричного струму» (1883 р.); «Про заміну пари електрикою» (1884 р., передрукована наступного року в німецькому журналі «Zeitschrift f. Elektrotechnik» і англійському «The Electrician»). 14 червня 1881 р. у залі засідань Галицького сейму Р. Гостковський та інженер Фр. Рихновський запроектували перше у Львові електричне освітлення. Для відзначення заслуг ученого Політехнічне товариство створило фонд його імені, а в 1888 р. надало йому титул почесного члена. Професор Гостковський був ректором Львівської політехнічної школи (1897–1898), головою Політехнічного товариства впродовж 1877–1884 років, багаторазовим міським радником. Помер у Львові, похований на Личаківському кладовищі.

З 1889 р. у Львівській політехнічній школі розпочав службу професор фізики Казимир Олеарський (1855–1936), який в 1913–1914 н.р. став її ректором. Хоча він працював на кафедрі фізики, але вніс поважний вклад в історію розвитку практичних електротехнічних досліджень, опублікував ряд наукових праць з цієї тематики: новий спосіб вимірювання малих електричних опорів, дослідження електричних осциляцій в електричних колах, характеристики змінного струму. Багато разів представляв польську фізичну та електротехнічну науку на міжнародних конгресах в Австрії, Німеччині, Англії, Франції, Швейцарії, Чехії, Румунії. Помер в Кракові, там і похований.

На початку 1891 р. у Львівській політехнічній школі відкрито кафедру електротехніки, а на посаду професора був запрошений Роман Дзеславський (1863–1927). Він став першим професором-електротехніки на території Польщі, впродовж 33-х років безперервно викладав загальну електротехніку на факультеті машинобудування [3]. Згодом став ректором вузу (1901–1902 н.р.), потім деканом відділу. Р. Дзеславський створив першу електротехнічну лабораторію та відділ електротехніки на машинобудівному факультеті.

У Політехнічній школі загалом функціонувало 20 кафедр, в тому числі такі, як електротехніки, теорії залізничного руху, фізи-

ки. В 1911–1912 н. р. при машинобудівному факультеті було створено електротехнічний відділ.

13 січня 1921р. Політехнічну школу перейменували і вона отримала назву — Львівська політехніка. Було дещо реорганізовано також структуру вузу. У ньому почали діяти шість факультетів. В складі механічного факультету утворилося 3 відділи, серед них продовжив своє існування електротехнічний відділ. Крім того тут утворилося 19 кафедр, а основне, що на факультеті розпочала працювати перша електротехнічна лабораторія. Від цього часу бере початок ґрунтовна наукова діяльність в галузі електротехніки, якою займалися професори В. Круковський, С. Фризе, Г. Сокольницький [4].

Із них найбільший вклад до скарбниці світової практичної електротехніки вніс Габріель Сокольницький (1877-1975). Вищу освіту здобув у політехніці міста Дармштадт. Автор перебудови старих і спорудження нових електростанцій, проектів електрифікацій міст Польщі. Від 1921 року — доцент Львівської політехніки, професор і керівник новоствореної кафедри електричного устаткування. Ректор вузу в 1931–1932 роках. З 1922 р. — член-кореспондент, а від 1938 р.— дійсний член академії технічних наук Польщі. Був серед небагатьох видатних вчених-політехніків, які згодом працювали у радянський час професорами в Львівському політехнічному інституті. Помер у Львові, похований на кладовищі в селищі Брюховичі.

Література

1. Милях А.Н. Из истории становления и развития теоретических основ электротехники на Украине / А. Н. Милях, С. И. Кирпатовский // Теоретическая электротехника: Сб. науч. тр. — Львов: изд-во Львов. ун-та, 1967. — Вып. 3. — С. 3–15.
2. Тверитникова О. Є. Основні етапи становлення і розвитку теоретичних основ електротехніки в Україні (перша половина ХХ ст.) / О. Є. Тверитникова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», 2008. — № 8, — С. 25–29.

3. Воробкевич А. Початок фізичних і електротехнічних досліджень у Львівській політехніці / А. Воробкевич, О. Рокіцький, В. Шендеровський // Матеріали 2-ї Всеукр. наук. конф. «Актуальні питання історії техніки». — К., 2003. — С. 160.
4. Національний університет «Львівська політехніка»: [іст. вид. / редкол.: Ю. Я. Бобало (голова) та ін.]. — К.: Логос Україна, 2009.— 448 с.: іл. фотогр.

Bohdan Kozhushko, Vasyl Shenderovsky

**INITIAL STAGE OF TEACHING OF ELECTRICAL
ENGINEERING AT LVIV POLITECHNIC SCHOOL**

Historical facts about the formation of Lviv electrical engineering school, its prominent representatives and the most important achievements are given.

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛІЗНАВСТВО

УДК 620.192.46

Петро Ясній, Юрій Пиндус, Олег Галушак

СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКРИТТЯ ВТОМНОЇ ТРІЩИНИ В СПЛАВІ Д16Т ЗА РЕГУЛЯРНОГО НА- ВАНТАЖЕННЯ

В роботі описано створення моделі плоского зразка з центральною тріщиною за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) в програмному комплексі ANSYS. Змодельовано ріст та закриття втомної тріщини за регулярного циклічного навантаження з урахуванням залишкових напружень в околі вістря тріщини та контакту її берегів. Для виконання всіх етапів моделювання створено відповідні макроси. Проаналізовано можливість використання МСЕ для оцінки впливу залишкових пластичних деформацій і залишкових стискувальних напружень на закриття втомної тріщини.

Ключові слова: закриття тріщини, коефіцієнт інтенсивності напружень, ріст втомної тріщини, метод скінченних елементів.

Явище передчасного контакту берегів зростаючої втомної тріщини протягом деякої позитивної частини циклу напружень є важливим феноменом експериментальної механіки втомного руйнування. Цей феномен, який називають змиканням або закриттям тріщини (ЗТ), широко використовується для пояснення численних кінетичних ефектів, які супроводжують втомне руйнування конструкційних матеріалів.

Вважається, що закриття тріщини (ЗТ) виявив В. Елбер [1, 2]. ЗТ визначає в її вершині деяке значення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) K_{op} (пропорційне довжині тріщини і нормальному напруженню в момент відкриття тріщини), перешкоджаючи зниженню цього параметра до рівня мінімального значення КІН циклу навантаження K_{min} . На підставі отриманих результатів В. Елбер дійшов висновку, що частка циклу навантаження, яка знаходиться нижче K_{op} , що відповідає моменту розкриття тріщини, не вносить вкладу в ріст втомної тріщини (РВТ). Вказуючи на необхідність врахування явища закриття тріщини при аналізі напружено-деформованого стану тіл з тріщинами, він увів ефективне значення розмаху КІН [2]:

$$\Delta K_{eff} = K_{max} - K_{op}, \quad (1)$$

де K_{max} — максимальне значення КІН циклу навантаження.

Ефект ЗТ кількісно оцінюється коефіцієнтом відкриття тріщини U [3]:

$$U = (K_{max} - K_{op}) / (K_{max} - K_{min}) = \Delta K_{eff} / \Delta K. \quad (2)$$

Експериментальні методи визначення ΔK_{eff} є дуже трудомісткими. Для їх проведення необхідні значні затрати часу та зусиль. У зв'язку з цим актуальності набувають аналітично-експериментальні методи, у тому числі комп'ютерне моделювання фізико-механічних процесів у вістрі тріщини. Одним з найефективніших та найпоширеніших сучасних підходів до вирішення таких завдань є використання методу скінченних елементів (МСЕ). Суть даного методу полягає в апроксимації досліджуваного тіла деякою моделлю, котра являє собою сукупність елементів зі скінченною кількістю ступенів вільності [4]. Однією з найпопулярніших багатofункціональних програм, які дозволяють використовувати МСЕ, є ANSYS. Цей програмний комплекс дозволяє розв'язувати широкий спектр інженерних задач, зокрема механіки деформівного твердого.

Метою даної роботи було за допомогою програмного комплексу ANSYS змоделювати процеси РВТ та одержати результати моделювання.

Дослідження відкриття втомної тріщини МСЕ.

В програмному комплексі ANSYS моделювали плоский прямокутний зразок з центральною тріщиною, виготовлений з алюмінієвого сплаву Д16Т згідно з ГОСТом 25.506-85. Для цього було зроблено спеціальний макрос. Він містить набір команд, які задають характеристики матеріалу, створюють усі складові моделі та скінченноелементну сітку. Завдяки використанню цього макросу можна легко відтворювати однакові умови при кожному моделюванні. Створено модель половини зразка і накладено умови симетрії на ліву частину моделі. Завдяки умовам симетрії така модель повністю моделює цілий зразок. Скінченноелементна модель зображена на рис. 1.

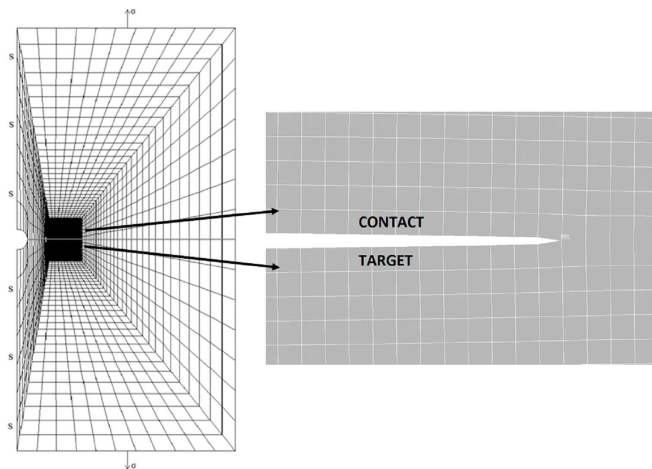


Рисунок 1. Скінченноелементна модель зразка, створена в програмі ANSYS

При моделюванні відтворено умови експерименту та характеристики сплаву Д16Т при температурі 293 К. Механічні властивості та хімічний склад алюмінієвого сплаву Д16Т наведено в роботі [5]. Розрахунки МСЕ проводили за умов плоского напруженого стану (plane stress), враховуючи ефект Баушінгера. Для створення скінченноелементної сітки використали елемент PLANE182, який в програмі ANSYS передбачений для створення плоских двовимірних моделей. Він визначається чотирма вузлами з двома ступенями

вільності в кожному вузлі, може приймати чотирикутну або трикутну форму. Елемент має властивості пластичності, пружності, жорсткості, значних переміщень і деформацій. У праці [6] проведено обґрунтування розміру сітки скінченних елементів для моделювання росту тріщини в аналогічних умовах. Встановлено, що для моделювання РВТ оптимальним є розмір елемента 10 мкм. Подальше подрібнення сітки елементів вимагає більшого часу на розрахунки, але не покращує точності моделювання. Сітку скінченних елементів створено найбільш детальною вздовж площини росту тріщини на відстань до 5 мм від неї.

На береги тріщини накладали умови контакту для відтворення процесів, що виникають при її закритті внаслідок залишкових деформацій, контактних стискувальних напружень на берегах тріщини та залишкових напружень спереду вістря тріщини. Для створення контактних поверхонь використовували скінченні елементи CONTA171 і TARGE169. Ці елементи підходять для використання у моделі, створеній з використанням елемента PLANE182.

Розроблено методику моделювання проростання втомної тріщини. При створенні моделі визначали початкове положення вістря тріщини перед початком розрахунків. Таким чином, у зразку зразу створювали тріщину певної довжини. Для цього на вузлові точки вздовж лінії росту тріщини від концентратора напружень до обраного початкового вістря не накладали ніяких обмежень. Попереду фронту тріщини моделювали цілісний матеріал, через який може відбуватися РВТ. Для цього на вузлові точки вздовж лінії росту тріщини, які заходяться після початкового вістря, накладали фіксацію по осі Y.

На наступному етапі створили макрос для моделювання РВТ. Він містить усі необхідні команди. До моделі прикладали регулярне циклічне навантаження, яке створювало в ній напруження брутто, аналогічне експерименту, що моделювався. З допомогою експериментальних КДВР визначали швидкість РТВ, що відповідає модельованому напруженню брутто. Після прикладання циклу навантаження визначали величину, на яку повинна була вирости тріщина. Підростання тріщини за кожен цикл сумували, доки їх сума не ставала більшою за крок сітки скінченних елементів. Після цього

знімали фіксацію по осі Y з вузлових елементів, що знаходилися у вістрі в цей момент. Під час наступних кроків циклу навантаження процес повторювали. Таким чином, було забезпечено швидкість РТВ, аналогічну експериментальній.

Для вимірювання розкриття тріщини в моделі розробили спеціальний макрос. Він дозволяє визначити переміщення вузлів моделі у кожен момент часу. Таким чином макрос забезпечує можливість вимірювати розкриття у точці з будь-якими та b та r , які необхідні для отримання точних даних. Для вимірювання розкриття визначали вузол, в якому знаходилася вершина тріщини у цей момент. Після цього вибирали два вузли, які знаходяться з двох боків від площини проростання тріщини на відстані r від її вершини та з базою b . Якщо при наступних кроках навантаження збільшувалася довжина тріщини, то точка виміру переміщувалася відповідно для збереження b та r сталими. Згідно з експериментальними даними [7] вимірювання необхідно проводити якомога ближче до вістря втомної тріщини. Відповідно було обрано $r = 0,06$ мм та базу b безпосередньо на березі тріщини, адже така точність є досяжною при комп'ютерному моделюванні.

Навантаження прикладали до верхньої частини моделі ступінчато, розділяючи максимальне значення кожного кроку на частини. З допомогою спеціально створеного макросу після кожного приросту навантаження визначали різницю δ_1 та δ_2 між положенням контрольних вузлів (рис. 2) при мінімумі циклу навантаження та при поточному навантаженні.

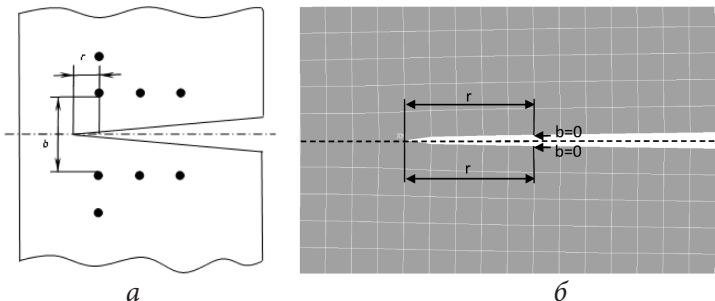


Рисунок 2. Схема вимірювання розкриття вершини тріщини:
а) при експерименті; б) в ANSYS

Розкриття у вістрі тріщини обчислювали за формулою $\delta = \delta_1 + \delta_2$ і зберігали це значення разом із даними про поточний крок в окремий файл. На рис. 3 наведено отримані криві залежностей розкриття δ від напруження бруто P на півциклі навантаження після пророщування тріщини на 2 мм за циклічного навантаження.

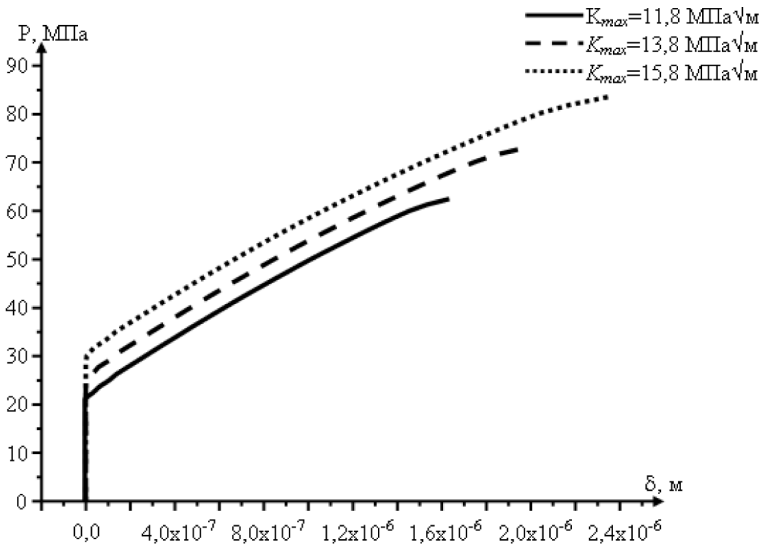
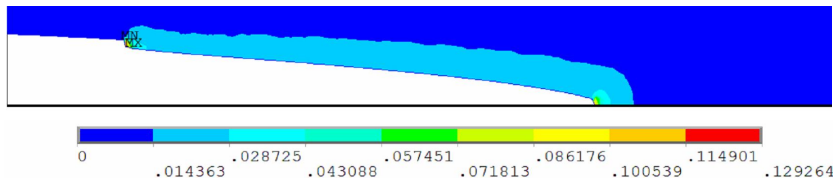


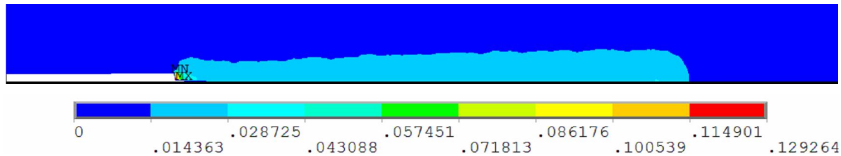
Рисунок 3. Діаграми P - δ , отримані завдяки моделюванню в ANSYS

Для знаходження моменту розкриття тріщини обрано метод, аналогічний обробці експериментальних даних у праці [7]. Момент, коли береги тріщини втрачали контакт і починали віддалятися, вважали моментом розкриття тріщини та зберігали для кожного кроку.

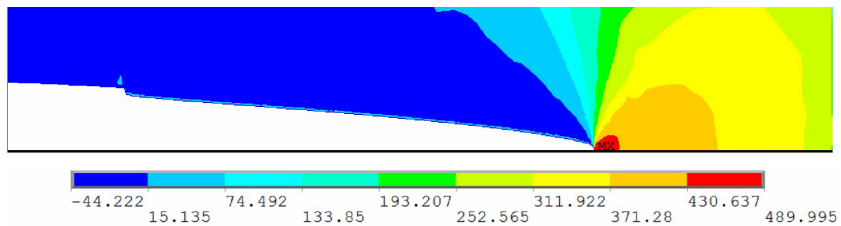
Розрахунковий комплекс ANSYS зберігає результати розрахунку НДС, зокрема пластичних деформації, на кожному кроці навантаження та враховує їх при розрахунку на наступному кроці (циклі).



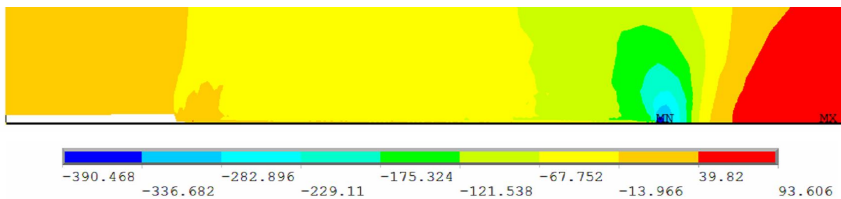
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4. Результати скінченноелементного моделювання НДС на берегах та у вістрі пророщеної на 2 мм тріщини: а) нормальні пластичні деформації при $\sigma=84$ МПа; б) нормальні пластичні деформації при розвантаженні, $\sigma=0$ МПа; в) нормальні напруження при $\sigma=84$ МПа; г) нормальні напруження при розвантаженні, $\sigma=0$ МПа.

На рис. 4 наведено результати скінченноелементного розрахунку нормальних напружень і нормальних пластичних деформацій в околі вістря тріщини та на її берегах, після пророщування тріщини на 2 мм.

Висновки. З рисунка 4 бачимо, що при пророщуванні тріщини на її берегах утворюються залишкові пластичні деформації (утяжки). Завдяки цьому при розвантажуванні береги тріщини змикаються одночасно, до повного розвантаження, що й зумовлює ефект закриття тріщини (перегин кривих, рис.3). Крім цього, з рис. 4 (г) бачимо, що на берегах тріщини при розвантаженні виникають контактні залишкові стискувальні напруження. Таким чином, розроблена модель дає можливість враховувати вплив залишкових пластичних деформацій і, відповідно, залишкових стискувальних напружень на берегах тріщини, а також залишкових деформацій і напружень спереду вістря тріщини на ефект закриття втомної тріщини за різних умов навантаження.

Література

1. Elber W. Fatigue crack closure under cyclic tension / W. Elber // Eng. Fract. Mech. — 1970. — vol. 2, №1. — P. 37–45.
2. Elber W. The significance of fatigue crack closure / W. Elber // Damage tolerance in Aircraft structures. — Philadelphia (PA): ASTM STP №486, 1971. — P. 230–242.
3. Романив О.Н. Эффект закрытия трещин и оценка циклической трещиностойкости конструкционных сплавов / О.Н. Романив, Г.Н. Никифорчин, Б. Н. Андрусив // Физ.-хим. механика материалов. — 1983. — №3. — С. 47–61.
4. Giuseppe P. The finite-element method, Part I. / P. Giuseppe // Antennas and Propagation Magazine, IEEE — 2007. — P. 180–182.
5. Ясній П. Вплив асиметрії циклу навантаження на характеристики циклічної тріщиностійкості алюмінієвого сплаву Д16Т / П. Ясній, Ю. Пиндус, В. Фостик // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — Тернопіль: ТДТУ, 2007. — Т.12. — №1. — С. 7–12.
6. Пиндус Ю. Адаптація розмірів сітки скінченних елементів для моделювання напружено-деформованого стану у вістрі тріщини в пружно-пластичній постановці за умов плоскої деформації / Ю. І. Пиндус, О. М. Галушак // Збірник тез доповідей наукової конференції механіко-технологічного факультету Тернопіль-

ського національного технічного університету імені Івана Пулюя. — Тернопіль: ТНТУ, 2011. — С. 12.

7. Ясній П. Методика дослідження ефекту закриття втомної тріщини з допомогою оптичного методу координатних сіток / П. Ясній, Ю. Пиндус, В. Фостик // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — 2009. — Т.14 — №2 — С. 7–14.

**Petro Yasniy, Yuriy Pyndus,
Oleh Halushchak**

FINITE ELEMENT MODELLING OF THE FATIGUE CRACK APPEARANCE IN ALLOY Д16Т AT CYCLIC LOADING

In this paper creation of central cracked flat specimen model using the finite element ANSYS simulation software is described. A fatigue crack growth and fatigue crack closure under constant amplitude cyclic loading has been modeled with taking into account the residual stresses and crack surfaces contact in crack tip. Software macros for all stages of modeling have been created. The possibility of using FEM to evaluate the effects of residual plastic deformations and residual compressive stresses on fatigue crack closure has been analyzed.

Keywords: *crack closure, stress intensity factor, fatigue crack growth, finite element method.*

УДК 621.825

**Іван Гевко, Андрій Дячун,
Роман Любачівський, Роман Лещук**

РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ

Наведено нові типи конструкції гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями для транспортування, вентиляції, змішування, зволоження та інших операцій. Виведено аналітичні залежності для визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів запропонованих модифікацій гвинтових конвеєрів. Представлені конструкції захищено деклараційними патентами на корисні моделі України.

Ключові слова: гвинтові конвеєри, продуктивність, потужність.

Умовні позначення:

Q_3 — продуктивність змішувача, $\text{мм}^3/\text{с}$;

ϕ — коефіцієнт заповнення міжвиткового об'єму гвинтового робочого органу;

k_1 — коефіцієнт, який враховує зміну продуктивності транспортування від просипання через проміжки та перекидання суміші через гвинт для нахилених транспортерів;

ω — кутова швидкість гвинтового робочого органу, $\text{рад}/\text{с}$;

D — зовнішній діаметр гвинтового робочого органу, мм ;

d — внутрішній діаметр гвинтового робочого органу, мм ;

T — крок гвинтового робочого органу, мм ;

V — максимальний об'єм матеріалу в передавально-пересипному механізмі, мм^3 ;

b — ширина заповнення матеріалом підйимально-пересипного механізму вздовж його осі обертання, мм ;

a — довжина хорди заповненої частини циліндра підйимально-пересипного механізму, мм ;

R — радіус циліндра підйально-пересипного механізму, мм;
 α — половина кута охоплення хорди циліндра підйально-пересипного механізму, рад;

h — висота заповнення матеріалом підйально-пересипного механізму, мм;

β — кут нахилу робочих органів змішувача, рад;

ω_1 — мінімальна кутова швидкість обертання підйально-пересипного механізму, рад/с;

k_2 — коефіцієнт пропорційності;

k_3 — коефіцієнт пересипання матеріалу в циліндрі;

V_3 — міжвитковий об'єм гвинтового робочого органу, мм³;

ψ — коефіцієнт, що враховує відхилення швидкості переміщення матеріалу від середньої швидкості;

α_1 — кут нахилу витка шнека, град;

μ — коефіцієнт тертя між матеріалом і шнеком;

γ_G — об'ємна вага вантажу, кг/мм³;

k_4 — коефіцієнт, що враховує кут нахилу шнека;

m — кількість циклів змішування матеріалу;

N — потужність змішування матеріалу, Вт;

k_{np} — коефіцієнт, що враховує витрати на переміщення матеріалу;

k_s — коефіцієнт, що враховує неточність виготовлення шнека;

k_d — коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості змішувача;

g — прискорення вільного падіння, м/с²;

H — висота підймання вантажу, мм;

k_5 — коефіцієнт, що враховує втрати на тертя по довжині транспортера;

L — довжина шляху змішування, мм.

Однією з передумов високої конкурентної здатності підприємств є подальше вдосконалення конструктивних параметрів продукції, яка виготовляється, що сприяє зростанню продуктивності, підвищенню ефективності, покращенню якості продукції та вимагає принципово нових підходів для створення й використання високоефективних ресурсощадних технічних систем.

Гвинтові конвеєри застосовуються у різних галузях народного господарства для транспортування, змішування, подрібнення, сортування та виконання інших операцій. Важливим питанням проектування гвинтових конвеєрів є розширення їх технологічних можливостей, удосконалення їх конструкції й розроблення методики їх розрахунку.

Основи конструювання, проектування та дослідження гвинтових конвеєрів заклали такі вчені: А. Віденбаум, Р. Мор, М. Данквертс, Д. Лейсі, Ю. І. Марков, А. М. Ластовцев, Г. Шенкель, В. Штербачек, Г. Г. Кошелєв, Р. В. Торнер, М. В. Тебін, Д. Мак-Кельві, Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко та інші [1, 2, 3]. Проте розроблення кожної окремої модифікації гвинтового конвеєра має свою специфіку особливо при наданні їм можливостей виконання додаткових операцій, що зумовлює потребу в їх подальших дослідженнях і конструюванні.

Метою даної роботи є представлення нових конструкцій гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями.

На основі літературно-патентного пошуку, а також на базі результатів проведених експериментальних досліджень розроблено і запатентовано ряд конструкцій гвинтових конвеєрів (табл. 1) з розширеними технологічними можливостями, які захищені деклараційними патентами України.

Загальну продуктивність змішувача №2 (пат. № 62656) Q_3 визначаємо за залежністю

$$Q_3 = \frac{\varphi k_1 \omega T}{8} (D^2 - d^2). \quad (1)$$

Для стабільної роботи змішувача необхідно, щоб об'єм матеріалу, який надходить із гвинтового робочого органу за одиницю часу був меншим або дорівнював об'єму матеріалу, який транспортується підйнятно-пересипним механізмом.

Виведена аналітична залежність для визначення максимального вмісту об'єму матеріалу в передавально-пересипному механізмі, який відповідає об'єму зрізаного циліндра під кутом β , що дорівнює куту нахилу робочих органів змішувача.

$$V = \frac{b \cdot [a(3R^2 - a^2) + 3R^2\alpha(h - R)]}{3h} . \quad (2)$$

Довжину хорди заповненої частини циліндра підйимально-пересипного механізму визначаємо за формулою

$$a = \sqrt{2hR - h^2} . \quad (3)$$

Половина кута охоплення хорди циліндра підйимально-пересипного механізму

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) . \quad (4)$$

Ширина заповнення матеріалом підйимально-пересипного механізму вздовж його осі обертання

$$b = \frac{h}{\sin\beta} . \quad (5)$$

Підставляючи формули (3)-(4) у формулу (2), отримаємо

$$V = \frac{\sqrt{2hR - h^2} (3R^2 - 2hR + h^2) + 3R^2 \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right)(h - R)}{3 \sin \beta} . \quad (6)$$

Мінімальну кутову швидкість обертання підйимально-пересипного механізму визначаємо за формулою

$$\omega_1 = \frac{k_2 \cdot \omega}{k_3} . \quad (7)$$

Таблиця 1

Нові конструкції гвинтових конвеєрів з розширеними техно-
логічними можливостями

№ з/п	Загальний вигляд гвинтового конвеєра	Патент
1	<p style="text-align: center;">2</p>	<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">63760, 25.10.11, бюл. № 20</p>
2		<p style="text-align: center;">62656, 12.09.11, бюл. № 17</p>

Продовження таблиці 1.

1	2	3
3		<p>62633, 12.09.11, бюл. № 17</p>
4		<p>62658, 12.09.11, бюл. № 17</p>
5		<p>50935, 25.06.10, бюл. № 12</p>

Закінчення таблиці 1.

1	2	3
6		
7		
8		

Також визначено коефіцієнт пропорційності, який визначає відношення міжвиткового об'єму гвинтового робочого органу V_3 та максимального об'єму заповнення підйимально-пересипного механізму:

$$k_2 = \frac{V_3}{V}. \quad (8)$$

Тоді необхідна мінімальна кутова швидкість обертання підйимально-пересипного механізму

$$\omega_1 = \frac{3\varphi k_1 \omega T \sin\beta (D^2 - d^2)}{\left(4\sqrt{2hR - h^2} (3R^2 - 2hR + h^2) + 3R^2 \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) (h - R) \right) k_3}. \quad (9)$$

Загальну продуктивність змішувачів №3 (пат. №62633), №6, №7, №8 визначаємо за формулою

$$Q_3 = \psi\varphi (1 + \sqrt{1 - \varphi}) \sin\alpha_1 (\cos\alpha_1 - \mu \sin\alpha_1) \frac{\pi D^3 \omega}{16m} \gamma_g k_1 k_4. \quad (10)$$

Потужність змішування матеріалу

$$N = k_{np} k_s k_d Q_3 g (H + k_5 L). \quad (11)$$

Висновки. Розроблено і представлено нові конструкції гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями, які захищено деклараційними патентами України. Виведено аналітичні залежності для визначення конструктивних, технологічних і кінематичних параметрів розроблених конструкцій гвинтових конвеєрів.

Література

1. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. — М.: Машиностроение, 1993. — 216 с.
2. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання / І. Б. Гевко. — Тернопіль: ТДТУ, 2008. — 307 с.
3. Рогатинський Р. М. Змішувач комбікормів / Р. М. Рогатинський, Ю. Б. Капаціла, Д. В. Дмитрів // Змішувач комбікормів: Зб. наук. праць НАУ. — К.: НАУ, 2000. — Т.7. — С.156–159.
4. Пат. 62656 Україна, МПК В 01 F 7/08. Змішувач гвинтовий з підіймальсько-пересипним механізмом / Любачівський Р. О., Дячун А. Є., Гевко І. Б., Чвартацький Р. І.; заявники і патентовласники Любачівський Р. О., Дячун А. Є., Гевко І. Б., Чвартацький Р. І. — № u201101236; заявл. 04.02.11; опубл. 12.09.11, Бюл. №17.
5. Пат. 62633 Україна, МПК В 01 F 7/00. Змішувач гвинтовий вібраційний / Любачівський Р. О., Дячун А. Є., Гевко І. Б., Комар Р. В., Диня І. І., Одендр В. М.; заявники і патентовласники Любачівський Р. О., Дячун А. Є., Гевко І. Б., Комар Р. В., Диня І. І., Одендр В. М. — № u201100256; заявл. 10.01.11; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17.
6. Пат. 63760 Україна, МПК В 01 F 7/24. Змішувач відцентровий / Любачівський Р. О.; заявник і патентовласник Любачівський Р. О. — № u201101238; заявл. 04.02.11; опубл. 25.10.11, Бюл. №20.
7. Пат. 62658 Україна, МПК В 01 F 7/00. Універсальний гвинтовий змішувач / Любачівський Р. О.; заявник і патентовласник Любачівський Р. О. — № u201101266; заявл. 04.02.11; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17.
8. Пат. 50935 Україна, МПК В 01 F 7/00. Змішувач гвинтовий гравітаційний / Ляшук О. Л., Івасечко Р. Р., Гевко І. Б., Любачівський Р. О., Клендій О. М.; заявник і патентовласник Тернопільський національний технічний університет. — № u200914011; заявл. 31.12.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

**Ivan Gevko, Andriy Dyachun,
Roman Lyubachivskyy, Roman Leshchuk**

EXTENSION OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF SCREW CONVEYORS

One of the conditions for high competitiveness of enterprises is the improvement of the design parameters of products, which contributes to increased productivity, increased efficiency, improves quality and requires fundamentally new approaches for creation and usage of efficient resource-saving technical systems.

Screw conveyors are used in various sectors of economy for transportation, blending, grinding, sorting and performing other operations. Modern design of screw conveyors has to expand their technological capabilities, improve methodology of their calculation. New types of construction of screw conveyors with the extended technological possibilities for transporting, ventilation, mixing, moisturizing and other operations are presented. The analytical dependences for determination of structural, kinematics and technological parameters for the proposed modifications of screw conveyors are given. The presented constructions are defended by declarative patents of useful models of Ukraine.

Key words: *screw conveyor, productivity, power.*

УДК 621.92.113

Михайло Пилипець, Павло Босяк

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБТИСКУВАННЯ РІЗИ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Проаналізовано різні методи нарізування різей та визначено оптимальні режими формування різі з використанням методу геометричного програмування.

В робочих органах машин та апаратів, обладнанні та спорядженні широко застосовуються різноманітні різбові з'єднання. Нарізувати різі в таких з'єднаннях можна різними відомими методами. Якщо нарізування зовнішніх різей технологічно просте, то у випадку внутрішніх різьб виникають деякі складності. Можна нарізати внутрішні різьби відомими методами (розточними різцями, мітчиками). Деякі різьби не завжди можливо формувати відомими методами (різьби в тонкостінних деталях, різьби до яких ставляться високі вимоги за міцністю та ін.). Для формоутворення таких різьб запропоновано спосіб прокатування. Цей метод є особливо актуальним для вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей цих елементів, зокрема забезпечення точності, міцності, оптимальності геометрії профілю та ін.

Забезпечення перерахованих властивостей з досягненням мінімальної собівартості виготовлення різі — найважливіше завдання, яке вирішується при проектуванні технологічних процесів виготовлення таких деталей.

Одним з резервів зниження собівартості є вибір раціональних параметрів процесу формування різі. У зв'язку з цим актуальними є визначення оптимальних режимів формування різі, що забезпечують для заданих умов обробки і вимог до експлуатаційних властивостей цих елементів мінімальну собівартість.

Одним з найпоширеніших методів оптимізації є метод лінійного програмування [1], що дозволяє здійснювати одночасну оптимізацію швидкості формування і зусилля обтискування з урахуванням обмежень, що діють при формуванні різі, за критерієм мак-

симальної продуктивності. Обов'язковою умовою використання цього методу є можливість лінеаризації функції мети і обмежень. Для лінійної функції мети і лінійних обмежень досить добре розроблений і широко використовується графічний метод пошуку оптимальних параметрів [2], а також запропоновані аналітичні залежності оптимальних режимів формування різи від умов обробки [3]. Незважаючи на простоту і наочність, цей метод не дозволяє вирішувати завдання оптимізації формування різи у разі нелінійної функції мети, якою є собівартість обробки деталей тиском.

Такого недоліку позбавлений метод геометричного програмування (МГП) [4], що знайшов широке застосування для пошуку оптимальних проектних рішень у різних областях інженерних досліджень, але недостатньо поширений в теорії обробки матеріалів тиском [5,6]. У зв'язку з цим представляє інтерес подальший розвиток МГП відносно завдань оптимізації режимів формування різи для різних умов обробки тиском.

Мета даної роботи — визначити оптимальні режими формування різи, з використанням МГП, що забезпечує мінімальну собівартість обробки при заданому рівні забезпечення точності, міцності, оптимальності геометрії профілю та ін.

Основна вимога МГП полягає в тому, що усі компоненти завдання оптимізації мають бути виражені кількісно у вигляді узагальнених позитивних поліномів, які називають позиномами, від керованих параметрів. Можливість використання МГП для оптимізації режимів формування різи зумовлена тим, що функція мети й обмеження можуть бути представлені у вигляді суми компонентів, кожен з яких виражається степеневою функцією:

$$V_i = C_i X_1^{\alpha_{i1}} X_2^{\alpha_{i2}} \dots X_j^{\alpha_{ij}} \dots X_m^{\alpha_{im}} \quad (i = 1 \dots n), \quad (j = 1 \dots m) \quad (1)$$

де C_i — константа;

X_j — параметри, що оптимізуються;

α_{ij} — довільні дійсні числа;

n — кількість компонентів;

m — кількість параметрів.

Відповідно до МГП завдання оптимізації можна сформулювати таким чином:

$$\text{мінімізувати } g(x) = \sum C_i \prod_j X_j^{\alpha_{ij}},$$

при обмеженнях $X_j > 0, C_i > 0$.

Тут $g(x)$ — пряма функція.

На відміну від інших методів оптимізації в МПП спочатку знаходять екстремум функції мети і відносний вклад кожної компоненти в його значення, а потім — оптимальні значення змінних параметрів.

У даній роботі як критерій оптимізації приймаємо змінну частину собівартості формування різі обтискуванням за один прохід залежно від параметрів оброблення:

$$C_{\text{впр}} = At_0 + At_3 t_0 / T + A_i t_0 / T. \quad (2)$$

де A — собівартість штампо-хвилини, A_i — вартість одного періоду стійкості обтискуючої матриці; t_0 — основний час обтискування; t_3 — час зміни матриці; T — стійкість матриці.

Цільова функція, що виражає залежність змінної частини собівартості від режимів формування, з урахуванням відомих співвідношень основного часу формування і стійкості матриці з режимами, має вигляд

$$C = A \frac{\pi D L \Delta}{1000 V F t} + At_3 \frac{\pi D L \Delta}{1000 C_T} V^{\frac{1}{m}-1} F^{\frac{x}{m}-1} + A_i \frac{\pi D L \Delta}{1000 C_T} V^{\frac{1}{m}-1} F^{\frac{x}{m}-1}, \quad (3)$$

де D, L — діаметр і довжина різі; Δ глибина обтискування; V — швидкість штампування; F — зусилля обтискання; C_T — коефіцієнт і x, m — показники, що характеризують міру впливу зусилля обтискання і стійкості на швидкість формування V , що визначається залежно від умов обробки.

У даній роботі вирішується завдання двопараметричної оптимізації, тобто завдання визначення оптимальних значень швидкості формування і зусилля при заданій глибині обтискування в умовах однопрохідної обробки.

Тоді функцію мети можна записати таким чином:

$$C = C_{01} V^{-1} F^{-1} + C_{02} V^{k_V} F^{k_S}, \quad (4)$$

де коефіцієнти

$$C_{01} = A \frac{\pi DL}{1000}; C_{02} = (At_3 + A_i) \frac{\pi DL}{1000C_T} \Delta^{\frac{x}{m}}; k_v = 1/m - 1; k_f = x/m - 1$$

Математичну модель задачі оптимізації швидкості формування і зусилля при формуванні різи запишемо таким чином: пряма задача МПП — мінімізувати

$$g(V, F) = C_{01}V^{-1}F^{-1} + C_{02}V^{k_v}F^{k_f} \tag{5}$$

при обмеженнях $V > 0, F > 0, C_{01} > 0, C_{02} > 0$

Особливістю МПП є можливість вже на першому етапі розв’язування оцінити вклад кожної складової функції мети в загальну собівартість (4).

Прийнявши вагу першої складової, пов’язаної з безпосереднім обтискуванням — W_{01} , а вагу складової, пов’язаної зі зміною інструменту — W_{02} , обчислюємо екстремум функції мети, для чого розраховуємо максимум. На підставі знайденого екстремуму функції мети складаємо систему лінійних рівнянь для визначення оптимальних режимів формування різи:

$$\begin{aligned} V(W)W_{01} &= C_{01}V^{-1}F^{-1}; \\ V(W)W_{02} &= C_{02}V^{k_v}F^{k_f}. \end{aligned} \tag{6}$$

У результаті розв’язання цієї системи визначаємо оптимальні зусилля F_0 і швидкість обтискування V_0 :

$$F_0 = \left(\frac{W_{01}^{k_v} W_{02} V(W)^{k_v+1}}{C_{01}^{k_v} C_{02}} \right)^{1/(k_f - k_v)}; V_0 = \left(\frac{W_{01}^{k_f} W_{02} V(W)^{k_f+1}}{C_{01}^{k_f} C_{02}} \right)^{1/(k_v - k_f)} \tag{7}$$

Приклади визначення оптимальних режимів різання, що забезпечують мінімальну собівартість, наведені для формування різи (зовнішня різь на трубній заготовці) діаметром $D = 70$ мм, завдовжки $L = 50$ мм із сталі 45 на пресі гідравлічному мод. ДБ2432А. Для цих умов прийнято: собівартість пресо-хвилини $A = 0,5$ коп/хв, час зміни інструменту $t_c = 3$ хв. Коефіцієнти і показники, які характеризують міру впливу зусилля на швидкість формування: $C_v = 150, x_v = 0,15; m = 0,4$. Тоді $C_T = 525-1010, k_v = 4, k_f = 0,75$ [7].

