

International Scientific-Practical Conference

*The problems of mechanics,
physics chemistry of the
condensed state of matter*

**Book of
abstracts**

17–19 September 2015

Mykolayiv, Ukraine

Міністерство освіти і науки України
Миколаївський національний університет
імені В.О. Сухомлинського
Інститут механіки імені С.П.Тимошенка НАНУ
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАНУ
Інститут технічної теплофізики НАНУ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова

Міжнародна науково-практична конференція

*Проблеми механіки та фізико-
хімії конденсованого стану
речовини*

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

17 – 19 вересня 2015 р.

Миколаїв

Організаційний комітет

Голова організаційного комітету:

Будак Валерій Дмитрович – член-кореспондент НАПН України, доктор технічних наук, професор, ректор Миколаївського національного університету ім. В.О. Сухомлинського.

Члени організаційного комітету:

Рехтета М.А.
Овчаренко А.В.
Січко В.М.
Дінжос Р.В.
Лисенков Е.А.
Дармосюк В.М.
Васильєва Л.Я.

Organizing committee

Chairman of the Organizing Committee:

Professor Valeriy Budak, rector of Mykolayiv V.O. Sukhomlynsky National University

Members of Organizing committee:

Rekhteta M.A.
Ovcharenko A.V.
Sichko V.M.
Dinzhos R.V.
Lysenkov E.A.
Darmosiuk V.M.
Vasyl'yeva L.Ya.

У збірнику наведено матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми механіки та фізико-хімії конденсованого стану речовини». Розглянуті сучасні прикладні проблеми механіки суцільних середовищ, фізики конденсованого стану речовини, хімії конденсованих структурно-неоднорідних систем, теоретичні аспекти фізико-хімічних досліджень конденсованих систем, геометричне, математичне та комп'ютерне моделювання явищ, систем і процесів, а також проблеми професійної підготовки фахівців фізико-математичного напрямку.

Проблеми механіки та фізико-хімії конденсованого стану речовини: Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції / Миколаїв, Україна, 17 - 19 вересня 2015 р. – 251 с.

У текстах тез доповідей, опублікованих у цьому збірнику, збережено оригінальний авторський стиль у поданні матеріалу.

Original author's style of the abstracts is used in Abstracts Book.

© Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського, 2015

CONTENTS

PLENARY REPORTS.....	12
Rekhteta M.A. Man, teacher, scientist: in memory of professor V.P. Privalko.....	13
Пелешак Р.М., Даньків О.О., Кузик О.В., Сенета М.Я. Підсилення інтенсивності випромінювання гетеролазера InAs/GaAs з квантовими точками InAs за допомогою ультразвукової хвилі.....	15
Борисенко В.Д., Устенко С.А. Реконструкція поверхонь – перспективний напрямок подальшого розвитку досліджень у прикладній геометрії.....	16
Бойчук В., Білинський І., Пазюк Р., Лешко Р., Іванишин І., Карпин Д. Залежність оптичних та електричних властивостей впорядкованих масивів сферичних квантових точок від температури та положення рівня фермі.....	19
Рево С.Л., Бошко О.І., Дашевський М.М., Михалюк О.В., Іваненко К.О., Smail Hamamda Зміни термо-ЕРС наноконпозиційних матеріалів залізо-мідь-вуглецеві нанотрубки, одержаних методом механо-хімічної активації порошкових компонент при деформації та відпалах.....	20
Кныш В.В., Соловей С.А., Мерзлюк В.В. Сопротивление коррозионной усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой.....	21
Панько Е.А. Морфология скоплений галактик.....	24
Динжос Р.В., Фиалко Н.М., Шеренковкий Ю.В. Особенности теплопроводности полимерных микро- и наноконпозито на основе поликарбоната.....	25
Поздеев В.А. Проблема подвижности границ в задачах механики сплошных сред.....	26
TOPICAL SECTION 1. MODERN APPLIED PROBLEMS OF MECHANICS OF CONTINUOUS ENVIRONMENTS.....	32
Аникьев И.И., Максимюк В.А., Михайлова М.И., Сущенко Е.А. Определение коэффициента динамичности в системах консоль-стержень при действии ударных волн.....	33
Бабич С.Ю. Деякі динамічні задачі для тіл з початковими напруженнями.....	34
Багно А.М. Локализация низших квазилэмбовских волн в системе: слой жидкости – упругий слой.....	35

Бойчук О.В., Курчик Т.М. Чисельне моделювання та розрахунок структурованої перекриття-оболонки.....	36
Бойчук О.В., Маковійчук Д.О. Чисельне моделювання та розрахунок гіперболоїдної вежі.....	37
Борисенко М.Ю. Чисельне визначення власних частот некругових циліндричних оболонок еліптичного поперечного перерізу з різних матеріалів.....	38
Борисенко М.Ю., Борисенко І.А., Пригода О.П., Роговцов Ю.О. Чисельно-експериментальне дослідження вільних коливань прямокутної пластини з вільними краями.....	39
Борисенко М.Ю., Тарасов А.П., Жук І.Ю. Визначення частот та форм власних коливань тонкостінної кругової циліндричної оболонки.....	40
Будак В.Д., Григоренко О.Я., Борисенко М.Ю., Хоришко В.В., Пригода О.П. Чисельно-експериментальне визначення власних коливань товстостінної циліндричної оболонки.....	41
Будак В.Д., Завгородній А.В., Овчаренко А.В., Панчук К.С. Вимушені резонансні коливання і дисипативний розігрів циліндричної панелі з незалежними від температури механічними характеристиками...	42
Будак В.Д., Січко В.М., Овчаренко А.В., Завгородній А.В. Термомеханическое поведение вязкоупругой прямоугольной толстой пластины.....	44
Воропаев С.А., Двейрин А.З., Мерзлюк В.В., Муштай М.В., Никитина В.А. Обеспечение статической и динамической прочности кресел самолета.....	45
Вдовиченко А.Г., Воропаев С.А., Мерзлюк В.В., Николаев Н.В., Шкнай С.В. Обеспечение прочности элементов крепления кресел самолета.....	46
Глухов Ю.П. Моделювання пружно-деформованого стану шаруватої основи з початковими напруженнями при дії рухомого навантаження.....	48
Григоренко А.Я., Яремченко С.Н. Осесимметричное напряженное состояние неоднородного полого шара.....	49
Григоренко О.Я., Пархоменко О.Ю. Розрахунок частот власних коливань шаруватих прямокутних в плані пологих оболонок змінної товщини в уточненій постановці.....	50
Жук Я.О., Васильєва Л.Я. Дослідження впливу мікроструктурних перетворень в матеріалі при комбінованому термомеханічному імпульсному навантаженні півпростору.....	51
Зазимко Н.М., Малезик М.П., Малезик П.М. Вплив структурного фактору локальних напружень в руйнуванні полімерів.....	53
Карнаухов В.Г., Козлов В.И., Завгородній А.В. Трехмерная задача о вынужденных резонансных колебаниях и диссипативном разогреве тел вращения из вязкоупругого пьезоэлектрического материала.....	55

Карнаухов В.Г., Лисенков Е.А., Пригода О.П. В'язкопружні властивості нанокомпозитів поліетиленгліколь – вуглецеві нанотрубки.....	57
Киричок І.Ф., Карнаухова Т.В. Теплове руйнування системи керування осесиметричними коливаннями циліндричних і сферичних оболонок за допомогою п'єзоелектричних сенсорів та актуаторів.....	58
Максимюк В.А., Піголь О.В., Сторожук Є.А., Чернищенко І.С. Про використання геометричних співвідношень у векторній формі при дослідженні пружнопластичного стану некругових циліндричних оболонок.....	59
Максимюк В.А., Сторожук Є.А., Чернищенко І.С. До статистики тонких ортотропних оболонок змінної товщини з нелінійно пружних композитних матеріалів.....	61
Мейш В.Ф., Палюк А.В. Численное решение задач теории трехслойных цилиндрических оболочек эллиптического поперечного сечения с дискретным продольным ребристым наполнителем при нестационарных нагрузках.....	63
Оксенчук Н. Д., Доля Е.В. Напряженно-деформированное и микроструктурное состояние полупространства.....	64
Олефиренко О.Ю. Нелинейные волны, вызванные движением поршня... 66	66
Підгурський І. Моделювання КІН двох взаємодіючих поверхневих півеліптичних колінеарних тріщин методом скінчених елементів.....	68
Підгурський М.І., Рудяк Ю.А. Визначення величин КІН для випадків великих різниць оптичного ходу променів.....	71
Рудяк Ю.А., Підгурський М.І. Визначення величин КІН для об'єктів, виготовлених із оптично малочутливих матеріалів.....	72
Сачук Ю.В. Контактна взаємодія тіл з покриттями із штампами канонічної форми з урахуванням зношування матеріалу.....	74
Сенченков И.К., Червинко О.П., Якименко С.Н. Циклическая долговечность цилиндрических деталей при многослойной наплавке и циклическом термомеханическом нагружении.....	75
Сичко В.М., Мольченко Л.В., Умрихин И.Н. Термомеханическое поведение толстостенной вязкоупругой цилиндрической панели.....	77
Шнеренко К.І. Дослідження напруженого стану композитної оболонки з отворами.....	78

TOPICAL SECTION 2. PHYSICS OF THE CONDENSED STATE OF MATTER 80

Dinzhos R., Darmosiuk V., Kolesnyk S., Kvachova A. Influence of preparation methods of polymeric nanocomposites on their thermal conductivity.....	81
---	----

Iurzhenko M.V. Basic approaches and fundamental knowledge on plastics welding.....	82
Iurzhenko M.V., Demchenko V.L., Korab M.G., Galchun A.M., Kondratenko V.Yu., Anistratenko V.V., Dyachenko S.M., Menzheres M.G. Features of the heat-resistant plastics welding.....	83
Lysenkov E.A., Klepko V.V. Percolation behavior in systems based on oligoethers and carbon nanotubes.....	84
Matkovska L.K., Iurzhenko M.V., Mamunya Ye.P., Matkovska O.K., Lebedev E.V., Boiteux G., Serghei A. Thermomechanical behaviour of solid ion-conductive polymers based on epoxy oligomer and LiClO ₄	85
Tarasenko O.O., Demchenko V.L., Shadrin A.O., Palagesha A.M., Fedoseeva O.V., Menzheres M.G., Iurzhenko M.V. Impact of laser irradiation and laser welding of plastics.....	86
Алексєєв О.М., Алексєєв С.О., Лазаренко М.М., Лазаренко М.В., Ковальов К.Н., Ткачев С.Ю., Лазаренко Т.К. Фазові перетворення 1-октадецену в силікагелях з різними поверхнями та розмірами пор.....	87
Алексєєв О.М., Довгопола А.В., Ковальов К.М., Лазаренко М.М., Ткачов С.Ю. Релаксація в водних розчинах сахаридів та електролітів.....	89
Бохван С.І., Лисенков Е.А., Клепко В.В. Особливості структуроутворення у системах поліпропіленгліколь-вуглецеві нанотрубки.....	90
Демченко В.Л., Гальчун А.М., Менжерес М.Г., Скок А.Г., Юрженко М.В. Вплив процесів зварювання на структуру поліетиленів.....	92
Дінжос Р.В., Махровський В.М., Прокопенко П.Ю. Кінетика неізотермічної кристалізації полімерних мікро- і нанокомпозитних матеріалів на основі полікарбонату.....	93
Долгошей В.Б. Вивчення властивостей еластомерного гомопропілену методом диференціальної скануючої калориметрії.....	94
Займак О.М., Руденко О.П. Вплив молекул води на діелектричні властивості гліцерину.....	96
Карпова І.Л., Корсканов В.В., Рухайло М.В., Лобок С.І. Реологічні властивості епоксиграфітових сумішей.....	98
Корсканов В.В., Карпова І.Л., Рухайло М.В., Лобок С.І. Термодинаміка формування багатокомпонентних полімерних систем.....	100
Кривцов В.В. Електретний ефект як джерело біфуркаційних процесів у полімерних композитах.....	102
Лисенков Е.А., Голованець В.М., Рехтета М.А., Klonos P. Особливості теплофізичних властивостей системи на основі поліетиленоксиду та вуглецевих нанотрубок.....	105

Матковська О.К., Мамуня Є.П., Юрженко М.В., Зінченко О.В., Лебедєв Є.В., Voiteux G., Serghei A. Структура та електрофізичні властивості полімерних органо-неорганічних систем на основі епоксидних олігомерів та гетерополікіслот.....	106
Мельник І.А., Лебовка М.І., Клепко В.В., Лисенков Е.А. Властивості нанокompозитних систем на основі поліетиленгліколю допованих багатопшаровими вуглецевими нанотрубками.....	110
Панько Е., Емельянов С. Визуалізація скоплених галактик для определения морфологических типов.....	111
Панько Е., Сергиенко О. Наблюдения затменных систем с вариациями периодов в АОК Николаевского национального университета им. В.А.Сухомлинского.....	112
Підлісний А.Р., Аністратенко В.В., Тудженкова О.С., Янчевський Л.К., Тарасенко О.О., Юрженко М.В., Січкарь Т.Г. Загальні принципи та особливості ультразвукового зварювання пластмас.....	112
Сенета М.Я., Пелешак Р.М., Дорошенко М.В., Галь Ю.М. Квантово-розмірні стани деформованої межі розділу двох конденсованих структурно-неоднорідних систем.....	113
Стебленко Л.П., Яценко Л.Н., Воронцова Л.А., Курилюк А.Н., Кобзарь Ю.Л., Науменко С.Н., Крит А.Н., Калиниченко Д.В. Влияние концентрации кремнийсодержащего наполнителя на микромеханические характеристики и структуру нанокompозитных эпоксиуретановых полимеров.....	114
Таланюк В.В., Гальчун А.Н., Кондратенко В.Ю., Аністратенко В.В., Демченко В.Л., Тудженкова О.С., Тарасенко О.О., Січкарь Т.Г., Юрженко М.В. Інноваційний спосіб зварювання армованих багатопшарових полімерних труб.....	117
Хорольський О.В., Руденко О.П. Концентрації кросоверу розчинів полівінілового спирту у диметилсульфоксиді.....	117
Юрженко М.В., Мамуня Є.П., Левченко В.В., Матковська О.К., Лебедєв Є.В. Механічна поведінка ліофільних гібридних полімерних наносистем.....	121
TOPICAL SECTION 3. CHEMISTRY OF THE CONDENSED STRUCTURE-INHOMOGENEOUS SYSTEMS.....	122
Shantalii T.A., Karpova I.L., Lobok S.I. Impact on strength of association carbon nanotubes epoxy oligomers viscosity.....	123
Tolstov A.L., Matyushov V.F., Lebedev E.V. Structure-properties relationship in polymeric systems based on biuret-functionalized polyurethane with nanosilver.....	124
Yemelyanova T., Lobko Ye., Hubina A. Development of the method for film-casting of xanthan/PVA films from the water solution.....	125