Розрахункові значення коефіцієнтів $C_{01} = 392,7; C_{02} = 1,257$. Вагові коефіцієнти, визначені у відповідності з формулою (6), рівні: $W_{01} = 0,752; W_{02} = 0,248$.

Оптимальні значення зусилля і швидкості формування різі, розраховані у відповідності з формулами (7), рівні: $F_o = 1056$ Н, $V_o = 2$ м/хв.

З аналізу встановлених закономірностей зміни оптимальних режимів випливає, що їх використання при мінімальній собівартості обробки забезпечуватиме вищу продуктивність.

Наявність аналітичних залежностей для визначення оптимальних режимів формування різі істотно спрощує розробку рекомендацій з вибору раціональних умов обробки, що особливо актуально при формуванні різі на тонкостінних трубних заготовках.

Таким чином, представлена методика дозволяє для будь-яких умов формування різі пресуванням виконувати розрахунки оптимальних режимів, що забезпечують мінімальну собівартість обробки.

Висновки. З використанням МГП аналітично визначені оптимальні режими формування різі, що забезпечує мінімальну собівартість обробки при заданих вимогах.

На підставі розробленої методики встановлено закономірності зміни оптимальних значень зусилля і швидкості формування різі.

Розроблена методика визначення оптимальних режимів обтискування може бути широко використана для будь-яких видів формування різі на тонкостінних деталях.

Література

1. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001.
2. Саати Т. Л. Математические методы исследования операций / Т. Л. Саати — М.: Воениздат, 1963.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель — М.: Сов. радио, 1972.
4. Наконечний С.І. Математичне програмування: Навч. посіб. / С. І. Наконечний, С. С. Савіна — К.: КНЕУ, 2003. — 452 с.

5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский — 6-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, Ленингр. от., 1979. — 520 с.
6. Попов Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 480 с.
7. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. / Под ред. А. Д. Матвеева. — Т. 4 Листовая штамповка. — М.: Машиностроение, 1985–1987. — 544 с.

Mykhaylo Pylypets, Pavlo Bosyuk

**OPTIMIZATION OF SCREW-THREAD WRINGING
REGIMES BY THE GEOMETRIC PROGRAMMING METHOD**

Different methods used to wring out a screw-thread are analyzed and optimal regimes of thread formation are determined with use of the geometrical programming method.

УДК 631.345.43

Тимофій Рибак, Андрій Бабій

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНИХ ОПОР ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ

В роботі наведено математичні моделі, які описують контактну взаємодію опорних основ з обичайками циліндричних резервуарів. Змодельовано роботу та визначено параметри опори за заданим законом розподілу контактного тиску.

Ключові слова: надійність, роботоздатність, функціонально-тримкі елементи, бак, резервуар, обичайка, ложемент, опорна основа, контактний тиск, напружений стан.

Боротьба з бур'янами, шкідниками та хворобами в сільсько-господарському виробництві займає вагоме місце поряд із іншими операціями технологічного процесу вирощування будь-якої культури. Для припинення їх росту та повного знищення найефективнішим на даний час залишається використання хімічних препаратів, які вносять, переважно, обприскувачами — штанговими або вентиляторними.

Для своєчасного виконання поставлених завдань перед вказаним рядом машин однією з необхідних умов є забезпечення надійності й роботоздатності їх відповідних вузлів та елементів. Крім того, для експлуатаційників є важливим модернізувати парк старих машин, оскільки нові мають значну вартість.

Машини для хімічного захисту рослин сільськогосподарського призначення мають свою особливу специфіку експлуатування. Її характерною ознакою є навантаження, що сприймаються тримками та функціонально-тримкими вузлами чи елементами самої машини. Одним із дуже важливих технологічних вузлів таких машин є бак для робочих рідин (отрутохімікатів). Такі ємності розраховують як пологі оболонки, при цьому використовують різні під-

ходи, яким передуює розв'язок контактної задачі, розв'язання якої пов'язане з певними труднощами.

Багато вчених працювали і працюють над вирішенням вказаних проблем [1–7]. Розроблені рішення не завжди приносять бажаний практичний інтерес, тому є актуальним знаходження нових, більш ефективних. Проблема полягає в отриманні результатів, переважно у вигляді формальних розв'язків поставлених складних задач, які для інженерних кадрів конструкторських бюро пов'язані з труднощами через застосований надто складний математичний апарат. Для знаходження простіших рішень, які б задовольняли ці вимоги, потрібно провести аналіз самого фізичного процесу, що стосується взаємодії оболонки із опорною основою [1].

Мета роботи — запропонувати ефективну методику розрахунку баків, наприклад обприскувачів, і на її основі провести обґрунтування конструктивних параметрів опор, що у підсумку забезпечує раціональні значення напружено-деформованого стану самого бака.

Із проведеного аналізу способів закріплення обичайок баків досить вигідним є кріплення їх на опорах у вигляді ложементів. Цей спосіб характерний тим, що не вимагає від оболонки якихось обов'язкових конструктивних елементів у порівнянні з баками, які кріпляться «за фланець». Такі резервуари набули широкого розповсюдження на моделях різних типів обприскувачів і кріпляться на ложементах у вигляді однієї центральної опори, двох симетричних, чотирьох і т.д.

Існуючі недоліки таких кріплень проявляються певним характером руйнувань в околі опор, які спричинені рядом факторів, серед яких можна виділити такі: невідповідність режимів експлуатації машини, технологічні дефекти, що закладені ще на стадії виготовлення, не цілковита відповідність теоретичних розрахунків до реальних умов експлуатації, тобто наближеність даних розрахунків. Якщо перші два фактори можна виправити шляхом дотримання поставлених вимог експлуатації чи виготовлення машини, то для третього — необхідна додаткова база експериментальних і теоретичних досліджень. Щоб досягти поставленої мети, необхідно провести певні експериментальні дослідження. В даному випадку

для встановлення реальної динаміки навантаженості необхідно визначити закон зміни рівнодійних моментів на опорах, а також закон розподілу контактного тиску в околі опор обичайок баків обприскувачів. Першу половину поставленої задачі легко можна виконати провівши експериментальні дослідження в реальних умовах експлуатації машини з використанням динамометрів [3,4], що встановлюються під опорами обичайок баків. Досліджувати ж закону розподілу контактного тиску в околі опор можна тензометруванням цієї області, оскільки саме невідповідні його значення є причиною концентрації напружень та зародження і розвитку втомних тріщин в обичайці бака. В багатьох працях учених розглядаються подібні задачі [1,2,5,7], але всі вони практично однотайні в тому, що на краях таких опорних основ (типових) спостерігається максимальний контактний тиск. Причиною такого розподілу є невідповідність жорсткостей обичайки бака та опорної основи в її координатному полі. Багато дослідників по-різному вирішували такі завдання, наприклад, у праці [3] при проведенні комплексних досліджень причин руйнування металевих баків причіпних обприскувачів зроблено висновок про неправильність вибору основних елементів опор і технології з'єднання опорних накладок з обичайкою баків. Усунення цих недоліків шляхом конструктивних доробок призвело до зміни конструкції опорної основи, збільшуючи ширину накладки та кут обхвату нею обичайки бака. Такі методи вирішення існуючих проблем не є вельми популярними, оскільки вони призводять до підвищення матеріаломісткості машини, а, відповідно, і її маси, що є небажаним явищем у машинобудуванні. Іншим прикладом до вирішення аналогічної проблеми концентрації контактної тиску між опорною основою та циліндричним резервуаром є праця [5]. Тут згладжування піків контактної тиску пропонується шляхом використання пружних прокладок змінної товщини. Таке рішення практичного застосування не знайшло, оскільки згідно з проведеними теоретичними дослідженнями, геометричні розміри розрахованої товщини пружної прокладки мають великий діапазон значень, що суттєво утруднює її практичне використання.

Підсумовуючи ймовірні причини виходу з ладу сільськогосподарських обприскувачів, доходимо висновку, що важливе місце в

збереженні їх роботоздатності відводиться саме питанням міцності обичайок баків. Довготривала робота забезпечується завдяки якісному їх проектуванню у поєднанні з опорною основою. Акцентуючи на своїх дослідженнях, що стосуються кріплення обичайки бака на ложементях, ми повинні отримати оптимальне рішення, яке задовольнятиме вимоги практики та матиме невелику похибку при теоретичних розрахунках. Величина похибки повинна бути в межах тієї теорії, на основі якої повинен будуватися розв'язок даної задачі.

Для того, щоб розв'язати контактну задачу або ж уникнути її розв'язування, потрібно спочатку проаналізувати розроблені теоретичні моделі дії опор на резервуар.

Аналіз задач про взаємодію циліндричної оболонки і пружних опор показує, що контактний тиск суттєво зростає у приграничних зонах областей контакту [5]. Для випадку прямокутних опор приймемо закон розподілу контактного тиску (рис. 1);

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = Ach(a_1(\alpha_1 - \alpha_1^0))ch(a_2(\alpha_2 - \alpha_2^0)) , \quad (1)$$

де $|\alpha_1 - \alpha_1^0| < b_1$, $|\alpha_2 - \alpha_2^0| < b_2$

(α_1^0, α_2^0) — координати центра прямолінійної опори;

$2b_1, 2b_2$ — довжини сторін прямолінійної опори;

A, a_1, a_2 — сталі величини.

Вважаємо, що резервуар взаємодіє з чотирма симетрично розміщеними опорами, рис. 1.

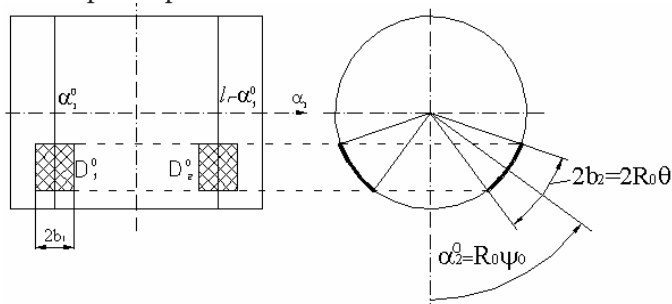


Рисунок 1. Розрахункова схема резервуара при дії на нього чотирьох симетричних опор.

Розглядаючи половину циліндричної оболонки $\Pi = \{\alpha_1, \alpha_2\} : 0 < \alpha_1 < l_1, 0 < \alpha_2 < l_2\}$, $l_2 = R_0\pi$, і позначивши області взаємодії опори з циліндричною оболонкою через D_1^0, D_2^0 ,

$$D_1^0 = \{\alpha_1, \alpha_2\} : |\alpha_1 - \alpha_1^0| \leq b_1, |\varphi - \psi_0| \leq \theta\}$$

$$D_2^0 = \{\alpha_1, \alpha_2\} : |\alpha_1 - l_1 + \alpha_1^0| \leq b_1, |\varphi - \psi_0| \leq \theta\},$$

де R_0 — радіус оболонки;

ψ_0 — кут, що зв'язує початок координат з центром опори;

2θ — кут охоплення опорою обичайки бака.

Запишемо математичну модель дії опор на оболонку у вигляді одного виразу

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = \begin{cases} A \cdot ch [a_1(\alpha_1 - \alpha_1^0)] ch [a_2(\alpha_2 - \alpha_2^0)], & (\alpha_1, \alpha_2) \in D_1^0, \\ A \cdot ch [a_1(\alpha_1 - l_1 + \alpha_1^0)] ch [a_2(\alpha_2 - \alpha_2^0)], & (\alpha_1, \alpha_2) \in D_2^0, \\ 0, & (\alpha_1, \alpha_2) \notin D_1^0, (\alpha_1, \alpha_2) \notin D_2^0. \end{cases} \quad (2)$$

Знайдемо розвинення функції (2) в ряд Фур'є

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{4}{l_1 l_2} \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \varphi(\delta, k, m) \varepsilon_m A_{km} \sin\left(\frac{k\pi}{l_1} \alpha_1\right) \cos\left(\frac{m\pi}{l_2} \alpha_2\right), \quad (3)$$

де

$$\varphi(\delta, k, m) = \left[\frac{\sin\left(\frac{\lambda_{1k}\delta}{2}\right)}{\frac{\lambda_{1k}\delta}{2}} \right]^2 \cdot \left[\frac{\sin\left(\frac{\lambda_{2m}\delta}{2}\right)}{\frac{\lambda_{2m}\delta}{2}} \right]^2, \quad \delta = 2h/2 = h;$$

$2h$ — товщина стінки оболонки;

$$\varepsilon_m = \begin{cases} \frac{1}{2}, & m = 0, \\ 1, & m \geq 1. \end{cases}$$

$$A_{km} = \frac{16Ab_1\theta}{l_1\pi} \sin\left(\frac{k\pi\alpha_1^0}{l_1}\right) \cos(m\psi_0) \cdot I_k^{(2)} I_m^{(3)} [1 - (-1)^k]$$

тут

$$I_k^{(2)} = \frac{\frac{k\pi b_1}{l_1} ch(a_1 b_1) \sin\left(\frac{k\pi b_1}{l_1}\right) + (a_1 b_1)^2 sh(a_1 b_1) \cos\left(\frac{k\pi b_1}{l_1}\right)}{\left(\frac{k\pi b_1}{l_1}\right)^2 + (a_1 b_1)^2},$$

$$I_m^{(3)} = \frac{m\theta \cdot ch(a_2 R_0 \theta) \sin(m\theta) + (a_2 R_0 \theta)^2 sh(a_2 R_0 \theta) \cos(m\theta)}{(a_2 R_0 \theta)^2 + (m\theta)^2}.$$

Ряд (3) запишемо ще у вигляді

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{-8A}{l_1 \pi} \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \varphi(\delta, k, m) \varepsilon_m \varphi_{km}^0 \sin\left(\frac{k\pi}{l_1} \alpha_1\right) \cos(m\varphi), \quad (4)$$

де
$$\varphi_{km}^0 = -4b_1 \theta \sin\left(\frac{k\pi \alpha_1^0}{l_1}\right) \cos(m\psi_0) I_k^{(2)} I_m^{(3)}.$$

Коефіцієнт A у формулі (4) можна виразити через вертикальну складову p_B контактного тиску на одній опорі

$$p_B = \int_{D_1^0} q(\alpha_1, \alpha_2) ds = R_0 \int_{\alpha_1^0 - b_1 \psi_0 - \theta}^{\alpha_1^0 + b_1 \psi_0 + \theta} \int q(\alpha_1, \alpha_2) \cos \varphi d\alpha_1 d\varphi.$$

Підставивши в цю формулу відповідний вираз (2), знайдемо

$$A = \frac{p_B a_1}{4R_0 \theta I_1^{(3)} sh(a_1 b_1) \cos \psi_0}. \quad (5)$$

Для випадку сталого контактного тиску на опорах та прийнявши у формулі (2) $a_1 = 0$, $a_2 = 0$, отримаємо

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = \begin{cases} A, & (\alpha_1, \alpha_2) \in D_1^0, \\ A, & (\alpha_1, \alpha_2) \in D_2^0, \\ 0, & (\alpha_1, \alpha_2) \in \bar{D}_1^0, (\alpha_1, \alpha_2) \in \bar{D}_2^0. \end{cases} \quad (6)$$

Розвинення функції $q(\alpha_1, \alpha_2)$ у ряд має вигляд (4), (5), де

$$I_k^{(2)} = \frac{\sin\left(\frac{k\pi b_1}{l_1}\right)}{\left(\frac{k\pi b_1}{l_1}\right)}, \quad I_m^{(3)} = \frac{\sin(m\theta)}{m\theta}, \quad (m \neq 0), \quad I_0^{(3)} = 1.$$

Випадак двох опор кріплення резервуара. Розглянемо навантаження на резервуар від дії двох опор, рис. 2.

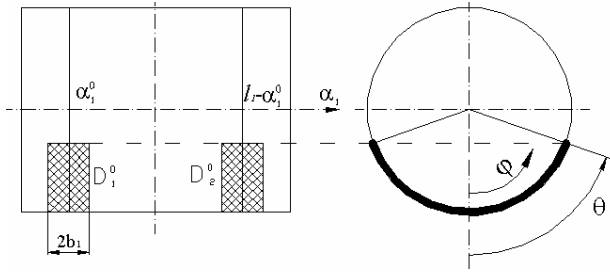


Рисунок 2. Розрахункова схема навантаження на резервуар від дії двох опор.

У цьому випадку області контакту задаються у вигляді

$$D_1^0 = \{ \alpha_1, \alpha_2 \} : | \alpha_1 - \alpha_1^0 | \leq b_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \theta \}$$

$$D_2^0 = \{ \alpha_1, \alpha_2 \} : | \alpha_1 - l_1 + \alpha_1^0 | \leq b_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \theta \}$$

Вираз контактної тиску матиме вигляд

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = \begin{cases} A \cdot ch [a_1 (\alpha_1 - \alpha_1^0)] ch (a_2 \alpha_2), & (\alpha_1, \alpha_2) \in D_1^0, \\ A \cdot ch [a_1 (\alpha_1 - l_1 + \alpha_1^0)] ch (a_2 \alpha_2), & (\alpha_1, \alpha_2) \in D_2^0, \\ 0, & (\alpha_1, \alpha_2) \notin D_1^0, (\alpha_1, \alpha_2) \notin D_2^0. \end{cases} \quad (7)$$

Розвинення функції (7) в ряд має вигляд (4), де

$$\varphi_{km}^0 = -4b_1\theta \sin \left(\frac{k\pi\alpha_1^0}{l_1} \right) I_k^{(2)} I_k^{(3)} \quad (8)$$

Випадок однієї опори кріплення резервуара. Вважаємо, що резервуар лежить на одній симетрично розміщеній опорі, рис. 3.

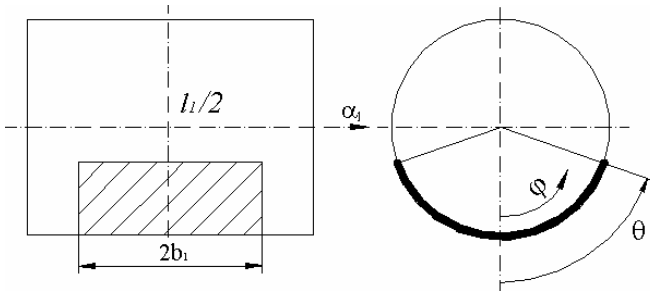


Рисунок 3. Розрахункова схема резервуара, що лежить на одній симетрично розміщеній опорі.

Область контакту позначимо через D ,

$$D = \left\{ (\alpha_1, \alpha_2) : \left| \alpha_1 - \frac{l_1}{2} \right| \leq b_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \theta \right\}.$$

Вираз контактного тиску матиме вигляд

$$q(\alpha_1, \alpha_2) = \begin{cases} A \cdot ch \left[a_1 \left(\alpha_1 - \frac{l_1}{2} \right) \right] \cdot ch(a_2 \alpha_2), & (\alpha_1, \alpha_2) \in D, \\ 0, & (\alpha_1, \alpha_2) \notin D. \end{cases} \quad (9)$$

Розвинення функції (9) має вигляд (4), де

$$\varphi_{km}^0 = -4b_1\theta \sin\left(\frac{k\pi}{2}\right) I_k^{(2)} I_m^{(3)}. \quad (10)$$

Отже, ми представили математичні моделі, які описують контактний тиск від дії розглядуваних опорних основ на обичайку бака обприскувача. Плавність його розподілу в кожному конкретному випадку досягаємо шляхом підбору (для відомих законів) чи із додаткових досліджень значень коефіцієнтів a_1 , a_2 і таким чином уникаємо розв'язку контактної задачі та достатньо просто аналізуємо напружено-деформований стан самої обичайки, використовуючи прийняту теорію розрахунку оболонки. Або ж із проведеного аналізу даних законів розподілу контактного тиску приймаємо найефективніший, наприклад сталий контактний тиск, який дозволить повною мірою використовувати всю площу опорної поверхні й тоді поставлену мету досягаємо шляхом розв'язування оберненої задачі, що полягає у знаходженні такої геометрії опори, яка забезпечить цей заданий закон розподілу контактного тиску на обичайку бака.

Для цього необхідно змоделювати роботу опор. Вважаємо, що опора — це балка, яка має сталу ширину і змінну товщину [1, 7]. По довжині серединна лінія балки має форму відрізка кола $2S_0$, радіуса R_0 з центральним кутом 2θ , $S_0 = R_0\theta$.

Рівняння згину балки змінної товщини $h_0 = h_0(\alpha_0)$ має вигляд:

$$\frac{dQ_0}{d\alpha_0} = -2bq, \quad Q_0 = \frac{dM_0}{d\alpha_0}, \quad M_0 = -D_0 \frac{d^2 w_0}{d\alpha_0^2}, \quad (11)$$

$$\frac{d^2}{d\alpha_0^2} \left(D_0 \frac{d^2 w_0}{d\alpha_0^2} \right) = 2bq,$$

де $D_0 = \frac{b^3 h^3}{6}$; E_0 — модуль Юнга матеріалу; α_0 — тангенціальна координата; q — контактний тиск; b — ширина опори.

Знайдемо розв'язок системи рівнянь (11), що задовольняє умови

$$Q_0(S_0) = 0, \quad M_0(S_0) = 0. \quad (12)$$

Вважаємо, із урахуванням умов контакту і симетричності навантаження, що заданими є прогин опори $w_0(\alpha_0) = w_0(-\alpha_0)$ і контактний тиск $q(\alpha_0) = q(-\alpha_0)$.

Опускаючи проміжні викладення, приходимо до кінцевого виразу товщини опори

$$h^3 = \frac{12}{E_0} \frac{d^2 w_0}{d\alpha_0^2} \int_0^{s_0} (\alpha_0 - t) q(t) dt. \quad (13)$$

Якщо прийняти, що контактний тиск сталий $q(\alpha_0) = A$, то з (13) отримуємо

$$h^3 = \frac{6}{E_0} \frac{d^2 w_0}{d\alpha_0^2} A (S_0 - \alpha_0)^2. \quad (14)$$

Отже, було отримано кінцевий вираз закону зміни товщини опори, яка забезпечує заданий закон розподілу контактного тиску.

Висновок. Проведено обґрунтування основних параметрів опорних основ для циліндричних резервуарів, наведено математичні вирази, що описують їх роботу, та наведено математичну модель опори змінної товщини за вибраним ефективним законом розподілу контактного тиску опори на обичайку бака. Така мето-

дика дозволяє проводити аналіз напруженого стану циліндричного резервуару, визначати його оптимальні параметри та проектувати ефективні конструкції опорних основ.

Література

1. Моссаковский В. И. Контактные задачи теории оболочек и стержней / В. И. Моссаковский, В. С. Гудрамович — М.: Машиностроение, 1978. — 248 с.
2. Моссаковский В. И. Контактные взаимодействия элементов оболочечных конструкций / В. И. Моссаковский, В. С. Гудрамович, Е. М. Makeев — Киев: Наук. думка, 1988. — 288 с.
3. Рибак Т. І. Підвищення надійності машин для хімічного захисту у рослинництві / Рибак Тимофій Іванович. — К.: Урожай, 1986. — 104 с.
4. Рыбак Т. И. Методы оценки несущей способности и долговечности машин для химической защиты в растениеводстве / Т. И. Рыбак. — К.: Наукова думка, 1985. — 232 с.
5. Сухорольський М. А. Математичні моделі та методи механіки тонкостінних пружних тіл при локальних навантаженнях: Дис. док. фіз.-мат. наук: 01.02.04 / М. А. Сухорольський. — Львів, 2003. — 298 с.
6. Сухорольський М. А. Взаємодія циліндричної оболонки з опорами змінної товщини / М. А. Сухорольський, Т. І. Рибак, А. В. Бабій // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — Тернопіль: ТДТУ, 2005. — Т. 10, № 2. — С. 5–10.
7. Шевляков Ю. А. К вопросу о действии сосредоточенных воздействий на пологие оболочки / Ю. А. Шевляков, В. П. Шевченко // Концентрация напряжений. — Киев: Наук. думка, 1965. — Вып. 1. — С. 326–337.

Tymofiy Rybak, Andriy Babiy

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS FOR EFFECTIVE SUPPORTS OF CYLINDRIC RESERVOIRS

The mathematical models of in-process contact pressure of supports with purflings of cylinder reservoirs are presented. The action of supports is modelled on the basis of contact pressure distribution law. The principal parameters of support are found.

Keywords: *reliability, fitness, functional and bearings elements, reservoir, purfling, cradle, supporting basis, contact pressure, tense state.*

УДК 621:62-21

Тимофій Рибак, Микола Сташків

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ТРІЩИНОЮ

В роботі досліджено ресурс тонкостінного стержня прямокутного поперечного перетину при дії депланації. Розроблено математичну модель кінетики втомної тріщини, вітки якої розвиваються у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Запропоновано заходи з підвищення ресурсу роботи тонкостінного стержня прямокутного поперечного перетину.

Ключові слова: тонкостінний стержень, депланація поперечних перетинів, механіка руйнування, коефіцієнт інтенсивності напружень, залишковий ресурс.

Ресурс зварних металоконструкцій, як правило, визначається міцністю їх елементів. Руйнування зварних металоконструкцій починається біля різних концентраторів напружень та дефектів, які виникають при їх виготовленні чи експлуатації. При цьому тріщини спочатку зароджуються як поверхневі, потім переходять в наскрізні й розвиваються далі до досягнення критичних розмірів.

Базовим елементом будь-якої зварної конструкції є тонкостінні стержні стандартного металопрокату відкритого (кутники, швелери, двотаври) та замкнутого поперечного перетину.

При крученні тонкостінних стержнів їх поперечні перетини не залишаються плоскими, а депланують, тобто окремі точки перерізу виходять зі своєї площини. Але, оскільки елементи зварних конструкцій з'єднані жорстко, це перешкоджає вільному переміщенню (закручуванню) поперечних перетинів елементів тонкостінного профілю. В поперечних перетинах профілю у такому випадку виникають нормальні напруження, які зумовлені дією кручення (стиснене кручення).

За таких умов для тонкостінних стержневих конструкцій домі-

нуючим буде руйнування від дії нормальних напружень. Основним розрахунковим параметром при цьому є коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) нормального відриву K_I . Однак для тонкостінних елементів замкнутого профілю ефект стисненого кручення при оцінці КІН K_I або не враховується взагалі [1], або ж розглядається тільки для випадків відкритих тонкостінних профілів [2].

Проведемо дослідження впливу депланації на ресурс тонкостінного елемента коробчастого поперечного перетину з тріщиною.

За розрахункову модель для оцінки ресурсу вибрано кутову наскрізну втомну тріщину, яка проростає з поверхневої і розвивається у тонкостінному коробчастому перерізі балки у двох взаємно перпендикулярних напрямках по довжинах горизонтальної та вертикальної стінок.

Залежності КІН для плоскої кутової тріщини у формі чверті еліпса, яка поширюється у напівнескінченному шарі, наведено у [3].

Для побудови математичної моделі росту наскрізної кутової тріщини розглянуто тонкостінний стержень замкнутого прямокутного профілю навантажений бімоментом B_ω . Епюри лінійних та секторіальних координат такого елемента подано на рисунку 1.

Напружений стан, що виникає в стінках прямокутного профілю з тріщиною, з певним наближенням можна моделювати, якщо розглядати кожну стінку як окрему пластину тієї ж товщини і ширини з боковою тріщиною при аналогічному силовому навантаженні. Нормальні напруження в стінках стержня від дії бімоменту розподілені за лінійним законом, тому їх можна подати як комбінацію розтягу та згину.

Відповідні розв'язки задач для визначення КІН у вершині втомної тріщини нормального відриву можна отримати за аналогією із залежностями, поданими у [3]:

– для розтягу

$$K_1^{(p)} = \sigma_{\text{ном}}^{(p)} \cdot (1 - \varepsilon) \sqrt{L \cdot \pi} \cdot [1.12 - 0.23\varepsilon + 10.55\varepsilon^2 - 21.72\varepsilon^3 + 30.39\varepsilon^4] \quad (1)$$

– для згину

$$K_1^{(3z)} = \sigma_{ном}^{(3z)} \cdot (1 - \epsilon)^2 \sqrt{L \cdot \pi} \cdot [1.122 - 1.4\epsilon + 7.33\epsilon^2 - 13.08\epsilon^3 + 14\epsilon^4] \quad (2)$$

де ϵ — відношення довжини тріщини до ширини стінки прямокутного профілю;

$\sigma_{ном}^{(p)}$ і $\sigma_{ном}^{(3z)}$ — номінальні напруження, відповідно від розтягу і згину.

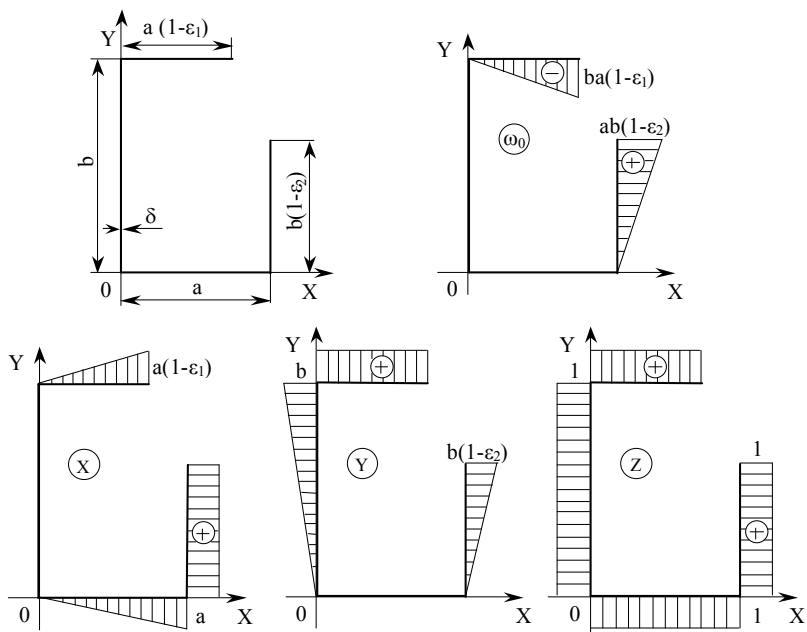


Рисунок 1. Епюри лінійних та секторіальних координат точок поперечного перетину тонкостінного прямокутного профілю з тріщиною

При навантаженні тонкостінного стержня згинально-крутним бімоментом нормальні напруження змінюються за законом секторіальних площ і описуються залежностями [4]:

$$\sigma_{\omega} = \frac{B_{\omega} \cdot \omega}{I_{\omega}},$$

$$I_{\omega} = \alpha_Y \int_F x \omega_0 dF - \alpha_X \int_F y \omega_0 dF + \beta \int_F z \omega_0 dF + \int_F \omega_0^2 dF,$$

$$\omega = \alpha_Y \cdot x - \alpha_X \cdot y + \beta \cdot z + \omega_0, \quad (3)$$

де B_{ω} — згинально-крутний бімомент, $\text{H} \cdot \text{м}^2$;

I_{ω} — секторіальний момент інерції перерізу, м^6 ;

ω — секторіальна координата даної точки при розміщенні полюса в центрі згину, а початкової точки (початок відліку) — в головній секторіальній точці, м^2 .

α_Y та α_X — координати центра згину тонкостінного профілю, м .

Напружений стан тонкостінного стержня описуємо системою рівнянь [4]:

$$\begin{cases} \alpha_X \cdot \int_F y x dF - \alpha_Y \cdot \int_F x^2 dF - \beta \cdot \int_F z x dF = \int_F \omega_0 x dF, \\ \alpha_X \cdot \int_F y^2 dF - \alpha_Y \cdot \int_F x y dF - \beta \cdot \int_F z y dF = \int_F \omega_0 y dF, \\ \alpha_X \cdot \int_F y z dF - \alpha_Y \cdot \int_F x z dF - \beta \cdot \int_F z^2 dF = \int_F \omega_0 z dF, \end{cases} \quad (4)$$

де β — коефіцієнт, що визначає положення точки відліку секторіальних координат.

Розв'язуючи систему (4) з урахуванням залежностей (3) та рис. 1 і розкладаючи секторіальні напруження на складові, які відповідають розтягу та чистому згину, і підставляючи їх значення у (1) та (2), отримуємо залежності для визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень для наскрізної кутової тріщини у тонкостінному прямокутному профілі при дії стисненого кручення:

$$\begin{cases} K_{I(1)} = \frac{B_{\omega}}{W_{\omega}} \sqrt{L_1} F_1(\epsilon_1, \epsilon_2), \\ K_{I(2)} = \frac{B_{\omega}}{W_{\omega}} \sqrt{L_2} F_2(\epsilon_1, \epsilon_2), \end{cases} \quad (5)$$

де W_{ω} — секторіальний момент опору бездефектного тонкостінного замкнутого прямокутного профілю, м^4 ; $F_1(\epsilon_1, \epsilon_2)$, $F_2(\epsilon_1, \epsilon_2)$ —

поправкові функції, які враховують зміну геометрії тонкостінного профілю при поширенні у ньому втомної тріщини (аналітичні вирази функцій не наводимо через їх громіздкість).

Використовуючи рівняння Вільсона в детерміністичній постановці, яке визначає кількість циклів до досягнення тріщиною критичної величини і отримується інтегруванням рівняння Періса ($dL/dN = C(\Delta K_I)^n$), приводимо функції двох змінних $F_1(\epsilon_1, \epsilon_2)$ та $F_2(\epsilon_1, \epsilon_2)$ до функцій однієї змінної і, після заміни та спрощень, отримуємо:

$$\begin{cases} K_{I(1)} = \sigma_\omega \sqrt{L_1} F_1(\epsilon_1), \\ K_{I(2)} = \sigma_\omega \sqrt{L_2} F_2(\epsilon_2), \end{cases} \quad (6)$$

$$F_1(\epsilon_1) = \frac{(b-a)(S_1 + S_2)}{(a+b)S_2} \left(1.058 + 4.684\epsilon_1 + 9.126\epsilon_1^2 - \right. \\ \left. - 25,254\epsilon_1^3 + 40,602\epsilon_1^4 \right),$$

$$F_2(\epsilon_2) = \frac{(b-a)(S_1 + S_2)}{(a+b)S_1} \left(1.193 + 9.099\epsilon_2 + 126.653\epsilon_2^2 - 704.649\epsilon_2^3 + \right. \\ \left. + 1864.595\epsilon_2^4 - 2234.832\epsilon_2^5 + 1019.341\epsilon_2^6 \right),$$

де $S_1 = a \cdot \delta_1$; $S_2 = b \cdot \delta_2$.

Виведені залежності уточнюють методику розрахунку напружено-деформованого стану тонкостінних елементів прямокутного профілю на стадії розвитку кутової наскрізної тріщини, що зумовлений дією бімоменту при стисненому крученні.

Ресурс роботи конструкцій такого елемента визначається залежністю

$$\tau = \frac{N_p}{\omega}, \quad (7)$$

де ω — середня частота навантаження, цикл/с.

Кількість циклів навантаження N_p тонкостінного елемента при розвитку наскрізної тріщини до критичної довжини визначаємо за формулою:

$$N_p = \int_{L_o}^{L_k} \frac{dL}{C(K_I)^n}, \quad (8)$$

де L_o, L_k — початковий і граничний розміри наскрізної тріщини відповідно, м. Граничний розмір наскрізної тріщини, що поши-

рюється в елементі багаторазово статично невизначеної системи, приймають рівним 40% площі поперечного перетину елемента або з умови $K_l < K_{fc}$ (K_{fc} — циклічна в'язкість руйнування).

K_l — коефіцієнт інтенсивності напружень у вершині наскрізної тріщини з довжиною L , МПа $\sqrt{м}$. Ця величина визначається залежностями (6).

C, n — коефіцієнти кінетичної діаграми втомного руйнування матеріалу стержня.

На основі проведених досліджень розроблено рекомендації з оптимізації геометричних параметрів поперечного перетину тонкостінного прямокутного стержня з точки зору підвищення його тріщиностійкості: запропоновано змінити рівностінний коробчастий перетин балки на різностінний прямокутний профіль із співвідношенням товщин стінок $\delta_2 = \frac{b}{a} \cdot \delta_1$ [5]. Така оптимізація поперечного перетину тонкостінного прямокутного стержня дозволяє значно знизити рівень напружень стисненого кручення і підвищити ресурс роботи елемента практично вдвічі (рис. 2).

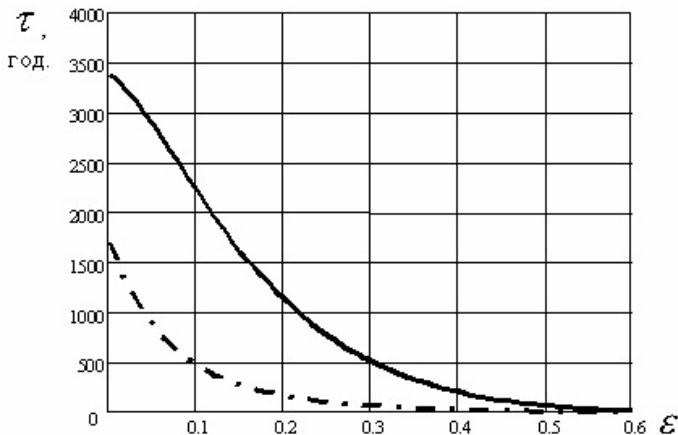


Рисунок 2. Залишковий ресурс роботи тонкостінного елемента прямокутного перетину:

- · - · - ресурс тонкостінного прямокутного елемента 180x75x5 мм,
- ресурс коробчастого елемента запропонованого перетину.

Висновок. Отримані залежності (6) дозволяють оцінити напружений стан (КІН) у вершинах віток складної за конфігурацією тріщини у прямокутному поперечному перетині тонкостінного стержня і прогнозувати його залишковий ресурс за рівняннями (7) та (8). Отримані результати не враховують специфіку роботи зварних швів в умовах складного напружено-деформованого стану статично невизначених стержневих конструкцій і вимагають окремого дослідження.

Література

1. Андрейкив А. Е., Дарчук А. И. Усталостное разрушение и долговечность конструкций. — К.: Наук. думка, 1992. — 184 с.
2. Рибак Т. І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. — Тернопіль: Збруч, 2002. — 330 с.
3. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4 т. / Под общ. ред. Панасюка В. В. — К.: Наук. думка, 1988.
4. Бычков Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций. — М.: Госстройиздат, 1962. — 472 с.
5. Рибак Т., Сташків М. Специфіка розрахунку деяких тонкостінних елементів тримких конструкцій машин. // Вісник ТДТУ, 2003. — Т. 8. — № 2. — с. 34 — 39.

Тymofiy Rybak, Mykola Stashkiv

STUDY OF RESIDUAL LIFE OF THIN-WALLED ELEMENTS WITH A CRACK

The residual life of a thin-walled shank with square cross-section under deplanation is studied. A mathematical model for kinetics of the fatigue crack with oppositely directed branch lines is elaborated. Measures to increase the rupture life of a thin-slab shank with square cross-section are suggested.

Keywords: *thin-walled shank, deplanation of transverse cross-sections, tension intensity coefficient, residual life.*

УДК 631.356.2

**Роман Гевко, Володимир Дзюра,
Роман Романовський**

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИМИ КОНВЕЄРАМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Розроблено і виготовлено стенд для дослідження зміни характеристик сипких матеріалів при транспортуванні в пневмотранспортерах. Визначено зусилля транспортування порції сипкого матеріалу в залежності від ступеня його розрідження і тиску повітря в пневмокамері розробленої установки. Встановлено оптимальні режими роботи пневматичних конвеєрів періодичної дії.

Визначення оптимальних режимів роботи нової техніки вимагає значних затрат матеріальних ресурсів і часу. Тому одним із основних шляхів прискорення та здешевлення досліджень є робота з моделями та стендами, які моделюють реальні умови роботи досліджуваних вузлів та їхню взаємодію з іншими елементами досліджуваної системи.