Бабкіна Н.В., Ященко Л.М. Вплив способу формування органо-неорганічних силоксанвмісних епоксиретанових нанокомпозитів на в'язкопружні та адгезійні властивості.....	126
Бей І.М., Слісенко О.В., Будзінська В.Л. Дослідження сорбційних властивостей органо-неорганічних композитів на основі полівінілового спирту та кремнієвої кислоти.....	128
Бондарук О.М., Карабанова Л.В., Гомза Ю.П., Несін С.Д., Воронін Е.Ф., Носач Л.В. Структура і термодинаміка взаємодій в нанокомпозитах на основі ПУ/ПГЕМА ВПС та біологічно-активних наповнювачів.....	128
Будзінська В.Л., Бей І.М., Слісенко О.В. Вплив молекулярної маси полімерної матриці на сорбційні властивості органо-неорганічних композитів.....	132
Гончарова Л.А., Климчук Д.О., Сапсай В.І., Карабанова Л.В. Синтез, структура та термічні властивості ПУ/ПОСС нанокомпозитів.....	133
Гудзенко Н.В., Бубнова А.С., Бусько Н.А., Баранцова А.В., Грищенко В.К. Олигомерные модификаторы на основе растительных масел полученные безизоцианатным методом.....	137
Кулеш Д.В., Нечаева Л.Ю., Галатенко Н.А. Исследование свойств полимерного имплантационного материала с иммобилизированным метилурацилом.....	138
Лобко Є.В., Гаголкіна З.О. Стан йону Fe^{3+} у сітчастому поліуретані за даними ЕПР аналізу.....	139
Лобко Є.В., Гаголкіна З.О., Яковлев Ю.В., Лисенков Е.А., Клепко В.В. Вплив каталітичноактивного $Fe(acac)_3$ на електропровідність систем поліуретан/вуглецеві нанотрубки.....	140
Самойленко Т.Ф., Ярова Н.В., Бровко О.О., Воронцова Л.О. Дослідження структурних особливостей епоксиакрилатних взаємопроникних полімерних сіток.....	141
Слісенко О.В., Бей І.М., Будзінська В.Л. Хімічна стійкість поліізоціанат/силікатних композицій до дії агресивних середовищ.....	142
Стрюцкий А.В., Клименко Н.С., Гуменная М.А., Яковлев Ю.В., Собко О.А., Лобок С.И., Корсканов В.В., Лысенков Э.А., Клепко В.В., Шевченко В.В. Алкоксисилильная протонная олигомерная ионная жидкость и органо-неорганические протонообменные мембраны на ее основе.....	144
Толстов А.Л., Матюшов В.Ф., Лебедев Е.В. Получение наноструктурированных катализаторов эпоксидирования жидкофазным осаждением TiO_2 на поверхность природных минералов.....	146
Яковлев Ю.В., Лобко Є.В., Гаголкіна З.О. Резистивні сенсори парів ацетону на основі композитів сітчастий поліуретан/нанотрубки.....	147

TOPICAL SECTION 4. THEORETICAL ASPECTS OF PHYSICS CHEMICAL RESEARCHES OF THE CONDENSED SYSTEMS..... 149

Бойчук В.І., Білинський І.В., Пазюк Р.І., Кропивницька К.М. Вплив поляризації падаючого світла на поглинання світла масивом впорядкованих ланцюжків сферичних квантових точок..... 150

Катц А.М., Кушнерик П.И. Анализ теплопроводности полимерных композиционных материалов на основе поликарбоната..... 151

Катц А.М., Кушнерик П.И. Расчет термодинамических свойств соединений $A_{1-x}B_x$ комбинированным методом первопринципного и модельного псевдопотенциалов..... 152

Лисенков Е.А., Белозорова К.Д., Баклан Д.А., Привалко Е.Г. Теоретичний аналіз перколяційної поведінки нанонаповнених полімерних систем..... 154

Поживатенко В.В. Першопринципні розрахунки фазових перетворень ГЦК→ОЦК → ПК під тиском у сполуках Ca-Sr..... 155

Поживатенко В.В. Расчёт параметров тетрагональной структуры InBi.... 158

Ушкац М.В., Ушкац С.Ю. Групповое разложение конфигурационного интеграла системы взаимодействующих частиц в области плотных состояний..... 163

TOPICAL SECTION 5. PROBLEMS OF PROFESSIONAL TRAINING OF SPECIALISTS OF PHYSICS AND MATHEMATICS DIRECTION.. 167

Адаменко О.О., Дармосюк В.М. Підготовка майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти..... 168

Баран О.І., Дармосюк В.М., Руда А.М. Підготовка майбутніх вчителів математики до розв'язування математичних задач підвищеної складності..... 170

Вітренко О.С., Манькусь І.В. Використання ІКТ на уроках фізики як засіб мотивації учнів до навчання..... 172

Караченцева Н.Л. Кафедра фізики МНУ ім. В.О. Сухомлинського: освітній проект „Крок до науки”..... 174

Конько Я.С., Рехтета М.А. Використання віртуальних фізичних лабораторій в освітньому процесі при підготовки бакалаврів фізики..... 175

Кривцов В.В. Про доцільність розв'язування задач прикладного характеру з нарисної геометрії..... 176

Манькусь І.В., Недбаєвська Л.С. Здібність до прогнозування – один із засобів підвищення ефективності і якості навчання фізиці..... 179

Манькусь І.В., Недбаєвська Л.С. Підготовка викладача фізики: технологічний аспект..... 181

Михалко Н.М., Недбаєвська Л.С. Виховання екологічної культури учнів: роль вчителя фізики..... 184

Мішура Ю.В., Манькусь І.В. Технології позакласної роботи з фізики. Використання нових інформаційних технологій у позакласній роботі з фізики старшої школи (10-11 класи).....	186
Ольшановський В., Недбаєвська Л.С. Формування вмінь активізації пізнавальної діяльності при вивченні фізики у сучасній школі.....	187
Погромська Г.С., Махровська Н.А. Курс програмної інженерії як складова підготовки фахівців з інформатики.....	189
Хейфець І.М. Деякі шляхи порятунку шкільної астрономії.....	192
TOPICAL SECTION 6. GEOMETRICAL, MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF THE PHENOMENAS, SYSTEMS AND PROCESSES.....	194
Бідніченко О.Г. Особливості застосування кривих Безьє для геометричного моделювання обводів поверхонь технічних конструкцій...	195
Колосов О.Є. Експериментально-статистична обробка результатів вимірювань та оптимізація технологічних і режимних параметрів при одержанні реактопластичних полімерних композиційних матеріалів.....	196
Колосов О.Є. Підходи до моделювання процесу нановуглецевого модифікування реактопластичних композиційних матеріалів на основі епоксидних олігомерів.....	201
Колосова Е.П. Методика оптимизации конструкций одноволновых составных ультразвуковых вибраторов на базе структурно-параметрического моделирования.....	205
Колосова О.П. Прогнозування технологічних параметрів процесу озвучування рідких полімерних зв'язуючих на базі експериментально-статистичного моделювання.....	210
Самарін В.О. Оцінка кутових коефіцієнтів систем з поверхнями кінцевих розмірів.....	212
Семків О.М. Визначення критичних значень параметрів коливань маятника графічним методом.....	216
Сухарькова О.І. Визначення критичних значень параметра сім'ї кривих на площині.....	219
Табаківа І.С. Використання геодезичних ліній для визначення шляху рухомого об'єкта серед перешкод.....	222
Тимкович Г.І., Півень Н.В., Надкернична Т.М., Маркова О.В., Геометрична інтерпретація параметрів руху ґрунту в шнекових робочих органах.....	226
Устенко І.В., Агарков О.Ю. Моделювання поверхонь з наперед обумовленими залежностями розподілу кривини вздовж головних їх напрямів.....	231
Холковський Ю.Р. Геометричне моделювання багатопараметричних систем на основі дискретно-інтерполяційного підходу.....	235

Хошаба А.М., Степанюк Д.С. Математическое моделирование производительности программно-технических комплексов на основе клеточных автоматов.....	239
Чапля Ю.С., Соболев О.М. Загальна модель оптимізації розміщення плоских неорієнтованих об'єктів з кусочно-нелінійними границями у багатозв'язній області.....	242
Човнюк Ю.В. Модифікація методу Рітца для аналізу нестационарних процесів у механічних системах із розподіленими параметрами.....	245
Човнюк Ю.В. Обґрунтування методу аналізу нестационарних процесів та коливань у дискретно-континуальних механічних системах.....	246
Човнюк Ю.В., Похыленко Е.А., Хымыч И.П. Математическое моделирование и синтез оптимального линейного регулятора в системе амортизации для быстроходного машинно-тракторного агрегата.....	247
Щепьоткіна А.Б., Сохацький А.В. Математичне моделювання транспортних потоків з урахуванням регульованих перехресть.....	249

PLENARY REPORTS

**MAN, TEACHER, SCIENTIST: IN MEMORY OF
PROFESSOR V.P. PRIVALKO**

M.A. Rekheta

V.O. Sukhomlynskiy Mykolayiv National University

Professor Privalko accomplished a brilliant scientific career: he was the founder and, for 30 years, the Chair of the Department of Polymer Thermophysics in the Institute of Macromolecular Sciences, published over 350 papers and 5 monographs, supervised and groomed 23 PhD students, and earned his reputation as a recognized leader in polymer physics and thermodynamics. He made significant contributions in the fields of molecular, structural, and physical properties of polymers, low temperature thermal behavior and fractal structure of polymer glasses, synthesis and physical characterization of semi-rigid chain polymers reinforced with sol-gel derived inorganic nanophase materials, polymer membranes, and interfacial interactions in heterogeneous polymer materials, including filled polymers and nanocomposites, polymer blends, block copolymers, and interpenetrating polymer networks (IPN).