Провести визначення оптимальних режимів роботи пневмомеханічних транспортерів сипких матеріалів періодичної дії досить важко через необхідність залучення обладнання великої потужності, зокрема компресорів, які б могли транспортувати сипкий матеріал певної маси. Натомість робота зі стендом є простою, оскільки він досить точно моделює взаємодію сипкого матеріалу з поверхнею транспортера. При цьому використовується обладнання малої потужності, а сам стенд пристосований до заміру необхідних силових параметрів процесу транспортування.

Визначенням характеристик тертя сільськогосподарських матеріалів по різних поверхнях присвячені праці С. С. Яцуна та О. М. Царенка [1]. У своїх дослідженнях вони аналізували основні властивості сільськогосподарських матеріалів та режими тран-

спортування, однак вони не враховували вплив повітря на зміну коефіцієнтів тертя.

В роботах В. Я. Борщева [2] спроектовано і проаналізовано значну кількість обладнання для транспортування, змішування й обробки сипких матеріалів, загальні принципи процесів обробки сипких матеріалів. Наведено розрахунки основних характеристик обладнання, а також параметри, за якими вибирається устаткування.

Метою роботи є визначення оптимальних режимів транспортування сипких матеріалів в залежності від ступеня завантаження робочої камери і тиску поданого повітря.

Роботу виконано в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки «Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі» на 2006–2011 роки.

Одним з основних показників, що характеризує енергосилові параметри процесу транспортування є зусилля, яке необхідно прикласти, щоб почати здійснювати процес транспортування сипкого матеріалу, тобто подолати сили тертя між матеріалом і поверхнею транспортера.

Знаючи значення цієї сили за різних значень параметрів, які можна змінювати в певному діапазоні значень, можна визначити оптимальні режими транспортування сипких матеріалів.

Для цього нами спроектовано і виготовлено стенд для дослідження силових параметрів процесу транспортування сипких матеріалів (рис. 1), який виконано у вигляді рами 1, до якої жорстко закріплено вертикальні стійки 2, до яких жорстко закріплено циліндричну трубу 3.

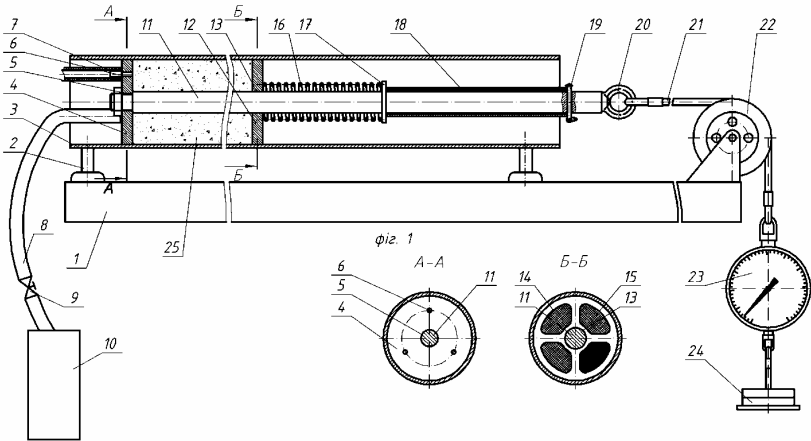


Рисунок 1. Стенд для дослідження силових параметрів процесу транспортування сипких матеріалів



У циліндричній трубі розміщено циліндричний поршень 4, в якому виконано центральний циліндричний отвір 5 і три отвори 6 меншого діаметра по його периферії. В отвори меншого діаметра 6 встановлено штуцери 7, на які натягнуто шланги 8 для подачі повітря. Шланги з'єднані з краном 9 і далі з джерелом стисненого повітря 10.

В центральний циліндричний отвір 5 поршня 4 перпендикулярно до осі отвору жорстко встановлено шток 11, на який надягнуто циліндричний диск 12 з центральним циліндричним отвором

13. Циліндричний диск 12 містить по периферії вікна 14 довільної форми (наприклад чотири), які закриті сіткою 15 для запобігання проходження сипкого матеріалу. З лівого боку циліндричний диск 12 підтиснений пружиною стиснення 16, яка впирається в упор 17. З іншого боку упор 17 підтиснений дистанційною циліндричною втулкою 18 у вигляді труби з внутрішнім діаметром, більшим від діаметра штока. Дистанційна втулка закріплена шпилькою 19. На кінці штока встановлено рим-болт 20, до якого через канат 21 і нерухомий блок 22 закріплено динамометр 23 для замірювання силових параметрів процесу переміщення сипкого вантажу. До динамометра з іншого боку прикріплено вантажі 24, які визначають зусилля, при якому система набуде рівноважного стану.

Робота стенда для дослідження силових параметрів процесу транспортування сипких матеріалів здійснюється таким чином. У порожнину між поршнем 4 та циліндричним диском 10 встановлено сипкий матеріал 25, властивості якого досліджуються. Причому порожнину заповнюють залежно від умов проведення досліду. Краном 9 вмикають подачу стисненого повітря з джерела стисненого повітря 10 і починають накладати вантажі 24 для визначення зусилля, яке приведе поршень в рух.

Провівши серію експериментальних досліджень, яка складалася із 46 дослідів, ми отримали середні значення досліджуваних параметрів, які наведені в таблицях 1 та 2.

При проведенні експериментальних досліджень були зроблені такі скорочення: часткове завантаження – 70%-75% об'єму робочої камери; повне завантаження — 100% об'єму робочої камери з частковим ущільненням транспортного матеріалу. Наведені в таблиці значення зусилля транспортування сипких матеріалів враховують тертя поршня об стінки труби, яке при порожній робочій камері становить 2,5 Н.

Дослідження проводили для двох об'ємів завантаження камери: $4,22 \times 10^{-4} \text{ м}^3$ і $8,44 \times 10^{-4} \text{ м}^3$; тиск повітря 0,6-0,8 МПа.

Таблиця 1. Значення зусилля транспортування сипких матеріалів у залежності від величини заповнення робочої камери і режиму роботи станда

Завантаження		Використання пневмоприводу	Зерно		Висівки		Тирса	
			Повне	Часткове	Повне	Часткове	Повне	Часткове
Об'єм камери	$4,22 \times 10^{-4} \text{ м}^3$	без повітря	8,4	3,5	7,3	2,5	5	1,5
		з повітрям	7,3	2,5	6,4	2	2,5	0,53
	$8,44 \times 10^{-4} \text{ м}^3$	без повітря	12,1	4,6	11,3	3,4	8,7	2,0
		з повітрям	10,1	3,3	9,6	2,6	4,02	0,7

Таблиця 2. Залежності зусилля переміщення вантажу від тиску повітря в транспортному рукаві

Тиск повітря, МПа	Зусилля переміщення, Н		
	Пшениця	Тирса	Висівки
0,4	4	5	4
0,5	3,5	4	3,5
0,6	3	3,5	3
0,7	3 — 2,5	2,5	2,5
0,8	3 — 2,5	2,5	2,5 — 2

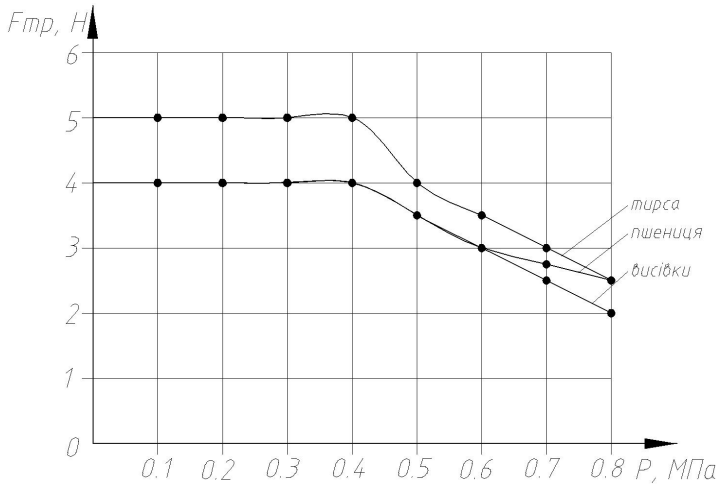


Рисунок 2. Зміна зусилля переміщення сипкого матеріалу залежно від тиску повітря.

Таблиця 3 — Залежності зусилля переміщення від об'єму переміщуваного сипкого матеріалу

Об'єм матеріалу, м ³		Зусилля переміщення, Н					
		Пшениця		Тирса		Висівки	
		без повітря	повітря	без повітря	повітря	без повітря	повітря
V-100%	4,22·10 ⁻⁴	4 — 3,5	3 — 2,5	5	2,5	3,5 — 3	2,5 — 2
V1	6,22·10 ⁻⁴	40	38	11	6	7	6
V2	8,22·10 ⁻⁴	70	70	24	17	20	17
V3	10,22·10 ⁻⁴	-	-	42	41	34	33
V4	12,22·10 ⁻⁴	-	-	65	65	50	50



Рисунок 3. Зміна зусилля переміщення сипкого матеріалу залежно від його об'єму 1 — пшениця без використання повітряного підживлення; 2 — пшениця з використанням повітряного підживлення; 3 — тирса без використання повітряного підживлення; 4 — тирса з використанням повітряного підживлення; 5 — висівки без використання повітряного підживлення; 6 — висівки з використанням повітряного підживлення

Висновки:

1. Зусилля транспортування сипких матеріалів зменшується практично прямо пропорційно тиску повітря в пневмосистемі.

2. При транспортуванні сипких матеріалів з урахуванням продуктивності транспортера об'єм робочої камери доцільно завантажувати на 100 відсотків. Недовантаження робочої камери призведе до втрати продуктивності, а перевантаження — до збільшення зусилля транспортування або значного його зростання й утворення ущільнень транспортного матеріалу.

3. Оптимальним для транспортування тирси, висівок зернових та зерна є тиск у транспортному рукаві від 4 до 7 бар. Збільшення

тиску не призводить до зменшення зусилля транспортування, а його зменшення менше 4 бар також на нього не впливає. Для транспортування висівок і тирси оптимальним є тиск 7–8 бар — показник, при якому значення зусилля транспортування — мінімальне.

Література

1. Калинушкин М. П. Пневмотранспортное оборудование: Справочник / М. П. Калинушкин, М. А. Коппель, В. С. Серяков, М. М Шапунов. Под общ. ред. М. П. Калинушкина. — Л.: Машиностроение, 1986. — 286 с.
2. Герц Е. В. Пневматические устройства и системы в машиностроении: Справочник / Е. В. Герц, А. И. Кудрявцев, О. В. Ложкин и др. Под общ. ред. Е. В. Герца — М.: Машиностроение, 1981. — 408 с.

Roman Gevko, Volodymyr Dzyura, Roman Romanovskyy

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS FOR TRANSPORTATION OF LOOSE MATERIALS BY PNEUMATIC CONVEYORS OF PERIODIC ACTION

A test bench for investigations of loose materials characteristics changes at transportation in pneumatic transporters has been built. The transporting strain for a loose material portion depending on the rarefaction extent and air pressure in the pneumatic chamber of the test bench has been found. The optimal regimes for periodic action conveyors have been determined.

УДК 681.3

Роман Рогатинський, Лілія Рогатинська

ФОРМУВАННЯ ПОТОКІВ СИПКОГО ВАНТАЖУ В МАШИНАХ НЕПЕРЕРВНОГО ТРАНСПОРТУ

В статті розглянуто концепцію моделювання потоків сипкого вантажу в машинах неперервного транспорту. Така модель передбачає узагальнений формалізований опис вибору траєкторії переміщення вантажу; вибору структурної схеми машини неперервного транспорту; робочого тягового органу з приводом; реологічної моделі вантажу; взаємодії робочих поверхонь з вантажем. Приведено загальні принципи розробки таких моделей, що дозволяє значну частину процедур вибору машин неперервного транспорту проводити на комп'ютерних моделях.

Основне призначення машин неперервного транспорту (конвеєрів) — транспортування насипних та штучних вантажів в безперервному режимі за заданою траєкторією. Вони знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, як окремі виконавчі машини та складові агрегати технологічних комплексів. Широка різноманітність типів конвеєрів, необхідність врахування великої кількості факторів утруднює вибір їх типорозмірів та ускладнює параметричну та структурну оптимізацію [1,2]. Тому актуальною є розробка повнофункціональних моделей машин неперервного транспорту з формалізованим описом процесу формування потоків вантажу робочими органами конвеєрів, що дозволяє значну частину процедур такого вибору проводити на комп'ютерних моделях.

Основними вихідними даними при проектуванні конвеєрів є їх продуктивність, особливі вимоги щодо впливу на вантаж, що задаються умовами технологічного процесу, геометричне розташування зон завантаження та розвантаження. Проектування машин неперервного транспорту передбачає вибір траєкторії транспортування, типу технологічного обладнання, тягового органу з приводом, робочі поверхні якого діють на транспортований матеріал.

Відповідно, комплексна модель переміщення вантажу робочими органами передбачає узагальнений формалізований опис системи на різних рівнях, де розглядаються такі моделі: вибору траєкторії переміщення вантажу; структурної схеми машини неперервного транспорту; робочого тягового органу з приводом; реологічної моделі вантажу; взаємодії робочих поверхонь з вантажем.

Для вибору раціональної траєкторії транспортування використовують методи оптимізації на графах, хвильові алгоритми тощо. З технологічної точки зору, траса транспортування, як правило, складається з прямолінійних та колових ділянок, на яких, при потребі, розміщуються зони перевантаження з відповідними механізмами.

В загальному вигляді, траєкторію транспортування, що задає відповідну трасу, доцільно описувати в параметричному вигляді [3]

$$x = x(\tau); \quad y = y(\tau); \quad z = z(\tau), \quad (1)$$

де τ — незалежний параметр.

Елементарна довжина траси визначається залежністю

$$ds = \sqrt{\dot{x}^2(\tau) + \dot{y}^2(\tau) + \dot{z}^2(\tau)} d\tau \quad (2)$$

Відповідно, довжина ділянки траси, що визначається біжучим параметром τ

$$s = \int_0^{\tau^*} \sqrt{\dot{x}^2(\tau) + \dot{y}^2(\tau) + \dot{z}^2(\tau)} d\tau \quad (3)$$

Для прямого гвинтового конвеєра вибирають нерухому систему координат $Oxyz$, в якій вісь Oz , зазвичай, направлена по осі гвинтового конвеєра, а вісь Ox — горизонтально.

Тоді рівняння гвинтового робочого органу з незалежними параметрами лінійним u_1 та кутовим v_1 визначається за відомими залежностями:

$$x_1 = u_1 \cos(v_1 + \omega t + v_{01}) \quad y_1 = u_1 \sin(v_1 + \omega t + v_{01}) \quad z_1 = cv_1, \quad (4)$$

де c — параметр кроку T гвинта, $c = v_1 T / (2\pi)$; ω ; — кутова швидкість гвинтового робочого органу; v_{01} — початкове значення параметру v_1 на час $t=0$.

Рівняння нерухомого жолоба радіусом R_2 з незалежними лінійним u_2 та кутовим v_2 параметрами:

$$x_2 = R_2 \cos v_2; \quad y_2 = R_2 \sin v_2; \quad z_2 = u_2. \quad (5)$$

Для прямого гвинтового конвеєра $s = \tau$ і параметри v_1 та u_2 пов'язані з біжучим параметром довжини траси залежностями:

$$v_1 = s/c; \quad u_2 = s. \quad (6)$$

За умови контакту частинки вантажу одночасно з поверхнями жолоба та гвинтового робочого органу, її розміщення при транспортуванні однозначно визначається біжучим кутовим параметром

$$\theta = s/c + \omega t + v_{01}. \quad (7)$$

Одним із найпростіших випадків передачі вантажу від точки A_0 до A_1 за непрямою траєкторією є використання гнучкого гвинтового конвеєра. В цьому випадку вісь Oy нерухомої системи координат $Oxyz$ доцільно направити вертикально, протилежно до напрямку вектора сили земного тяжіння, а вісь Oz — вздовж проекції вектора напрямку траси на горизонтальну площину Oxy . Введемо біжучу систему координат $O'x'y'z'$, початок якої розмістимо по трасі на віддалі s від початку базової системи координат, а вісь $O'x'$ — паралельно до площини Oxz .

Однорідні координати біжучої системи $O'x'y'z'1$ з координатами системи $Oxyz1$ пов'язані залежністю

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & x(s) \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & y(s) \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & z(s) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

де α_{ij} — напрямні косинуси ортів системи $O'x'y'z'$ в $Oxyz$.

Для вказаних вище умов орти системи $O'x'y'z'$ мають вигляд [3]:

$$\begin{aligned} \bar{i} &= \{\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13}\} = \{\dot{z}_s / \sqrt{\dot{x}_s^2 + \dot{z}_s^2}, 0, \dot{x}_s / \sqrt{\dot{x}_s^2 + \dot{z}_s^2}\}, \\ \bar{j} &= \{\alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{23}\} = \{-\dot{x}_s \dot{y}_s / \sqrt{\dot{x}_s^2 + \dot{z}_s^2}, 0, \dot{y}_s \dot{z}_s / \sqrt{\dot{x}_s^2 + \dot{z}_s^2}\}, \\ \bar{k} &= \{\alpha_{31}, \alpha_{32}, \alpha_{33}\} = \{\dot{x}_s, \dot{y}_s, \dot{z}_s\}. \end{aligned}$$

В біжучій системі координат $O'x'y'z'$, що знаходиться на віддалі $s = u_2$ від початку конвеєра, лінії перетину гнучкого шнеку та жолоба з координатною площиною $O'x'y'$, яка визначає поточне розміщення виділеного елемента вантажу, опишуться рівняннями:

$$x'_1 = u_1 \cos(v'_1 + \omega t + v'_{10}); \quad y'_1 = u_1 \sin(v'_1 + \omega t + v'_{10}); \quad z'_1 = 0, \quad (9)$$

$$x'_2 = R_2 \cos v'_2; \quad y'_2 = R_2 \sin v'_2; \quad z'_2 = 0. \quad (10)$$

Кутові параметри v_i та v'_i для просторового розміщення траси пов'язані залежністю [3]

$$v'_i = (v_i + \varphi_x - \Delta\varphi_r). \quad (11)$$

де φ_x та $\Delta\varphi_r$ — прирости кутового параметра розміщення гвинтової поверхні від кручення та зміщення головної нормалі у вибраній системі координат [3].

В нерухомій системі координат рівняння поверхонь гвинтового робочого органу та жолоба визначаються із врахуванням (9), (10) згідно з перетворенням (8):

$$\begin{aligned} x_i(u_i, v_i) &= x(s) + \alpha_{11} x'_i + \alpha_{12} y'_i, \\ y_i(u_i, v_i) &= y(s) + \alpha_{21} x'_i + \alpha_{22} y'_i, \\ z_i(u_i, v_i) &= z(s) + \alpha_{31} x'_i + \alpha_{32} y'_i. \end{aligned} \quad (12)$$

Залежності (12) є основними, що описують робочі поверхні гвинтового конвеєра, які діють на вантаж.

За умови транспортування елементарного об'єму вантажу A , що прилягає до поверхонь гнучкого гвинтового робочого органу та жолоба ($\rho_A = u_1 = R_2; z'_A = z'_1 = 0$), його розміщення в нерухомій системі координат однозначно визначатиметься кутовим параметром θ , який, аналогічно до (7), рівний

$$\theta = s/c + \omega t + v_{oi} + \varphi_\chi - \Delta\varphi_r. \quad (12)$$

Розглянемо конвеєри з неперервним замкнутим тяговим робочим органом, що подає вантаж поступально, на прикладі скребкового конвеєра. Оскільки полотно конвеєра є нерозривною стрічкою і рухається по замкнутій траєкторії, то кожна точка полотна, в ідеалі, має однакову лінійну швидкість $v_0 = ds/dt = R_0\omega_0$, де R_0 та ω_0 радіус та кутова швидкість привідного барабана; s — параметр траси по довжині. Кутове зміщення β напрямку руху полотна визначається біжучими кривиною k_s та крученням χ_s траси. Для плоских конвеєрів із замкнутою траєкторією тягового робочого органа $\chi = 0$ і на його довжині L , що визначається довжиною замкнутого контуру, повинна виконуватись умова

$$\beta_L = \int_0^L k_s ds = 2\pi. \quad (13)$$

Базову нерухому систему координат $Oxuz$ доцільно розмістити з напрямленням Oz співвісно з віссю привідного барабана, а вісь Oy — паралельно до земної поверхні. Для привідного, направляючих, натяжних барабанів (зірочок, дисків) власні системи координат, що обертаються разом із ними, також розміщують співвісно до їх осей. Тоді довільна точка $A_i(x_{iA}, y_{iA}, z_{iA}, 1)$ в системі однорідних координат обертових барабанів в базовій системі матиме координати $A_0(x_{0A}, y_{0A}, z_{0A}, 1)$ [4]. Їх зв'язок записується в матричному вигляді $P = M_{Li} M_{\Omega i} P_i$, де $P = (x, y, z, 1)$ — матриця координат системи $Oxyz$; $P_i = (x_i, y_i, z_i, 1)$ — матриця координат системи $O_i x_i y_i z_i$; M_{Li} та $M_{\Omega i}$ — матриці лінійних та обертових переміщень відповідно. В розгорнутому вигляді система має вигляд

$$\begin{pmatrix} x_{0A} \\ y_{0A} \\ z_{0A} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(k_s v_0 t + \Delta\varphi_i) & \sin(k_s v_0 t + \Delta\varphi_i) & 0 & \Delta x_i \\ -\sin(k_s v_0 t + \Delta\varphi_i) & \cos(k_s v_0 t + \Delta\varphi_i) & 0 & \Delta y_i \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_{iA} \\ y_{iA} \\ z_{iA} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

де v_0 — лінійна швидкість полотна; $\Delta\varphi_i$ — кутове початкове зміщення i -го барабана (диска); Δx_i , Δy_i та Δz_i — координати барабанів (дисків) в базовій системі.

На основі аналізу траси робиться розбиття траєкторії на ділянки та реалізується перехід від системи координат скребка $X_{ck} O_{ck} Y_{ck}$ до системи координат вантажу, який знаходиться на полотні конвеєра $X_k O_k Y_k$. Координати скребка на i -ій ділянці на віддалі l_i будуть:

$$x_i(s) = \int_0^{l_i} \cos[s_i \cdot k(s)] ds, \quad y_i(s) = -\int_0^{l_i} \sin[s_i \cdot k(s)] ds, \quad z_i(s) = u_i, \quad (15)$$

де для прямолінійних віток ($x_i(s) = s_i$) розроблені відповідні алгоритми їх зв'язку з ділянкою на барабані.

При цьому зв'язок початку системи координат наступної ділянки із попередньою, довжиною L_i , матиме вигляд $X_{i+1} = X_i + x_i(L_i)$; $Y_{i+1} = Y_i + y_i(L_i)$. Кутове зміщення осей координат при цьому становитиме $\Delta\beta_i = k_i L_i$.

Скребок при транспортуванні вантажу під дією постійного навантаження відхиляється від свого положення на кут γ_k і під дією поточних збурень, що викликають коливні зміщення, на кут $\Delta\gamma_k$. Одночасно скребок робить коливні рухи за рахунок поперечних коливань тягового органу конвеєра.

Колівання стрічки обумовлюється конструкційними та технічними особливостями конвеєра і характеру його експлуатації. В загальному вигляді це можна записати так:

$$\Delta x_k(s, \tau) = A_x(s) \sin(\omega_k \tau + \varphi_k), \quad \Delta y_k(s, \tau) = A_y(s) \sin(\omega_k \tau + \varphi_k), \quad (16)$$

де $A_x(s)$, $A_y(s)$ — біжучі амплітуди коливань стрічки вздовж осей $O_k X_k$ і $O_k Y_k$; ω_k — кутова частота коливань полотна в площині $X_k O_k Y_k$; φ_k — кут зміщення коливань полотна.

Кутові коливні рухи скребка залежать від конструкційних параметрів, а також від характеру дій зовнішніх зусиль

$$\Delta\gamma_k(s, \tau) = \gamma(s) \sin(\omega_{ck} \tau + \varphi_{ck}), \quad (17)$$

де $\gamma(s)$ — амплітуда змінної частини кута повороту скребка; ω_{ck} — кутова частота кутових коливань скребка; φ_{ck} — кут зміщення коливань скребка.

Наведені залежності дозволяють отримати формалізований опис робочих поверхонь машин неперервного транспорту, в т.ч. рухомих, методами диференціальної геометрії та аналітично опи-

сати зв'язки, що накладаються на вантаж. Зокрема, шукані нормальні складові реакцій поверхонь \bar{N}_i на вантаж будуть направлені по нормалі $\cdot \bar{n}_i$ до робочих поверхонь, а складові від сил тертя \bar{F}_i — протилежно до відносної швидкості \bar{v}_{iA} вантажу по поверхні робочого органу:

$$\bar{N}_i = N_i \cdot \bar{n}_i, \quad \bar{F}_i = -\mu_i N_i \bar{v}_{iA}. \quad (18)$$

Якщо потік вантажу формується двома робочими поверхнями, відповідно, має одну ступень вільності й описується одним незалежним параметром, наприклад θ , то рівняння руху зв'язного вантажу, що переміщується масивом (як одне ціле), набуде вигляду

$$(\ddot{x}_\theta - g_x) \begin{vmatrix} c_{y1} & c_{y2} \\ c_{z1} & c_{z2} \end{vmatrix} + (\ddot{y}_\theta - g_y) \begin{vmatrix} c_{z1} & c_{z2} \\ c_{x1} & c_{x2} \end{vmatrix} + (\ddot{z}_\theta - g_z) \begin{vmatrix} c_{x1} & c_{x2} \\ c_{y1} & c_{y2} \end{vmatrix} = 0 \quad (19)$$

де $\ddot{x}_\theta, \ddot{y}_\theta, \ddot{z}_\theta$ — складові прискорення вантажу, як функції незалежного параметра; g_x, g_y, g_z — проекції вектора прискорення вільного падіння на осі координат; c_{xi}, c_{yi}, c_{zi} — напрямні косинуси вектора реакції i -ої поверхні до відповідної координатної осі.

Для випадку вільного переміщення по одній робочій поверхні, зв'язний вантаж матиме дві ступені вільності й рівняння його руху матимуть вигляд

$$c_{x1} / (\ddot{x}_\theta - g_x) = c_{y1} / (\ddot{y}_\theta - g_y) = c_{z1} / (\ddot{z}_\theta - g_z). \quad (20)$$

Залежності (19) та (20) не дозволяють адекватно описати рух вантажу, в якому частинки мають власні переміщення в потоці. Відтворення таких переміщень можливо в моделях, в яких робочі поверхні та кожна частинка вантажу, а також їх взаємодія, мають відповідний формалізований опис. Для цього робочі поверхні конвеєрів, а також поверхні частинок описуються в неявному вигляді R -функціями одиничного градієнта (f_i) [5], для яких $\cdot \bar{n}_i = \text{grad } f_i$. Фізична взаємодія частинок вантажу між собою та з робочими поверхнями для малих швидкостей зближення визначається за моделлю Герца як сила ударної взаємодії двох тіл при пружному контакті [5]

$$P_{ij} = k_{ij} r_{ij} u_{ij} = [k_{ij} / (K_i + K_j)^{1/2}] u_{ij}^{3/2}, \quad (21)$$

де k_{ij} — коефіцієнт, що враховує пружні властивості тіла контакту; u_{ij} — величина жорсткого зближення в контактній задачі Герца, визначається за рівнем поля, що описується нормальним рівнянням поверхонь зближення; r_{ij} — розрахунковий радіус площадки контакту; K_i та K_j — кривини поверхонь частинок в точці контакту.

Переміщення робочих поверхонь задаються аналітично. Рівняння руху чи рівняння Лагранжа 1 роду кожної частинки у векторній формі мають вигляд [5]:

$$\sum_{j=1}^k (\bar{P}_{ij} + \bar{F}_{ij}) - m_i \bar{a}_i + \bar{G}_i = 0; \quad \sum_{j=1}^k [(\bar{r}_{ij}^{\wedge} + \bar{\delta}_{ij}^{\wedge}) \times (\bar{P}_{ij}^{\wedge} + \bar{F}_{ij}^{\wedge})] + \sum_{j=1}^k T_{ij}^{\wedge} - \bar{L}_{oi}^{(e)} = 0, \quad (22)$$

де \bar{P}_{ij} та \bar{P}_{ij}^{\wedge} — вектори нормальних сил пружної взаємодії за моделлю Герца, задані, відповідно, в загальній та власній системах координат; \bar{F}_{ij} та \bar{F}_{ij}^{\wedge} — відповідні вектори тангенціальних сил; \bar{r}_{ij} та \bar{r}_{ij}^{\wedge} — відповідні радіуси-вектори ij -ої зони контакту; m_i , \bar{a}_i та \bar{G}_i маса, прискорення та сила тяжіння i -го об'єкту, відповідно; $\bar{\delta}_{ij}^{\wedge} = \bar{F}_{ij} \mathbf{v}_i (4r_{ij} G)$ — тангенціальне зміщення площадки контакту від сили \bar{F}_{ij}^{\wedge} при швидкості зближення v_i та модулі кручення G ; $\bar{L}_{oi}^{(e)}$ — векторна сума моментів сил.

Крутні моменти \bar{T}_{ij}^{\wedge} складають незначну частину силових факторів, що діють на частинку (менше 2–3%), а тому у спрощеній моделі вони не враховуються. У розгорнутій формі рівняння (22) приймають вигляд:

$$\sum_{i=1}^k P_{ij} \left[\text{grad}(f_i) - \frac{\mu \Delta \bar{v}_{ej}}{|\Delta \bar{v}_{ej}|} \right] - m_i \bar{a}_i + \bar{G}_i = 0;$$

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} \left\{ (\bar{r}_{ij}^{\wedge} + \bar{\delta}_{ij}^{\wedge}) \times \left[\text{grad}(f_i^{\wedge}) - \frac{\mu \Delta \bar{v}_{ej}^{\wedge}}{|\Delta \bar{v}_{ej}^{\wedge}|} \right] \right\} - \bar{L}_{oi}^{(e)} = 0. \quad (23)$$

Тут перше рівняння систем (22), (23) записано в інерційній системі координат, а друге — у власній системі координат об'єкта.

У рухомій системі координат $\bar{L}_{oi}^{(e)} = \frac{dK_{oi}^{\wedge}}{dt} + (\bar{\omega}_0^{\wedge} \times \bar{K}_{oi}^{\wedge})$, де \bar{K}_{oi}^{\wedge} — кінетичний момент частинки.

Виведені залежності та розроблені алгоритми дають можливість побудувати ефективну комп'ютерну модель процесу формування потоків вантажів в машинах неперервного транспорту,

отримати його координати та параметри руху в будь-який момент часу. Складові її елементи апробовані при моделюванні транспортування вантажу гвинтовими конвеєрами, в т.ч. гнучкими шнеками, прутковими та скребковими конвеєрами.

Висновки. Комплексна модель переміщення вантажу робочими органами, що передбачає узагальнений формалізований опис вибору траєкторії переміщення вантажу, вибору структурної схеми машини неперервного транспорту, реологічної моделі вантажу у вигляді сукупності частинок вантажу, взаємодії робочих поверхонь з вантажем, дозволяє в режимі комп'ютерного обчислюваного експерименту моделювати формування потоку вантажу рухомими робочими поверхнями машин. Цим уже на етапі проектування закладається вибір раціонального типу машин неперервного транспорту та їх структурної схеми

Література.

1. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. — М. : Машиностроение, 1987. — 320 с.
2. Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков и др, Под общ. ред. Ю. А. Пертена. — Л.: Машиностроение, 1984. — 367 с, с ил.
3. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. — Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. — 176 с.
4. Рогатинський Р. М. Модель скребкового конвеєра / Р. Рогатинський, О. Рогатинська // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасних технологій виготовлення та надійності передач з гнучким зв'язком» 19–20 грудня 2011 р. — Тернопіль: Крок, — 2011, — С. 90–91.
5. Рвачев В. Л. Геометрические приложения алгебры логики / В. Л. Рвачев — К.: Техніка, 1987. — 232 с.
6. Рогатинський Р. М. Модель контактної взаємодії частинки вантажу з робочими поверхнями сільськогосподарських машин /

Р. М. Рогатинський, О. В. Дудін, О. Р. Рогатинська // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Механізація сільськогосподарського виробництва», 2003. — Вип. 21. — С. 222–228.

Roman Rogatynskyi, Liliia Rogatynska

FORMATION OF THE BULK MATERIAL FLOWS IN CONTINUOUS TRANSPORTATION MACHINES

The conception of the modeling of bulk material flows in continuous transportation machines is considered. Such a model provides generalized formal description of the choice of a bulk load's motion trajectory, the choice of a structural configuration of continuous transportation machine, a working traction organ and a drive, a rheological model for the bulk load; an interaction between the working surfaces and the bulk material. The general principles of such models development which allows performing a considerable part of the procedures needed to chose the continuous transportation machines with use of the computer models are presented.

УДК 628.91.678

Анатолій Матвійчук

ОСОБЛИВОСТІ ПОРІЗКИ АВТОТРАКТОРНИХ ШИН ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ ПЕРЕРОБКИ

В роботі описано способи отримання та використання вторинної сировини з автотракторних шин. Проаналізовано відповідні методи механічної обробки. Розглянуто вплив основних факторів на ефективність різання.

За даними комісії при ООН у світі щорічно накопичується понад 8 млн. т зношених шин та інших відходів гуми, причому 87% — у загальній кількості утилізованої гуми, що збирається. Основна концепція полягає у виготовленні готових виробів на основі механічного розрізування. Найширші перспективи в цьому плані відкриваються при виготовленні з вторинної полімерної сировини з тканинним і металевим кордом готових деталей. При цьому маємо можливість виготовляти різні деталі, які можуть мати широке використання. До них відносяться:

- ободи коліс і привідних шківів транспортних засобів та для подрібнення зерна, соломи;
- бичі для очищення гички буряків;
- футерування канатних шківів, футерівок циліндричних поверхонь роликів опор;
- вібраційні подушки амортизаторів технологічного обладнання й оснащення;
- елементи завісів дверей тваринницьких ферм;
- в якості еластичних очисних елементів;
- для багатьох технологічних цілей.

Вторинна сировина з автотракторних шин може широко використовуватися в якості:

- суміші з різними складниками для замашування покриттів, встановлення транспортних переїздів, тротуарного й іншого покриття;
- ізоляційних матеріалів у технологічних комплексах для звукових цілей;

– в якості різних добавок до будівельних матеріалів при виготовленні бітумних матеріалів, мастик, лаків, антикорозійних покриттів та інше;

– енергоносіїв.

Іншими словами, чим коротший виробничий цикл переробки, чим скоріше виходить готовий виріб, тим ефективніший даний спосіб переробки.

В основу способу використання вторинної сировини покладено концепцію отримання готових виробів на основі механічної обробки.

Методи механічної переробки, судячи з огляду патентної літератури, можуть бути реалізовані не тільки в АПК, а й у гірничій промисловості для виготовлення різних вузлів гірничого обладнання, яке працює у важких умовах за наявності абразивного середовища.

Значне місце в цій проблемі займають питання вторинного використання полімерних матеріалів з металевим і тканинним кордами, які широко розповсюджені в техніці у вигляді автотракторних шин, конвеєрних стрічок, шлангів, віброізолюючих пристроїв та ін.

Слід також відзначити, що механічна обробка займає велику питому вагу при виконанні трудомістких операцій, пов'язаних із розкרוюванням і подрібненням вторинної сировини.

У зв'язку з сказаним вище, проблема розробки виробів із вторинної полімерної сировини із металічним кордом є актуальною.

Таким чином, процес виходу з ладу шин і конвеєрних стрічок, з одного боку, і недостатність ефективних методів переробки відходів, що утворюються, з іншого, призводять до неухильного нагромадження цього виду вторинної сировини у величезних масштабах, що загрожують порушенню екологічної рівноваги. За останні роки у науково-технічній літературі спостерігається значне збільшення інформації з переробки й використання зношених полімерних виробів, в основному автотракторних шин. Найбільший рівень переробки цього виду вторинної сировини досягнуто в Японії де переробляється близько 90% усіх автопокришок, що вийшли з ладу, в Німеччині — близько 70% піддається вторинній переробці.

На багатьох автопідприємствах країни утворилися величезні шинні цвинтарі, що займають великі площі. Водночас, поховання шин на смітниках не є вирішенням проблеми. Найчастіше проблема ліквідації величезної кількості шин, що зібралася, проходить шляхом спалювання їх на смітниках, або при використанні як енергоносіїв для опалювання в зимовий час різних виробничих приміщень. Таке непродуктивне використання відходів неприпустиме з погляду забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами.

Звідси очевидно, що проблема вторинного використання автотракторних шин і відходів гумово-технічної промисловості шляхом їхньої переробки винятково актуальна.

Переробці піддаються автотракторні шини, у яких видаляють борти, що містять металеві кільця, а протекторну частину подрібнюють з метою відділення гуми від ниток корду шляхом просівання. Надалі подрібнену гуму переробляють і застосовують для виробництва гідроізоляційних будівельних матеріалів. Кордні відходи містять 16–22% домішок гуми; їх найчастіше використовують замість азбесту в якості наповнювача в низькосортних покрівельних виробках.

Варто наголосити, що в літературі, яка стосується переробки вторинної полімерної армованої сировини, практично немає даних про використання методів механічної обробки для отримання з цього виду сировини готових виробів.

У науково-технічній літературі увага приділена і спеціальним методам переробки шин. Наприклад, фірма BRC Environmental (Великобританія) розробила мікрохвильовий метод переробки. Було встановлено, що, використовуючи мікрохвильову енергію як джерело нагрівання, можна швидко й ефективно здійснювати піроліз зношених шин. Іншим оригінальним напрямком комплексної переробки зношених шин є їхнє розчинення в спеціальному розчиннику. Після розчинення шини одержують будівельні асфальти поліпшеної якості, мастики, бітумні лаки й антикорозійні покриття.

Для створення різання обрешинених кордів і тканин у шинній промисловості використовують дискові зубчасті ножі. Найбільш розповсюджений на практиці так названий російський ніж — цен-

тробіжна пила зі сталі У8А з крупними зубами, направленими в один бік. Такий ніж простий у виготовленні й не потребує спеціальних приладів для заточування. Досить ефективно дискові пили використовують для різання металів. Основні переваги такої обробки: висока продуктивність, економічність, надійність процесу можуть бути перенесені також і на різання полімерних матеріалів, армованих кордом. Але використання таких інструментів для різання вторинного полімерного матеріалу з тканинним кордом у вигляді зношених конвеєрних стрічок, утилізованих і бракованих шин стримується утворенням у процесі різання диму і дрібнодисперсної гарячої стружки, що неприпустимо з точки зору пожежобезпеки і гігієни праці.

В ряді робіт досліджений процес різання обрешиненого текстильного корду ножем типу «різак». При цьому основними параметрами процесу різання є: швидкість подачі каретки V_n , кут закрою матеріалу α_n (цей параметр характеризує процес закрою в шинному виробництві), кут нахилу різальної кромки ножа до площини матеріалу β_n . Процес різання виконується шляхом переміщення каретки з закріпленим на ній ножем по направляючій за допомогою пневмоелектромагнітного привода. Конструкція підвіски ножа дозволяє використовувати змінні леза, що дає можливість змінювати кут нахилу різальної кромки ножа до площини матеріалу β_n .

Плоскі ножі широко використовують на підприємствах шинної галузі для розкрою обрешинених тканин.

У пристрої попередньо надривають кромку корду, а в надрив вводять нагрітий ніж, який є металевою пластиною з різальними кромками, які утворюють кут 150° – 155° . Якщо більш полого передня кромка не встигає перерізати кромку корда, то корд в кінці ріжеться задньою кромкою, в результаті чого кромка корда не зминається. Ніж виготовляють у вигляді пластини з симетрично розміщеними під кутом різальними кромками, які мають центральні ребра по бокових площинах, що переходять за межами різальних кромок у пилоподібний виступ, який попередньо проколює корд. Фірма «Герберт» (Німеччина) пропонує різати прорезинений корд плоским ножем від середини до країв матеріалу.

При всій різноманітності розглядуваних вище конструкцій ножів останні мають досить обмежені області застосування і не можуть бути використані для механічної обробки вторинної полімерної армованої сировини.

Таким чином, для розкрою прорезиненого текстильного корда в шинній промисловості в основному застосовують плоскі різальні інструменти ножового типу, а також дискові фрези. Застосування таких інструментів для розкрою металокордного полотна не доцільно. Відзначається, що при використанні для різання фрези спостерігається інтенсивне теплоутворення і обгорання резини в зоні різу; при цьому інструмент швидко виходить з ладу.

Аналіз науково-технічної і патентної літератури свідчить, що механічна обробка з використанням вібраційного руху різального інструмента широко і успішно застосовується в техніці.