Professor Privalko taught polymer courses and served as a visiting scientist at the most prestigious polymer centers in Japan, Israel, Germany, Spain, Italy, and the U.S. He co-managed international research programs and was a recipient of numerous national and international scientific awards.

Valery Privalko was a highly educated, multilingual, charismatic person with sharp humor and broad erudition who would quickly become the center of attention in any gathering and make good friends.

Memoirs of the Friends of Professor Privalko

"He was an innovative researcher with remarkable natural talent: inventiveness and an exacting eye for detail distinguished his research. An exceptional gift lain in the design of equipment to make precise experimental measurements. He had constructed and brought into use several unique facilities, including a high-resolution and wholly automated system for measuring the heat capacity in a very wide range of temperatures. In its combination of a wide range of techniques, this state-of-the-art system typified Prof. Privalko's ingenious and sophisticated approach to instrumentation, as well as his extensive knowledge of experimental method. Dedication to excellence brought its rewards: his contributions were recognized by invitations to give seminars and papers at international conferences and his writing was influential and widely published in the foremost journals and in books. Particularly exciting were his recent studies concerning the miscible blends of linear polymers (published in the most important journals of the field), because they proved the existence of a nanoscopic length scale where the dynamics of a blend exhibits a heterogeneous regime.

Owing to his teaching experience, I invited Prof. Privalko to give a number of lectures to PhD students of the Physics Department of Messina University. These

lectures nicely comprised the major theoretical and experimental arguments concerning the polymer physics.

Prof. Privalko was firstly a close friend and, secondly, a high ranking scientist with a really excellent scientific life."

*Pino Carini,
Professor of Experimental Physics, Department of Physics, University of
Messina,
Italy*

"I was very fortunate to know Dr. Valery Pavlovich Privalko first as a teacher and a mentor, and later as a friend of his family.

Dr. Privalko was one of those rare human beings who possess a gift without borders. He never stopped to amaze other people with his talent, achievement and passion for everything he touched, was it science, sports, foreign languages or anything else he focused on. It is hard to believe that I'll never see this vibrant and energetic person again, attend his brilliant lectures in polymer physics or enjoy his English humor.

A person of integrity and dedication, although open-minded and flexible, Dr. Privalko possessed child-like curiosity for everything that was novel to him. His interests never were limited by the boundaries of polymer physics and thermodynamics, which were the focus of his scientific career."

*Inna Dolgopolsky,
Director, Product Development—Slab BU, Woodbridge Foam Corporation,
Woodbridge ON,
Canada*

"Valery and I had a good collaboration through various joint projects within the period of 1994 to 2002. In all of these years, Valery contributed to the success of these projects with many good ideas, interesting scientific papers and great enthusiasm during his various stays at our institute. He also was a good host to me and my colleagues when visiting him at his Institute in Kiev. We all miss him very much."

*Prof. Dr.-Ing. Dr. H.C. Klaus Friedrich,
Institute for Composite Materials (IVW GmbH), University of Kaiserslautern,
Germany*

"Apart from his wise professional advice on almost any research subject in my group and his effective interaction with my students and their wide spectrum of topics, I remember with bright clarity our joint visit (with Eleonora and Michaela) to the Israel Museum, during which he fascinated me with his broad cultural education; this added a new dimension to my appreciation of Valery."

*Gad Marom,
Professor of Applied Chemistry, Casali Institute of Applied Chemistry, The Hebrew
University of Jerusalem*

ПІДСИЛЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ГЕТЕРОЛАЗЕРА INAS/GAAS З КВАНТОВИМИ ТОЧКАМИ INAS ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ХВИЛІ

Р.М. Пелешак, О.О. Даньків, О.В. Кузик, М.Я. Сенета

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Подальший прогрес в області гетеролазерів пов'язаний з використанням в активній області структур з квантовими точками (КТ). Напівпровідникові гетероструктури InAs/GaAs з КТ InAs мають високий квантовий вихід фотолюмінесценції і є перспективним матеріалом для створення лазерів у близькій інфрачервоній області спектру. Джерела інфрачервоного випромінювання, які здатні швидко перебудовувати частоту генерації та напрям випромінювання, є важливими елементами лазерної спектроскопії високої роздільної здатності та оптичних систем зв'язку. Важливим фактором, який впливає на спектральні характеристики гетеролазера, зокрема, на стан поляризації світла, напрям випромінювання, є пружні деформації матеріалу гетероструктури.

У даній роботі побудовано теорію модуляції напрямку випромінювання гетеролазера на квантових точках під впливом акустичної хвилі та досліджено можливість підсилення інтенсивності лазерного випромінювання в заданій точці.

Акустична хвиля, яка є джерелом пружної періодичної неоднорідної деформації, призводить до періодичної зміни компонентів тензора діелектричної проникності матеріалу гетероструктури. Таким чином, акустооптична взаємодія призводить не тільки до зміни коефіцієнта заломлення з часом, але й до його неоднорідного просторового розподілу в напрямі, перпендикулярному до резонатора. Тому з часом буде змінюватися напрям випромінювання гетеролазера. Амплітуда модуляції напрямку випромінювання визначається величиною градієнта деформації, який залежить як від частоти акустичної хвилі, так і від амплітуди деформації. При збільшенні частоти акустичної хвилі в діапазоні $10^7 \text{ c}^{-1} < \omega < 6 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$ амплітуда кута відхилення зростає за законом $\alpha_{\text{max}} \sim \omega^3$. При подальшому збільшенні частоти акустичної хвилі спостерігається немонотонна зміна кута відхилення випромінювання гетеролазера.

Кут відхилення променя є пропорційним до його відстані від аксіальної осі, а отже, оптичний резонатор, що піддається впливу акустичної хвилі поводить себе як лінза (півперіоду як збиральна, а іншу половину як розсіювальна). У результаті цього, в фокусах такої акустоелектронної лінзи спостерігається збільшення інтенсивності випромінювання до 100%.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ПОВЕРХОНЬ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ПРИКЛАДНІЙ ГЕОМЕТРІЇ

Борисенко В.Д., Устенко С.А.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

У багатьох галузях промисловості, зокрема, авіаційній, суднобудівній, автомобільній тощо, дуже часто виникають ситуації, коли для існуючих реальних виробів необхідно відтворювати їх геометричні моделі, що обумовлюється або їх відсутністю, або якимось іншими причинами. Відтворення геометричних моделей може бути необхідним для виконання певних заходів, пов'язаних з модернізацією як окремих компонентів, так і виробу в цілому. Подібні заходи прийнято називати реверс-інжинірингом (RE). Треба відзначити, що ця галузь інженерної та наукової діяльності людства дуже швидко розвивається. Це пояснюється не тільки бажанням проєктантів і виробників покращити певні показники функціонування виробу, але й поліпшити його дизайн.

Реверс-інжиніринг сприяє поліпшенню якості та ефективності проєктування, виготовлення та аналізу (термодинамічному, міцнісному тощо). Він, як правило, починається з вимірювання існуючого об'єкта. Використання на підприємствах нових засобів для безконтактних вимірювань форми об'єкта (сканування) суттєво підвищило інтерес до реконструкції поверхонь і реверс-інжинірингу в цілому, оскільки нові засоби оцифровки дають можливість отримувати набір дискретних даних, що описують різні поверхні, з високою швидкістю і достатньо високою точністю.

Широке впровадження в проєктних, дослідних і виробничих установах CAD / CAM технологій прискорило потребу в виконанні реверс-інжинірингу виробів. Однією з областей реверс-інжинірингу є реконструкція поверхонь, метою якої є пошук математичного опису форми фізичної поверхні для перетворення реальних об'єктів в інженерні моделі.

Поява RE-технологій обумовлена необхідністю отримання математичного опису існуючих об'єктів або вироблених раніше деталей виробів для наступних розрахункових процесів або додаткового аналізу. З цієї причини, найважливішим чинником традиційних RE-технологій є відносна точність вихідних даних і несуперечність створеної за ними геометричної моделі. З іншого боку, існують галузі промисловості, де початковий етап проєктування (концептуальне проєктування) є створенням вручну макетів або моделей неіснуючого на даний момент реального об'єкта. Треба відзначити, що в концептуальному проєктуванні створена вручну модель застосовується лише для визначення наближеної форми виробу, що моделюється, оскільки створювана поверхня буде неодноразово редагуватися в процесі проєктування.

Таким чином, можна говорити про безпосереднє використання RE-технології та її методології в процесі геометричного моделювання та розглядати реконструкцію поверхонь як новий, більш економічний з точки зору

трудомісткості, метод моделювання поверхні, який відповідає критеріям гладкості і точності прилягання до дискретних наборів даних. Обчислювальні методи моделювання поверхонь є найважливішим засобом сучасного промислового проектування і виробництва.

Математичний опис форми фізичної моделі є надзвичайно важливим для таких галузей промисловості як виробництво кузовів автомобілів, суднових корпусів, крил літаків, обтічників, трубопроводів, лопаток турбін і компресорів тощо, оскільки комп'ютерну модель поверхні найчастіше легше й дешевше модифікувати та аналізувати, ніж безпосередньо фізичну поверхню. Крім того, згенеровані комп'ютерні моделі уможливають швидку і точну візуалізацію, що призводить до виявлення помилок проектування вже на ранніх його етапах. Крім того, RE-технології застосовуються при реконструкції геологічних, геодезичних поверхонь, отриманих в результаті лазерного сканування; реконструкції поверхонь складної форми по перерізах, отриманих в результаті комп'ютерної томографії, магнітного або ультразвукового сканування.

Рішення перерахованих завдань є в даний час актуальним, оскільки більшість існуючих систем реконструкції поверхонь не є досконалими і не завжди доступними.

Сучасні досягнення в галузі вимірювальної технології, наприклад, таке як лазерне сканування, надають можливість цифрового опису досліджуваних об'єктів з досить високим ступенем точності. Ця обставина зумовила значне підвищення попиту на створення математичних моделей, згенерованих за даними, отриманими в результаті вимірювань, в таких областях як медицина, геологія, археологія, комп'ютерна графіка та автоматизоване проектування.

При оцифруванні поверхні безконтактні сенсори з високою роздільною здатністю дозволяють отримати до півмільйона вихідних точок. Подання тієї ж поверхні параметричною математичною моделлю набагато більш економічне, оскільки вимагає всього 50-100 параметрів. Крім того, параметричне подання дає можливість простого редагування форми поверхні шляхом зміни невеликої кількості параметрів, таких як керуючі точки, вузлові вектори або вагові коефіцієнти. Побудова математичного опису форми фізичних поверхонь є порівняно новою, але перспективною сферою досліджень під назвою реконструкція поверхні. Перетворення дискретних оцифрованих точок в гладку поверхневу модель є головною складовою частиною інженерного аналізу.

Останніми роками в області моделювання поверхонь створено достатньо методів, починаючи від класичних методів аналітичної та диференціальної геометрії, закінчуючи сучасними методами прикладної геометрії. Але в інженерному аналізі задача прямої генерації геометричної моделі з дискретних оцифрованих точок і на цей час не вирішена повністю, оскільки в процесі реконструкції поверхневої моделі неможливо мінімізувати числову помилку, одночасно підвищивши гладкість поверхні.

Загально відомо, що існують два основних підходи до реконструкції поверхні, заданої хмарою точок. Це інтерполяція та апроксимація. Інтерполяційний тип підгонки поверхні використовує кожен точку вихідних

даних у поверхні, що реконструюється, тоді як при апроксимації поверхні відшукується найкраща підгонка гладкою поверхнею до оцифрованих даних з мінімальним відхиленням.

Для мінімізації числової помилки з одночасним підвищенням гладкості поверхні в процесі моделювання широко використовується середньоквадратична апроксимація. Отже, основна задача реконструкції поверхні формулюється наступним чином – необхідно знайти оптимальну підгонку невідомої поверхні так, щоб мінімізувати похибки вимірювання, які виникають через обмеження по точності в вимірювальних приладах, або через недостатню якість поверхні фізичної моделі. Одним із підходів розв'язання цієї задачі є використання NURBS, оскільки ці сплайни призводять до класу найбільш гнучких дискретних методів інтерполяції та апроксимації.

Та частина RE, яка безпосередньо пов'язана з реконструкцією поверхні об'єкта, може бути більш докладно представлена у вигляді послідовності наступних базових етапів: оцифровка даних, обробка даних (суміщення й об'єднання), підгонка поверхні, створення геометричної моделі.

Цей поділ на етапи є досить умовним, оскільки в реальності окремі етапи реконструкції поверхні перекриваються між собою.

Головна мета RE полягає в перетворенні дискретної множини даних (хмари точок), яке, як правило, складається з 3D-координат оцифрованих вихідних точок, в кусковогладку безперервну модель. Для створення якісної моделі фізичного об'єкта, крім хмари точок, необхідна додаткова інформація про об'єкт і структуру даних, оскільки такого сорту інформація впливає на ефективність подальших обчислень.

В залежності від структури оцифрованих даних, хмара точок класифікується як довільна (результати експериментів або вимірювань вручну) і регулярна (результати послідовного сканування досліджуваної поверхні). Разом з тим, щоб побудована модель була коректною, необхідна інформація про ставлення близькості між вихідними даними – топологія. Регулярній хмарі точок притаманна повна інформація про близькість, тобто має місце регулярна топологія, яка може бути легко параметризованою.

Для довільної хмари точок інформація про близькість зазвичай відсутня і може бути отримана в результаті додаткової обробки вихідних даних, наприклад, тріангуляцією хмари точок, апроксимацією багатогранниками тощо. Крім того, якщо відомо, що хмара точок є набором поверхонь, вона має бути сегментованою методом граничних ребер або граничних граней з наступним визначенням типу поверхні кожного сегмента.

На завершення відзначимо, що реконструкція поверхонь є однією з дисциплін сучасного автоматизованого проектування, що динамічно розвивається, базується на відповідному математичному апараті, охоплює обширні галузі та напрямки фундаментальної і прикладної науки. Це, у підсумку, вимагає розробки нових методів опису поверхонь, заданих хмарою точок.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПТИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВПОРЯДКОВАНИХ МАСИВІВ СФЕРИЧНИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА ПОЛОЖЕННЯ РІВНЯ ФЕРМІ

Василь Бойчук, Ігор Білинський, Роман Пазюк, Роман Лешко, Іван
Іванишин, Дмитро Карпин

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Значний інтерес до гетеро систем з квантовими точками в останні десятиліття пояснюється їх унікальними фізичними властивостями, які можна змінювати, вибираючи різну форму і розміри квантових точок.

Переважає більшість теоретичних досліджень стосується масиву невзаємодіючих квантових точок, коли відстані між ними набагато перевищують їх розміри. Тому часто проводяться дослідження спектру квазічастинок окремого елемента масиву гетеро системи – ізольованої квантової точки у матриці.