Великий інтерес викликає обробка металів вібраційними різцями. Незважаючи на те, що вібрація в звичайній практиці металообробки є небажаним і шкідливим явищем, у відповідних умовах вона може бути дуже ефективно використана. В процесах чистої обробки — суперфінішуванні, хонінгуванні, притирці — використовують вібраційний рух інструменту. Застосування різання з вібрацією на оптимальних режимах дозволяє вирішити багато актуальних проблем, які стоять перед промисловістю: подрібнення стружки, підвищення оброблюваності матеріалів різанням, підвищення ефективності дії МОР та ін. фізичними особливостями в порівнянні з умовами його різання без вібрацій.

Для різання шин на смуги автор використовує спеціальні дискові фрези. Залежно від конструктивних елементів інструмента розраховують різальний інструмент таким чином, щоб допустимі для нього режими різання забезпечували найбільшу продуктивність.

Для різання автотракторних шин можна використовувати дискові фрези як з одностороннім, так і з двостороннім заточуванням. Кожне з них має свої особливості, але може застосовуватись не в усіх випадках. Через ряд суттєвих недоліків дискової фрези з одностороннім заточуванням рекомендують використовувати дискові

фрези з двостороннім заточуванням, найважливішою перевагою якого є відсутність прогину в радіальному напрямку, що покращує точність обробки. Додатковий прогин зменшує міцність і довговічність різака в кілька разів.

При цьому досліджувався вплив двох основних факторів на сили різання: глибини різання та кута заточування інструмента. В ході розрахунків і дослідів встановлено, що глибина різання має набагато більший вплив на сили різання, ніж кут заточування. При збільшенні глибини різання всі сили зростають більшою мірою, ніж при збільшенні кута заточування. Тому для різака з одностороннім заточуванням глибина різання повинна бути не більшою $0,3R$, при куті заточування не більшому від 200 , щоб забезпечити точність обробки (в такому випадку допустимий прогин не перевищує третини допуску). У зв'язку з відсутністю додаткової осьової сили дискові фрези з двостороннім заточуванням практично не мають обмежень у використанні. Тому для великих глибин різання потрібно використовувати інструмент саме з двостороннім заточуванням.

Проте кут заточування інструмента має теж важливе значення. В ході розрахунків було встановлено, що великий кут заточування робити небажано, адже зростають при цьому сили різання. Тому кут потрібно робити мінімально можливим, але не меншим $0,1$ рад $\approx 6^\circ$. Мінімальний кут заточування лімітується міцністю інструмента. При збільшенні кута збільшуються всі сили. З іншого боку, при збільшенні кута заточування збільшується сила тертя і, відповідно, сила подачі. Тому, зменшуючи кут заточування, потрібно враховувати силу подачі і якщо вона не достатня, спроектувати додатковий механізм подачі.

Потужність різання при розрізуванні шин з кордом визначаємо за формулою:

$$N_{\text{різ}} = \left(F_{\text{тер}} \cdot \left(R - \frac{2}{3} h \right) + P_p \cdot R \right) \cdot \omega$$

де $F_{\text{тер}}$ — величина сили тертя;

R — радіус інструменту;

h — глибина різання;

ω — величина кутової швидкості;

$P_p = 2nkF \sin \beta$ — характеристика дроту і сила його розриву з боку різального інструмента.

Використання дискових фрез дозволяє значно пришвидшити процес переробки автотракторних шин механічним способом, що має важливе практичне значення.

Anatoliy Matviychuk

PECULIARITIES OF CUTTING AND PROBLEMS OF RECYCLING OF AUTOCAR TIRES

Peculiarities of cutting tires with metal and textile cord using the mechanic method have been studied. Special attention to the cutting tool preparation has been paid, range of the angle of the grinding tool has been specified, capacity of cutting tires with cord has been determined.

Key words: peculiarities of cutting, tire, rubber, mechanical cutting, recyclable materials.

ФІЗИКО-МАТИМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.246

Сергій Лупенко

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ КАРДІОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

На основі аналізу сучасних комп'ютерних кардіометричних систем встановлено тенденції розвитку цих систем та обґрунтовано напрями розвитку їх математичного та програмного забезпечення, що дало змогу сформулювати цілий спектр вимог до нього.

Бурхливий розвиток та впровадження в усі сфери діяльності людини сучасних інформаційних систем та технологій, без сумніву, сприяє підвищенню рівня її життя. Повною мірою це стосується і галузі кардіометрії, що займається розробкою та впровадженням інформаційних технологій для діагностики, прогнозування, аутентифікації, контролю та корекції фізіологічного та психологічного стану людини за сигналами серця. Розробка таких інформаційних кардіометричних систем дає змогу суттєво інтенсифікувати процедуру діагностики, прогнозування та аутентифікації стану людини, відкриває можливість проведення комп'ютерних імітаційних експериментів. Вагомим аргументом на користь використання таких систем є підвищення рівня об'єктивності та достовірності аналізу сигналів серця, а саме, аналіз людиною-експертом дуже часто зумовлений природними обмеженнями сприйняття, помилками, що виникають внаслідок втоми та розсіювання уваги, відмінністю у досвіді різних експертів.

Важливим етапом проектування інформаційних кардіометричних систем є створення адекватного та ефективного їх математичного та програмного забезпечення. Якість математичного забезпечення кардіометричних систем суттєво визначає точність та достовірність методів опрацювання кардіосигналів, зумовлює рівень інформативності та репрезентативності діагностичних (аутифікаційних, прогностичних) ознак, впливає на достовірність прийнятих рішень та, певною мірою, зумовлює структуру програмної та апаратної складових проектованої кардіометричної системи.

Метою даної роботи є, на основі аналізу напрямів розвитку сучасних інформаційних систем діагностики, прогнозування, аутифікації, контролю та корекції фізіологічного та психологічного стану людини за сигналами серця, сформулювати вимоги до їх математичного та програмного забезпечення.

На даний час існує велика кількість різних за призначенням, функціями, інформативністю, точністю, достовірністю, математичним, програмним та апаратним забезпеченням інформаційних систем діагностики, прогнозування та аутифікації за циклічними кардіометричними сигналами. Залежно від умов та завдань дослідження, умовно можна виділити такі класи кардіометрії:

- кардіометрія в умовах стаціонару та в амбулаторних умовах,
- кардіометрія у стані спокою людини (пацієнта) та кардіометрія при навантаженнях людини (пацієнта) (фізичних, психологічних, дія препаратів),
- експрес-кардіометрія та комплексна багатфункціональна кардіометрія,
- кардітелеметрія — застосування телеметричних технологій у задачах кардіометрії, наприклад, телемедицина (біометрія в амбулаторних умовах) та популяційні біометричні дослідження із використанням метакомп'ютингу, зокрема, грид-технологій,
- кардіометрія за типом вимірюваних біологічних сигналів: електрокардіометрія, магнітокардіометрія, механокардіометрія, фотокардіометрія, наприклад, фотоплетизмокардіометрія.

Коротко розглянемо відомі інформаційні системи діагностики, прогнозування та аутифікації за циклічними біометричними сигналами.

Залежно від фізичної природи кардіосигналів та методів їх реєстрації у кардіодіагностичних інформаційних системах використовуються такі циклічні сигнали серця як електрокардіосигнали, магнітокардіосигнали, фонокардіосигнали, ехокардіосигнали, сфигмокардіосигнали, фотоплетизмокардіосигнали, реокардіосигнали та інші. На ринку існує багато різних за призначенням, функціями, інформативністю, програмним та апаратним забезпеченням кардіодіагностичних систем. Це, зокрема, такі системи як «КАРДІОЛАБ СЕ», «CARDIOLAB+», «СТРЕС-ТЕСТ», «КАРДІО+», «АНКАР-131», «ВАЛЕНТА ЭКГ», «КАРДІОЛАБ+ФОНО», «СФЕРА-4», «КАРДИО+», «ВАЛЕНТА ФКГ», «РЕОКОМ STANDARD», «РЕАНПОЛИ», «МИЦАР-РЕО», «ВАЛЕНТА РЕО», «MFI APOLLO CXS», «MCG1», «КАРДИОСЕНС АД», «FUKUDA DENSHI CARDIMAX FX326».

Сучасні дослідження серед множини різних методів кардіодіагностики встановили найбільш інформативні. Такими високоінформативними методами є електрокардіографічні, ехокардіографічні, магнітокардіографічні, ритмокардіографічні, сфигмокардіографічні та реокардіографічні методи дослідження серцево-судинної системи та функціонування організму людини загалом.

Як зростання кількості пацієнтів, так і тривалий час дослідження роботи серця призводять до нагромадження даних, що ускладнює їхню обробку та зберігання. Використання телемедицинських сервісів на основі грид-технологій дозволяє в короткі проміжки часу опрацьовувати біометричні дані та забезпечує необхідні обсяги пам'яті на їх збереження. Телемедицина — напрямок медицини, який передбачає використання новітніх інформаційних технологій обробки та передачі даних задля віддаленого консультування, діагностування та терапії [1], а також обміну медичною інформацією. На сьогодні розробкою медичних грид-систем займається значна кількість країн. Із впроваджених медичних грид-систем варто відзначити Medical Grid, Health-e-Child, ACGT, EUMedGrid, SHARE, Infogenmed, CDSS, gPTM3D, BioGRD та інші. Стосовно України слід відзначити проект «Медична Грид-система для популяційних досліджень в галузі кардіології на базі даних електрокардіограм»

(<http://medgrid.immsp.kiev.ua>), основною метою якого є накопичення та інтелектуальна обробка даних ЕКГ обстежень по всій території України, а також Український Академічний Грід, що є національною грід-мережею та передбачає використання в медичній галузі.

З використанням грід-середовища в телемедицині стало можливим нагромадження великих об'ємів даних медичної інформації, що дає змогу проводити популяційні дослідження, навчання спеціалістів, розробку систем підтримки прийняття рішень та порівняння точності й достовірності діагностичних методів. Грід означають як узгоджене, відкрите і стандартизоване середовище, що забезпечує гнучкий, безпечний та скоординований розподіл ресурсів у рамках віртуальної організації [2, 3], де в ролі ресурсів виступають обчислювальні, інформаційні, мережеві ресурси, а також ресурси збереження даних. Значною перевагою грід є додатковий рівень віртуалізації, що забезпечує користувачам лише інформацію про доступний ресурс і не змушує їх заглиблюватись у технологічні аспекти.

До типових недоліків існуючих кардіометричних систем слід віднести такі:

1. Недостатня точність, достовірність (згідно зі статистикою до 20 % діагнозів є неадекватними), інформативність автоматизованої діагностики, аутентифікації, прогнозу.

2. Недостатній розвиток інформаційних систем і технологій сумісної (паралельної) обробки та імітації сукупностей взаємопов'язаних кардіосигналів, які характеризуються спільною ритмічною структурою, що ускладнює розробку інформаційних систем комплексної діагностики, аутентифікації, прогнозу.

3. Недостатній рівень розбудови загальних методів та програмних засобів імітації циклічних сигналів серця, які б, шляхом проведення процедури параметричної ідентифікації, давали змогу керувати характеристиками морфологічного характеру та характеристиками ритму широкого класу імітованих кардіосигналів та забезпечували б необхідний рівень точності та достовірності імітації.

4. Незважаючи на подібність просторово-часової структури

кардіометричних циклічних сигналів, має місце неузгодженість підходів, моделей та методів опрацювання різних за природою циклічних кардіометричних сигналів.

5. Завдання діагностики, прогнозу та аутентифікації за одними і тими ж кардіосигналами вирішуються, виходячи із різних принципів, моделей та методів.

6. Наявність ряду суперечностей та неузгодженостей в інтерпретації опрацьованих кардіосигналів, що зумовлено значним різноманіттям стандартів (методів) їх аналізу та особливостями різних медичних наукових шкіл, зокрема, неоднозначністю трактування багатьох фундаментальних понять у кардіографії, що суттєво ускладнює розробку алгоритмів автоматизованого аналізу кардіосигналів.

Наведені вище недоліки спричиняють і визначають напрями розвитку та вимоги до математичного і програмного забезпечення сучасних інформаційних кардіометричних систем діагностики, прогнозування та аутентифікації. Їх математичне та програмне забезпечення повинно задовольняти вимогам, переліченим нижче.

Група вимог інформативності: а) забезпечувати регулювання необхідного рівня інформативності обробки циклічних біометричних сигналів у широкому діапазоні за рахунок наявності засобів адаптації до вимог стосовно роздільної здатності по їх дискретизації та квантуванню (експрес-діагностика за 1-2 відведеннями ЕКГ, стандартний аналіз ЕКГ за 12-ма відведеннями, аналіз ЕКГ високої та надвисокої роздільної здатності), а також за рахунок адаптації до необхідної кількості каналів реєстрації біометричних сигналів (ЕКГ та МКГ картування, дисперсійне картування, векторкардіографія, дипольна електрокардіотопографія, комплексний сумісний аналіз за сукупністю синхронно зареєстрованих біометричних сигналів електричної, магнітної та акустичної природи); б) забезпечувати високий рівень інформативності (детальності) аналізу серцевого ритму, а саме, аналіз тривалостей не лише R-R-інтервалів, але й тривалостей дрібніших сегментів серцевого циклу: тривалостей зубців P та T, QRS-комплексу, тривалості інтервалу QT і т.п. із використанням сучасних напрацювань у галузі теорії випадкових

процесів та нейромережових технологій; в) мати засоби запровадження нових типів діагностичних, прогностичних та аутентифікаційних ознак біометричних циклічних сигналів, які не впливають із лікарської практики, є прихованими для безпосереднього візуального спостереження за сигналом; г) в системах автоматизованого аналізу ЕКГ методи обробки та прийняття рішень повинні враховувати відомості з інших джерел (вік, стать, конституція тіла, скарги хворого, особливості перебігу захворювання, відомості про біомеханічні властивості серця і т.п.), які не містяться безпосередньо в аналізованих циклічних сигналах, але які обов'язково враховуються лікарем при інтерпретації сигналів; д) мати засоби для розширення сфери застосування відомостей, що отримані опрацюванням циклічних сигналів серця, на діагностику та прогноз стану не лише серцево-судинної системи, а й інших систем організму та організму людини в цілому (діагностика та прогноз регуляторних механізмів організму людини; психологічне тестування, моніторинг та контроль).

Група вимог точності та достовірності обробки: а) мати засоби адаптації до змін ймовірнісних характеристик шумів, наводок, що містяться в методах попередньої фільтрації та виділення тренду біометричних сигналів; б) мати засоби адаптації до змін ритму та морфологічної структури циклічних сигналів, що містяться в методах розбиття (сегментації) на статистично однорідні сегменти довготривалого сигналу; в) для підвищення точності, достовірності та зменшення обчислювальної складності методів та алгоритмів біометрії, для порівняння за цими ознаками існуючих методів. Ці методи та алгоритми необхідно апробувати на великій за обсягом вибірці реальних біометричних сигналів, що відповідають певним станам людини (пацієнта). Технологічно це можна зробити шляхом створення та експлуатації загальнодержавної, загальноєвропейської, світової електронної розподіленої інформаційної системи біометричних досліджень, реалізація якої можлива за рахунок використання засобів метакомп'ютингу, зокрема, прогамних та апаратних засобів ґрид-середовища.

Вимога багатозадачності: бути придатним для використання у

завданнях діагностики, прогнозу та аутентифікації за циклічними сигналами. Бути придатним для використання у задачах експрес-аналізу, діагностик та прогнозу стану в умовах стаціонару, в задачах телемедицини та популяційних досліджень, як у стані спокою, так і при фізичних, психологічних та фармакологічних навантаженнях пацієнта.

Вимога паралелізму: бути придатним для проведення аналізу біометричних циклічних сигналів у паралельних та розподілених обчислювальних засобах, а саме, розроблене математичне та програмне забезпечення повинно бути адаптоване до реалізації на базі обчислювальної кластерної системи з можливістю реалізації у грід-середовищі, що забезпечить високу обчислювальну продуктивність функціонування інформаційних систем діагностики та аутентифікації людини за циклічними біометричними сигналами і, як наслідок, уможливить опрацювання значного обсягу даних, що мають місце при проведенні комплексної кардіодіагностики в стаціонарних умовах, в задачах телемедицини та популяційних досліджень у грід-середовищі.

Вимога доступності: математичне та програмне забезпечення повинно бути доступним, мати невисоку собівартість, що зумовлює його проектування із використанням відкритого програмного забезпечення та реалізації на недорогому апаратному забезпеченні із залученням обчислювальних ресурсів грід-середовища.

Вимога кросплатформенності: програмне забезпечення повинно бути придатним до використання на різних апаратних (Intel, AMD, IBM) та програмних платформах (Windows, Linux, Unix, Mac OS).

Висновки та напрями подальших наукових досліджень.

На основі аналізу сучасних комп'ютерних кардіометричних систем, виявлено тенденції розвитку цих систем та обґрунтовано напрями розвитку їх математичного та програмного забезпечення, що дало змогу сформулювати цілий спектр вимог до нього. Відзначено важливу роль метакомп'ютингу, а саме, програмно-апаратних засобів грід-середовища, оскільки обсяг кардіометричних даних та складність їх

опрацювання (обчислень) є надвеликою. Це обґрунтовує актуальність запровадження телебіометрії, телемедицини, популяційних досліджень, що потребує створення єдиного інформаційного середовища та відповідного йому математичного та програмного забезпечень, на що вказують ряд вітчизняних та закордонних наукових публікацій, функціонування ряду програм та дослідницьких проєктів.

Література

1. Norris A.C. Essentials of telemedicine and telecare / A. C. Norris. — John Wiley and Sons, 2002. — p. 177.
2. Foster I. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations / I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke // International Journal of High Performance Computing Applications. — 2001. — vol. 15 (3), pp. 200–222.
3. Foster I. A security architecture for computational grids / I. Foster, C. Kesselman, G. Tsudik, S. Tuecke // Proc. 5th ACM Conference on Computer and Communications Security Conference, 1998. — pp. 83–92.

Serhiy Lupenko

MODERN COMPUTERIZED CARDIOMETRIC SYSTEMS: TRENDS OF MATHEMATICAL BASIS AND SOFTWARE DEVELOPMENT

On the basis of modern computerized cardiometric systems analysis the trends of development in this field are pointed out. Direction of prospective development of mathematical basis and software are characterized. This enabled the formulation of specifications for specialized software.

УДК 539.3

Михайло Михайлишин

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОПРУЖНОПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ

На основі теорії малих термопружнопластичних деформацій, узагальненої на випадок врахування розвантаження та повторного пластичного деформування, отримано систему розрахункових рівнянь для дослідження процесів термопружнопластичного деформування тонких круглих пластин та знаходження полів залишкових напружень і деформацій, що формуються при цьому. Розроблено ітеративний алгоритм для отримання числових результатів.

Ключові слова: *термопружнопластична деформація, метод додаткових деформацій, залишкові напруження, залишкові деформації, неізотермічний процес, параметр пластичності.*

Багато сучасних відповідальних конструкцій працюють у дуже складних умовах інтенсивного силового та температурного навантаження. Це приводить до виникнення областей пластичного деформування, внаслідок чого змінюються конструктивні параметри конструкції, формуються поля залишкових напружень. Такі явища часто негативно впливають на експлуатаційні властивості конструкцій і можуть приводити до аварій. Поля залишкових напружень і деформацій виникають також в багатьох технологічних процесах, таких як відновлювання робочих поверхонь деталей шляхом наплавлення, зварювання, різні види термічної обробки, формоутворення шляхом пластичного деформування і т.п. Дуже важливо вміти визначати характер цих полів, оскільки вони суттєво впливають на роботу конструкцій.

Для моделювання термопружнопластичного деформування тонкостінних елементів конструкцій використовуємо фізичні спів-

відношення деформаційного типу, які в загальному випадку мають вигляд [1]

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2G} \left(\sigma_{ij} - \frac{3\nu}{1+\nu} \delta_{ij} \sigma_0 \right) + \delta_{ij} \varepsilon^T + \varepsilon_{ij}^p, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ij}^p = \varepsilon_{ij}^{p*} + \frac{\Psi_* - 1}{\Psi_*} (\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^{p*} - \delta_{ij} \varepsilon_0), \quad (2)$$

$$\Psi_* = 3G \frac{\varepsilon_i^*}{\sigma_i}, \quad \varepsilon_i^* = \sqrt{\frac{2}{3} (e_{ij} - \varepsilon_{ij}^{p*})(e_{ij} - \varepsilon_{ij}^{p*})}, \quad (3)$$

$$\sigma_i = \begin{cases} \sigma_s(T) \frac{\varepsilon_i^*}{\varepsilon_s(T)}, & \varepsilon_i^* \leq \varepsilon_s^* = 2\varepsilon_s(T) - \frac{\sigma_i^*}{3G(T)} \\ 2\sigma_s(T) \left(\frac{\varepsilon_i^* + 2\varepsilon_s - \varepsilon_s^*}{2\varepsilon_s} \right)^{\gamma(T)} - \sigma_i^*, & \varepsilon_i^* > \varepsilon_s^* \end{cases}. \quad (4)$$

Тут ε_{ij}^{p*} і σ_i^* — компоненти пластичних деформацій та інтенсивності напружень, які були зафіксовані в даній точці конструкції в момент останнього розвантаження, $G(T)$, $\sigma_s(T)$ — залежні від температури модуль зсуву матеріалу та границя плинності, Ψ_* — параметр пластичності.

Надалі розглянемо тонкі круглі пластинки, для яких має місце плоский напружений стан і фізичні залежності (1), (2) запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} \varepsilon_r^{(k)} &= \frac{1}{E} (\sigma_r^{(k)} - \nu \sigma_\phi^{(k)}) + \varepsilon_T + \varepsilon_r^{p(k-1)}, \\ \varepsilon_\phi^{(k)} &= \frac{1}{E} (\sigma_\phi^{(k)} - \nu \sigma_r^{(k)}) + \varepsilon_T + \varepsilon_\phi^{p(k-1)}, \\ \varepsilon_z^{(k)} &= -\frac{\nu}{E} (\sigma_r^{(k)} + \sigma_\phi^{(k)}) + \varepsilon_T - (\varepsilon_r^{p(k-1)} + \varepsilon_\phi^{p(k-1)}), \end{aligned} \quad (5)$$

або

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(k)} &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\varepsilon_r^{(k)} + \nu \varepsilon_\varphi^{(k)} - (1+\nu) \varepsilon_T - \left(\varepsilon_r^{p(k-1)} + \nu \varepsilon_\varphi^{p(k-1)} \right) \right], \\ \sigma_\varphi^{(k)} &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\varepsilon_\varphi^{(k)} + \nu \varepsilon_r^{(k)} - (1+\nu) \varepsilon_T - \left(\varepsilon_\varphi^{p(k-1)} + \nu \varepsilon_r^{p(k-1)} \right) \right], \\ \varepsilon_z^{(k)} &= -\frac{1}{1+\nu} \left[\nu \left(\varepsilon_r^{(k)} + \varepsilon_\varphi^{(k)} \right) - (1+\nu) \varepsilon_T + (1-2\nu) \left(\varepsilon_r^{p(k-1)} + \varepsilon_\varphi^{p(k-1)} \right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_r^{p(k)} &= \varepsilon_r^{p*} + \frac{\Psi^{*(k)} - 1}{\Psi^{*(k)}} \left(\varepsilon_r^{(k)} - \varepsilon_r^{p*} - \varepsilon_0^{(k)} \right), \\ \varepsilon_\varphi^{p(k)} &= \varepsilon_\varphi^{p*} + \frac{\Psi^{*(k)} - 1}{\Psi^{*(k)}} \left(\varepsilon_\varphi^{(k)} - \varepsilon_\varphi^{p*} - \varepsilon_0^{(k)} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Зауважимо, що тут фізичні співвідношення записані для k – ї ітерації методу додаткових деформацій, який використовується в подальшому для лінеаризації фізичної нелінійності.

Рівняння рівноваги і геометричні співвідношення для круглих пластин, які знаходяться тільки під дією температурного поля, мають вигляд

$$\begin{aligned} \frac{dN_r}{dr} &= \frac{N_\varphi - N_r}{r}, \\ \frac{d}{dr} (rQ_r) &= 0, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{dM_r}{dr} &= \frac{M_\varphi - M_r}{r} + Q_r, \\ \varepsilon_r &= \varepsilon_r^0 + z\chi_r, \quad \varepsilon_\varphi = \varepsilon_\varphi^0 + z\chi_\varphi, \quad -h/2 \leq z \leq h/2, \\ \varepsilon_r^0 &= \frac{du}{dr}, \quad \varepsilon_\varphi^0 = \frac{u}{r}; \\ \chi_r &= \frac{d\theta}{dr}, \quad \chi_2 = \frac{\theta}{r}, \quad \frac{dw}{dr} = -\theta. \end{aligned} \quad (9)$$

Приймаючи лінійний розподіл температури за товщиною, запишемо фізичні співвідношення (6) в узагальнених напруженнях та деформаціях

$$\begin{aligned}
 N_r^{(k)} &= \frac{1}{1-\nu^2} \left[E_0 \varepsilon_{r_0}^{(k)} + E_1 \chi_r^{(k)} + \nu E_0 \varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + \nu E_1 \chi_\varphi^{(k)} - \right. \\
 &\quad \left. - (1+\nu) \left(a_0 T_1^* + \frac{2a_1}{h} T_2 \right) - \left(E_r^{p^{(k-1)}} + \nu E_\varphi^{p^{(k-1)}} \right) \right], \\
 M_r^{(k)} &= \frac{1}{1-\nu^2} \left[E_1 \varepsilon_{r_0}^{(k)} + E_2 \chi_r^{(k)} + \nu E_1 \varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + \nu E_2 \chi_\varphi^{(k)} - \right. \\
 &\quad \left. - (1+\nu) \left(a_1 T_1^* + \frac{2a_2}{h} T_2 \right) - \left(K_r^{p^{(k-1)}} + \nu K_\varphi^{p^{(k-1)}} \right) \right], \\
 N_\varphi^{(k)} &= \frac{1}{1-\nu^2} \left[E_0 \left(\varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + \nu \varepsilon_{r_0}^{(k)} \right) + E_1 \left(\chi_\varphi^{(k)} + \nu \chi_r^{(k)} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - (1+\nu) \left(a_0 T_1^* + \frac{2a_1}{h} T_2 \right) - \left(E_\varphi^{p^{(k-1)}} + \nu E_r^{p^{(k-1)}} \right) \right], \\
 M_\varphi^{(k)} &= \frac{1}{1-\nu^2} \left[E_1 \left(\varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + \nu \varepsilon_{r_0}^{(k)} \right) + E_2 \left(\chi_\varphi^{(k)} + \nu \chi_r^{(k)} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - (1+\nu) \left(a_1 T_1^* + \frac{2a_2}{h} T_2 \right) - \left(K_\varphi^{p^{(k-1)}} + \nu K_r^{p^{(k-1)}} \right) \right],
 \end{aligned} \tag{10}$$

де позначено

$$t = T_1 + \frac{2z}{h} T_2, \quad T_1 = \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} t dz, \quad T_2 = \frac{6}{h^2} \int_{-h/2}^{h/2} t z dz; \quad T_1^* = T_1 - T_0, \tag{11}$$

$$a_j = \int_{-h/2}^{h/2} E \alpha_r z^j dz, \quad \int_{-h/2}^{h/2} E z^j dz = E_j, \quad j = 0, 1, 2.$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} E \varepsilon_{r\varphi}^{p^{(k-1)}} dz = E_{r\varphi}^{p^{(k-1)}}, \quad \int_{-h/2}^{h/2} E \varepsilon_{r\varphi}^{p^{(k-1)}} z dz = K_{r\varphi}^{p^{(k-1)}}. \tag{12}$$

Отримаємо розрахункову систему рівнянь задачі, вибравши в якості розрахункових функцій $N_r^{(k)}$, $M_r^{(k)}$, $u^{(k)}$, $\theta^{(k)}$. Для цього виключимо з перших двох рівнянь $\varepsilon_{r_0}^{(k)}$ і $\chi_r^{(k)}$. Знайдемо

$$\varepsilon_{r_0}^{(k)} = -\nu \varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + \frac{E_2 \tilde{N}_r^{(k)} - E_1 \tilde{M}_r^{(k)}}{E_0 E_2 - E_1^2}, \quad (13)$$

$$\chi_r^{(k)} = -\nu \chi_{\varphi}^{(k)} + \frac{E_0 \tilde{M}_r^{(k)} - E_1 \tilde{N}_r^{(k)}}{E_0 E_2 - E_1^2},$$

де позначено

$$\begin{aligned} \tilde{N}_r^{(k)} &= (1 - \nu^2) N_r^{(k)} + (1 + \nu) \left(a_0 T_1^* + \frac{2a_1}{h} T_2 \right) + E_r^p{}^{(k-1)} + \nu E_{\varphi}^p{}^{(k-1)} \\ \tilde{M}_r^{(k)} &= (1 - \nu^2) M_r^{(k)} + (1 + \nu) \left(a_1 T_1^* + \frac{2a_2}{h} T_2 \right) + K_r^p{}^{(k-1)} + \nu K_{\varphi}^p{}^{(k-1)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Підставляючи знайдені $\varepsilon_{r_0}^{(k)}$ і $\chi_r^{(k)}$ в усі інші рівняння, отримаємо таку систему диференціальних рівнянь першого порядку відносно розрахункових функцій:

$$\begin{aligned} \frac{dN_r^{(k)}}{dr} &= \frac{1}{r} \left[\frac{1}{r} (E_0 u^{(k)} + E_1 \theta^{(k)}) - (1 - \nu) N_r^{(k)} - E_{\varphi}^p{}^{(k-1)} - \left(a_0 T_1^* + \frac{2a_1}{h} T_2 \right) \right], \\ \frac{dM_r^{(k)}}{dr} &= \frac{1}{r} \left[\frac{1}{r} (E_1 u^{(k)} + E_2 \theta^{(k)}) - (1 - \nu) M_r^{(k)} - K_{\varphi}^p{}^{(k-1)} - \left(a_1 T_1^* + \frac{2a_2}{h} T_2 \right) \right], \\ \frac{du^{(k)}}{dr} &= -\nu \frac{u^{(k)}}{r} + \frac{1}{E_0 E_2 - E_1^2} (E_2 \tilde{N}_r^{(k)} - E_1 \tilde{M}_r^{(k)}), \\ \frac{d\omega^{(k)}}{dr} &= -\theta^{(k)}, \\ \frac{d\theta^{(k)}}{dr} &= -\nu \frac{\theta^{(k)}}{r} + \frac{1}{E_0 E_2 - E_1^2} (E_0 \tilde{M}_r^{(k)} - E_1 \tilde{N}_r^{(k)}). \end{aligned} \quad (15)$$

Кільцеві зусилля і момент та відповідні деформації визначаються за формулами

$$\begin{aligned}
 N_{\varphi}^{(k)} - N_r^{(k)} &= E_0 \varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + E_1 \chi_{\varphi}^{(k)} + \frac{1}{1+\nu} \left(E_r^{p(k-1)} - E_{\varphi}^{p(k-1)} - \tilde{N}_r^{(k)} \right), \\
 M_{\varphi}^{(k)} - M_r^{(k)} &= E_1 \varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} + E_2 \chi_{\varphi}^{(k)} + \frac{1}{1+\nu} \left(K_r^{p(k-1)} - K_{\varphi}^{p(k-1)} - \tilde{M}_r^{(k)} \right) \quad (16) \\
 \varepsilon_{\varphi_0}^{(k)} &= \frac{u^{(k)}}{r}, \quad \chi_{\varphi}^{(k)} = \frac{\theta^{(k)}}{r}.
 \end{aligned}$$

Повні деформації в довільній точці конструкції шукають за формулами (9), а напруження — за формулами (6). Розроблено алгоритм розв'язування задачі.

Література

1. Михайлишин М. До питання про фізичні співвідношення деформаційної теорії термопластичності / М. Михайлишин, Б. Головатий // Вісник ТНТУ, 2012. — №2 (66). — с. 88–96.

Mykhaylo Mykhaylyshyn

MATHEMATICAL SIMULATION OF THERMOELASTIC PLASTICITY DEFORMATION OF THIN-WALLED STRUCTURAL ELEMENTS

System of equations for investigation of thermoelastic plasticity deformation processes of thin circular plate and search of residual stress and deformation fields, based on small thermoelasticity-plasticity deformations theory, generalized for the case of unloading and repeated plastic deformations, are obtained.

Key words: *thermoelasticity-plasticity deformation, additional deformations method, residual stresses, residual deformation, non-isothermic process, plasticity parameter.*

УДК 519.6

Михайло Петрик, Дмитро Михалик

ФУНКЦІОНАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ДИ- ФУЗІЇ ДЛЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЇ АЛІФАТИЧНИХ СПОЛУК ЦЕОЛІТАМИ

Реалізовано методика функціональної ідентифікації коефіцієнтів дифузії для процесу адсорбції аліфатичних сполук в цеолітному середовищі з використанням градієнтного методу та аналітичних розв'язків моделі однокомпонентного масопереносу в неоднорідному каталітичному середовищі нанопористих частинок. Проведена ідентифікація коефіцієнтів дифузії для внутрішньочастинкового масопереносу. За результатами ідентифікації виконана перевірка моделей на адекватність експериментальним дослідженням.

Ключові слова: адсорбція, коефіцієнт дифузії, функціональна ідентифікація, цеоліт, математичне моделювання

Застосування сучасних високоефективних методів ідентифікації внутрішньокінетичних параметрів складних розподілених багатокомпонентних систем, якими є багатокомпонентні системи масопереносу в неоднорідних каталітичних середовищах частинок пористої структури, дозволяє оптимально керувати фізичним експериментом, істотно знизити витрати на його проведення, підвищити якість результатів, що визначають фізичну картину досліджуваних явищ і процесів. Питання досліджень різних аспектів моделювання переносу в мікропористих середовищах з різними характеристиками поглинання розглядалося в багатьох працях, серед яких [1 - 4]. У цих роботах виконано теоретичне обґрунтування та наведено результати моделювання систем дворівневого адсорбційного масопереносу в неоднорідних каталітичних середовищах мікропористих частинок, виконано постановки прямих і спряжених крайових задач для отримання градієнтів функціоналів-нев'язок

на основі теорії оптимального управління станами складних систем та реалізовано градієнт-процедуру ідентифікації параметрів внутрішньої кінетики переносу з використанням результатів експериментальних досліджень.

Водночас, важливим залишається питання розробки й застосування до зазначених систем методів функціональної ідентифікації, що дозволяють визначати невідомі параметри та умови не у вигляді чисел, а у вигляді функціональних залежностей від часу або однієї з геометричних координат. Такий підхід дає можливість отримати більш наочну візуалізацію та в динаміці простежити зміну зазначених параметрів.

Постановка прямої задачі ідентифікації. Для відновлення коефіцієнта дифузії D_{intra_m} мікрочастинок m -ого шару пористого середовища отримуємо таку задачу ідентифікації:

$$\frac{\partial q_m(t, r, z)}{\partial t} = D_{intra_m} \left(\frac{\partial^2 q_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q_m}{\partial r} \right), \quad r \in (0, R), (t, z) \in \Omega_{mT}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_m}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad q_m \Big|_{r=R} = k_m c_m(t, z), \quad q \Big|_{t=0} = 0, \quad m = \overline{1, M},$$

де M — кількість шарів Ω_m середовища; q_m , c_m концентрація речовини, в абсорбованому вигляді та в рідині в m -му шарі; R — діаметр сферичних мікрочастинок, що складають структуру пористого середовища; k_m — деякий параметр; $\Omega_{mT} = \Omega_m \times (0, T)$.

Виходячи з наявності експериментальних значень концентрації для процесу адсорбції аліфатичних сполук [5]

$$\bar{q}_m(t, z) \Big|_{\gamma} = g_m(t) \Big|_{\gamma}, \quad t \in (0, T) \quad (2)$$

будемо шукати функціональні залежності коефіцієнтів дифузії D_{intra_m} , як функції від часу, при яких розв'язок q_m початкової задачі (1) буде задовольняти умові (2).

Функціонал-нев'язка, що визначає величину відхилення шуканого значення від його сліду (експериментального значення) має вигляд [3]:

$$J(D_{intra_m}(t)) = \frac{1}{2} \int_0^T \left\| q_m(\tau, R/2, D_{intra_m}(t)) - g_m \Big|_{L_2(\gamma)} \right\|^2 dt \quad (3)$$

Для використання регуляризаційних градієнтних методів ідентифікації змінних у часі коефіцієнтів дифузії, слідуючи [3, 6], градієнта функціонала-нев'язки можна записати у вигляді:

$$\nabla J_{D_{\text{intram}}}^n(t) = \int_0^R \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial q_m}{\partial r} \right) \Psi_m dr, \quad t \in (0, T) \quad (4)$$

Регуляризаційний вираз $n+1$ -го кроку визначення ідентифікуючої функціональної залежності, відповідно до [3, 6], із використанням методу мінімальних помилок, для визначення ідентифікованої функціональної залежності коефіцієнта внутрішньочастинкової дифузії D_{intram}^{n+1} від часу і від координати z шару:

$$D_{\text{intram}}^{n+1}(t) = D_{\text{intram}}^n(t) - \nabla J_{D_{\text{intram}}}^n(t) \frac{\left\| 2q_m \left(D_{\text{intram}}^n; t, \frac{1}{2}, z \right) - g_m(t) \right\|^2}{\left\| \nabla J_{D_{\text{intram}}}^n(t) \right\|^2}, \quad t \in (0, T) \quad (5)$$

де

$$2q_m \left(D_{\text{intram}}^n; t, 1/2, z \right) = 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{D_{\text{intram}}^n \eta_k}{R^2} \int_0^t e^{-\frac{D_{\text{intram}}^n \eta_k^2}{R^2} (t-\tau)} k_m c_m(\tau, z) dt \right), \quad (6)$$

$$\left\| 2q_m \left(D_{\text{intram}}^n; t, 1/2 \right) - g_m(t) \right\|^2 = \int_0^T \left[2q_m \left(D_{\text{intram}}^n; t, 1/2 \right) - g_m(t) \right]^2 dt \quad (7)$$

$$\left\| \nabla J_{D_{\text{intram}}}^n(t) \right\|^2 = \int_0^T \left[\nabla J_{D_{\text{intram}}}^n(t) \right]^2 dt \quad (8)$$

На рисунку 1 наведено експериментальні дані адсорбції [5] та їх апроксимаційну криву. Результати проведеної процедури ідентифікації наведено на рис. 2–5. Для цілісності картини тестування алгоритм ідентифікації мав понад 1500 ітерацій, які умовно розбиті на групи. На рисунках нижче наведено лише найбільш характеристичні: 1 — початкове наближення, 2 — 15^{та} ітерація, 3 — 45^{та} ітерація, 4 — 70^{та} ітерація, 5 — 150^{та} ітерація, 6 — 300^{та} ітерація, 7 — 700^{та} ітерація, 8 — 1100^{та} ітерація, 9 — 1270^{та} ітерація. Для останньої групи ітерацій спостерігається досягнення достатньо стійкої картини профілю, що забезпечує максимальне наближення модельного профілю концентрацій до його експериментального сліду.

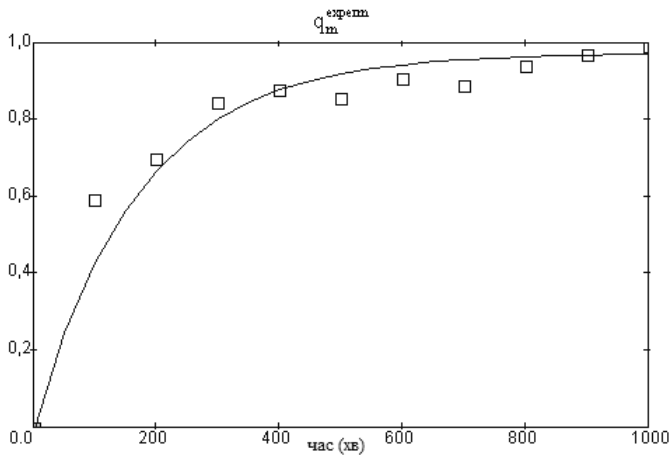


Рисунок 1. Експериментальні дані адсорбції та їх апроксимація.

На рис. 2 наведено процес еволюції функціональної залежності коефіцієнтів внутрішньочастинкової дифузії у часі. В якості початкового наближення для ідентифікації функціональної залежності коефіцієнтів внутрішньочастинкової дифузії прийнято $1,0 \cdot 10^{-8}$. Далі, в міру проходження ітерацій функціональної залежності $D_{\text{intra}}^n(t)$ змінюється по усьому часовому діапазону.

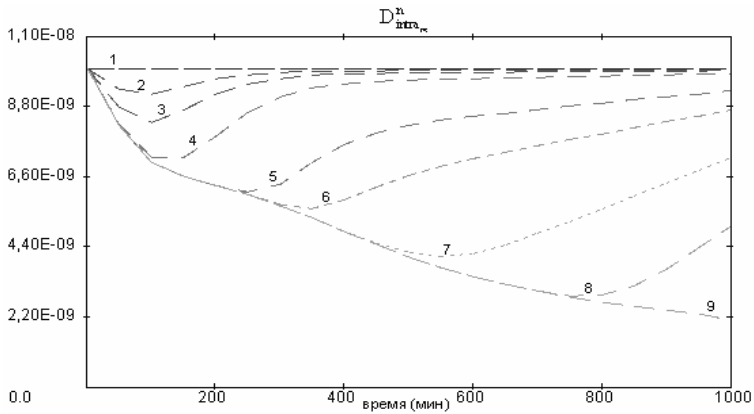


Рисунок 2. Відновлені функціональні залежності коефіцієнтів дифузії D_{intra}^n

На рис. 3 показано процес ітераційного наближення модельного профілю концентрацій q_m^{model} до експериментального сліду q_m^{exper} у повній відповідності з еволюцією функціональної залежності в часі коефіцієнта внутрішньочастинкової дифузії $D_{intra_m}^n(t)$ (рис. 2), отриманого в процесі процедури ідентифікації. Як бачимо з рис. 3, вже на 5–7 групах ітерацій маємо доволі стійку картину збіжності, яка призводить практично до максимально повного наближення модельного профілю концентрації до його експериментального сліду.

Аналогічна картина спостерігається при зміні нев'язки $e_m^n(t)$ по усій протяжності часового інтервалу (рис. 4). На 7–9 групах ітерацій спостерігаємо її практично повне зменшення до нуля, що відповідає отриманню необхідного функціонального розподілу коефіцієнтів дифузії $D_{intra_m}^n(t)$, що призводить до наближення модельного розв'язку до його сліду.

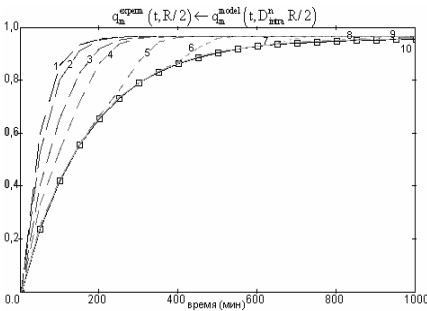


Рисунок 3. Ітераційне наближення модельних концентраційних профілів до експериментального.

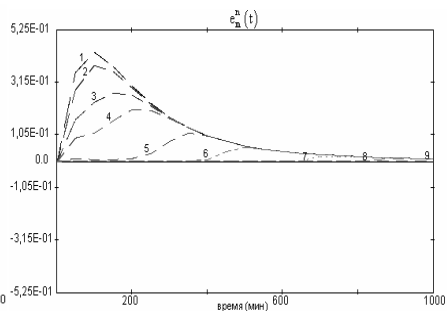


Рисунок 4. Еволюція зменшення нев'язки на кожній ітерації.

Аналогічний аналіз з ідентифікації коефіцієнтів дифузії $D_{intra_m}^n(t)$ виконано для досліджень, що відповідають положенню частинки на вершині та на дні шару (рис. 5, 6). В якості початкового наближення для ідентифікації функціональної залежності коефіцієнтів внутрішньочастинкової дифузії також прийнято $D_{intra_m}^0(t) = 1,0 \cdot 10^{-8}$.

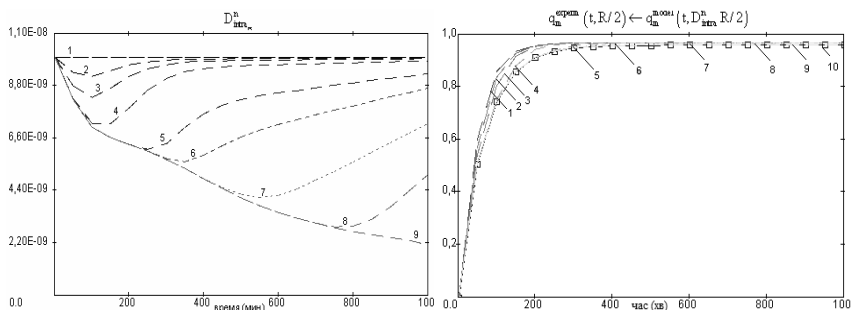


Рисунок 5. Відновлені функціональні залежності коефіцієнтів дифузії $D_{\text{intra}_m}^n$ та ітераційне наближення модельних концентраційних профілів для частинки вершини шару.

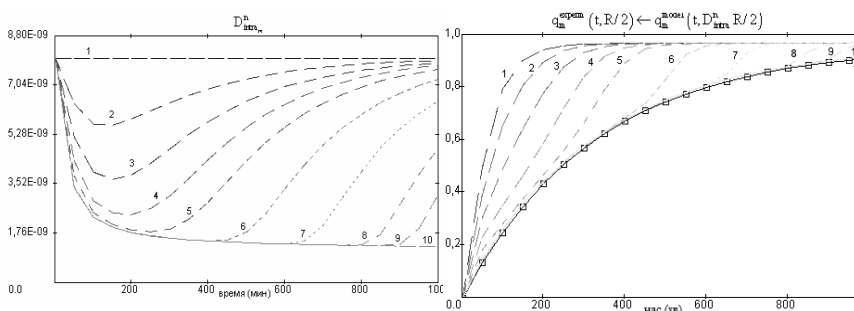


Рисунок 6. Відновлені функціональні залежності коефіцієнтів дифузії $D_{\text{intra}_m}^n$ та ітераційне наближення модельних концентраційних профілів для частинки дна шару

Література:

1. Petryk M. Mathematical modeling and visualization of gas transport in a zeolite bed using a slice selection procedure / M. Petryk, S. Leclerc, D. Canet, J. Fraissard // Diffusion Fundamentals. — 2007. — vol. 4. — P. 11.1–11.23.
2. Petryk M. Modeling of gas transport in a microporous solid using a slice selection procedure: Application to the diffusion of benzene in ZSM5 / M. Petryk, J. Fraissard, S. Leclerc, D. Canet // Catalysis Today. — 2008 — vol. 139(3). — P. 234–240.

3. Deineka V. Identification of Kinetic Parameters of One-Component Adsorptive Mass Transfer in Microporous Catalytic Media / V. Deineka, M. Petryk, D. Mykhalyk // Journal of Automation and Information Sciences. — 2011. — vol. 43, Issue 3, — P. 9–23.
4. Leclerc S. Competitive diffusion of gases in a zeolite using proton NMR and a slice selection procedure / S. Leclerc, M. Petryk, D. Canet, J. Fraissard // Catalysis Today. — 2012. — vol. 187. — 104–107.
5. N’Gokoli-Kekele P. An analytical study of molecular transport in a zeolite crystallite bed / P. N’Gokoli-Kekele, M.-A. Springuel-Huet, J. Fraissard // Adsorption. — 2002. — vol. 8(3). — P. 35–44.
6. Сергиенко И. В. Системный анализ многокомпонентных распределенных систем / И. В. Сергиенко, В. С. Дейнека — Київ: Наукова думка, 2009. — 638 с.

Mykhaylo Petryk, Dmytro Mykhalyk

FUNCTIONAL IDENTIFICATION OF DIFFUSION COEFFICIENTS FOR ADSORPTION PROCESS OF ALIPHATIC COMPOUNDS IN ZEOLITES

The procedure of the functional identification of diffusion coefficients for the process of adsorption of aliphatic compounds in zeolite medium using the gradient method and the analytical solutions of one-component model of mass transfer in heterogeneous catalytic medium nanoporous particles has been conducted. Identification of diffusion coefficients for interparticle mass transfer has been done. According to the identification results, the adequacy of models to experimental research has been proven.

Keywords: *adsorption, diffusion coefficient, functional identification, zeolite, mathematical modeling*

УДК 537.311.3, 538.67

Олександр Крамар

ПРОВІДНІСТЬ ДВОКРАТНО ОРБІТАЛЬНО ВИРОДЖЕНОГО МОТТ-ГАББАРДІВСЬКОГО ФЕРОМАГНЕТИКА

В роботі досліджено особливості статичної провідності матеріалу з двократно орбітально виродженою енергетичною зоною. При довільних температурах з використанням різних форм незбуреної густини електронних станів одержано температурні та концентраційні залежності провідності для заповнення зони $n < 1$. Показано, що феромагнітне впорядкування, обумовлене трансляційним механізмом, якісно змінює поведінку транспортних характеристик мотт-габбардівських систем.

Ключові слова: модель Габбарда, двократне орбітальне виродження, феромагнетизм, статична провідність, ефективна маса носіїв

В останні десятиліття отримано великий обсяг експериментальних даних [1,2], що стосуються транспортних властивостей вузькозонних сполук перехідних металів. Для коректного пояснення особливостей провідності таких матеріалів необхідно разом з трансляцією електронів між вузлами ґратки також враховувати кулонівську взаємодію електронів на вузлі [3,4], яку описує енергетичний параметр U . Якісне пояснення особливостей транспортних характеристик таких систем можливе уже в рамках невиродженої узагальненої моделі вузькозонного матеріалу (див., наприклад, роботи [5,6]). Однак урахування орбітального виродження зони провідності, яке притаманне реальним вузькозонним сполукам перехідних металів, зумовлює певні особливості [7] порівняно із моделлю невиродженої зони. Співіснування переходу Мотта (переходу діелектрик-метал) та феромагнетизму у виродженій моделі при цілому заповненні зони детально розглянуто у роботі [8]. Спроба дослідження особливостей провідності у випадку сильної

кулонівської взаємодії та при врахуванні двократного орбітально-го виродження зони провідності була зроблена у роботах [9,10], однак автори обмежилися розглядом особливих випадків або певних конкретних заповнень зони. У роботах [11–13] було показано, що форма незбуреної густини станів (ГС) визначає критичну концентрацію, при якій виникає спонтанне феромагнітне впорядкування. Разом з тим існує необхідність розширити такий підхід на випадок розрахунку транспортних характеристик вузькозонних систем за наявності феромагнітного впорядкування при ненульових температурах та у зовнішньому магнітному полі.

На основі моделі мотт-габбардівського феромагнетика з двократно орбітально виродженою зоною провідності у роботах [13,14] в режимі сильної кулонівської кореляції та сильного гундівського зв'язку було отримано квазічастинкові енергетичні спектри. У випадку заповнення зони $n < 1$:

$$E_k^{\gamma s} = -\mu + \alpha_{\gamma s} t_k(n) + \beta_{\gamma s} - z J_{\text{eff}} n_s - \eta_s h. \quad (1)$$

Тут коефіцієнт кореляційного звуження підзони

$$\alpha_{\gamma s} = 1 - n + n_s + \frac{2n_{\bar{s}}n_s + n_s n_s}{1 - n + n_s}, \quad (2)$$

та кореляційний зсув центра підзони

$$\beta_{\gamma s} = -\frac{1}{1 - n + n_s} \sum_{\bar{k}} t_{\bar{k}}(n) \left(\langle X_i^{\bar{s}0} X_j^{0,\bar{s}} \rangle_{\bar{k}} + \langle X_i^{\bar{s}0} X_j^{0,\bar{s}} \rangle_{\bar{k}} + \langle X_i^{\bar{s}0} X_j^{0,\bar{s}} \rangle_{\bar{k}} \right), \quad (3)$$

де $t_{\bar{k}}(n) = t_{\bar{k}}(1 - \tau_1 n)$ — концентраційно-залежний інтеграл переносу; τ_1 — безрозмірний параметр корельованого переносу [7]; J_{eff} — ефективний параметр міжатомного обміну, який включає в себе пряму і непряму взаємодію феромагнітного типу (див. [13]); z — число найближчих сусідів; n_s — концентрація електронів зі спіном s на орбіталі γ ; магнітне поле позначене параметром h ; $\eta_s = 1$, якщо $s = \uparrow$, і -1 у протилежному випадку. Оскільки орбіталі рівноправні, то

$$n_{\uparrow} = \frac{n + m}{4}; \quad n_{\downarrow} = \frac{n - m}{4}. \quad (4)$$

Концентрація електронів зі спіном \uparrow та \downarrow при довільній формі ГС $\rho(\varepsilon)$ та температурі $\Theta = k_B T$ визначається виразами:

$$n_{\uparrow} = (1 - n + n_{\uparrow}) \int_{-w(n)}^{w(n)} \frac{\rho(\varepsilon) d\varepsilon}{\exp\left(\frac{E_{\uparrow}}{\Theta}\right) + 1}, \quad n_{\downarrow} = (1 - n + n_{\downarrow}) \int_{-w(n)}^{w(n)} \frac{\rho(\varepsilon) d\varepsilon}{\exp\left(\frac{E_{\downarrow}}{\Theta}\right) + 1}. \quad (5)$$

У записаних вище рівностях напівширина незбуреної зони $w(n) = z|t|$ перенормована процесами корельованого переносу.

Узагальнивши підхід до розрахунку провідності, розроблений у роботах [5,6], на випадок моделі з двократним орбітальним виводженням енергетичної зони, отримуємо:

$$\sigma = -\frac{\sigma_0}{3} \sum_{\gamma s} \beta_{\gamma s} (1 - n + n_s), \quad (6)$$

де σ_0 є комбінацією констант та має розмірність провідності,

$$\beta_{\gamma s} = \frac{2(1 - n + n_s)}{(1 - n + n_s)} \int_{-w(n)}^{w(n)} \frac{\rho(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon}{\exp\left(\frac{E_{\gamma s}}{\Theta}\right) + 1} + \int_{-w(n)}^{w(n)} \frac{\rho(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon}{\exp\left(\frac{E_s}{\Theta}\right) + 1}.$$

Чисельно розв'язавши рівняння (5) для знаходження намагніченості системи, з виразу (6) можемо розрахувати залежність провідності від ступеня заповнення енергетичної зони та дослідити вплив магнітного поля на провідність системи з орбітальним виводженням. Рисунки 1–6 ілюструють особливості поведінки провідності у зовнішньому полі, характерні для різних форм ГС.

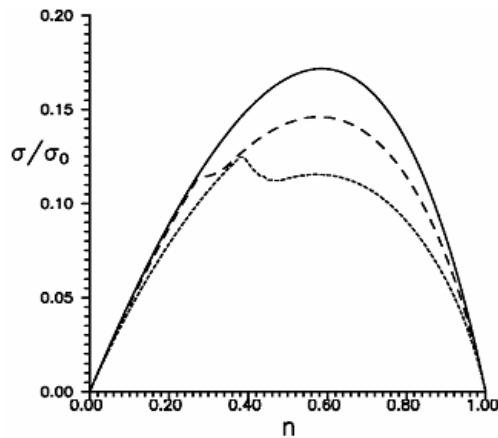


Рисунок 1. Вплив форми густини електронних станів на величину статичної провідності в основному стані при зміні заповнення зони. Суцільна крива: прямокутна ГС; крива з довгим штрихом: напівеліптична ГС; крива з коротким штрихом: ГС, яка відповідає *sc*-ґратці.

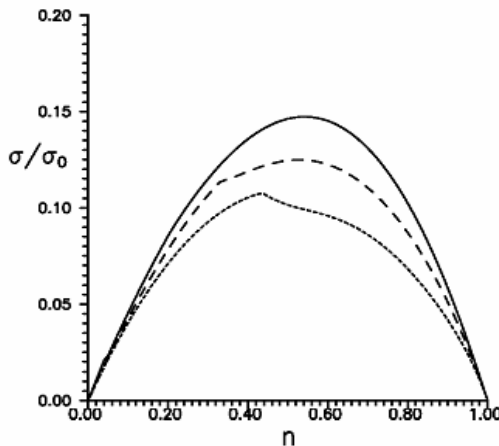


Рисунок 2. Вплив форми густини електронних станів на величину статичної провідності при зміні заповнення зони та температурі $\Theta/w = 0,05$. Суцільна крива: прямокутна ГС; крива з довгим штрихом: напівеліптична ГС; крива з коротким штрихом: ГС, яка відповідає *sc*-ґратці.

Існує суттєва відмінність між концентраційними залежностями провідності для різних типів ґраток (див. рис. 1). Для прямокутної ґС у виродженому випадку реалізується лише насичений феромагнітний стан і концентраційна залежність, зображена суцільною лінією на рис. 1, повністю узгоджується з невиродженим випадком [6]. Для напівеліптичної ґС, яка відповідає гіперкубічній ґратці, при певному критичному значенні концентрації n_1 реалізується феромагнітний перехід другого роду і зростання $\sigma(n)$ сповільнюється аж до концентрації n_2 , при якій феромагнетизм стає насиченим. Ще сильніше цей ефект виражений для простої кубічної ґратки — у концентраційному діапазоні від n_1 до n_2 провідність зменшується при зростанні n , що зумовлено конкуренцією між електричним полем, яке збільшує кінетичну енергію електронів, і процесами феромагнітного впорядкування, яке призводить до локалізації електронів. Подібний результат було отримано у роботі [10] із використанням методу точної діагоналізації. У випадку ненульових температур феромагнітне впорядкування руйнується для деяких концентрацій і тому провідність дещо змінюється (див. рис. 3). В додаток до цього, критична концентрація виникнення впорядкування при $\Theta > 0$ дещо більша, ніж для основного стану. Чим вищою є температура, тим слабшим є вплив магнітного впорядкування на концентраційну залежність σ (як бачимо з порівняння рисунків 1 та 2). Температурні залежності провідності є металічного типу (див. рис. 3). З найнижчої кривої рис. 3, яка відповідає простій кубічній ґратці, чітко видно точку переходу феромагнетик-парамагнетик. З рис. 4 можна бачити, що прикладання магнітного поля згладжує залежності $\sigma(n)$. Проте характерні величини магнітного поля у порівнянні з невиродженим випадком є дещо меншими, що вказує на більшу ефективність трансляційного механізму феромагнітного впорядкування у моделі з двократним орбітальним виродженням.

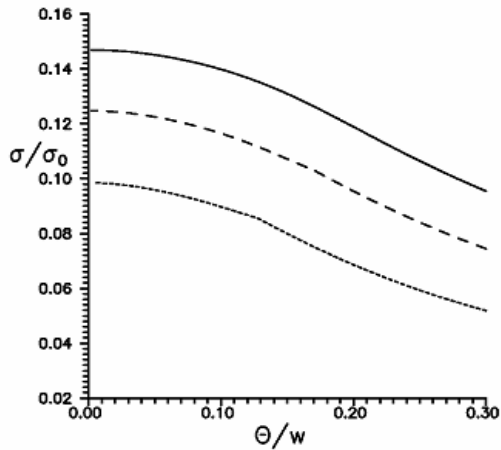


Рисунок 3. Вплив форми густини електронних станів на температурну залежність статичної провідності при $n=0,5$. Суцільна крива: прямокутна ГС; крива з довгим штрихом: напівеліптична ГС; крива з коротким штрихом: ГС, яка відповідає sc -ґратці.

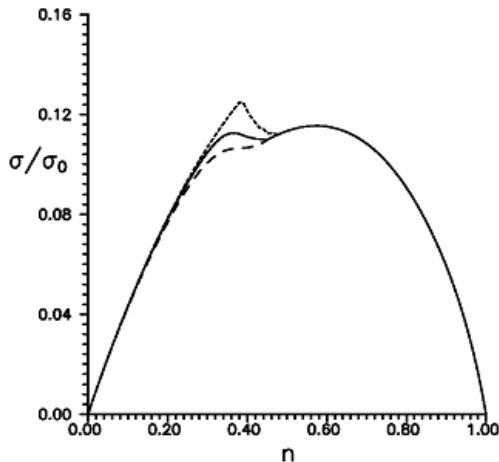


Рисунок 4. Вплив магнітного поля на концентраційну залежність провідності для ГС, яка відповідає sc -ґратці. Крива з коротким штрихом: $h/w=0$; суцільна крива: $h/w=0,03$; крива з довгим штрихом: $h/w=0,06$.

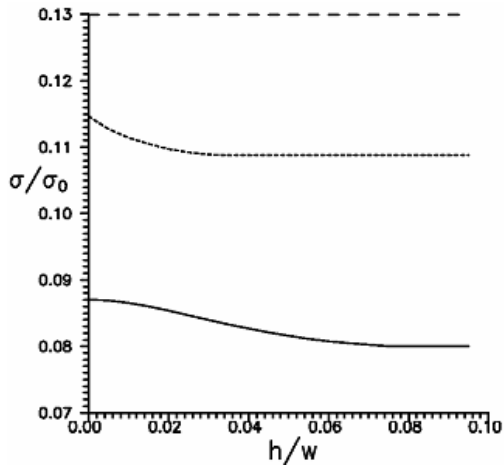


Рисунок 5. Залежність статичної провідності в основному стані від величини магнітного поля (напівеліптична ГС). Верхня крива: $n=0,4$; середня крива: $n=0,3$; нижня крива: $n=0,2$.

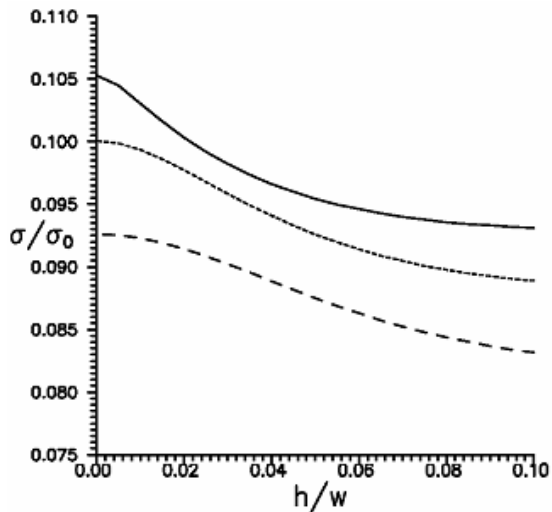


Рисунок 6. Залежність провідності (ГС sc-ґратки) від величини магнітного поля при температурі $\Theta/w = 0,05$. Верхня крива: $n=0,4$; середня крива: $n=0,35$; нижня крива: $n=0,3$.

Прикладене магнітне поле при довільних температурах спричиняє зменшення провідності (див. рис. 5 та 6), зумовлене ефектом магнітного впорядкування. Оскільки вираз для провідності за своєю структурою подібний до виразу для кінетичної енергії електронів, то характер залежності провідності від ступеня заповнення зони в основному визначається формою незбуреної ГС. Це доводить важливість використання реалістичних густин станів при дослідженні транспортних властивостей перспективних вузькозонних систем типу мотт-габбардівських матеріалів.

Література

1. Mott N. F. *Metal-insulator transition* / N.F. Mott. — Taylor & Francis, London, 1990. — 286 p.
2. Fazekas P. *Lecture notes on electron correlation and magnetism* / P. Fazekas. - Singapore: World Scientific Publishing, 1999. — 777 p.
3. Gebhard F. *The Mott metal-insulator transition: models and methods* / F. Gebhard. — Springer, Berlin 1997. — 317 p.
4. Изюмов Ю. А. Материалы с сильными электронными корреляциями / Ю. А. Изюмов, Э.З. Курмаев // УФН. — 2008. — Т. 178. — С. 25–60.
5. Дідух Л. Вплив легування, зміни температури та деформації на електронну провідність матеріалу з сильними електронними кореляціями / Л. Дідух, Ю. Скоренький, О. Крамар, Ю. Довгоп'ятий // Препринт Інституту фізики конденсованого стану НАН України. — 2003. — ІСМР-03-31U. — 30 с.
6. Didukh L. Magnetic field dependence of conductivity and effective mass of carriers in a model of Mott-Hubbard material / L. Didukh, O. Kramar, Yu. Skorenkyu, Yu. Dovhopyaty // *Condens. Matter Phys.* — 2005. — vol. 8, No. 4 (44). — pp. 825–834.
7. Didukh L. Metal-insulator transition in a doubly orbitally degenerate model with correlated hopping / L. Didukh, Yu. Skorenkyu, Yu. Dovhopyaty, and V. Hankevych // *Phys. Rev. B.* — 2000. — vol. 61, No. 12. — pp. 7893–7908.

8. Fresard R. Interplay of Mott transition and ferromagnetism in the orbitally degenerate Hubbard model // R. Fresard, G. Kotliar // *Phys. Rev. B.* — 1997. — vol. 56. — pp. 12909–12915.
9. Marsch E. Electrical conductivity of a doubly-degenerate Hubbard model / E. Marsch, W.-H. Steeb // *Physics Letters A.* — 1976. — vol. 59. — pp. 293–294.
10. Nakano H. Effects of Orbital Degeneracy and Electron Correlation on Charge Dynamics in Perovskite Manganese Oxides / H. Nakano, Y. Motome and M. Imada // *J. Phys. Soc. Jpn.* — 1999. — vol. 68. — pp. 2178–2181.
11. Wahle J. Microscopic conditions favoring itinerant ferromagnetism / J. Wahle, N. Blumer, J. Schlipf, K. Held, and D. Vollhardt // *Phys. Rev. B.* — 1998. — vol. 58, No. 19. — P. 12749–12757.
12. Meyer D. Influence of spin-flip scattering on the stability of ferromagnetism in a two-band Hubbard model / D. Meyer, W. Nolting // *J. Phys.: Condens. Matter.* — 1999. — vol. 11. — pp. 5811–5828.
13. Didukh L. Metallic ferromagnetism in the systems with strongly correlated electrons / L. Didukh, O. Kramar // *Condens. Matter Phys.* — 2005. — vol. 8, No. 3 (43). — pp. 547–564.
14. Didukh L. Metallic ferromagnetism in an orbitally degenerate system of strongly correlated electrons / L. Didukh, O. Kramar and Yu. Skorenkyy // *Physica B: Condensed Matter.* — 2005. — vol. 359–361. — pp. 681–683.

Oleksandr Kramar

CONDUCTIVITY OF THE DOUBLY ORBITALLY DEGENERATE MOTT-HUBBARD FERROMAGNET

In this paper peculiarities of static electrical conductivity in the system with doubly orbitally degenerated energy band are studied. For arbitrary temperatures at different forms of unperturbed density of electronic states the temperature and concentration dependences of transport characteristics for less than half filled lower quasiparticle subband are calculated. The ferromagnetic ordering caused by translational mechanism is proven to change the behavior of transport characteristics qualitatively.

Keywords: *Hubbard model, double orbital degeneracy, ferromagnetism, static electrical conductivity, effective masses of current carriers*

УДК 537.311

Юрій Скоренький**ЛОКАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОНІВ У МАТЕРІАЛАХ ІЗ
АНДЕРСОН-ГАББАРДІВСЬКИМИ ЦЕНТРАМИ**

В роботі досліджено поведінку хімічного потенціалу та ефективної маси носіїв струму в моделі електронної підсистеми матеріалу із періодично розташованими андерсон-габбардівськими центрами. Ефект прикладання зовнішнього тиску враховано шляхом включення в гамільтоніан доданків, які описують фононну підсистему та пружну енергію кристалічної ґратки. Встановлено області значень концентрації електронів, яким характерні різні типи провідності.

Ключові слова: андерсон-габбардівські центри, хімічний потенціал, ефективні маси носіїв струму

Досягнутий в останні роки рівень розвитку нанотехнологій дозволяє виготовляти електронні прилади на основі низькорозмірних систем із наперед заданими властивостями. Теоретичний опис та прогнозування властивостей таких систем проводиться, насамперед, на основі квантово-механічних моделей, які є розвиненнями та узагальненнями моделі Андерсона [1]. На сьогодні надзвичайною увагою користується періодична модель Андерсона [2,3], котра разом із моделлю Габбарда становлять основу для опису властивостей вузькозонних матеріалів. У роботах [4,5] на основі одно- та дводомішкової моделей Андерсона досліджувалася електропровідність систем з квантовими точками. При цьому у гамільтоніані в роботі [5] враховувалися процеси кулонівської взаємодії та гібридизації «зонних» та «локалізованих» рівнів і досліджувалася залежність провідності від величини кулонівської взаємодії між локалізованими електронами.

Модель андерсон-габбардівського матеріалу, яка узагальнює моделі, запропоновані у роботах [2,3], врахуванням особливостей

кореляційних ефектів у вузьких зонах, зокрема корельованого переносу електронів, електрон-фононної взаємодії, була запропонована у роботі [6]. Із застосуванням формалізму функцій Гріна було розраховано квазічастинковий енергетичний спектр як функцію модельних параметрів, температури та зовнішнього тиску. Було показано, що існує граничне значення прикладеного тиску, вище якого ширина енергетичної щілини у квазічастинковому спектрі швидко зменшується при підвищенні температури й система переходить у стан сильно скорельованого металу. У цій роботі досліджено поведінку хімічного потенціалу та локалізацію електронів у моделі [6] матеріалу із андерсон-габбардівськими центрами.

Температурна залежність хімічного потенціалу.

На основі гамільтоніана, який описує локалізовану та зонну підсистему матеріалу із андерсон-габбардівськими центрами а також їх гібридизацію, у роботі [6] було розраховано квазічастинковий спектр локалізованих електронів:

$$E_{1,2} = -\mu + \frac{E_d + E_b(u)}{2} + \frac{U\langle n_\downarrow \rangle}{2} + \frac{t_k(u)}{2} \mp \frac{1}{2} \sqrt{(E_d - E_b(u) + U\langle n_\downarrow \rangle - t_k(u))^2 + 4(V(u))^2}, \quad (1)$$

де μ — хімічний потенціал системи, E_d — глибина залягання локалізованих рівнів, $E_b(u)$ — положення центру зони, U — параметр внутрішньоатомного кулонівського відштовхування, n_σ — концентрація електронів зі спіном σ , $t_k(u)$ — зонний інтеграл переносу електронів, $V(u)$ — параметр гібридизації локалізованих та зонних станів. Спектр (1), розрахований із застосуванням процедури проектування, еквівалентний до відповідних результатів [7, 8], отриманих у варіаційному підході. Відмінною рисою виразу (1) та результатів [7, 8] від результатів наближення спектральної густини та модифікованої сплавної аналогії [9] є наявність гібридизаційної щілини у спектрі навіть у границі $U=0$.

Суттєвою є залежність спектра від температури та параметра деформації ґратки u , рівноважне значення якого визначається з

умови мінімуму термодинамічного потенціалу Гіббса. Дослідимо поведінку хімічного потенціалу μ в парамагнітному стані, використовуючи рівняння для визначення концентрації електронів:

$$\langle n \rangle = -\frac{1}{aw} \ln \left| \frac{e^{-b-aw} + 1}{e^{-b+aw} + 1} \right| + 2 \left[\left(e^{\frac{-\mu}{\theta}} + 1 \right) \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{-\mu}{\theta}} + 1} - \frac{1}{e^{\frac{-\mu+u}{\theta}} + 1} \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

де $a = \frac{1}{\theta} \left(1 + \frac{BV_0}{2w} \bar{u} \right)$; $b = \frac{1}{\theta} (-\mu + E_b(\bar{u}))$, $\theta = kT$. На рисунку 1 наведено результати чисельного розрахунку хімічного потенціалу моделі у випадку напівзаповненої зони, коли можливий перехід метал-діелектрик.

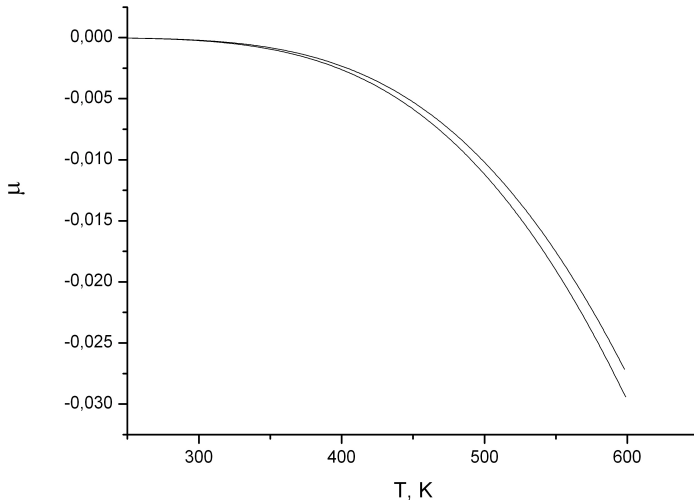


Рисунок 1. Залежність хімічного потенціалу системи від температури. Верхня крива відповідає значенню параметра $\frac{P V_0}{w} = 0$, нижня крива — $\frac{P V_0}{w} = 2$.

Зміна хімічного потенціалу стає доволі різкою для того, щоб матеріал проявляв значні термо-ерс лише в області високих температур. При низьких та помірних температурах виправданим є за-

стосування значення хімпотенціалу для основного стану. Концентрація подвійно зайнятих вузлів у моделі різко зменшується лише у точці переходу з металічного у діелектричний стан [6]. У режимі сильної внутрішньоатомної кореляції ця величина слабо залежить від електрон-фононої взаємодії [10], але є дуже чутливою до відношення параметра кулонівської кореляції до ширини зони [11,12].

Ефективні маси носіїв струму в моделі андерсон-габбардівського матеріалу в режимі сильних кореляцій

Розглянемо андерсон-габбардівську систему, яка описується ефективним гамільтоніаном, отриманим у статті [13]. У цьому випадку рівняння руху для функції Гріна $\langle\langle X_i^{0\uparrow} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle$ має вигляд:

$$E \langle\langle X_i^{0\uparrow} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle = \frac{\langle X_i^0 + X_i^\uparrow \rangle}{2\pi} + E_d \langle\langle X_i^{0\uparrow} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle + \sum_p \varepsilon_p \langle\langle X_p^{0\uparrow} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle + \sum_p \tilde{\varepsilon}_p \langle\langle X_p^{\downarrow 2} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle - \left\langle \sum_{kk'} I_1 (ikk'i) c_{k\downarrow}^+ c_{k'\downarrow} \right\rangle \langle\langle X_i^{0\uparrow} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle + \left\langle \sum_{kk'} I_2 (ikk'i) c_{k\downarrow}^+ c_{k'\downarrow} \right\rangle \langle\langle X_i^{0\uparrow} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle. \quad (3)$$

Тут до трансляційної частини гамільтоніана застосовано наближення типу проектування, а до обмінної частини — наближення середнього поля. Такий підхід виявився плідним у низці робіт (див. [14]) для дослідження особливостей провідності мотт-габбардівських систем. Подібним чином записуємо рівняння руху для функції Гріна $\langle\langle X_p^{\downarrow 2} | X_j^{\uparrow 0} \rangle\rangle$. Таким чином, у границі сильної внутрішньоатомної кулонівської взаємодії енергетичний спектр нижньої підзони матиме вигляд:

$$E_\sigma(\vec{k}) = E_d + \alpha_\sigma t(\vec{k}) + \beta_\sigma + \beta_\sigma^J, \quad (4)$$

де α_σ — спін-залежний коефіцієнт звуження зони; β_σ — спін-залежний зсув центра підзони, обумовлений трансляційними процесами; β_σ^J — спін-залежний обмінний зсув.

Для ефективної маси у парамагнітному випадку отримуємо вираз $m_{eff} = m_0/\alpha$, де m_0 — маса невзаємодіючих носіїв, коефіцієнт кореляційного звуження зони

$$\alpha = 1 - \frac{n^d}{2} \left(1 - \frac{n^d}{2 - n^d} \right), \quad (5)$$

причому n^d — концентрація електронів у локалізованій підсистемі. Будемо вважати, що частина електронів колективізована, тобто ступінь колективізації $x = \frac{2n^d}{n} > 0$. Тоді:

$$\alpha = 1 - \frac{x \cdot n}{2} + \frac{x^2 \cdot n^2}{2(2 - xn)}. \quad (6)$$

Вираз (6) може досягати максимуму в області дозованих концентрацій або монотонно зростати, залежно від легування.

У випадку, коли система знаходиться під впливом зовнішнього тиску або концентрацію електронів у локалізованій підсистемі можна змінювати шляхом легування, від концентраційної залежності ефективної маси локалізованих електронів може суттєво змінюватися (див. рис. 2). Справа у тому, що у випадку, коли всі електрони провідності знаходяться у d -зоні (при $x=1$), отримується залежність, характерна для легованого мотт-габбардівського діелектрика, із концентраційними інтервалами провідності електронного та діркового типів, а коли всі електрони знаходяться у s -зоні ($x=0$), ефективна маса носіїв є чисто зонного типу.

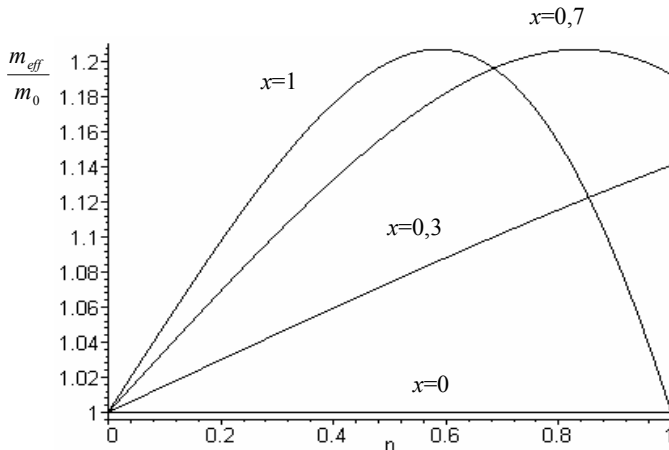


Рисунок 2. Концентраційна залежність ефективної маси при різних ступенях колективізації електронів.

В проміжних випадках, коли електрони розподілені певним чином між d - і s -зонами, в моделі можна досягти як зсуву області максимуму концентраційної залежності ефективної маси до більших значень n , так і повного вилучення інтервалу з дірковим типом провідності.

Висновки.

У моделі матеріалу з андерсон-габбардівськими центрами, яка враховує особливості кореляційних ефектів у вузьких зонах, зокрема корельованого переносу електронів, електрон-фононної взаємодії та в конфігураційному представленні дозволяє явно виділити процеси, які формують квазічастинкові підзони та гібридизаційні процеси, локалізація електронів є наслідком непрямих взаємодій між зонними електронами через локалізовані стани та може домінувати у широкому температурному інтервалі. Значне зростання ефективної маси та її сильна залежність від легування вказує на здатність моделі описувати широкий клас сполук із важкими ферміонами. На відміну від результатів підходу нескінченної вимірності простору, метод проектування в рівняннях руху для функцій Гріна не призводить до наявності квазічастинкового піку на рівні Фермі, проте якісна картина переходу метал-діелектрик залишається вірною.

Література

1. Anderson P. W. Localized magnetic states in metals / P. W. Anderson // *Phys. Rev.* — 1961. — vol. 124. — pp. 41–53.
2. Дидух Л. Д. Эффективный гамильтониан в модели Андерсона / Л. Д. Дидух, И. В. Стасюк // *Физика металлов и металловедение.* — 1968. — Т. 26, № 4. — С. 582–588.
3. Дидух Л. Д. К теории ферромагнетизма с учетом s - d -переходов / Л. Д. Дидух, И. В. Стасюк // *Укр. физ. журн.* — 1968. — Т. 13. — С. 1774–1780.
4. Ping Zhang. Spin-dependent transport through an interacting quantum dot / Ping Zhang, Qi-Kun Xue, Yupeng Wang, and Xie X.C. // *Phys. Rev. Lett.* — 2002. — vol. 89. — 286803 [4 pages].
5. Dias da Silva L. Finite-temperature conductance signatures of

- quantum criticality in double quantum dots / L. Dias da Silva, K. Ingersent, N. Sandler, and S. E. Ulloa // *Phys. Rev. B.* — 2008. — vol. 78. — 153304 [4 pages].
6. Skorenkyy Yu. Phase diagram of metal-insulator transition in systems with Anderson-Hubbard centers / Yu. Skorenkyy, L. Didukh, O. Kramar, Yu. Dovhopyaty // *Acta Physica Polonica B.* — 2012. — vol. 112. — pp. 532–534.
 7. Itai K. Interaction effect in the Kondo energy of the periodic Anderson-Hubbard model / K. Itai, P. Fazekas // *Phys. Rev. B.* — 1996. — vol. 54. — pp. R752-R755.
 8. Hagymasi I. Periodic Anderson model with correlated conduction electrons: Variational and exact diagonalization study / I. Hagymasi, K. Itai, J. Soloyom // *Phys. Rev. B.* — 2012. — vol. 85. — 235116 [13 pages].
 9. Meyer D. Ferromagnetism in the periodic Anderson model: a comparison of spectral density approximation, modified alloy analogy and modified perturbation theory / D. Meyer, W. Nolting. // *Eur. Phys. Journ.* — 2000. vol. 18. — pp.385–395..
 10. Bauer J. Competition between antiferromagnetic and charge order in the Hubbard-Holstein model // J. Bauer, A. C. Hewson // *Phys. Rev. B.* — 2010. — vol. 81. — 235113 [17 pages].
 11. Kotliar G. Landau Theory of the Finite Temperature Mott Transition / G. Kotliar, E. Lange, M. Rozenberg // *Phys. Rev. Lett.* — 2000. — vol. 84. — pp. 5180–5183.
 12. Skorenkyy Yu. Mott transition, ferromagnetism and conductivity in the generalized Hubbard model / Yu. Skorenkyy, L. Didukh, O. Kramar, Yu. Dovhopyaty // *Acta Physica Polonica A.* — 2007. — vol. 111, № 4. — pp. 635–644.
 13. Дідух Л. Д. Ефективний гамільтоніан періодичної моделі Андерсона для опису систем з квантовими точками / Л. Д. Дідух, О. І. Крамар, Ю. Л. Скоренький, Ю. М. Довгоп'ятий, Ю. В. Дрогобицький // *Вісник Тернопільського національного технічного університету.* — 2010. — Т.15, № 4. — С. 168–177.
 14. Didukh L. Metallic ferromagnetism in a generalized Hubbard model / L. Didukh, O. Kramar and Yu. Skorenkyy. — *New Developments*

in Ferromagnetism Research. Ed.: V. N. Murray. — Nova Science Publishers, Inc. — 2005. — pp. 39–80.