У випадку малої відстані між квантовими точками електростатична взаємодія між ними стає важливим чинником, що визначає електричні та оптичні властивості ансамблів квантових точок. Ця взаємодія може призводити до перенесення енергії між квантовими точками, як це має місце для атомних і молекулярних систем. Як правило для опису зонних спектрів квазічастинок у впорядкованих масивах квантових точок застосовують модель Кроніга-Пенні, а також наближення слабкого зв'язку. Проте, на наш погляд, перспективним методом аналізу колективних збуджень у впорядкованих масивах квантових точок є метод сильного зв'язку та наближення найближчих сусідів [1].

У роботі проведено теоретичне обчислення електронної зонної структури надграток $GaAs / Al_xGa_{1-x}As$ різної вимірності з рівномірно розподіленими тунельно зв'язаними сферичними квантовими точками. Досліджено оптичні властивості надграток квантових точок.

Отримані значення групової швидкості електронів дають можливість визначити їх рухливість та електропровідність системи. Показано, що зменшення радіуса квантових точок призводить до того, що групова швидкість для електронів s -мінізони змінює свій знак. Це зумовлено поведінкою ізоенергетичних поверхонь мінізон. Зменшення радіуса квантових точок та концентрації алюмінію x в $GaAs / Al_xGa_{1-x}As$ веде до збільшення сумарної провідності за рахунок зсуву рівня Фермі в підбар'єрну зону.

ЛІТЕРАТУРА

[1] В.І. Бойчук, І.В. Білинський, Р.І. Пазюк Коефіцієнт поглинання світла, що зумовлений міжпідзонними переходами електронів у надгратках сферичних квантових точок. // Журнал фізичних досліджень. – 2015. – т. 19, № 1/2. – с. 1601 (1) – 1601 (8).

**ЗМІНИ ТЕРМО-ЕРС НАНОКОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ЗАЛІЗО-МІДЬ-ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ, ОДЕРЖАНИХ МЕТОДОМ
МЕХАНО-ХІМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ ПОРОШКОВИХ КОМПОНЕНТ ПРИ
ДЕФОРМАЦІЇ ТА ВІДПАЛАХ**

Рево С.Л.¹, Бошко О.І.¹, Дашевський М.М.¹, Михалюк О.В.¹, Іваненко
К.О.¹, Smail Hamamda²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

²TTSM Laboratory, Constantine 1 University, Constantine, Algeria

В роботі розглянуто процеси накопичення та релаксації дефектів в наноконпозиційних матеріалах (НКМ) Fe + Cu (з співвідношенням Fe до Cu як 4/1) з додаванням багатостінних вуглецевих нанотрубок (БВНТ) в кількості від 0,5 до 2 об. %. Механо-хімічну активацію (МХА) порошоків компонент НКМ проводили в кульовому планетарному млині (КПМ).

Процеси накопичення та виходу дефектів структури в механоактивованих, спресованих із порошоків компонент та прокатаних зразках аналізували за допомогою методу термо-ЕРС. Отримали залежності диференційної відносно свинцю величини термо-ЕРС (E_T) як від ступеню відносної деформації при прокатці (ε_Σ), так і від температури відпалу (T). Порівняння змін термо-ЕРС при наклепі та відпалі зразків проводили як для оброблених, так і для необроблених у планетарному млині прекурсорів. Встановлено, що зміни величини E_T при холодній деформації прокаткою механоактивованих прекурсорів перевищують аналогічні зміни для необроблених зразків (див. кр. 4-6 та 1-3 рис.1).

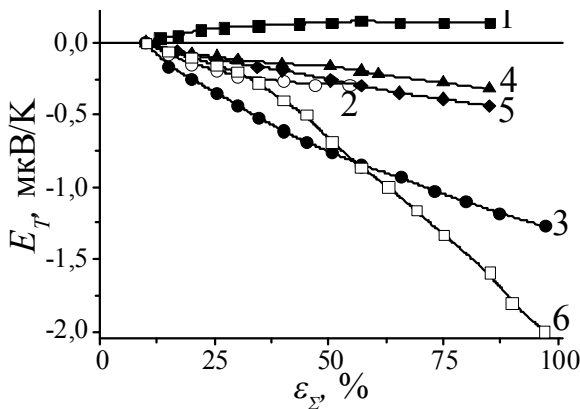


Рис.1. Залежності $E_T(\varepsilon_\Sigma)$ прокатаних прекурсорів, які не обробляли в КПМ, Cu (1); Fe (2); Fe-Cu 4:1 (3), та для тих, які обробляли в КПМ протягом 60 хв, Fe (4); Fe-БВНТ (1 об.%) (5); Fe-Cu 4:1 (6).

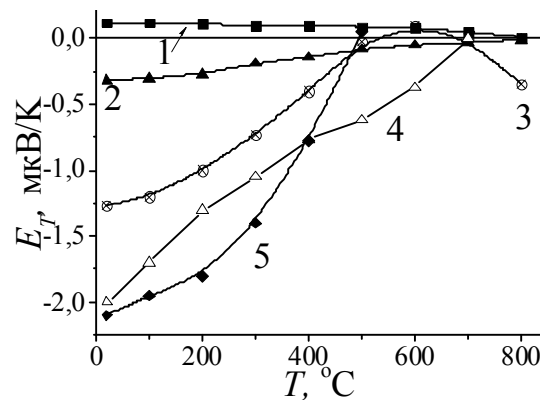


Рис. 2. Залежності $E_T(\varepsilon_\Sigma)$ прокатаних прекурсорів, які не обробляли в КПМ, Cu (1); Fe (2); Fe-Cu 4:1 (3), та для тих, які обробляли в КПМ протягом 60 хв, Fe-Cu 4:1 (4); Fe-Cu 4:1 - БВНТ (2 об.%) (5).

Оскільки вказані зміни величини E_T відповідають аналогічним змінам густини дефектів кристалічної будови (їх збільшенню), а також збільшенню

міцності зразків, то за рахунок використання МХА й було одержано більш міцний матеріал. Зокрема, для розглянутого НКМ +1 об.% МУНТ максимальна одержана границя міцності при розтягуванні становить (1800 ± 81) МПа. Характерним при цьому є те, що як і для НКМ попередньо не оброблених в КПМ, так і для оброблених, залежності $E_T = f(\epsilon_\Sigma)$ при збільшенні ϵ_Σ не виходять на насичення, що обумовлено блокуванням руху дислокацій міжфазними границями.

Для залежностей $E_T = f(T)$ (рис.2) характерним є те, що процес релаксації дефектів у НКМ Fe-Cu, що не піддавались МХА, в діапазоні $T < 500$ °C носить активаційний характер (кр.3 рис.2). Для прекурсорів, що піддавались МХА (кр.4 рис.2), залежності $E_T(T)$ практично лінійні, що пов'язано з утворенням пересиченого твердого розчину після взаємодифузії компонент і, при цьому, енергії відпалу недостатньо для активації процесів структурної дифузійної релаксації. В той же час, БВНТ запобігають взаємному легуванню заліза та міді і процес носить активаційний характер (кр.5 рис.2).

СОПРОТИВЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОКОВКОЙ

В.В. Кныш¹, С.А. Соловей¹, В.В. Мерзлюк²

¹Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины

²ГП «Антонов»

Для повышения коррозионной усталости сварных соединений применяют различные послесварочные обработки, направленные на изменение структуры поверхностного слоя металла, снятие остаточных напряжений растяжения и наведение остаточных напряжений сжатия, уменьшение концентрации напряжений в месте перехода металла шва на основной металл. В последние годы увеличивается количество публикаций, посвященных исследованию эффективности применения высокочастотной механической проковки (ВМП) ударными элементами, используя энергию ультразвука.

Цель настоящей работы - оценить эффективность применения технологии ВМП для повышения сопротивления коррозионной усталости сварных соединений широко распространенных низколегированных сталей 10ХСНД и 15ХСНД.

Материал и методика исследований. Экспериментальные исследования проводили на образцах стыковых и тавровых сварных соединений низколегированных сталей 10ХСНД ($\sigma_T = 390$ МПа, $\sigma_B = 530$ МПа) и 15ХСНД ($\sigma_T = 400$ МПа, $\sigma_B = 565$ МПа) толщиной 12 мм (рис. 1.).