Yuriy Skorenkyy

**LOCALIZATION OF ELECTRONS IN MATERIALS WITH
ANDERSON-HUBBARD CENTERS**

Behavior of chemical potential and effective masses of current carriers in the model of a strongly correlated system with periodically spaced Anderson-Hubbard centers has been studied. Effect of the external pressure has been taken into account in the Hamiltonian terms which describe phonon subsystem and elastic energy of crystal lattice. The concentration regions with different types of conductivity have been identified.

Keywords: *Anderson-Hubbard centers, chemical potential, effective masses of current carriers*

УДК 681.518.3

Олександр Мацюк, Микола Приймак

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАМИ У ВИГЛЯДІ ЛІНІЙНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ

Побудовано та досліджено математичну модель електроретинограми у вигляді лінійного випадкового процесу. Запропоновано підхід і розроблено метод та наведено статистику для оцінки ядра лінійного випадкового процесу, як моделі електроретинограми.

Для проведення діагностування по електрофізіологічних сигналах (зокрема ЕРГ) із використанням статистичного підходу перш за все необхідно вибрати чи побудувати нову математичну модель електроретинограм. Це пов'язано з тим, що на основі моделі з'являються можливості визначати діагностичні ознаки, які відповідають різним станам пацієнта; провести вибір діагностичних просторів (навчання) і сформувані за експериментальними даними навчаючі сукупності, які відповідають конкретним захворюванням; побудувати правила прийняття рішення, які реалізуються на основі навчаючих сукупностей шляхом повторної реєстрації ЕРГ.

В статті розглянуто перший етап діагностування — побудова математичної моделі електроретинограми у вигляді лінійного випадкового процесу, а також оцінку ядра моделі ЕРГ.

Обґрунтування моделі електроретинограми.

Аналіз механізму утворення ЕРГ показує, що зорову систему можна з певним припущенням розглядати як лінійну.

У результаті подразнення сітківки світловими імпульсами, на виході, де розміщено давач, ми спостерігаємо вихідний сигнал, тобто ЕРГ. Оскільки послідовність вхідних імпульсів є випадковою, то ЕРГ описується з допомогою випадкового процесу

$$\xi(t) = \sum_{k:\tau_k < t} \alpha_k \varphi(\tau_k, t) \quad (1)$$

де $\{\dots, \tau_{-1} < \tau_0 < \tau_1 \dots < t\}$ — моменти виникнення імпульсів; $\varphi(\tau, t)$

— імпульсна реакція зорової системи, тобто відгук нестационарної системи в момент часу t на одиничний імпульс, що потрапив на вхід у момент часу τ ; α_k — випадкові величини, що характеризують інтенсивність імпульсів.

Вираз (1) можна записати в іншому вигляді. Для цього використаємо випадковий процес з незалежними приростами $\eta(\tau)$, прирости (стрибки) якого в точках росту τ_k являють собою випадкові величини α_k , тобто

$$d\eta(\tau_k) = \eta(\tau_k + 0) - \eta(\tau_k - 0) = \alpha_k, \quad k = \dots -1, 0, 1, \dots \quad (2)$$

При зробленому зауваженні модель ЕРГ можна записати у вигляді стохастичного інтегралу

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\eta(\tau), \quad (3)$$

для якого процес $\eta(\tau)$ ще називають породжуючим процесом. Сам процес $\xi(t)$ називають [1] лінійним випадковим процесом.

Якщо вважати, що зорова система інваріантна в часі, тобто її імпульсна реакція $\varphi(\tau, t) = \varphi(t - \tau)$, а породжуючий процес $\eta(\tau)$ — однорідний, то моделлю ЕРГ буде стаціонарний лінійний процес

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau) d\eta(\tau) \quad (4)$$

Легко показати, що у випадку, коли для лінійного випадкового процесу (3) його породжуючий процес $\eta(\tau)$ однорідний, математичне сподівання для (3)

$$\mathbf{M}[\xi(t)] = \chi_1 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\tau, \quad (5)$$

кореляційна функція

$$R_{\xi}(t_1, t_2) = \chi_2 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t_1) \varphi(\tau, t_2) d\tau, \quad (6)$$

де χ_1 і χ_2 — відповідні кумулянти випадкової величини $\eta(1)$.

Для стаціонарного лінійного випадкового процесу (4) вирази (5) та (6) набувають вигляду

$$\mathbf{M}[\xi(t)] = \chi_1 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx = m = \text{const}, \quad (7)$$

$$R_{\xi}(\tau) = \chi_2 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \varphi(x + \tau) dx. \quad (8)$$

У моделях (1), (3), (4) не бралися до уваги просторові координати точок, у яких розміщені вхід і вихід системи. В загальному випадку імпульсна реакція залежить не тільки від змінних часу τ і t , але й від просторових координат. З урахуванням сказаного, модель ЕРГ можна обґрунтувати у вигляді лінійного випадкового поля

$$\xi(t, \bar{r}) = \int_{-\infty R_3}^{\infty} \int \varphi(\tau, t, \bar{s}, \bar{r}) d_{\tau} d_{\bar{s}} \eta(\tau, \bar{s}) \quad \bar{r} \in Q, t \in T, \quad (9)$$

де τ, t — змінні часу, розглянуті в моделях (1), (3), (4);

\bar{s} — точка в просторі R_3 , де розміщений вхід зорової системи;

\bar{r} — точка розміщення виходу системи, тобто точка, в якій спостерігається ЕРГ;

$\varphi(\tau, t, \bar{s}, \bar{r})$ — імпульсна просторово-часова реакція лінійної системи;

$\eta(\tau, \bar{s})$ — неоднорідне поле з незалежними приростами як по часу, так і по простору, прирости якого характеризують енергетичні характеристики вхідного сигналу.

У випадку, коли зорова система є інваріантною в часі, її моделю є лінійне стаціонарне по часу поле

$$\xi(t, \bar{r}) = \int_{-\infty R_3}^{\infty} \int \varphi(t - \tau, \bar{s}, \bar{r}) d_{\tau} d_{\bar{s}} \eta(\tau, \bar{s}). \quad (10)$$

За умови, що в (9) або (10) просторові координати \bar{s} і \bar{r} — фіксовані, ми отримуємо частковий випадок цих моделей, а саме лінійний процес (3) чи відповідно лінійний стаціонарний процес (4).

Важливо, що для лінійного випадкового процесу (3) в явному вигляді записана його характеристична функція. Якщо породжуючий процес $\eta(\tau)$ є однорідним, то згідно з [1] логарифм одновимірної характеристичної функції у формі Колмогорова процесу (3) визначається виразом

$$\ln f_{\xi}(u, t) = \ln \mathbf{M}[\exp(iu\xi(t))] = imu \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [\exp(iux\varphi(\tau, t) - iux\varphi(\tau, t))] \frac{dK(x)}{x^2} d\tau, \quad (11)$$

де параметри m — математичне сподівання і $K(x)$ — пуассонівський спектр стрибків у формі Колмогорова.

Логарифм n -вимірної характеристичної функції лінійного випадкового процесу у формі Колмогорова, згідно з [1,2] визначається виразом:

$$\ln f_{\xi}(u_1, \dots, u_n; t_1, \dots, t_n) = \ln \mathbf{M} \left[\exp \left(i \sum_{k=1}^n u_k \xi(t_k) \right) \right] = im \sum_{k=1}^n u_k \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t_k) d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\exp \left(ix \sum_{k=1}^n u_k \varphi(\tau, t_k) - ix \sum_{k=1}^n u_k \varphi(\tau, t_k) \right) \right] \frac{dK(x)}{x^2} d\tau, \quad (12)$$

$$n = 1, 2, \dots; t_1, \dots, t_n \in T.$$

Метод характеристичних функцій має велике практичне значення для розв'язання багатьох прикладних задач, при цьому важливу роль відіграють такі факти [1,2]:

- 1) існує взаємно однозначна відповідність між функціями розподілу і характеристичними функціями;
- 2) при використанні характеристичних функцій у зв'язку з її неперервністю і обмеженістю широко використовуються класичні методи функціонального аналізу, який дозволяє проводити аналіз різних видів збіжності рядів характеристичних функцій замість функцій розподілів;
- 3) шляхом використання характеристичних функцій отримуються основні результати теорії ймовірностей, які стосуються доведення центральної граничної теореми для суми незалежних випадкових величин;

4) характеристична функція у випадку існування n перших моментів має неперервні похідні до порядку n включно, що дозволяє з її допомогою значно спростити процес обчислення моментів (кумулянтів) n -го порядку випадкової величини.

Наявність характеристичної функції (12), як зазначено у [3], дозволяє проводити повний аналіз відгуків лінійних систем: знаходити кумулянти, функцію розподілу ймовірності або функцію розподілу відгуку, вивчати розподіл стрибків реалізацій на вході й виході системи, прослідкувати зв'язки між вхідними й вихідними характеристиками лінійних ланок.

Модель ЕРГ у вигляді лінійного випадкового процесу з дискретним часом.

Враховуючи, що до складу ІВС входять пристрої, які здійснюють цифрову обробку сигналів (дискретизації по часу та квантуванню по рівню реальних неперервних сигналів), важливо побудувати модель ЕРГ з дискретним часом. У відповідності з [1-3] лінійним випадковим процесом з дискретним часом називають процес

$$\xi_t = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \varphi_{\tau,t} \zeta_{\tau}, t \in (-\infty, \infty) \quad (13)$$

сформований лінійною системою з дискретною імпульсною реакцією $\varphi_{\tau,t}$, $\sum_{\tau=-\infty}^{\infty} |\varphi_{\tau,t}|^2 < \infty$ при кожному фіксованому t з використанням вхідного білого шуму ζ_{τ} , $\tau \in (-\infty, \infty)$. Процес ζ_{τ} називають породжуючим процесом, не випадкову функцію $\varphi_{\tau,t}$ — ядром зображення (13).

Аналогічно (5) і (6), математичне сподівання і кореляційну функцію для ЛВП з дискретним часом (13) можна записати

$$\mathbf{M}\xi_t = \chi_1 \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \varphi_{\tau,t} \quad (14)$$

$$R_{t_1,t_2} = \chi_2 \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \varphi_{\tau,t_1} \varphi_{\tau,t_2}, \quad (15)$$

де $\chi_1 = \mathbf{M}\zeta_{\tau}$, $\chi_2 = \mathbf{D}\zeta_{\tau}$.

Коли ЛВП з дискретним часом є стаціонарним, тобто $\xi_t = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} \varphi_{\tau-t} \zeta_{\tau}$, то

$$M\xi_t = \chi_1 \sum_{x=-\infty}^{\infty} \varphi_x = const, \tag{16}$$

$$R_{\tau} = \chi_2 \sum_{x=-\infty}^{\infty} \varphi_x \varphi_{x+\tau}. \tag{17}$$

Оцінювання ядра моделі електроретинограм.

На відміну від відомих моделей, запропонована вище математична модель ЕРГ у вигляді лінійного випадкового процесу дає можливість оцінювати його ядро та його характеристики за результатами експерименту.

Розглянемо питання статистичної оцінки ядра лінійного випадкового процесу.

При відсутності фотостимуляції сигнал, який надходить на давач, можна зобразити у вигляді

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-\tau) d\eta(\tau), \quad t \in (-\infty, \infty). \tag{18}$$

де, як зазначалося вище, ядро $\varphi(s)$ має фізичну інтерпретацію імпульсної реакції системи.

Будемо вважати, що ядро $\varphi(\tau)$ має скінчену тривалість T_0 . За цієї умові фотостимули будемо подавати через інтервали $T > T_0$, тобто на всю систему буде надходити періодично з періодом T послідовність імпульсів. При зроблених зауваженнях досліджуваний процес можна зобразити у вигляді

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-\tau) d(\eta(\tau) + I(\tau)), \tag{19}$$

де $\eta(\tau)$ — процес з незалежними приростами, що враховує шумову складову вхідного процесу,

$I(\tau) = I_0 \sum_{n=0}^{N-1} U(\tau - nT)$ — послідовність фотостимулів, I_0 — потужність одного стимулу, причому $I > D(\eta(\tau))$,

$$U(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau \geq 0 \\ 0, & \tau < 0 \end{cases} \text{ — функція Хевісайда,}$$

T - період подачі стимулів, N — кількість стимулів, причому $I_0 > \mathbf{D}[\mathbf{d}\eta(\tau)]$.

При зроблених зауваженнях (19) можна представити у вигляді:

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-\tau) d\eta(\tau) + \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-\tau) dI(\tau), \quad (20)$$

де другий доданок в (20) є послідовністю відгуків стаціонарної лінійної системи з імпульсною реакцією $\varphi(\tau)$ на вплив послідовності — імпульсів, що подаються на її вхід.

В той же час $\varphi(\tau)$ є ядром лінійного випадкового процесу (19), яке нам необхідно оцінити.

Беручи до уваги (7), очевидно, що

$$\mathbf{M}\xi(t) = m + \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-\tau) dI(\tau) = m + I_0 \sum_{n=0}^{N-1} \varphi(t-nT) \cdot U(t-nT) \cdot U((n+1)T-t), \quad (21)$$

$$\text{де } m = \mathbf{M} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t-\tau) d\eta(\tau) \right].$$

Враховуючи, що при синтезі системи реєстрації досліджуваних сигналів неважко буде розробити фільтр, який враховуватиме «постійну складову» вхідного сигналу в (21), прийmemo $m = 0$. На рис.1 проілюстровано сказане вище.

Таким чином, для того, щоб оцінити ядро процесу (18), а в нашому випадку — це оцінити імпульсну реакцію зорової системи, достатньо оцінити математичне сподівання процесу (20) на інтервалі $[0, T_0]$. В якості такої оцінки можна запропонувати

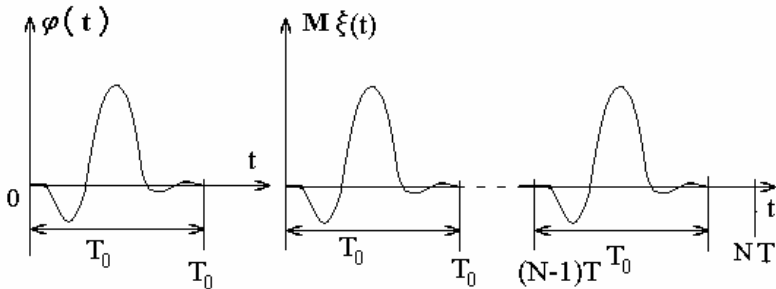


Рисунок 1.

$$m(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \xi(t + nT), \quad t \in [0, T_0]. \quad (22)$$

Таким чином, оцінкою ядра $\hat{\varphi}(\tau)$ процесу (18), яку ми позначимо через $\hat{\varphi}(\tau)$, буде вираз (22), тобто

$$\hat{\varphi}(t) = m(t), \quad t \in [0, T_0]. \quad (23)$$

Зауважимо лише, що в розроблюваній системі оцінка (23) буде будуватися з допомогою цифрових обчислювальних засобів, тобто параметри будуть набувати дискретних значень $t_i = i \cdot \Delta t$, де $\Delta t = T_0 / N$ — крок дискретизації, $i = 0, N - 1$.

В даній роботі отримано такі результати:

– побудовано математичну модель електроретинограми у вигляді лінійного випадкового процесу, якщо враховувати механізм утворення біопотенціалів сітківки ока. Важливо, що побудована модель є придатною для вирішення завдань вимірювання та діагностики;

– запропоновано підхід і розроблено метод та наведено статистику для оцінки ядра лінійного випадкового процесу як моделі електроретинограми.

Наведені статистичні оцінки можуть бути використанні в прикладних дослідженнях діагностики зорового апарату.

Література

1. Марченко Б. Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике / Б. Г. Марченко. — К.: Наукова думка, 1973. — 191 с.
2. Марченко Б. Г. Линейные случайные процессы и их приложения / Б. Г. Марченко, Л. Н. Щербак. — К.: Наукова думка, 1975. — 143 с.
3. Марченко Б. Г. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович — К.: Наукова думка, 1992. — 192 с.
4. Приймак М. В. Математичне моделювання та застосування теорії критеріїв Неймана-Пірсона в задачах діагностики / М.В. При-

ймак, О. В. Мацюк, М. Є. Фриз // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький: Вид.-во Технологічного ун.-ту Поділля. — 1999. — №1. — С.12–17.

Oleksandr Matsiuk, Mykola Pryjmak

**MATHEMATICAL MODEL OF AN ELECTRORETINOGRAM IN
FORM OF A LINEAR STOCHASTIC PROCESS**

Mathematical model of an electroretinogram in form of a linear process has been built and analyzed. For this purpose, the approach has been proposed and the method has been elaborated, statistical data for estimation of the kernel of a linear stochastic process has been given.

УДК 620.034.15

Олег Ясній, Віталій Бревус

ЙМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРЕС-КОРОЗІЙНОГО РОЗТРИСКУВАННЯ МАТЕРІАЛУ ПАРОПЕРЕГРІВАЧІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Об'єднання тріщин відіграє важливу роль в їх підростанні при корозійному розтріскуванні під напругою. Авторами змодельовано стрес-корозійне розтріскування матеріалу пароперегрівачів теплових електростанцій за методом Монте-Карло внаслідок випадковості зародження мікротріщин. Об'єднання та поширення тріщин здійснювали згідно концепції лінійної механіки руйнування.

Ключові слова: *корозійне розтріскування під напругою, метод Монте-Карло*

Колектори пароперегрівачів є важливими елементами конструкцій теплових електричних станцій (ТЕС), раптове руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків. Тому контроль деградації матеріалу колекторів і своєчасне виявлення пошкоджень є важливими проблемами безпечної експлуатації ТЕС.

У робочому стані у колекторах підтримується тиск водяної пари 14 МПа при температурі 500 °С, що потребує використовувати сталі з високими межами міцності й теплостійкості.

Згідно з ДСТУ «Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять» корозійне розтріскування — це руйнування металу, спричинене одночасною дією корозивного середовища та зовнішніх або внутрішніх розтягових статичних напруг з утворенням череззеренних або міжзеренних тріщин [1].

При корозійному розтріскуванні за одночасної дії корозійного середовища і тривалих статичних розтяжних напружень, менших межі текучості, руйнування відбувається крихко, тріщини утворюються в площинах, нормальних до напрямку розтяжних напруг. Зокрема, у праці [2] отримано залежність часу до розтріскування від

величини розтяжних напруг, встановлено, що зі зменшенням розтяжних напруг час до розтріскування збільшується.

Характерною особливістю корозійного розтріскування під напругою є те, що тріщини зароджуються в різних ділянках, утворюючи сітку [3]. Довговічність елементів конструкцій визначається кінетикою росту та об'єднання тріщин.

Метою роботи є моделювання процесу зародження, розвитку та об'єднання поверхневих півеліптичних тріщин у матеріалі колектора пароперегрівача ТЕС в умовах стрес-корозії.

При корозійному розтріскуванні під напругою початково гладких поверхонь металу під впливом напружень та корозії відбувається зародження та об'єднання мікротріщин, їх ріст та поява макротріщин і, нарешті, руйнування. Оскільки зародження мікротріщин є випадковим, то його моделювали методом Монте-Карло. Припускали, що тріщини ростуть та об'єднуються детерміновано за підходами лінійної механіки руйнування.

Кількість співмірних із розмірами зерна матеріалу можливих тріщин, що можуть зародитися, визначається площею модельованої ділянки S_m , час зародження розподілений експоненціально. Координати та розміри тріщин розглядали нормально та рівномірно розподіленими випадковими величинами, відповідно.

Моделювання процесу корозійного розтріскування під напругою.

Вважаємо, що початкові тріщини, співмірні із діаметром зерна матеріалу, зароджуються у межах зерна, перпендикулярно до ліній прикладеного напруження, і що тільки одна тріщина може зародитися в певному зерні [4]. Отже, максимально можлива кількість дефектів, що можуть виникнути у модельованій області, рівна

$$N_{max} = \frac{S_m}{S_g}, \quad (1)$$

де S_g — середня площа зерна. Час зародження для кожної з N_{max} тріщин — це випадкове число, отримане згідно експоненціального закону розподілу.

Зародження тріщин моделюється для часу t_i у порядку зростання. Координати центру кожної нової мікротріщини отримуємо згідно рівномірного розподілу для модельованої ділянки, а початкову довжину згідно нормального закону розподілу. Якщо тріщина потрапляє в область зерна (квадратна ділянка), де вже існує мікротріщина, то обчислюємо нові координати. Враховуємо також ефект екранування, тобто, якщо нова мікротріщина потрапляє в зону релаксації напружень вже існуючої, то зародження не відбувається і розрахунок продовжується для наступного значення часу, координат і довжини.

Якщо можливе зародження тріщини, то проводимо об'єднання та ріст мікротріщин для відрізка часу Δt , використовуючи коефіцієнти інтенсивності напружень K_{IA} та K_{IB} для визначення поширення тріщини на поверхні та у глибину, відповідно.

$$\begin{aligned} K_{IA} &= F_{IA} \sigma \sqrt{\pi a}, \\ K_{IB} &= F_{IB} \sigma \sqrt{\pi b}, \end{aligned} \quad (2)$$

де σ — нормальні напруження, a — півдовжина тріщини, b — глибина тріщини, F_{IA} та F_{IB} — поправкові функції для найглибшої точки та точки на поверхні, відповідно.

Розглядаємо пару тріщин. Якщо ліва вершина другої тріщини попадає в активну зону правої вершини першої тріщини, то вони об'єднуються [5, 6]. Радіус активної зони визначаємо за формулою

$$r_c = \frac{k}{\pi} \left(\frac{K_{IA}}{\sigma_{yx}} \right)_{\text{тріщина1}}^2 + \frac{k}{\pi} \left(\frac{K_{IA}}{\sigma_{yx}} \right)_{\text{тріщина2}}^2, \quad (3)$$

де σ_{yx} — межа текучості, k — параметр, що залежить від матеріалу та зовнішнього середовища.

Коли для кількох пар тріщин виконується ця умова, то вибирається та пара, для якої співвідношення d/r_c мінімальне, d — відстань між вершинами тріщин. Глибина новоутвореної тріщини дорівнює найбільшій глибині з двох попередніх тріщин [4].

Якщо для тріщин виконується умова щодо критичної довжини та критичного значення K_{ISCC} , то вони починають рости.

Моделювали ріст та об'єднання тріщин за значення параметра $k = 0,5; 1,0; 1,5$. У кожному випадку проводили по 4 імітації за методом Монте-Карло. Залежності максимальної довжини тріщин від часу для наведених значень k подано на рисунку 1.

Моделювання припиняється, коли максимальна довжина тріщини досягає критичного значення, або коли досягнуто часу кінця імітацій. В іншому випадку процедура повторюється, починаючи із кроку зародження тріщини до перевірки критичної допустимої довжини.

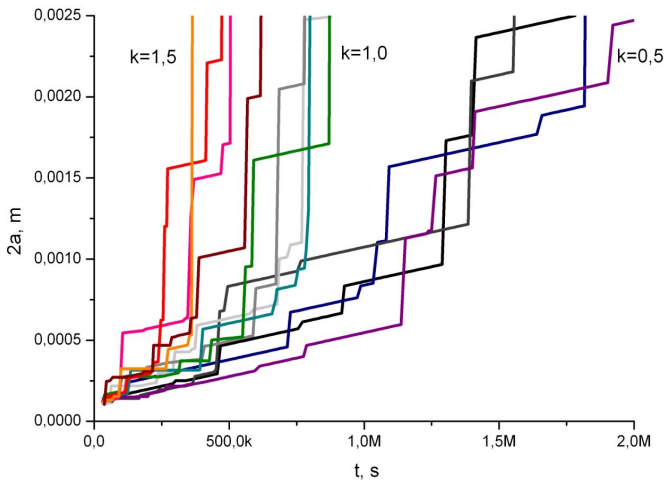


Рисунок 1. Залежність довжини максимальної тріщини від часу для значень параметра $k = 0,5; 1,0; 1,5$.

Отримано, що зі збільшенням параметра k швидкість росту максимальної тріщини зростає.

Висновки. Враховуючи, що час до зародження, координати та довжина зародженої тріщини розглядалися як випадкові змінні, отримані залежності максимальної довжини тріщини від часу експлуатації залежно від розрахункового розміру пластичної зони у вершині тріщини. Виявлено, що зі збільшенням параметра k швидкість росту максимальної тріщини зростає.

Література

1. ДСТУ 3830-98. Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять.
2. Николаев Г. А. Сварка в машиностроении: справочник / Г. А. Николаев, В. А. Винокурова. — М: Машиностроение, 1979. — Т. 3. — 567 с.
3. Металлы. Терминологический словарь в 2-х т / Б. А. Прусакова, М. С. Блантера, В. Я. Кершенбаума, В. А. Богуслаева, С. Б. Беликова, А. Д. Коваля. — Запорожье: МоторСич, 2005. — Т. 1. — 511 с.
4. Keiichiro Tohgo. Monte Carlo simulation of stress corrosion cracking on a smooth surface of sensitized stainless steel type 304 / Keiichiro Tohgo, Hiromitsu Suzuki, Yoshinobu Shimamura, Guen Nakayama, Takashi Hirano // Corrosion Science. — 2010. — vol. 51, No. 9. — pp. 2208–2217.
5. Parkins R. N. The application of stress corrosion crack growth kinetics to predicting lifetimes of structures / R. N. Parkins // Corrosion Science. — 1989. — vol. 29, No. 8. — pp. 1019–1038.
6. Kitagawa H. Small Randomly Distributed Cracks in Corrosion Fatigue / H. Kitagawa, T. Fujita, K. Miyazawa, // ASTM STP 642, American Society for Testing and Materials. — 1978. — pp. 98–114.

Oleh Yasniy, Vitaliy Brevus

PROBABILISTIC MODELING OF STRESS-CORROSION CRACKING OF POWER PLANTS STEAM SUPERHEATERS

Cracks coalescence plays an important role in stress-corrosion cracking. The stress-corrosion cracking in thermal power plants superheaters was simulated by Monte Carlo to describe the random initiation of microcracks. The cracks coalescence and propagate according to concepts of linear fracture mechanics.

Key words. *stress-corrosion cracking, Monte-Carlo method.*

УДК 628.98

Володимир Андрійчук, Ярослав Осадца

ВИМІРЮВАННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА З ДОПОМОГОЮ ФОТОКАМЕР З МАТРИЧНИМИ ОПТИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

В роботі запропонована математична модель фотометра з матричним оптичним перетворювачем. Приведена методика вимірювання світлотехнічних параметрів світлодіодів з допомогою фотокамер з матричними оптичними перетворювачами.

Ключові слова: світлодіод, матричний оптичний перетворювач, світловий розподіл, яскравість, сила світла.

Напівпровідникові джерела світла широко впроваджуються в різні галузі народного господарства [1, 2]. Тому виникає необхідність оперативного контролю їх світлотехнічних параметрів [3, 4]. Для цього пропонується використовувати фотокамеру з матричним оптичним перетворювачем. Тому актуальною є проблема розробки та теоретичного обґрунтування методики вимірювань світлотехнічних характеристик світлодіодів (СД) з допомогою цифрових фотокамер, запису та обробки результатів вимірювань. Необхідність таких вимірювань викликана проведенням вхідного контролю на підприємствах світлотехнічної галузі, котрі виготовляють пристрої з напівпровідниковими джерелами світла.

Метою даної роботи було побудова математичної моделі системи СД — екран — фотокамера, розробка методики вимірювання світлотехнічних параметрів напівпровідникових джерел світла з допомогою цифрових фотокамер; використання інформаційних технологій для запису та обробки експериментальних результатів.

Для визначення світлового розподілу напівпровідникових джерел світла була змонтована експериментальна установка, оптична схема якої зображена на рис. 1. Дана установка складається з до-

сліджуваного світлодіода 1, дифузно пропускаючого екрана 2 та фотокамери 3. Положення фотокамери та досліджуваного СД вибирали таким чином, щоб вони знаходились на одній оптичній осі, перпендикулярній до поверхні екрана.

Освітленість E_M елемента ΔS_2 , який є зображенням ΔS_1 на поверхні матричного оптичного перетворювача, визначали за формулою:

$$E_M = \frac{\tau \cdot e^{-k \cdot x}}{h_2^2} \cdot \frac{\Delta S_{s.o.}}{\Delta S_1} \cdot I_{ij} \cdot \cos^4 \theta \cdot \cos^3 \alpha_{ij} \cdot \frac{4 \cdot \sin^2 \Delta \alpha}{(\cos 2\alpha_{ij} + \cos \Delta \alpha)^2} \quad (1)$$

де τ — коефіцієнт пропускання оптичної системи фотокамери; x — довжина шляху променя в речовині екрана; k — показник послаблення потоку; $\Delta S_{s.o.} = \pi \cdot R^2$ — площа вхідного отвору об'єктива; $\alpha_{ij} = \frac{\alpha_i + \alpha_j}{2}$ — кут, в межах якого сила світла $I_{ij} = const$; $\Delta \alpha = (\alpha_i + \alpha_j) \rightarrow 0$.

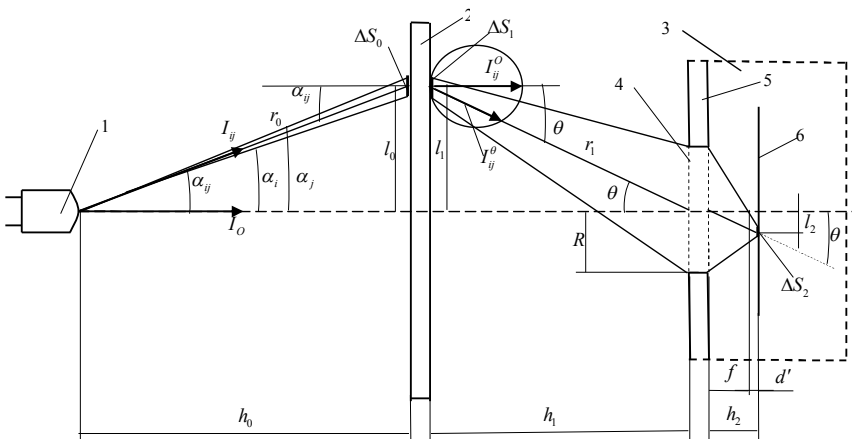


Рисунок 1. Оптична схема системи: СД — екран - фотокамера (1 — СД, 2 — екран с дифузним розсіянням світла, 3 — фотокамера; 4 — вхідний отвір об'єктива фотокамери, 5 — оптична система фотокамери, 6 — поверхня матричного оптичного перетворювача).

Освітленість зображення елемента екрана ΔS_1 , розміщеного на оптичній осі ($\theta = 0$, $\alpha_{ji} = 0$), дорівнює:

$$E_{MO} = \frac{e^{-k \cdot x} \cdot \tau_0}{h_2^2} \cdot \frac{\Delta S_{s.o.}}{\Delta S_1} \cdot I_0 \cdot \frac{4 \cdot \sin^2 \Delta \alpha}{(1 + \cos \Delta \alpha)^2}. \quad (2)$$

З рівнянь (1) та (2) отримуємо рівняння для визначення кривої світлорозподілу світлодіода

$$\frac{I_{ji}}{I_0} = 10^{\frac{Y-Y_0}{a}} \cdot \frac{\cos \alpha_{ji}}{\cos^4 \theta}, \quad (3)$$

де Y , Y_0 — відповідно яскравість зображення елемента екрана в зоні дії I_{ji} та I_0 ; a — експериментальний коефіцієнт, отриманий за результатами градування.

Кольорове зображення елемента світної поверхні представляли в RGB-системі. Для визначення яскравості зображення здійснювали перехід в XYZ-систему. В цій системі координата Y визначає яскравість зображення. Рівняння переходу має вигляд [5]:

$$Y = 0,21 \cdot R + 0,72 \cdot G + 0,07 \cdot B, \quad (4)$$

де R , G , і B — координати кольоровості.

Дослідження проводили для холодно-білого СД марки EDEW-3LS6-B3. В якості екрана використовували пластину з матового скла з коефіцієнтом пропускання $\tau_0 = 0,45$, який попередньо вимірювали з допомогою кульового фотометра ФМШ-56. Відстань h_0 вибирали, виходячи зі стандартних відстаней для визначення усереднених значень сили світла СД, $h_0 = 0,1$ м або $h_0 = 0,316$ м [6]. Для вимірювання параметрів СД використовували фотокамеру OLYMPUS E-420.

Результати вимірювань представляли у вигляді числових матриць у пакеті MATLAB, із котрих за формулою (4) визначали Y -координату, і згідно з (3) знаходили світловий розподіл.

Для вибраного СД попередньо проводили вимірювання світлового розподілу з допомогою гоніофотометра.

На рис. 2 зображено криві світлового розподілу СД EDEW-3LS6-B3, отримані з допомогою фотокамери OLYMPUS E420 (1) і гоніофотометра (2).

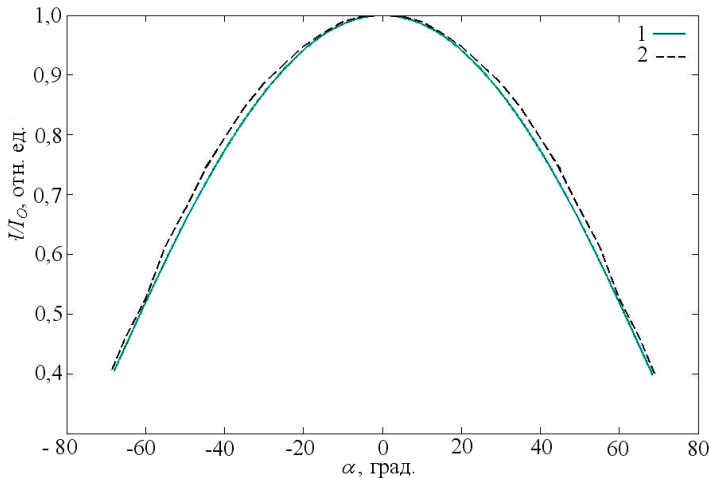


Рисунок 2. Криві залежності сили світла від кута випромінювання СД

За отриманими результатами проведено розрахунок середньоквадратичного відхилення між значеннями, отриманими з допомогою гоніофотометра та фотокамери, та відносної похибки. Значення похибки результатів вимірювань не перевищували 2 %, що підтверджує адекватність запропонованої моделі та представлених математичних розрахунків.

Висновки:

1. Побудовано математичну модель системи для вимірювання світлотехнічних параметрів світлодіодів з допомогою фотокамер з матричними оптичними перетворювачами.
2. Розроблено методику вимірювання світлотехнічних параметрів напівпровідникових джерел світла.
3. Проведено вимірювання світлового розподілу світлодіода EDEW-3LS6-B3. Показано, що похибка вимірювань не перевищує 2 %.

Література

1. Говоров Ф. П. Разработка светодиодных источников света для систем внутрименового освещения / Ф. П. Говоров, Н. И. Носанов, Т. И. Романов // Світлолюкс. — 2010. — №1. — С. 55–59.
2. Билунд Л. Проект «Светодиоды для общего освещения» / Л. Билунд // Светотехника. — 2010. — № 5. — С. 4–5.
3. Справочная книга по светотехнике: [3-е изд., перераб. и доп. / Под. ред. Ю. Б. Айзенберга]. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
4. Коган Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды / Л. М. Коган — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 208 с.
5. Откуда берется формула $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$ для преобразования из цветного RGB-изображения в черно-белое (монохромное)? [Электронный ресурс] / Алексей Игнатенко // Компьютерная графика и мультимедиа. Сетевой журнал. — [Цит. 2010, 7 жовтня]. — Режим доступу до журн.: <http://cgm.computergraphics.ru/node/2203>.
6. Шин О.Г. Особливості фотометрії світлодіодів / О. Г. Шин, В. А. Андрійчук // Світлотехніка та електроенергетика. — 2009. — № 4. — С. 19–23.

Volodymyr Andriychuk, Yaroslav Osadtsa

**MEASUREMENTS OF PHOTOMETRIC PARAMETERS OF
THE SEMICONDUCTING LIGHT SOURCES WITH USE OF
PHOTOGRAPHIC CAMERA WITH OPTICAL SENSOR ARRAY**

Mathematical model of a photometer with optical transducer array is developed. The method of measuring photometric parameters of light emitting diodes with optical sensor array is described.

Keywords: *of light emitting diodes; optical sensor array; light distribution; brightness; luminous intensity.*

УДК 623.407

**Петро Євтух, Богдан Оробчук,
Олександр Рафалюк, Сергій Піскун**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ МІСТА

У статті розглядається можливість використання радіоканалу в якості каналу зв'язку для передачі даних і принцип побудови та апаратна реалізація інтелектуальної системи диспетчерського керування вуличним освітленням міста на основі персональної електронно-обчислювальної машини.

В наш час важко назвати галузь народного господарства, у якій би не використовувались засоби автоматизації, зокрема автоматизовані системи керування та контролю. Однак, через економічну кризу і недостатнє фінансування темпи впровадження засобів автоматизації у галузі комунального господарства є досить низькими. Не є винятком і стан оновлення технічних засобів, призначених для керування вуличним освітленням та контролю параметрів освітлювальної мережі. Засоби для цих цілей розроблені ще у 60-ті роки використовують застарілу елементну базу, часто виходять з ладу, є громіздкими і дорогими в обслуговуванні, неекономічні у плані споживання електроенергії. В зв'язку зі зростанням в останні роки темпів будівництва житла і промислових об'єктів виникає потреба в обладнанні вуличним освітленням новозбудованих мікрорайонів та прилеглих до промислових об'єктів територій [1].

Основними недоліками систем керування вуличним освітленням, що використовуються в наш час, є:

– низька інформативність (в якості пристроїв виводу інформації використовуються світлові індикатори, що не дає можливості диспетчеру отримувати повну інформацію про стан освітлювальної мережі);

– використання для обміну інформацією телефонних каналів зв'язку, які потребують великих капіталовкладень при впровадженні та є дорогими в обслуговуванні.

Практика останніх років показала, що найбільш доцільною є побудова інтелектуальної системи диспетчерського керування (АСДК) на основі персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ) із використанням в якості каналу зв'язку для передавання даних радіоканалу, що дає можливість забезпечити високу інформативність системи керування, дозволяє зменшити капіталовкладення на впровадження та експлуатацію за рахунок відмови від дорогих земляних робіт при прокладанні кабелів та зменшення витрат на технічне обслуговування.

Згідно з проведеним нами аналізом останніх досліджень і публікацій можна виділити кілька систем автоматичного й автоматизованого управління вуличним освітленням, наприклад, «Омь-свет» (м. Омськ), «ГорСвет» (м. Тюмень), «Аврора» (м. Санкт-Петербург) та інші. В результаті аналізу були виявлені наступні недоліки:

- найбільш розповсюджені системи пропонуються у вигляді так званого комплексу технічних засобів (КТЗ «Промінь» м. Вологда), а не готового рішення;

- інші системи («Омь-свет», м. Омськ) пропонуються у вигляді готового рішення з повного оновлення системи управління освітленням, з новими каналами зв'язку, сучасною комутаційною апаратурою і так далі. Такий комплексний підхід поза сумнівом є добрим, але в багатьох випадках недоступний з економічних причин;

- деякі системи («ГорСвет» м. Тюмень, КТС «Промінь» м. Вологда) поставляються з простим програмним забезпеченням, що забезпечує лише подачу команд і здобуття підтверджень їх проходження, без функцій архівації вимірів і подій у базі даних, складання звітів та іншого [2].

Крім того, в більшості розглянутих систем використовується спеціалізоване, жорстко налагоджене програмне забезпечення (ПЗ), його реконфігурування ускладнене, а інтеграція з іншими системами АСДК і зовсім не розглядається.