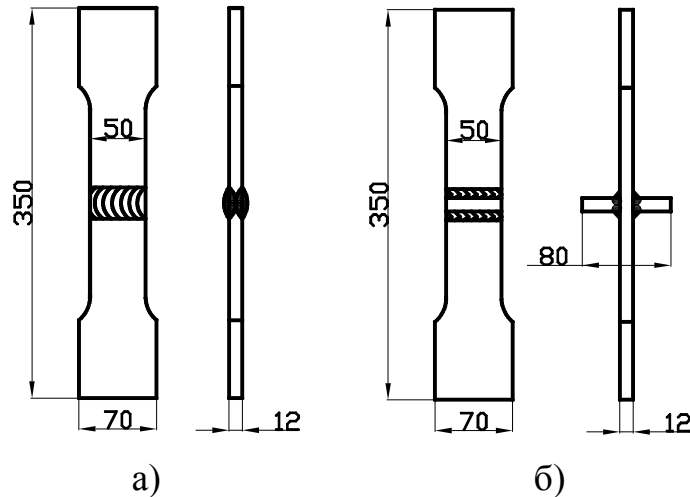
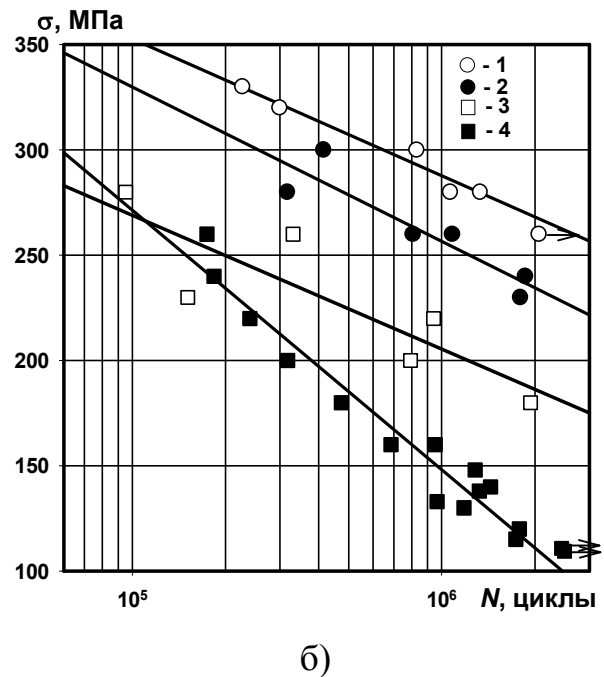
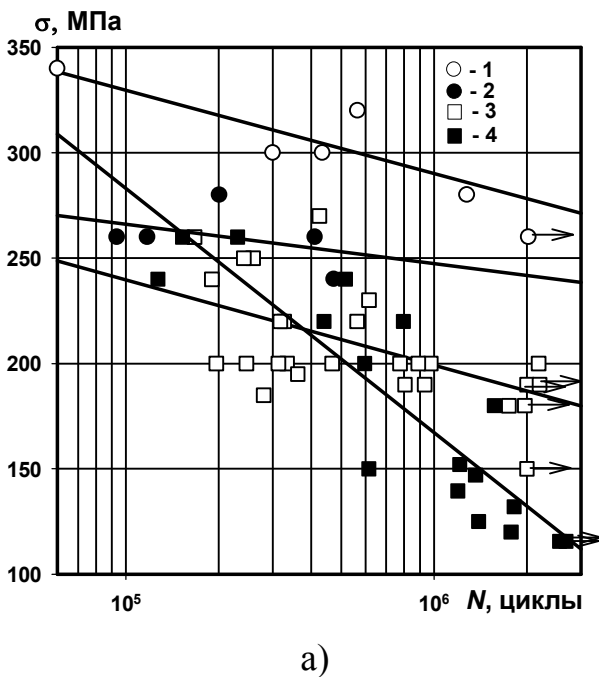
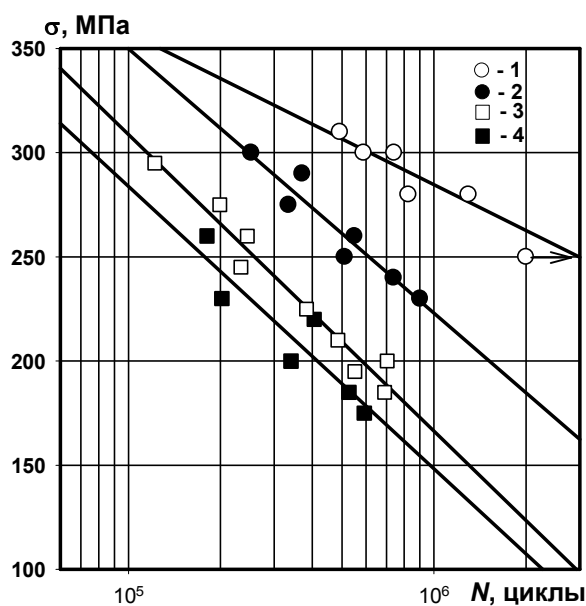


Рис. 1. Форма и геометрические размеры образцов стыковых (а) и тавровых (б) сварных соединений.

Усталостные испытания образцов проводили на испытательной машине УРС 20 при одноосном переменном растяжении с асимметрией цикла $R_\sigma = 0$. В качестве критериев завершения испытаний принималось полное разрушение образца и превышение базы испытаний $2 \cdot 10^6$ циклов перемен напряжений.

Испытывали 3 партии образцов: стыковые сварные соединения стали 15ХСНД, тавровые сварные соединения сталей 10ХСНД и 15ХСНД. Каждая партия состояла из 4-х серий образцов: исходное состояние на воздухе (первая серия), после ВМП на воздухе (вторая серия), исходное состояние в коррозионной среде (третья серия) и после ВМП в коррозионной среде (четвертая серия). В качестве коррозионной среды использовали 3 % раствор NaCl. Размер рабочей части образца в растворе NaCl составлял 100 мм. После испытания каждого образца коррозионный раствор обновлялся.





в)

Рис. 2. Кривые усталости стыковых (а) и тавровых (б, в) сварных соединений сталей 15XCHD (а, б) 10XCHD (в): 1 и 2 - в упрочненном технологией ВМП состоянии на воздухе и в 3% растворе NaCl, соответственно; 3 и 4 - в исходном состоянии на воздухе и в 3% растворе NaCl, соответственно.

Результаты усталостных испытаний всех четырех серий образцов стыкового сварного соединения стали 15XCHD представлены на рис. 2,а. Из приведенных кривых усталости (кривые 1 и 3) следует, что применение технологии ВМП в качестве способа поверхностного пластического деформирования металла соединений вблизи мест локализации усталостных повреждений увеличивает циклическую долговечность стыковых сварных соединений на воздухе более чем в 10 раз, а предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов повышается на 50%. При испытаниях в растворе 3%NaCl предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов необработанных сварных соединений снижается на 30% с 185МПа до 130МПа. Установлено, что упрочнение технологией ВМП существенно повышает характеристики сопротивления коррозионной усталости стыковых сварных соединений: циклическая долговечность увеличивается в 4...10 раз в зависимости от уровней прикладываемых напряжений, а предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов повышается на 85% с 130МПа до 240 МПа.

Результаты усталостных испытаний образцов таврового сварного соединения стали 15XCHD представлены на рис. 2,б. Упрочнение технологией ВМП повышает характеристики сопротивления усталости тавровых сварных соединений на воздухе: предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов повышается на 45%, а циклическая долговечность увеличивается более чем в 10 раз. При испытаниях в растворе 3%NaCl предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов необработанных сварных соединений снижается на 40% с 185МПа до 110МПа. Показано, что упрочнение технологией ВМП значительно увеличивает циклическую долговечность

тавровых сварных соединений в коррозионной среде в 4...10 раз в зависимости от уровней прикладываемых напряжений, а предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов повышается на 114% с 110 МПа до 235 МПа. Разрушение большинства упрочненных образцов в коррозионной среде произошло по основному металлу вдали от линии сплавления.