Можна також виділити автоматизовану систему керування зовнішнім освітленням (АСКЗО), яка дозволяє керувати пускачами зовнішнього освітлення в 3-х режимах: автоматичному (автономному)

режимі, ручному режимі й режимі управління. Вся інформація про поточний стан зовнішнього освітлення відображається на робочому місці диспетчера. В якості каналу зв'язку з центральним диспетчерським пунктом використовується високошвидкісний завадостійкий цифровий канал GSM із використанням технології GPRS. Відмова від телефонних ліній зв'язку на користь GSM, а також можливість оперативного керування освітленням дає значний економічний ефект і дозволяє окупити систему протягом короткого часу [3].

На даний час знайшло застосування для вуличного освітлення міст програмне забезпечення французької компанії Streetlight Vision, призначене для збору й обробки даних з інтелектуальних баластних опорів світильників і дозволяє контролювати вуличне освітлення по мережі LonWorks і управляти яскравістю світильників. За даними з електронних баластів це ПЗ автоматично ідентифікує несправності вуличних світильників і дозволяє задати графік регулювання яскравості освітлення з метою зниження споживання енергії. Програма Streetligh Vision включає комплект з 6 Web-додатків (Web Portal) і модуль для збору інформації та наповнення бази даних (Data Collect). Використання програми Streetligh Vision у міських системах вуличного освітлення приносить місту не лише економічну вигоду, але й покращує екологію та підвищує безпеку дорожнього руху [4].

Функціонально інтелектуальна система диспетчерського керування вуличним освітленням міста по радіоканалу складається з обладнання центрального диспетчерського пункту керування (ЦДПК) та обладнання контрольованих об'єктів [5].

До складу обладнання ЦДПК входять:

- керуюча ПЕОМ із вмонтованим блоком узгодження з радіоблагоднанням, клавіатурою, дисплеєм та маніпулятором «миша»;

- комплект обладнання каналу зв'язку (модем, прийомопередавач (GSM-модем) з антеною та блок живлення).

До складу обладнання контрольованого об'єкта входять:

- комплект радіоблагоднання (приймопередавач (GSM-модем) з антеною);

- блок керування;
- блок формування сигналів телесигналізації (справності запобіжників та контакторів, наявності фаз) та телекерування (ввімкнення та вимкнення контакторів);
- вузол допускового контролю струму;
- маніпулятор для ведення технологічних радіопереговорів.

ЦДПК забезпечує оперативне керування контрольованими пунктами КП. В якості керуючого елемента використовується стандартна ПЕОМ, на екрані якої відображається поточний стан об'єктів КП. Сигнали керування, які формуються обладнанням ЦДПК по радіоканалу надходять на контрольовані об'єкти. Достовірність переданої по радіоканалу інформації забезпечується використанням CRC — циклічної надлишкової контрольної суми (Cyclic Redundancy Checksum). Структуру системи та обмін даними наведено на рис. 1.

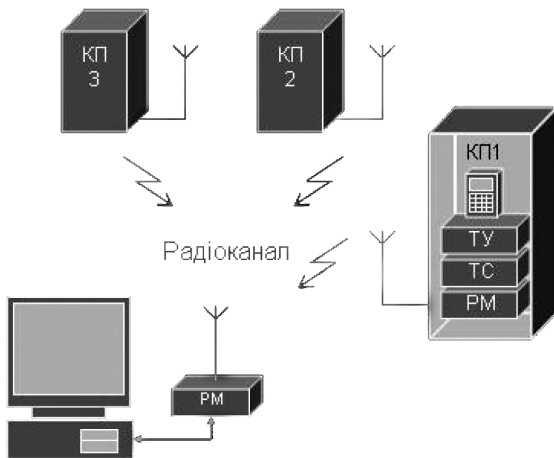


Рисунок 1. Структура інтелектуальної системи та обміну даними

Апаратура КП призначена для прийому керуючих сигналів з ЦДПК, передачі їх на апаратуру телемеханіки, зняття інформації про поточний стан об'єкта та передачі її на ЦДПК.

Встановлення режимів роботи та запит стану об'єктів контрольованих пунктів здійснюється за командами телерадіокерування, які передаються по радіоканалу з автоматичним підтвердженням виконання команд телекерування по телесигналізації.

При самочинній зміні стану контрольованого об'єкта повідомлення про нештатну ситуацію автоматично передається на центральний диспетчерський пункт керування.

Керування контрольованими пунктами здійснюється з клавіатури керуючої ПЕОМ диспетчерського пункту з відображенням інформації про поточний стан об'єктів на дисплеї ПЕОМ у вигляді карти міста з позначеннями контрольованих пунктів (рис. 2) та мнемосхем контрольованих об'єктів (рис. 3).

Канали зв'язку надійно захищені від зовнішніх впливів.

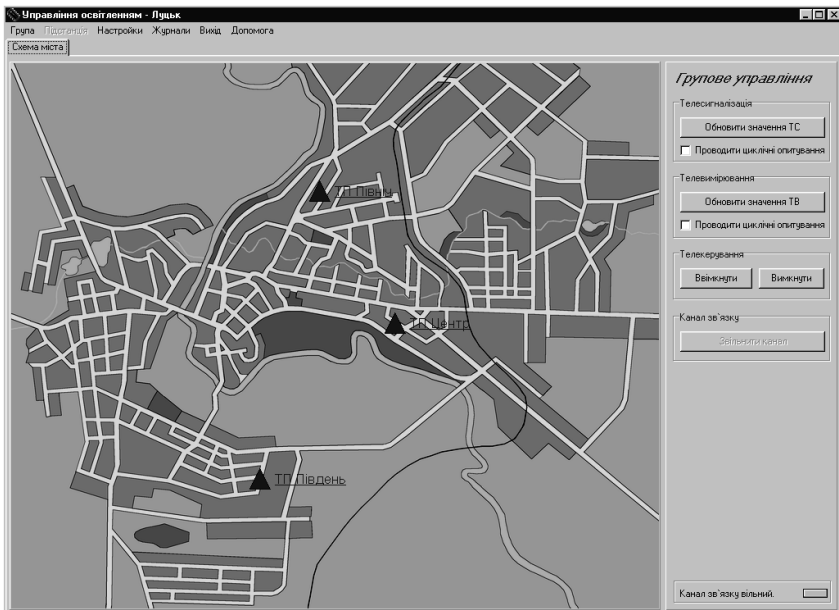


Рисунок 2. Головне вікно програми диспетчерського пункту на прикладі «Луцькміськсьвітло»

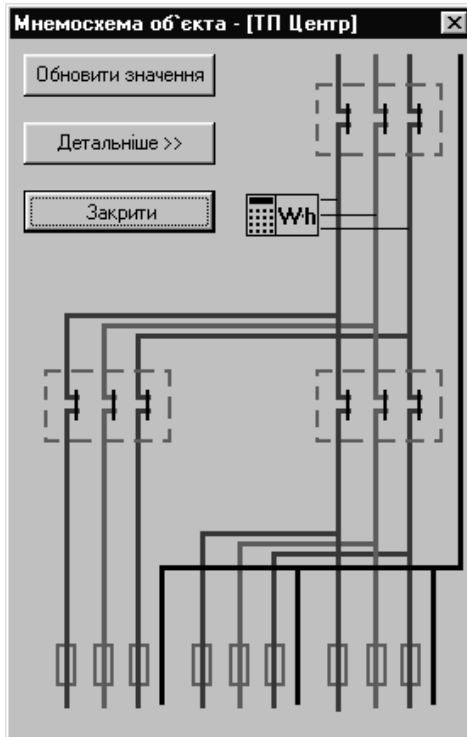


Рисунок 3. Мнемосхема об'єкта

Програмне забезпечення системи автоматично реєструє всі дії диспетчера в оперативному журналі, а всі повідомлення про нештатні та аварійні ситуації на контрольованих об'єктах — в аварійному журналі системи. Програмним забезпеченням системи керування освітленням передбачено реєстрацію усіх подій, що мали місце в процесі роботи у файлах бази даних.

Програма підтримує два типи журналів:

- оперативний (реєструються всі команди, подані диспетчером, та команди, виконані програмою в автоматичному режимі, результати запитів телесигналізації та телевимірювання);

- аварійний (реєструються прийняті з контрольованого об'єкта кодограми нештатних ситуацій).

У журналах реєструються дата, час події та об'єкт, до якого відноситься подія.

Для перегляду журналів розроблено утиліту, яка може бути запущена як з меню програми керування освітленням, так і зі стартового меню Windows.

У програмі перегляду журналів передбачено можливість вибору типу журналу (рис. 4), а також вибіркового відображення інформації (встановлення фільтрів за назвою підстанції, типом об'єкта та датою запису).

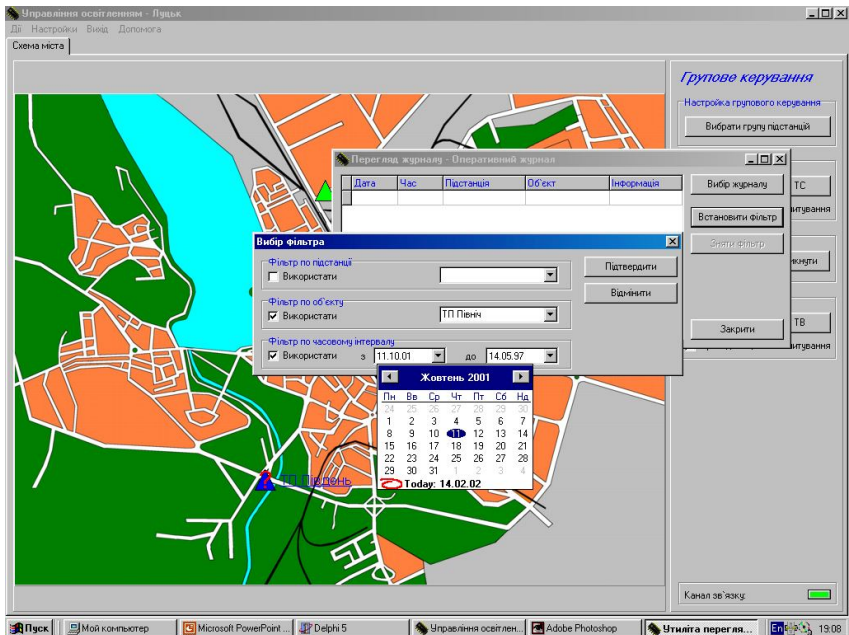


Рисунок 4. Утиліта перегляду журналу та вибору фільтра

Система забезпечує можливість ведення технологічних радіо-переговорів диспетчера з обслуговуючим персоналом КП.

Система надає можливість здійснювати дистанційний контроль електричних параметрів освітлювальної мережі (миттєві значення напруги, струму, потужності, спожита електроенергія), який

реалізовано з використанням сучасних електронних лічильників електроенергії.

Для зменшення витрат часу на керування групою об'єктів система має такі можливості:

- виконати групову команду (вмикання, вимикання, запит стану), для цього диспетчер обирає об'єкти, над якими необхідно виконати певну дію, та обирає функцію «Групова команда»;
- ввімкнути режим каскадного функціонування контрольованого об'єкта, при цьому апаратура самостійно виконує каскадні повторення з наступною перевіркою виконання команди. При виявленні несправності контактора, запобіжника, відводу — апаратура відсилає на ЦДПК сигнал аварійної ситуації з повним описом усіх контрольованих сигналів.

Технічні та експлуатаційні характеристики обладнання

Радіус дії (зона впевненого радіоприйому), км — до 20 (при використанні GSM — необмежений)

Діапазон радіочастот, МГц — 148...173 (система базується на радіочастотах, виділених замовнику Державною інспекцією електрозв'язку або на основі підписаних контрактів національних GSM-операторів).

Кількість контрольованих системою об'єктів — 5000.

Кількість контрольованих сигналів по кожному КП:

- телесигналізація: контроль справності 9 запобіжників;
- телесигналізація: контроль справності контакторів;
- телесигналізація: контроль наявності фаз;
- контроль відхилення струму від допустимих меж по кожній із фаз трьох трифазних ліній;
- телекерування:
 - ввімкнення/вимкнення 1/3 об'єктів освітлення;
 - ввімкнення/вимкнення 2/3 об'єктів освітлення;
 - ввімкнення/вимкнення всіх об'єктів освітлення.

Можливість зняття даних з інтелектуальних лічильників (типи ЕЛ необхідно узгодити).

Можливість ведення технологічних радіопереговорів.

Видача повідомлення про несанкціонований доступ до обладнання КП.

Видача повідомлення про ввімкнення живлення на КП після його відключення.

Комутаційна здатність кіл керування — струм до 5А при змінній напрузі 220 В.

Швидкість передачі даних — 1200, 2400, 4800, 9600 бод.

Висновки. Побудовано інтелектуальну систему диспетчерського керування освітленням міста на основі персональної електронно-обчислювальної машини з використанням радіоканалу зв'язку для передачі даних. Система дає можливість забезпечити високу інформативність системи керування, дозволяє зменшити капіталовкладення на впровадження та експлуатацію за рахунок відмови від дорогих земляних робіт при прокладанні кабелів, зменшити витрати на технічне обслуговування, підтримувати рівень та престиж вітчизняних розробок на рівні світових зразків, бути конкурентноспроможною в даній галузі.

Література

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Под ред. Руденко Ю.М., Семенова В.А. - М.: МЭИ, 2000.
2. <http://www.telescada.ru/>. Комплекс управления уличным освещением «Луч». ООО «ТелеСофт», г. Краснодар.
3. <http://www.asuno.ru/links.html>. ООО «Современные Технологии Автоматизации» г. Псков, ул. Школьная д. 8.
4. <http://www.echelon-lon.ru/news/street-light-control.ahtm>. ПО Streetlight Vision для дистанционного управления уличным освещением по сети LonWorks через удобный Web-интерфейс.
5. Автоматизована система диспетчерського керування (АСДК) «Стріла». Технічний опис і інструкція по експлуатації. — Тернопіль. Тернопільське КБ «Стріла», вул. 15 квітня, 6.

**Petro Yevtuh, Bohdan Orobchuk,
Oleksandr Rafalyuk, Serhiy Piskun**

**SMART CONTROLLING SYSTEM FOR
STREET ILLUMINATION**

The possibility of radio channel use as communication tool for data transmission, principle of organization, hardware implementation of smart controlling system for street illumination on basis of a personal computer are discussed.

УДК 621.314

Володимир Яськів

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

В цій статті описано методи побудови високочастотних напівпровідникових перетворювачів електроенергії (НПЕ), які базуються на використанні аморфних сплавів з прямокутною петлею гістерезису. Пояснюється принцип роботи високочастотних магнітних підсилювачів на прикладі регулятора напруги. Приведено їх порівняльний аналіз з транзисторними аналогами. Показана можливість побудови багатоканальних НПЕ з рівноцінними та незалежними вихідними аналами. Приведено основні технічні дані багатоканальних НПЕ.

Ключові слова: перетворювачі електроенергії, прямокутна петля гістерезису, високочастотні магнітні підсилювачі, ефективність

Надійна робота засобів радіоелектронної апаратури значною мірою визначається рівнем технічних характеристик систем їх енергозабезпечення — напівпровідникових перетворювачів електроенергії (НПЕ). Суттєві переваги імпульсних методів регулювання електричної енергії в порівнянні з лінійними зумовили використання імпульсних НПЕ в цій області техніки [1]. Розробка пристроїв такого роду проводиться у відповідності до таких критеріїв:

- забезпечення функціональних параметрів у повному діапазоні зміни всіх збурюючих факторів;
- забезпечення ефективності;
- забезпечення надійності;
- забезпечення масо-габаритних показників;
- забезпечення прийнятної ціни.

Специфічні вимоги при розробці НПЕ радіоелектронної апа-

ратури визначаються замовником і залежать від області їх використання. Вони такі:

- висока якість вихідної напруги;
- 100 % діапазон зміни струму навантаження;
- низький рівень електромагнітних завад (ЕМЗ);
- високі динамічні характеристики;
- високий рівень струму навантаження тощо.

Крім того, часто функціонування засобів радіоелектронної апаратури вимагає кількох рівнів напруг з різними рівнями струмів навантаження.

Принцип роботи регулятора напруги на основі високочастотного магнітного підсилювача

Сучасні загальноприйняті методи побудови НПЕ не завжди забезпечують оптимальне поєднання їх характеристик згідно з приведеними вище критеріями та вимогами [1]. Ця проблема може бути вирішена з мінімальними затратами як на розробку, так і при серійному виробництві, якщо використати імпульсні регулятори напруги на високочастотних магнітних підсилювачах (ВМП) [2,3,4]. Основу ВМП складає магнітний ключ (МК) — дросель насичення на високочастотному аморфному матеріалі з прямокутною петлею гістерезису (ППГ). Основним хімічним елементом цих сплавів є кобальт (понад 80%). Найкращими експлуатаційними характеристиками володіють аморфні сплави — 84КХСР, 82КХР. Їх технічні характеристики: коефіцієнт прямокутності — 0,9-0,99; індукція насичення — 0,65-0,7Т; напруженість поля повного перемагнічення на частоті 50 кГц — 10-15 А/м. Магнітний ключ використовується як силовий регулюючий елемент. Базова схема імпульсного регулятора напруги на ВМП і осцилограми, що пояснюють принцип її роботи, наведені на рисунку 1.

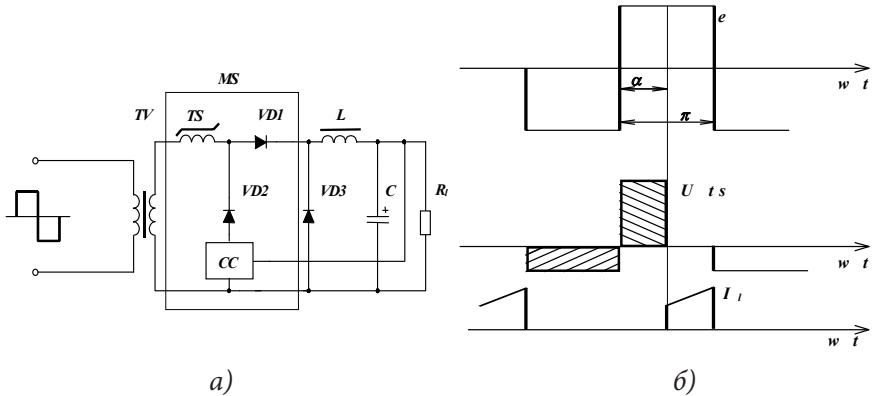


Рисунок 1. Базова схема імпульсного регулятора напруги на МК (а) і осцилограми, що пояснюють принципи її роботи (б)

Робочий цикл цього однообмоткового швидкодіючого магнітного підсилювача забезпечується за рахунок рознесення в часі керуючого та робочого півперіодів випрямним $VD1$ та розмагнічуючим $VD2$ діодами. В півперіод керування, який відповідає від'ємному знаку високочастотної змінної напруги, відбувається розмагнічування дроселя насичення ВМП з обмеженням швидкості перемагнічення (режим джерела струму) в функції сигналу керування. При зміні знаку напруги досягнутий рівень індукції запам'ятовується і починається робочий півперіод — перемагнічення в режимі е.р.с., який складається з двох ділянок: самого перемагнічення з запам'ятованого рівня індукції до індукції насичення B_s , та насиченого стану ключа, під час якого в колі протікає силовий струм, що визначається опором навантаження. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) й робочий півперіод забезпечується зміною глибини розмагнічення в функції сигналу керування в керуючий півперіод, що зумовлює зміну співвідношення часів насиченого та ненасиченого станів МК у межах одного періоду.

Переваги магнітного ключа в порівнянні з транзисторним є суттєвими:

- МК є ключем змінної напруги;
- не критичний до форми вхідної напруги;

- коефіцієнт підсилення по струму до 1000;
- простота схеми керування (1-2 транзистори в лінійному режимі);
- не є джерелом електромагнітних завад;
- є фільтром вхідних завад (як в ненасиченому, так і в насиченому станах);
 - високий к.к.д. (99%), втрати не залежать від струму навантаження;
 - висока радіаційна та механічна стійкість;
 - не вимагає захисту (сам слугує елементом захисту транзисторного перетворювача);
 - багатофункціональність: підсилювач потужності, силовий комутаційний елемент, широтно-імпульсний модулятор, виконує функції інтегратора, компаратора, елемента захисту.

Такі регулятори під'єднані до вторинних обмоток високочастотного силового трансформатора інвертора дозволяють отримати багатоканальні НПЕ з рівноцінними і незалежними вихідними каналами. Структурна схема таких НПЕ наведена на рисунку 2.

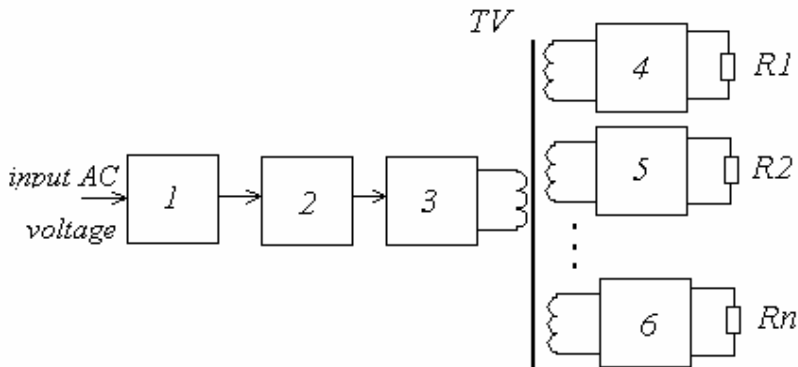


Рисунок 2. Структурна схема багатоканального НПЕ (1 — низькочастотний випрямляч; 2 — низькочастотний фільтр; 3 — нерегульований високочастотний транзисторний інвертор; 4,5,6 — імпульсні регулятори напруги на високочастотних магнітних підсилювачах)

Запропоновані методи дозволяють створити багатоканальні НПЕ на вихідні струми до кількох десятків ампер, а при використанні запропонованих методів забезпечення паралельної роботи окремих НПЕ і кількох сотень ампер [5].

Порівняльна характеристика НПЕ на основі високочастотних магнітних підсилювачів з традиційними НПЕ

НПЕ на основі високочастотних магнітних підсилювачів мають такі переваги в порівнянні з традиційними транзисторними НПЕ:

- можливість реалізації багатоканальних НПЕ з рівноцінними і незалежними вихідними каналами із 100% діапазоном зміни струму навантаження;
- допускають широкий діапазон зміни вхідної напруги;
- допускають високу питома потужність;
- допускають високу якість вихідних напруг (відсутні високочастотні піки та низькочастотна складова);
- мають високі динамічні характеристики (відпрацювання збурення здійснюється за час, рівний півперіоду високої частоти комутації) [6];
- мають нижчий рівень електромагнітних завад [7];
- мають високу ефективність;
- мають нижчу собівартість;
- мають високу радіаційну і механічну міцність;
- мають вищу надійність за рахунок як фізичної природи ВМП, так і суттєвого спрощення схемотехніки;
- мають високий рівень уніфікації — можливість використання одного типорозміру магнітопароводу ВМП та одних і тих же схемотехнічних рішень для реалізації НПЕ в широкому діапазоні вихідних параметрів [8].

Основні технічні дані багатоканальних НПЕ

Діапазон зміни вхідної напруги	до $\pm 30\%$
Коефіцієнт корисної дії	0,80 — 0,92
Рівні вихідних напруг	5 — 200 В
Рівні пульсацій вихідних напруг (низькочастотна складова та високочастотні піки відсутні)	10 — 50 мВ
Загальна нестабільність	$< 1\%$
Рівні струмів навантаження	до 100А і більше
Діапазон зміни струму навантаження	100%
Можливість стабілізації струму	
Питома потужність на вітчизняній елементній базі	100 — 500 Вт/дм ³
Вихідна потужність багатоканального НПЕ	50 — 700 Вт
Число вихідних регульованих каналів	1–10 і більше
Вихідна потужність одного каналу	25 — 500 Вт
Робоча частота	50 — 100 кГц
Робочий температурний діапазон	-40 +80 С
Електромагнітна сумісність та електробезпека відповідають вимогам міжнародних стандартів до комп'ютерної та медичної техніки	
Широкий діапазон конструктивних варіацій	
Паралельна робота вихідних каналів чи окремих НПЕ	
Дистанційне керування по оптичних каналах зв'язку	

Висновки. Використання височастотних магнітних підсилювачів на основі сучасних аморфних сплавів у ролі силових регулюючих елементів НПЕ комплексно вирішує цілий ряд важливих проблем, що існують при побудові цих перетворювачів, і вище означені в порівняльній характеристиці НПЕ на основі ВМП і традиційних транзисторних НПЕ.

Література

1. Севернс Р. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания. / Р. Севернс, Г. Блум. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 294 с.
2. Yaskiv V. Development of Switch Power Supplies for Radar Applications / V. Yaskiv, O. Shabliy, A. Alpatov, O. Gurnik // 2001 CIE International Conference on Radar Proceedings, Beijing, 2001, — p. 851–855.
3. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies / V. Yaskiv // Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04), Aachen, 2004, — p. 1658–1662.
4. Yaskiv V. Design Methods of Switch Mode Power Supplies / V. Yaskiv // Tutorial 10 on 26-th International Energy Conference (INTELEC), Chicago, 2004, — 39 p.
5. Яськів В. І. Методи побудови напівпровідникових перетворювачів електроенергії з високим рівнем струму навантаження на основі височастотних магнітних підсилювачів / В. І. Яськів, М. М. Юрченко // Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність»). — 2006. — ч. 2 — С. 3–6.
6. Яськів В. І. Експериментальне дослідження динамічних характеристик напівпровідникових перетворювачів електроенергії з височастотними магнітними підсилювачами / В. І. Яськів, М. М. Юрченко, О. П. Гурник // Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність»). — 2005. — ч. 4. — С. 7–9.
7. Яськів В.І. Дослідження електромагнітної сумісності напівпро-

відникових перетворювачів електроенергії з високочастотними магнітними підсилювачами / В. І. Яськів // Технічна електродинаміка (Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоєфективність»). — 2008. — ч. 4. — С. 68–71.

8. Dyvak M. Interval estimation of weight-dimensional characteristics of high-frequency magnetic amplifier of pulse power supplies / M. Dyvak, V. Yaskiv, A. Pukas // Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review). — 2009. — No 4. — pp.92–94

Volodymyr Yaskiv

HIGH-EFFICIENCY SEMICONDUCTING POWER CONVERTERS BASED ON HIGH-FREQUENCY MAGNETIC AMPLIFIERS

The methods for development of high-frequency power converters based on the use of amorphous alloys with rectangular hysteresis loop in this paper are described. The principle of operation of high-frequency magnetic amplifiers for voltage regulator is explained. The comparative analysis of power converters based on high-frequency magnetic amplifiers with transistor analogs is adduced. The possibility of designing multioutput power converters with equal and independent output channels is shown. The main technical data of multioutput power converters are adduced

Keywords: *power converter, rectangular hysteresis loop, high-frequency magnetic amplifier, efficiency*

УДК 53.05:617.735

Роман Ткачук

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАФІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ НЕЙРОТОКСИКАЦІЇ НА СТАН ЛЮДИНИ

Обґрунтовано застосування квантової електроретинографії для виявлення та прогнозування впливу нейротоксикацій на фізіологічний стан людини неінвазивними методами. На базі лінійного випадкового дискретного процесу як математичної моделі електроретиносигналу побудовано метод його цифрової обробки та оцінювання електроретинограми, підвищення інформативності та швидкодії дослідження. Скорочення часу досліджень потребувало підвищення роздільної здатності електроретинограми та оцінювання її інформативності. Побудовано міру інформативності за швидкодією та достовірністю електроретинографічної системи, спектральних представлень випадкових процесів, застосовано ентропійний критерій для оцінювання інформативності, що є необхідним для виявлення нейротоксикацій на початковій стадії її дії неінвазивними методами.

Ключові слова: квантова електроретинографія, математична модель, електроретиносигнал, інформативність систем, нейротоксикації, фізіологічний стан людини.

Прогнозування зміни функціонального стану людини під впливом нейротоксикації неінвазивними методами досліджені мало [1], особливо це стає надзвичайно актуальною проблемою із розвитком нанотехнологій та виробництвом продукції на їх основі й застосуванням нових матеріалів. Важливим є виявлення змін фізіологічного стану людини ще на початковій стадії дії нейротоксикацій, тому крім застосування відомих клінічних і біохімічних методів, перспективу мають неінвазивні методи досліджень. Встановлено,

що для виявлення, ідентифікації та визначення дози нейротоксикації організму людини застосовуються електроретинографічні дослідження [1,2] В практичній офтальмології застосовуються методи та засоби відбору електроретиносигналу (ЕРС) за міжнародними регламентами (ISCEV), його попереднього опрацювання, оцифрування, оброблення та реєстрації, а також методи оцінювання морфологічних параметрів електроретинограми (часових інтервалів між її характерними точками, амплітуд, отриманої швидкості зміни електроретинограми тощо) для визначення стану сітківки ока під час діагностики захворювань та ідентифікації патологій. Проте, застосування методу електроретинографії для ефективного виявлення та визначення дози нейротоксикації [3] потребує удосконалення електроретинографічних систем для поглиблення досліджень та на основі застосування фотонної електроретинографії — зниження інтенсивності подразнення сітківки ока та подолання проблеми оброблення сигналів із значним рівнем шумів.

Відомо, що отримання даних про наявність шкідливого біологічного впливу на організм людини (фармакологічного, наркотичного, радіоактивного шкідливої дії нейротоксикантів тощо) набирає все більшої ваги для життя кожної людини для прогнозування її стану здоров'я [1–3]. Особливо важливим є виявлення факту такого впливу для її прихованої дії вже на початковій стадії. При цьому виникають задачі: ідентифікації параметрів джерела подразнення при реєстрації електроретинограми зі значно меншою інтенсивністю подразнення сітківки ока світлом, визначенням міри заподіяної шкоди, обґрунтування вибору та оптимізація діагностичних ознак, прогнозування тривалості погіршення функціонального стану людини тощо. Трудність полягає у тому, що покази результату нейротоксикації, як правило, замасковані (через незнання її локалізації, приховування інформаційних ознак, подібність отриманого результату впливу до зміни ознак прояву патології іншого походження тощо).

У системі застосованих засобів виявлення прихованого шкідливого біологічного впливу різного походження та ідентифікації окремого джерела подразнення є аналіз морфологічних параметрів

електроретинограми (ЕРГ) — відібраного, обробленого та зареєстрованого викликаного світловим подразненням потенціала сітківки ока (електроретиносигналу — ЕРС). При цьому відбір та оброблення ЕРС потребує удосконалення технічних засобів з метою оптимізації процесу реєстрації та покращення інформативності систем [5,6].

Для підвищення роздільної здатності електроретинографічної системи (ЕРГС) та скорочення часу електроретинографічного дослідження було запропоновано концепцію фотонної (квантової) електроретинографії — зі значно меншою (<1000 раз) експозицією сітківки ока світлом. Практика електроретинографії підтвердила слушність такого удосконалення, проте ефективність його використання є проблемою через зменшення величини відношення енергій ЕРС та шуму у відібраному електроретиносигналі. Цей факт вказує на необхідність удосконалення засобів оптимального оброблення відібраних сигналів для зменшення втрат його інформативності [5].

При визначенні міри інформативності електроретинографічної системи ентропійним методом використовують статистичну теорію ухвалення рішень — ентропію, виражену через розподіл імовірності дисперсії спектрального представлення електроретинограми. Тобто, максимальна компресія інформації (інакше — мінімальна ентропія) досягаються для розкладу сигналу в базисі Карунена-Лоева, тоді всю інформацію несуть координатні функції (з цього базису), а дисперсії координат визначають їх значимості. Базисні функції $\Phi(t, \lambda)$ для представлень у базисі Карунена-Лоева є власними функціями кореляційного оператора, ядром якого є автокореляційна функція сигналу. Наприклад, відомо, що електроретиносигнал з ансамблю реалізацій є стохастичним та водночас заспокійливо-ковивним. Такі випадкові процеси є гармонізовними [7]. Оцінка ЕРГ, отримана з ЕРС шляхом калманівської фільтрації, є також гармонізовною. Тому при обробленні електроретиносигналу $s(t, \omega)$, можна вважати, що ансамбль Ω ЕРГ $s(t, \omega)$, $t \in nT_s$, $n = 0, N - 1$, $\omega \in \Omega s(t, \omega)$, де t — час, T_s — період дискретизації АЦП, гармонізовна стохастична функція.

Гармонізовані стохастичні функції (випадкові процеси) мають зображення Крамера-Колмогорова

$$s(t) = \int_{\Lambda} \exp(j\lambda t) Z_s(d\lambda), \quad (1)$$

де $Z_s(d\lambda)$ — випадкова міра, $j = \sqrt{-1}$ [7]. Представлення (1) випадкового процесу отримано за умови, що $s(t) = T^t s(0)$, де T^t — оператор зсуву: $T^t s(t) = s(t + \tau)$, а $s(0)$ — деяка випадкова величина для початкового етапу. За відомим розкладом оператора зсуву

$T^t = \int_{\Lambda} \exp(j\lambda t) \Pi(d\lambda)$, тому $Z_s(d\lambda) = \Pi(d\lambda) s(0)$, де Π — оператор проектування.

Кореляційна функція гармонізованого випадкового процесу набуває такого вигляду

$$R(t, \tau) = M(s(t)s(\tau))_{L^2(\Lambda, F_s)} = \int_{\Lambda \times \Lambda} \exp(j(\lambda\tau - \mu t)) F_s(d\lambda, d\mu), \quad (2)$$

де $s(t) = s(t) - Ms(t)$, $F_s(d\lambda, d\mu) = M(Z(d\lambda)\overline{Z(d\mu)})$ — спектральна міра (біміра), а риска означає комплексну спряженість, $M(\cdot)$ — оператор математичного сподівання (скалярний добуток) у гільбертовому просторі $L^2(\Lambda, F_s)$ [7,8]. Якщо кореляційний оператор переставний (комує) з оператором зсуву, то його власними функціями є функції $\exp(ji\lambda)$, $\lambda \in \Lambda \times \Lambda$, функція $F_s(\Delta, \Delta')$ зосереджена або на головній діагоналі простору $\Lambda \times \Lambda$ (тоді процес стаціонарний), або на його діагоналях $\lambda = \mu \pm 2l\pi T_R^{-1}$, $l = 0, L-1$ (де T_R — період корельованості) для періодично стаціонарного процесу. Таким чином вся інформація з процесу зосереджена в кореляційній функції (2), а спектральні зображення (представлення) F_s діагонального вигляду є канонічними (лінійними формами), які містять всю інформацію для малої кількості їх членів. Для спектрального аналізу використано компонентну статистику.

Завдяки запропонованій концепції, при симуляції сітківки ока зі значно меншою експозицією й виявлення корисного сигналу серед шумів та для побудови фільтру Калмана використано стандартні структури Matlab, зокрема, структуру N4SID для отриман-

ня матриць: А-(стану електроретиносигналу $x(t)$), В-(подразнення $\xi(t)$), К-(шуму $n(t)$), С-(вимірювання $y(t)$) тощо для представлення електроретиносигналу у просторі змінних стану)

$$\begin{aligned}x(t+Ts) &= Ax(t) + B\xi(t) + Kn(t), \\y(t) &= Cx(t) + D\xi(t) + n(t),\end{aligned}\tag{3}$$

а також структури SS, KALMAN — для побудови фільтру, та LSIM — для виконання процедури фільтрації[9].

За умови апіорної означеності сигналу $s_r(t)$ фільтр Калмана потребує однієї-двох реалізацій $x(t)$, що значно знижує інвазивність (у 100 разів порівняно з стандартним методом) активного дослідження. При умові апіорно недостатньої означеності сигналу необхідно використати оптимізаційні процедури для вибору зразкового сигналу та шумів (навчання фільтру) за критерієм мінімально достатньої похибки фільтрації при обґрунтовано вибраному їх початковому наближенні.

При цьому застосовано окремий випадок критерію середнього ризику вибору рішення — критерій Неймана-Пірсона. Обґрунтовано вибір характеристику оцінки ЕРГ аргумент цього критерію, що є її метричним інваріантом до зсуву по часовій осі (відповідно до номеру експерименту). Для ЕРС (гармонізовного випадкового процесу) таким інваріантом є його спектральна густина потужності, або середня потужність його стаціонарних компонентів. Оскільки результати визначення середньої потужності для зразкового (еталонного) ЕРС чи для відповідної йому оцінки ЕРГ при статистичних випробуваннях також є стохастичними, тоді аргумент критерію Неймана-Пірсона побудовано, як практично інтерпретований комплекс з моментів функції густини розподілу ймовірностей значень середньої потужності (для гаусових функцій густини розподілу ймовірностей цей комплекс будується з математичного сподівання, дисперсії чи середньо-квадратичного відхилення значення середньої потужності).

Для означення інформативності вимірювальної системи використано поняття статистичної теорії ухвалення рішень — ентропія,

ймовірність, дисперсія інформативної ознаки. Найчастіше зустрічається умовна ентропія H , що використовується для означення кількості інформації у комунікаційних системах [4]:

$$H(K|X) = -\sum_x p(x) \sum_k P(k|x) \log P(k|x). \quad (4)$$

Для пристосування такого виразу до електроретинографічної системи прийнято таку інтерпретацію його позначень: K — множина класів ЕРГ, X — множина інформативних ознак класів ЕРГ, k — номер класу, x — інформативні ознаки ЕРГ, представленої в просторі X , $p(x)$ — густина розподілу ймовірності x , $P(k|x)$ — апостеріорна ймовірність приналежності ЕРГ до класу k . Коли ознаки X забезпечать безпомилкове ухвалення рішення про належність до класу, тоді відповідно умовна ентропія дорівнює нулю. При порівнянні двох наборів ознак більш інформативним є той, який характеризується меншою умовною ентропією. На практиці застосування цього виразу ускладнене через апріорну невідомість розподілів та ймовірностей $p(x)$ і $P(k|x)$. Для означення цих розподілів та ймовірностей обґрунтовано вибір ймовірнісних характеристик спектрального представлення ЕРГ [4,6], які використовуються при автоматизованому ухваленні рішень про віднесення ЕРГ до певного класу, оскільки інформативність набору морфологічних ознак ЕРГ не відрізнятиметься від інформативності її спектру.

Тільки у тому випадку, коли ознаки окремих класів незалежні, інформативність набору ознак рівна сумі окремих інформативностей. На цій підставі можна складати інформативні набори (вектори) інформативності. Побудовою виразу міри інформативності ЕРГС на базі спектральних представлень ЕРГ буде враховано власливості, які вона набуває у тракці відбору ЕРС, його АЦП-обробки та ухвалення рішення про віднесення отриманої ЕРГ до відповідного класу, а відповідно й класу нейротоксикації та встановлення загрози фізіологічному стану людини.

Висновки. Неінвазивне дослідження нейротоксикації електро-ретинографічним методом з підозрою початкової стадії відхилен-

ня фізіологічного стану людини від норми доцільно виконувати з низьким рівнем її тестового подразнення. Тоді шум (відбору, вимірювання тощо) та величину відхилення від норми функціональної реакції людини можна вважати незалежними від неї та адитивними, а роздільна здатність виміряного відхилення значно зростає (за законом Вебера-Фехнера). Оскільки при цьому значно зменшується відношення потужності електроретиносигналу до потужності шуму, то необхідна оптимальна його фільтрація з врахуванням наявності артефактів при реакції людини. Для виявлення нестаціонарності цієї реакції фільтр повинен бути зі змінними параметрами. Для цього необхідне представлення електроретиносигналу у вигляді періодично-корельованого процесу та застосування фільтру Калмана. Для визначення інформативності електроретинографічної системи при проведенні активних досліджень та контролю коректності й ефективності її застосування при низьких рівнях тестового світлового подразнення адекватним є використання статистичної теорії вибору рішення (як перевірки гіпотез) за критерієм Неймана–Пірсона, що водночас надає можливість визначення імовірності достовірності результатів дослідження при заданій імовірності помилкового вибору.

Література

1. Ткачук Р. А. Оптимізація ретинографічної системи для виявлення прихованого біологічного впливу на організм людини / Р. А. Ткачук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2009. — № 2. — С. 145–152.
2. Ткачук Р. Метод побудови біотехнічної системи для оцінювання електроретинограм з підвищеною вірогідністю та ефективністю / Р. Ткачук, Б. Яворський // Вісник Тернопільського державного технічного університету. — 2009. — № 3. — С. 102–110.
3. Tkachuk R. A. ERG System for neurotoxicity risk assessment / R. A. Tkachuk, B. I. Yavorsky // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії: Х ЮМНТК, м. Львів, 2010. — С.12
4. Голубцов П. В. Информативность в категории линейных

- измерительных систем / П. В. Голубцов // Проблемы передачи информации. — 1992. — В. 2. — Т. 28. — С. 30–46.
5. Ткачук Р. А. Метод побудови електроретинографічної системи для виявлення інтоксикації організму/ Р. А. Ткачук, Б. І. Яворський // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: XIII ВНТК, м. Кременчук, 2009. — С.182–183.
 6. Ткачук Р.А. Оцінювання інформативності електроретинографічних систем / Р. А. Ткачук // Вісник ТДТУ. — 2011. — Т. 16, № 3. — С. 203–209.
 7. Драган Я. П. Структура и представление моделей стохастических сигналов / Я. П. Драган — К.: Наукова думка, 1980. — 384 с.
 8. Dragan Ya. Shannon's measure of information and signal theory / Ya. Dragan, L. Sikora, B. Yavors'kyi // Современные методы цифровой обработки сигналов в системах измерения, контроля, диагностики и управления. — Минск: БГУ, 1999. — С. 102– 110.
 9. Ljung L. System identification toolbox™. Getting started guide. / L. Ljung –The MathWorks, Inc. — 1997. — 274 p.

Roman Tkachuk

**APPLICATION OF ELECTRO-RETINOGRAPHY FOR
DETECTION AND PROGNOSTICS OF NEUROTOXICATION
IMPACT ON HUMAN CONDITION**

The application of quantum electro-retinography for non-invasive identification and prediction of the physiological state impact of a neurotoxication. On the basis of linear random process as a discrete mathematical model of elektoretinosignal a method of digital processing and evaluation of electroretinogram is elaborated. Reduction of investigation time requires improved resolution of electroretinogram and evaluation of its informativeness. Measure of information capability, performance and reliability of electro-retinographic system, spectral representation of random processes are constructed. Entropy criterion for assessing information capability is applied, which is necessary to identify neurotoxication at the initial stage of non-invasive methods.

Key words: *electro-retinography, mathematical model of electroretinosignal, neurotoxication, physiological health..*

Михайло Паламар

РОЗРОБКИ НОВИХ АНТЕННИХ СТАНЦІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Наведено інформацію стосовно галузі застосування та технічних характеристик систем дистанційного зондування Землі з космосу. Описано конструкції антен та системи керування власної розробки, які успішно функціонують в Україні та за кордоном.

У сучасному суспільстві головною продуктивною силою стає переробка, використання інформації. Побудова інформаційного суспільства ХХІ ст. передбачає створення глобальної інформаційної інфраструктури й фонду знань, перетворення світу на «глобальне село», як передбачали вчені в минулому [проф. М. Маклюєн, 1962], а також розвиток колективної відповідальності за цю спільноту. Одним з важливих напрямів розвитку інформаційного технологій з великими потенційними можливостями впливу на соціально-економічний розвиток, безпеку і оборону країн є дистанційного зондування Землі з космосу (ДЗЗ). ДЗЗ — це система глобального спостереження й аналізу Землі з космосу у видимому та інших спектральних діапазонах за допомогою низькоорбітальних супутників. Роздільна здатність знімків поверхні Землі досягає кількох десятків сантиметрів. Як і у багатьох випадках технологія ДЗЗ почалася з військових задач (оперативне спостереження за необхідними територіями, картографія і т.п.), а зараз все більше поширюється в сферу комерційного застосування.

Задачі, що вирішуються за допомогою ДЗЗ зараз найрізноманітніші й зводяться до інформаційного забезпечення економічно-господарської діяльності країни. Це гідрометеорологія, екологія, моніторинг надзвичайних ситуацій (напр. рис. 1), велика кількість природо господарських задач: контроль і прогнози розвитку в сільському, лісовому господарстві, промисел морепродуктів, геологія і пошук корисних копалин, землевпорядкування, будівництво, прокладка транспортних магістралей, картографія, геоінформаційні системи, гідротехніка і меліорація, а також наукові задачі фунда-

ментального вивчення стану й еволюції Землі як цілісної екологічної системи, що розвивається.

У спеціальній резолюції ООН було зазначено, що забезпечення стабільного і безпечного розвитку на Землі неможливе без застосування космічних технологій спостереження. На орбітах знаходиться вже понад півсотні комерційних або подвійного використання штучних супутників землі (ШСЗ) різних країн для задач ДЗЗ і їх кількість все збільшується. В Україні також було виведено на орбіту декілька супутників ДЗЗ, а зараз успішно працює супутник «Січ-2». Спектр застосувань даних ДЗЗ у світі невпинно розширюється і можна очікувати, що ця тенденція збережеться в майбутньому.



Рисунок 1. Оперативна оцінка обстановки з супутника (знімок справа) в районі аварії лайнера Коста Конкордія.

Антенні станції прийому даних ДЗЗ. Технологія прийому даних ДЗЗ складніша, ніж з геостаціонарних супутників, через необхідність швидкого супроводу супутника. Висота орбіт супутників ДЗЗ становить від 400 до 1000 км, що значно менше від висоти геостаціонарних супутників (35 875 км) і час проходження його над горизонтом складає 5..15 хв. Звідси випливають особливі вимоги до побудови конструкцій антен та систем супроводу низькоорбітальних супутників для забезпечення прийому великих потоків інформації, знятої бортовою апаратурою супутника.

Перш за все, це високі вимоги до динамічних характеристик, пов'язані з постійною зміною траєкторії руху КА відносно місцезнаходження АС, викликаною обертанням Землі та відносно великою швидкістю руху низькоорбітальних супутників ДЗЗ, розрахунків їх траєкторій. Для надійного прийому швидкісних інформаційних

потоків потрібні великогабаритні антени діаметром 3–12 м, причому чим більшою є антена, тим менші динамічні похибки наведення потрібно забезпечити. Похибки відхилення променя діаграми направленості кількатонної антени від траєкторії руху супутника при супроводженні з кутовими швидкостями до 10 град./сек. не повинні перевищувати одиниць кутових мінут.

В результаті виконання НДР/ДКР за замовленнями різних підприємств творчим колективом кафедри ПВ ТНТУ ім. І. Пулюя розроблено ряд АС для ДЗЗ. Зокрема за замовленням КБ «Південне» та в кооперації з Харківським науково-дослідним інститутом радіотехнічних вимірювань (НДІРВ) розроблена оригінальна конструкція антенної системи з трьохосовим опорно-поворотним механізмом наведення та система керування, яка забезпечує супровід будь-яких траєкторій супутників без так званих «мертвих зон», які виникають при проходженні траєкторії супутника через зеніт відносно місцезнаходження АС, що було неможливим для класичних 2-вісних азимутально-кутомістних поворотних пристроїв антен. Після успішних випробувань в центрі управління і випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ) АС була змонтована в Єгипті (рис. 2) і використовується в складі наземної станції керування єгипетським супутником ДЗЗ «EgyptSat-1», що був успішно виведений на орбіту в 2007 р. Антенна система показала надійну роботу з забезпечення зв'язку з супутником на протязі терміну його експлуатації



Рисунок 2. АС «EgyptSat-1» в НЦУВКЗ та наладка АС і системи керування в Єгипті.

За замовленням ДКАУ також була розроблена система керування великогабаритною антеною ТНА57 з діаметром рефлектора 12 м, загальна вага якої становить 55 т, що робить необхідною особливо велику точність наведення та супроводу супутників (рис.3). Система керування успішно працює в складі універсальної приймальної станції УНСПІ-8.2, що приймає зображення з різних супутників ДЗЗ в Центрі прийому та обробки космічної інформації і контролю навігаційного поля.



Рисунок 3. Система керування антенною станцією ТНА57 в комплексі ДЗЗ.

Згідно державної цільової програми з розвитку інфраструктури та провадження господарської діяльності на о. Зміїний і континентальному шельфі нами розроблена 2-вісна АС, що також забезпечує супровід без «мертвих зон» завдяки спеціальній конструкції ОПП карданного типу (Е2-Е1) та система керування нею (рис.4).

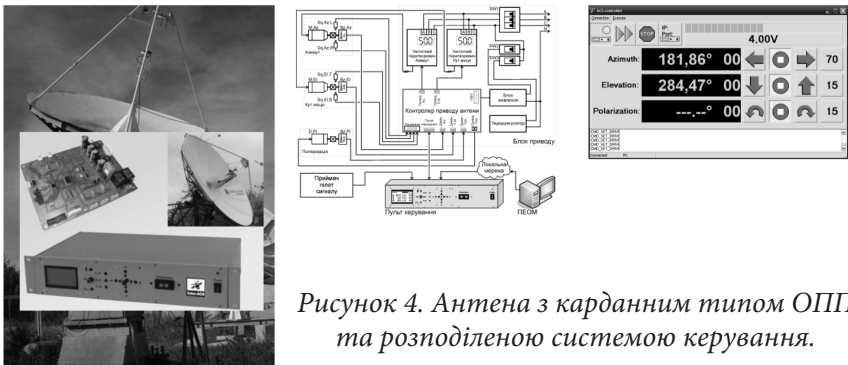


Рисунок 4. Антена з карданним типом ОПП та розподіленою системою керування.

Особливістю такої системи є розподілена модульна структура, що дозволяє легко адаптувати систему керування до антен з різними діаметрами рефлекторів та різними потужностями електроприводів. Частина системи керування розміщена безпосередньо на опорно-поворотному пристрої що дозволяє ефективніше керувати силовими електроприводами АС. Керування АС можна здійснювати дистанційно через мережу Інтернет.

Проте у АС з великим діаметром рефлектора (більше 3 м) значно зростають вимоги до конструкції опорно-поворотних платформ (ОПП) антен та точності обертових механізмів наведення АС, що приводить до їх ускладнення, великої металоємкості конструкції та зростання вартості. В останніх розробках нами запропоновано нове технічне рішення побудови опорно-поворотної платформи АС ДЗЗ та системи керування нею на основі кінематичної схеми з лінійними приводами з октаедральною компоновкою актуаторів відомою як платформа Гю-Стюарта або механізм Нехарод [1]. В такій системі значно зростають вимоги до електронної схеми керування актуаторами, де необхідна строго узгоджена подача керуючих сигналів, щоб забезпечити одночасний рух усіх шести лінійних приводів по розрахованих траєкторіях із заданою швидкістю на основі даних датчиків переміщень кожного актуатора. На рис. 5 приведено експериментальний взірець антени, плати системи керування та модель і графіки траєкторій руху актуаторів при супроводі супутника.

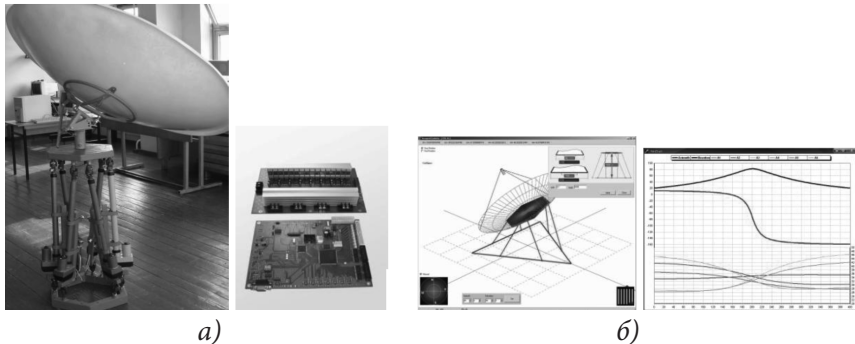


Рисунок 5. Конструкція і моделювання ОПП Нехарод для АС ДЗЗ

Водночас, в такій АС значно спрощується механічна конструкція, маса ОПП. В ній поєднуються висока жорсткість та компактність, надійність, простота та технологічність складання й обслуговування такої конструкції.

Розроблені алгоритми та програма імітаційного моделювання дозволяють підібрати параметри конструкції ОПП для різних діаметрів рефлекторів. Експериментальні дослідження з дослідним взірцем АС та системою керування платформою Нехарод на основі паралельної обчислювальної структури на базі FPGA показали можливість відпрацювання різних траєкторій супроводу супутників.

Зараз ведуться роботи по створенню простіших, так званих «персональних» антенних станцій ДЗЗ, що легко можуть обслуговуватись одним оператором і будуть доступні окремим творчим колективам, університетам як інструмент для одержання і тематичної обробки даних ДЗЗ.

Створення доступних малих АС прийому й обробки супутникових зображень абонентського класу, в т.ч. мобільних «персональних» АС ДЗЗ надасть можливість користувачам безпосередньо займатись тематичною обробкою даних, дозволить залучати вузівську науку як для досліджень, так і підготовки кадрів в галузі тематичної обробки інформації ДЗЗ, що створило б передумови ефективного використання технологій ДЗЗ в інформаційному суспільстві. Крім того, космічні технології акумулюють найвищі науково-технічні досягнення і є потужною рушійною силою для розробок високотехнологічної продукції також і в інших галузях техніки.

Література.

1. Nair R. On the forward kinematics of the parallel manipulators / R. Nair, J. H. Maddocks // *The International Journal of Robotics Research*. — 1994. — vol. 13, No. 2. — pp. 171–188.
2. Palamar M. Smart station for data reception of the Earth remote sensing / M. Palamar // *Remote Sensing — Advanced Techniques and Platforms: InTechBook*, 2012. — ch.15. — pp. 341–371.
3. Паламар М. Особливості прийому інформації дистанційного

зондування Землі з низькоорбітальних космічних апаратів / М. Паламар // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І. Пулюя. — 2008. — Т. 2. — С. 121–126

4. Паламар М. І. Керування антенною системою з механізмом наведення паралельної структури типу «Нехарод» / М. І. Паламар, Ю. В. Пастернак // Автоматика, вимірювання та керування. — Вісник НУ «Львівська політехніка». — 2011. — № 695. — С. 104–110.

Mykhaylo Palamar

DESIGN OF NEW ANTENNAS FOR REMOTE EARTH SURVEILLANCE

General information about the application and technical characteristics of remote Earth surveillance systems is presented. Design of antennas and control systems developed by the author that are exploited in Ukraine and abroad is described.

УДК 629.7:62(477)

Микола Підгурський, Майкл Внук

УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКІ ПАРАЛЕЛІ ОСВОЄННЯ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Представлено ідеї та відкриття, вчених та інженерів, які зробили значний внесок в розвиток світової космічної науки та космічних проєктів, зокрема США. Наведено приклади співпраці вчених та конструкторів України та США при реалізації спільних космічних проєктів.

Ключові слова: дослідження космосу, вчені та інженери українського походження, співпраця України та США.

Освоєння космічного простору у ХХ столітті запам'яталося нам швидше протистоянням двох держав — СРСР і США [1, 2], а не плідною міжнародною співпрацею вчених та інженерів у цьому напрямку. Разом з тим історія науки і техніки дарує нам приклади, коли ідеї та відкриття українських вчених, або тих, чий родовід пов'язаний з Україною, справляли стимулюючу дію на розвій світової науки і техніки [3–7].

Яскравим прикладом [3, 5, 7] є вчений світової слави — геній космонавтики Юрій Кондратюк (Олександр Шаргей), 115 років з дня народження якого людство відзначає цього року. Народився Олександр Шаргей (таке його справжнє прізвище) 21 червня 1897 року у Полтаві. У 1921 році, боячись репресій з боку радянської влади через білогвардійське минуле, він стає Юрієм Кондратюком, якого тепер знає весь світ. Варто зазначити, що саме американські спеціалісти після детальних досліджень всіх можливих варіантів подорожі астронавтів на Місяць за програмою «Аполлон» визнали у 60-х роках «трасу Кондратюка» найкращою. Український вчений розрахував найекономнішу схему висадки людей на Місяць за схемою: політ корабля на місячну орбіту — старт відокремленого

від корабля модуля на Місяць — повернення на орбіту і стикування з основним кораблем — повернення на Землю. Американський вчений доктор Лоу після успішної подорожі до Місяця корабля «Аполлон» сказав: «Ми розшукали маленьку, мало чим примітну книжечку, видану в Росії зразу ж після революції. Автор її, Юрій Кондратюк, обґрунтував найекономічнішу схему польоту на Місяць з поверненням на Землю. Цією схемою ми й скористалися». Те ж підтверджує один з керівників програми «Аполлон» Джон Хубольт в американському журналі «Лайф» у 1969 році. Згадана вище книжечка мала назву «Завоювання міжпланетних просторів» і була видана у 1929 році в Новосибірську. У науковій праці було сформовано багато оригінальних ідей в ракетно-космічній галузі: теорія багатоступеневих ракет, виведено основне рівняння польоту ракети, розглянуто проблеми створення міжпланетних баз, найекономічніші траєкторії польоту, приземлення за допомогою парашутів. Потрапила ця монографія і до бібліотеки американського Конгресу, і саме ця праця через 40 років відіграла визначну роль в успішному польоті на Місяць.

У Флориді на космодромі встановлено пам'ятник, де викарбувано імена вчених і астронавтів, причетних до польоту на Місяць, там є й ім'я Ю. Кондратюка. На його честь названо і кратер вулкану на Місяці. Це є найбільшою пошаною для видатного вченого, чие незаслужено забуте ім'я було повернуто світові завдяки американській програмі «Аполлон».

Великий внесок в успішний проект польоту на Місяць був зроблений американцями з українським корінням — Ігорем Богачевським (1928–2010), Миколою Головіним (1912–1969), Богданом Гнатюком (1915–1988), та Михайлом Яримовичем (1933).

Як відзначилось, НАСА користувалась ідеями і розрахунками полтавчанина Ю. Кондратюка (Шаргея), реалізуючи програму польоту на Місяць. Успішно розвинув наукову спадщину Ю. Кондратюка Ігор Богачевський, родом з м. Сокаль на Львівщині [4]. Він осучаснив план Кондратюка: його математична функція «Vohachevsky function» дозволяє конструкторам міжпланетних кораблів швидко визначити енергетичні струмені в повітрі та космосі.

Реалізація цієї ідеї зробила можливим політ астронавтів на Місяць й повернення їх на Землю, а І. Богачевський зіграв провідну роль в успішному здійсненні програми «Аполлон».

Ще одним провідним учасником реалізації програми НАСА «Аполлон» був Микола Головін, що народився в Одесі у 1912 році. Згодом переїхав у США. З 1958 року працював директором з технічних операцій в Агентстві перспективних досліджень. У 1960 році стає одним з директорів Національного аерокосмічного агентства США, очолюючи підрозділ планування запуску в космос ракет-носіїв (неофіційна назва «Комітет Головіна»). Саме М. Головін став ключовим учасником реалізації програми «Аполлон», названої Президентом Дж. Кеннеді національною метою (реваншем) Америки після успішного польоту в Космос Ю. Гагаріна у 1961 році [4]. Саме у Комітеті Головіна було вирішено одне з основних питань: за яким з трьох головних проектів здійснювати політ на Місяць? За найкращий варіант було взято проект Д. Хуболта, в основу якого було покладено ідею і теоретичні розрахунки Ю. Кондратюка про висадку на Місяць не ракети, а місячного модуля. Варто зазначити, й інші варіанти [1]: проект фон Брауна, що передбачав «пряму висадку» ракети з астронавтами на Місяць (для цього передбачалось побудувати величезну ракету «Нова», оснащену 10 двигунами тільки першої ступені, яка мала б розвивати тягу 18000 тон) та варіант «зустрічі на орбіті Землі» (цей варіант передбачав складання корабля на орбіті з окремих запущених туди компонентів — космічного корабля, місячного модуля та з обладнанням). Переміг, як уже відзначено, варіант Д. Хуболта як найекономніший. Керівник НАСА Джеймс Уебб публічно оголосив про вибір варіанту зустрічі на місячній орбіті 11 липня 1962 року. Інженер-конструктор НАСА Д.Хуболт отримав за цей проект престижну медаль НАСА «За виключні наукові досягнення».

Безпрецедентною була ракета-носіїв «Сатурн — 5», яку сконструював В. фон Браун [1, 8]. Її висота була 111 м, вага 2630 т, 11 двигунів в трьох ступенях розвивали тягу майже 4000 тонн.

Відзнаки Американського інституту аеронавтики та астронавтики «За зразкову службу» удостоєний Б. Гнатюк (народився у 1915

році в м. Заліщики на Тернопільщині) за вагомий внесок у розвиток американської авіації, ракетобудування й плідне співробітництво з НАСА США, з яким той співпрацював від 1967 до 1979 року [4]. Співпрацював Б. Гнатюк й з В. фон Брауном (конструювання міжконтинентальних балістичних ракет). В рамках НАСА вів дослідження для здійснення масштабних космічних польотів Д. Маршала в Алабамі. Б. Гнатюк був членом наукового товариства імені Т. Шевченка, членом Українського інженерного товариства Америки.

Михайло Яримович зробив приголомшливу «космічну» кар'єру. Народившись у 1933 році в Польщі (на українському Підляшші) в родині українців, він став одним із керівників національного космічного агентства (НАСА) США, очолював проекти створення орбітальних станцій для міжпланетних польотів. Михайла Яримовича призначили відповідальним за функціонування систем космічних кораблів «Аполлон», він був одним із тих, хто реалізовував проект польоту на Місяць.

З участю Яримовича реалізується міжнародний проект «Морський старт» (Sea Launch), де використовується українська ракета «Зеніт». Він є іноземним членом НАН України, почесним членом Наукового товариства ім. Шевченка. У 1991–1997 роках Михайло Яримович — віце-президент, згодом президент Міжнародної академії астронавтики, яка об'єднує понад 1000 найвидатніших науковців світу в галузі космонавтики. З 1992 року — іноземний член НАН України.

За останні десятиліття поширюється співпраця України, США та інших держав в космічній галузі [9]. Так, США, Норвегія, Росія та Україна є учасниками грандіозного проекту спільних запусків комерційних супутників за допомогою ракет-носіїв з платформи морського базування — проект «Морський старт». Сама ідея і перші розробки такого старту належать М. Янгелю, Б. Уткіну та іншим конструкторам КБ «Південне». Привабливість проекту полягає у можливості вибору оптимальної точки поверхні Землі для запуску та спроможності ракети-носія «Зеніт» виводити на геостационарну орбіту супутники вагою до 2,9 т, а на еліптичну — до

б т. До того ж, «Зеніт» працює на екологічно чистому паливі. Порт базування «Морського старту» («Sea Launch») знаходиться у Лонг-Біч (США). Океанічна платформа сконструйована на базі нафтобурової установки вагою 31000 т і довжиною 130 м, 200-метровий адміністративно-збиральний корабель водотоннажністю 34000 т використовується для монтажу ракет та керування запусками. Запуск ракети-носія «Зеніт» повністю автоматизований. Це успішне технологічне рішення, безумовно, стало значним у реалізації космічного потенціалу України [9].

Відзначимо, що за даними Державного космічного агентства, Україна проводить щороку від 9 % до 11 % усіх ракетних запусків у світі. Крім цього Україна бере участь в розробці розгінних блоків для вантажних ракет в проектах НАСА та Європейського Союзу і будує для них блоки ракет.

Ще одна визначна подія в українсько-американському співробітництві відбулася 19 листопада 1997 р. У складі екіпажу космічного корабля «Space Shuttle Columbia» разом з американськими і японськими астронавтами у космосі побував перший український космонавт Леонід Каденюк. У ході польоту, протягом 16 днів, ним було проведено експерименти у галузі космічної біології, а саме вивчення процесів розвитку рослин як одного з елементів систем життєзабезпечення майбутніх довготривалих пілотованих місій. Комплекс біологічних досліджень за участю українського космонавта розроблено в Інституті ботаніки НАН України.

В цих експериментах також брали участь інші інститути НАН України, університети США та космічний центр імені Дж. Кеннеді. За спільною американсько-українською освітянською програмою проведено цікавий експеримент зі штучним запиленням та фіксацією на орбіті запилених квіток швидкоростучих рослин. Коли Леонід Каденюк проводив ці дослідження у космосі, учні в Україні та США виконували їх на Землі. Можливо, серед них були й ті, хто продовжить космічну естафету в ХХІ сторіччі.

Література

1. Хардерсти В. История космического соперничества СССР и США / В. Хардерсти, Дж. Айсман. — СПб.: Питер, 2009. — 256 с.
2. Делягин М. Г. Русский космос: победы и поражения / М. Делягин, В. Шеянов — М.: Эксмо, 2011. — 272 с.
3. Шендеровський В. Нехай не гасне світ науки / за ред. Е. Бабчук — К.: Смолоскип, 2004. — 416 с.
4. Абліцов В.Г. Український Все-Світ / В.Г. Абліцов — т.1. — К. КИТ, 2011. — 672 с.
5. Аксіоми для нащадків: Українські імена у світовій науці. Зб. нарисів / Упоряд. і передм. О.К.Романчука. — Львівська істор.-просв. організ. «Меморіал», 1992. — 544 с.
6. Ткаченко А.Ф. Знаменитые украинцы / А.Ф. Ткаченко. — К.: Аристей, 2005. — 444 с.
7. Шаров І. Ф. Вчені України: 100 видатних імен / І. Ф. Шаров. — К.: АртЕк, 2006. — 488 с.
8. Фернисс Т. История завоевания космоса / Т. Фернисс — М.: Эксмо, 2007. — 272 с.
9. Патон Б. Є. Україна в сузір'ї космічних держав світу/ Б. Є. Патон, І. Б. Вавілова, О. О. Негода, Я. С. Яцків — К.: НАН України, 2001. — 92 с.

Mykola Pidhurskyy, Michael P.Wnuk

**UKRAINIAN-AMERICAN PARALLELS IN SPACE
DEVELOPMENTS**

Ideas and inventions, scientists and engineers which essentially contributed to the development of space sciences and space project, particularly of USA. Examples of cooperation between scientists and engineers of Ukraine and USA within the framework of joint space projects are given.

Keywords: *space studies, scientists and engineers of ukrainian origin, cooperation of Ukraine and USA.*

Павло Дудкін

ДО ПИТАННЯ АДАПТАЦІЇ СТУДЕНТІВ-ІНОЗЕМЦІВ ДО НАУКОВО-ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ

Розглянуто проблему адаптації студентів-іноземців в українському науковому та освітньому просторі та запропоновано механізми її розв'язання. Запропоновано залучення студентів, які навчаються в українських університетах, до наукових досліджень, що має покращити ресурсне забезпечення наукового розвитку.

Геній української та світової літератури Тарас Шевченко казав: «...брати мої, свого навчайтесь та чужого не цурайтесь...». Уся історія життя та розвитку української спільноти, де б вона не перебувала — на рідній землі, чи далеко від неї, дає підстави стверджувати, що українці завжди інтелектуально збагачували інші нації, і як губка втягували найкращі надбання за межами України, прагнучи реалізувати їх на своїх теренах. Шлях взаємопроникнення і взаємозбагачення не завжди був гладким, швидше — тернистим, проте тим ціннішим є досвід, набутий поколіннями українців.

Історично склалось, що в Україні питанням освіти і науки завжди приділялась велика увага, не залежно від того, чи це підкріплювалося матеріальними благами, чи ні. Моральними авторитетами в нашому суспільстві завжди були освічені люди, незважаючи на те, що в окремі періоди до влади приходили далеко не найкращі представники українського народу. Проте ніякі катаклізми не зламали українського духу і прагнення до світла. Тріада, за якою повинна здійснюватися фахова підготовка сучасних фахівців, а саме: освіта–наука–виробництво й використання триєдиної моделі формування молодого покоління української інтелігенції (навчально-науковий процес, морально-патріотичне виховання, фізичне оздоровлення) [1] є наріжними каменями в освітній доктрині. Ті вищі навчальні заклади, які у своїй діяльності використовують даний підхід у найширшому розумінні, можуть отримати конкурентні переваги на ринку освітніх послуг.

Інноваційні підходи та методи викладання предметів, запрова-

дження дистанційного навчання створюють підґрунтя для успішного засвоєння студентами навчальних курсів. Проте без практичної реалізації отриманих знань неможливо вести мову про повноцінно підготовленого фахівця з того чи іншого напрямку або спеціальності.

Одним із елементів, який використовується як у теоретичній, так і практичній діяльності є науково-дослідна робота. В багатьох випадках НДР студентів носить формальний характер. Це зумовлено рядом об'єктивних причин. А саме:

- відсутність законодавчого механізму у вищій освіті, який би матеріально зацікавлював потенційних молодих науковців здійснювати, і, що найважливіше, реалізовувати на практиці свої розробки;
- недостатня матеріальна база, на якій можна проводити наукові дослідження;
- незацікавленість промислових підприємств у реалізації нових розробок через достатньо забюрократизовану систему просування нововведень.

Усі ці й ряд інших причин зумовлюють постійний, чим рік все загрозливіший відтік талановитих молодих дослідників та науковців за кордон. Конкурси бізнес-ідей, бізнес-планів, наукових робіт у переважній більшості проводяться з метою фільтрації їх з тим, щоб найцікавіші згодом реалізувати, але вже без участі конкурсантів. Відтак практика проведення НДР серед студентів у ринково розвинених країнах показує, що пошук «талановитих мізків» перетворився там у своєрідне «полювання за розумом», оскільки конкурентну перевагу сьогодні можна отримати лише йдучи інноваційним шляхом.

Студенти-іноземці, сьогодні прибувають для навчання в українські вузи не випадково. На це є кілька причин:

- порівняно невисока оплата за навчання та перебування;
- толерантне ставлення місцевого населення;
- використання перебування та навчання в Україні як плацдарму для просування в більш розвинуті країни.

Оскільки наші ВНЗ на сьогодні є потужними донорами талантів у більш ринково розвинені країни, то ніша повинна чимось за-

повнюватися. В зв'язку із цим, нашим університетам варто подумати над тим, що іноземні студенти можуть поповнювати їх бюджет не тільки коштами за навчання, але й збагачувати нас свіжими ідеями зі свого середовища. Для цього, щоправда, необхідно виробити чіткий механізм їх залучення до науково-дослідної роботи. На наш погляд, можна виділити такі напрямки:

- в контрактах з іноземними студентами виділяти окремою статтею кошти на здійснення науково-дослідної роботи;
- за рахунок коштів, залучених на здійснення НДР, проводити придбання певних видів обладнання, сировини, матеріалів та курси наукових робіт серед студентів-іноземців;
- для практичної реалізації кращих проектів пропонувати їх до впровадження через науковий парк із залученням коштів із країн походження студентів-іноземців;
- рекомендації на подальше навчання в магістратурі кращим іноземним студентам у межах України чи за кордоном давати лише у випадку виконання студентами-іноземцями науково-дослідних робіт.

Запропонований механізм дасть змогу отримати додаткові фінансові надходження, підвищити конкурентність серед студентів-іноземців, здійснити інтелектуальне взаємозбагачення, знайти точки дотику з бізнесовою складовою тих країн, звідки прибули студенти.

Звичайно, залучення студентів-іноземців до науково-дослідної роботи потребує відповідної підготовки і з української сторони. Ці аспекти повинні бути закріплені і в Законі України «Про вищу освіту», і у внутрішніх нормативних документах вузів. Це може бути одним із напрямків діяльності новоствореної структури із реалізації міжнародних освітніх проектів у ТНТУ імені Івана Пулюя.

Література

1. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Триєдина модель формування молодшої генерації української технічної інтелігенції» / О. М. Шаблій, І. В. Луців, О. М. Герман — № 19175 від 10.01.2007

Pavlo Dudkin

**ON ADAPTATION OF FOREIGN STUDENTS TO SCIENTIFIC
AND EDUCATIONAL PROCESSES**

Problem of adaptation of foreign students studying in Ukrainian universities is considered. Involvement of foreign students in the scientific researches is proposed, to improve resource support of scientific development.

УДК 338. 45

Богдан Андрушків, Ігор Стойко

ФЛАГМАНСТВО ЯК ЗАСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ІНІЦІАТИВ. ЄВРОПЕЙСЬКІ АСПЕКТИ

Зроблено аналіз стратегічних ініціатив Європейського Союзу щодо прискорення інноваційного розвитку, покращення взаємодії науково-дослідницьких установ та бізнесових структур.

Сучасна динамічно мінлива світова економіка потерпає від негативних наслідків глобальної фінансово-економічної кризи. Відтак першочерговим завданням для її стабілізації є адаптація до нових реалій сьогодення. Власне такі умови забезпечують формування передумов для інтелектуального та інноваційного оновлення економіки й суспільства.

У березні 2010 року Європейською радою було затверджено стратегію соціально-економічного розвитку Євросоюзу на період до 2020 року «Європа 2020: Стратегія інтелектуального, стійкого і всеосяжного зростання» («Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth»), у якій викладено уявлення про соціальну ринкову економіку Європи в XXI столітті, скориговану з урахуванням уроків кризи. «Лісабонську стратегію» 2000-го року має замінити нова програма розвитку «Європа 2020», що забезпечить високий рівень зростання та зайнятості в ЄС.

У стратегії «Європа 2020» на перший план висувуються три взаємодоповнюючих пріоритети:

- інтелектуальне зростання: розвиток економіки, що спирається на знання та інновації;
- стабільне зростання: сприяння ефективнішому використанню ресурсів, створенню більш екологічної, і, найважливіше, конкурентоспроможнішої економіки;
- загальне зростання: створення економіки з високим рів-

нем зайнятості працездатного населення, що забезпечує згладжування соціальних і територіальних відмінностей.

Для реалізації Стратегії передбачається інвестування 3% ВВП ЄС у дослідження та розроблення.

Європейська Комісія запропонувала «сім флагманських ініціатив» для стимулювання прогресу по кожному з пріоритетних напрямів:

1. «Інноваційний Союз» (Innovation Union) із завданням покращити загальні умови для досліджень та інновацій і полегшити їм доступ до фінансування з тим, щоб новаторські ідеї перетворювалися на товари та послуги, що забезпечують економічне зростання і створюють робочі місця.

2. «Молодіжний рух» (Youth on the move). Мета цієї ініціативи — підвищення ефективності освітніх систем і допомога молодим людям вийти на ринок праці.

3. «Європейська програма дій в галузі цифрових технологій» (A digital agenda for Europe) із завданням прискорення впровадження високошвидкісного Інтернету й використання переваг єдиного ринку електронних послуг для населення та комерційних компаній.

4. «Ресурсно-ефективна Європа». Мета — впровадження нових ресурсно-ефективних та екологічно чистих технологій.

5. «Промислова політика, адаптована до умов глобалізації» (An industrial policy for the globalisation era) повинна поліпшити умови ведення ділової діяльності, особливо для малих і середніх підприємств, а також сприяти створенню сильної та стійкої промислової бази, конкурентоспроможної у глобальному масштабі.

6. «План з розвитку нових професійних здібностей і робочих місць» (An agenda for new skills and jobs) ставить за мету модернізувати ринки праці і відкрити для людей нові можливості за рахунок розвитку їх навичок протягом усього їхнього життя, з тим, щоб підвищити рівень зайнятості працездатного населення і забезпечити кращий баланс попиту і пропозиції на ринку праці, в тому числі за рахунок мобільності робочої сили.

7. «Європейська програма по боротьбі з бідністю»

(European platform against poverty) повинна забезпечити згладжування соціальних і територіальних відмінностей, з тим, щоб плоди, отримані від економічного зростання, й робочі місця ділилися широко, і щоб люди, що живуть в умовах убогості й соціальної ізоляції, отримали можливість жити в гідних умовах і брати активну участь у житті суспільства.

Реалізація запропонованих ініціатив дасть можливість досягнення інноваційної конкурентоспроможності України на основі:

- вибору стратегічних пріоритетів з урахуванням інтересів зацікавлених сторін;
- транскордонного поєднання зусиль науковців для здійснення досліджень та розроблень;
- подолання фрагментації та дублювання досліджень та розробок;
- ефективної взаємодії науки та бізнесових структур у рамках програм державно-приватного партнерства в науково-дослідній та інноваційній сферах;
- моніторинг результатів інноваційного розвитку з можливістю подальшого корегування стратегічних напрямів розвитку залежно змін внутрішнього і зовнішнього середовищ.

Нещодавно служба дослідження громадської думки Європейської комісії «Євробарометр» опублікувала результати проведеного в 27 країнах — членах Європейського Союзу опитування, спрямованого на з'ясування ставлення громадян до науки і технологій. Ці дані становлять особливий інтерес у зв'язку з підтримуваною Європейським Союзом інтеграцією України в європейський дослідницький простір.

Результати дослідження громадської думки свідчать, що 79% європейців цікавляться науковими відкриттями і новими технологічними розробками. Таких європейців більше, ніж громадян, які слідкують за новинами спорту (65%), культури і мистецтва (69%), а також політики (68%). Показово, що проблемами навколишнього середовища та медичних відкриттів, які напряму пов'язані з наукою і технологіями, цікавляться відповідно 88 і 82% європейців.

Ставлення європейців до рівня фінансування наукових дослі-

джень у Європейському Союзі розподілилося таким чином: 31% вважають його недостатнім, 32% — адекватним і лише 7% — надто високим. Примітно, що 17 червня 2010 року Європейська рада затвердила нову європейську стратегію розвитку «Європа 2020», що включає п'ять пріоритетів, з яких другим є поліпшення умов для наукового і технологічного розвитку, зокрема збільшення до 3% ВВП сукупного рівня державного та приватного інвестування в ці галузі.

Аналізуючи аналогічні опитування в масштабах України, можна стверджувати, що для українців ці відсотки будуть наполовину меншими, що вказує на набагато нижчий рівень життя українців і зміну, у зв'язку з цим, життєвих пріоритетів.

Більшість європейців (64%) вважають, що Європейський Союз має розвивати співробітництво з ученими третіх країн. На цей час програма наукових досліджень і технологічного розвитку Європейського Союзу повністю відкрита для участі українських учених у спільних проектах та отримання фінансової підтримки. Українські наукові організації навіть можуть виступати координаторами таких проектів. В Україні працює Офіс спільної підтримки інтеграції України в європейський дослідницький простір, який фінансується Європейським Союзом згідно з політикою європейського сусідства і партнерства.

Отож, вивчення та узагальнення досвіду Європейського Союзу щодо запровадження стратегічних ініціатив, заснованих на широкій взаємодії науково-дослідницьких установ та бізнесових структур, повинен створити ґрунтовний фундамент системних інноваційних перетворень на основі оновленої стратегії інноваційного конкурентоспроможного розвитку України з можливістю у майбутньому стати учасником нової програми «Горизонт 2020», яка поєднує програми 7 РП, СІР (Competitiveness and Innovation Framework Programme) та ЕІТ (European Institute of Innovation & Technology). Законодавчий пакет даної нової рамкової програми ЄС прийнятий Колегією Європейської Комісії 30 листопада 2011 року.

Ціль програми — максимальне використання результатів нау-

кових досліджень, що фінансуються Євросоюзом, для стійкого розвитку Європи, вирішення проблем, що постали перед нею — зміна клімату, енергетична і продовольча безпека, здоров'я і старіння населення.

Пріоритетами даної програми є:

- підвищення якості науково-дослідної бази;
- лідерство в промислових та високоефективних технологіях;
- розв'язання важливих соціальних питань.

Горизонт 2020 — наступна Рамкова програма, направлена на дослідження та інновації (2014–2020), нова інтеграційна система фінансування з попереднім бюджетом 80 мільярдів євро, яка включає фінансування досліджень та інновацій. Цілком очевидно, що для України на даний момент реалізація останніх етапів 7РП — це міст до проекту «Horizon 2020».

Bohdan Andrushkiv, Ihor Stoyko

EUROPEAN ASPECTS OF TECHNOLOGICAL INITIATIVES REALIZATION

Strategic initiatives of the European Union for acceleration of innovative development and improvement of science and businesses cooperation are analyzed.

Наукове видання

Інженерно-технічна комісія
Тернопільського осередку
Наукового товариства ім. Шевченка

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

Том 7

Праці Інженерно-технічної комісії

Редактор тому — *Петро Ясній*

Відповідальний редактор серії — *Михайло Андрейчин*

Підготовка до друку *Ольги Клим*

На палітурці автопортрет

Тараса Шевченка, створений поетом у 1851 році.

Підписано до друку 19.11.2012. Формат 60x84¹/₁₆. Папір офсетний.

Гарнітура Minion Pro. Друк офсетний.

Умовн. друк. арк. 12,45. Зам. № 2012-1119.

Наклад 150 прим.

Друк ТОВ «Джура», 46000, м. Тернопіль, вул. Поліська, 5

тел. 25-88-80, 25-69-40, e-mail: dzhura09@mail.ru

У збірнику вміщено 27 наукових статей, у яких висвітлено результати досліджень у галузі технічних та фізико-математичних наук, а також історичні дослідження внеску Наукового товариства ім. Шевченка у розвиток фундаментальної науки та техніки і розвідки, в яких запропоновано шляхи інноваційного розвитку України. Основу збірника склали результати досліджень науковців Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, членів НТШ, які були представлені під час Березневої сесії НТШ у 2012 році.

Адресовано науковцям, а також всім, хто цікавиться історією науки та її здобутками.