Результаты усталостных испытаний образцов таврового сварного соединения стали 10ХСНД представлены на рис. 2, в. Обработка технологией ВМП привела к увеличению циклической долговечности тавровых сварных соединений на воздухе в 8...10 раз, а предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов повысился на 108% (со 125 МПа до 260 МПа). При испытаниях в растворе 3% NaCl предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов необработанных сварных соединений снизился на 15%. Упрочнение технологией ВМП существенно повысило характеристики сопротивления коррозионной усталости тавровых сварных соединений стали 10ХСНД: циклическая долговечность увеличивается в 3,5...4 раза в зависимости от уровней прикладываемых напряжений, а предел ограниченной выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов повышается на 80% с 105 МПа до 185 МПа. Разрушение упрочненных образцов в коррозионной среде произошло по основному металлу вдали от линии сплавления.

МОРФОЛОГИЯ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

Е.А. Панько

Николаевский национальный университет им. В.А. Сухомлинского

Скопления галактик занимают особое место в иерархии крупномасштабных структур Вселенной. Это самые массивные полностью вириализованные объекты, которые с высокой степенью достоверности можно считать репрезентативной физической моделью Вселенной. В обзоре рассматривается эволюция представлений о скоплениях галактик, особенности их морфологии. В заключительной части обзора представлена обобщенная схема морфологической классификации скоплений галактик [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Panko E. A. The Criteria for Morphological Classification of PF Galaxy Clusters. / E. A. Panko // Odessa Astronomical Publications. — 2013. — Vol.26. — P. 90-93.

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРО- И НАНОКОМПОЗИТО НА ОСНОВЕ ПОЛИКАРБОНАТА

Динжос Р.В.,¹Фиалко Н.М.², Шеренковкий Ю.В.²

¹Николаевский национальный университет им. В.А.Сухомлинского

²Институт технической теплофизики НАН Украины

Одним из новых направлений создания современного теплоэнергетического оборудования является использование микро- и нанокompозитов различного назначения. Среди них особо выделяются полимерные композиты, обладающие целым рядом уникальных свойств [1-7].

Характерные результаты экспериментальных исследований поведения коэффициента теплопроводности полимерных композитов на основе поликарбоната в зависимости от массовой доли ω наполнителей (УНТ и алюминия) представлены на рис. 1. Как видно из рис.1,б), в случае обоих композитов наблюдается тенденция к возрастанию величины коэффициента теплопроводности λ с ростом содержания наполнителей.

Выполнен комплекс экспериментальных исследований по разработке полимерных микро- и нанокompозитов на основе поликарбоната, наполненного микрочастицами алюминия и углеродными нанотрубками. Показана перспективность применения данных композитов для изготовления теплообменных поверхностей различного назначения, ориентированных на передачу теплоты низкого потенциала и эксплуатацию в агрессивных средах. Отмечается, что предлагаемые композиты, обладая близкими теплопроводящими свойствами к традиционным аналогам – коррозионностойким сталям, превосходят их по таким характеристикам, как ресурс соответствующего оборудования, массогабаритные показатели и пр.

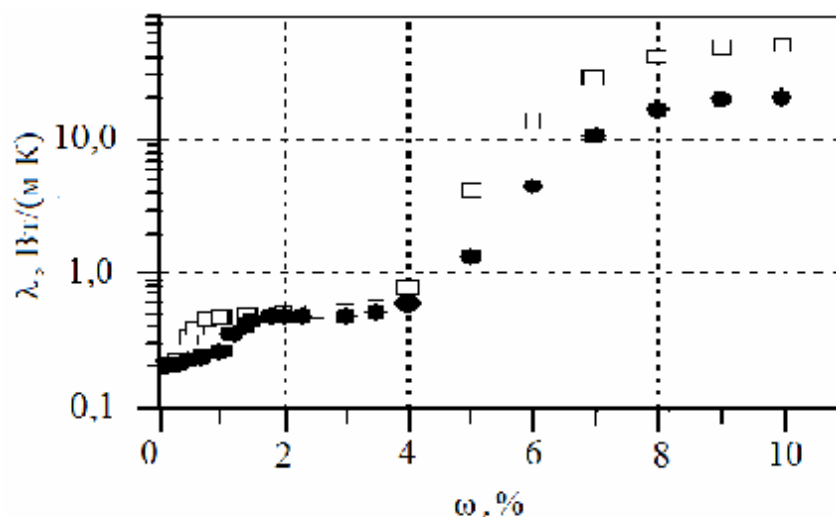


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности полимерных композиционных материалов на основе поликарбоната от наполнителей: УНТ – пустые квадраты, частицы алюминия – круги.

Получены экспериментальные зависимости коэффициента теплопроводности λ исследуемых композитов от массовой доли ω наполнителя ($0,2 \leq \omega \leq 10$ %). Обнаружен эффект резкого изменения коэффициента теплопроводности материалов при определенных критических значениях содержания наполнителя. Дана интерпретация этого эффекта на основе теории перколяции. При этом скачок λ , отвечающий относительно низкой доле наполнителя, объясняется образованием непрерывного перколяционного кластера из частиц наполнителя, скачок, соответствующий его более высокой доле, – формированием перколяционной сетки таких частиц. Установлена возможность получения микро- и нанокомпозитов с относительно высокими теплоизоляционными свойствами при сравнительно небольшом содержании наполнителей (до 10 %).

ПРОБЛЕМА ПОДВИЖНОСТИ ГРАНИЦ В ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

В.А. Поздеев

Николаевский национальный университет имени В.А. Сухомлинского

Основной математической моделью в исследованиях динамики сплошных сред является начально-краевая задача для волнового уравнения с подвижными границами. Как известно, математическая постановка начально-краевой задачи включает описание геометрии области, занятой деформируемой сплошной средой, волновое уравнение, начальные и граничные условия. В классической постановке задачи граничные условия в силу малости деформации задаются на фиксированном положении границ. Однако, в ряде случаев больших трансформаций области граничные условия следует задавать на текущем положении границы.

Проблема подвижности границ в краевой задаче началась с задачи Стефана для уравнения теплопроводности, где подвижной границей служит граница изменения фазового состояния вещества. Задаче Стефана посвящено огромное количество работ и можно сказать, что основные вопросы здесь решены.

В гидродинамике к задачам с подвижной границей относится течение жидкости при подводном взрыве малой мощности, вхождение твердого тела в воду со стороны свободной поверхности, колебаниях большой амплитуды плавающих тел (судов), взаимодействие акустической волны с движущейся границей раздела двух сред. Одна из сред может быть твердой, а другая жидкой. К задачам с подвижной границей в механике твердого деформируемого тела относятся задачи о колебаниях струн, канатов, стержней – волноводов переменной длины. Широкий класс задач с подвижной границей образуют контактные задачи взаимодействия твердых тел.

Сегодня ограничимся рассмотрением одномерных волновых задач с подвижной плоской границей. Заметим, что задача с подвижной границей является нелинейной даже для линейного волнового уравнения. И поэтому принцип суперпозиций решений здесь не работает. Поэтому методы, основанные на этом принципе (метод Фурье, метод интегральных преобразований) здесь в полной мере не применимы. Наиболее общим методом является численный метод. К аналитическим методам относятся методы Гринберга, Крутикова и Поздеева. В методах Гринберга и Крутикова используются конечные ряды, что усложняет интерпретацию полученных результатов.

В методе Поздеева используется нелинейное преобразование времени. Проиллюстрируем возможности этого метода на ряде примеров (задач).

Рассмотрим задачу генерации волны давления в акустической среде движущимся плоским поршнем по закону:

- для перемещения поршня $h(t)$;
- для скорости перемещения $V_n(t) = \frac{dh(t)}{dt}$.

Движение среды описывается линейным волновым уравнением. Начальные условия принимаем нулевыми. Граничное условие – скорость движения зоны контакта задаем на текущем положении движущегося поршня. Ось Ox направим в направлении движения поршня.

Решение задачи, полученное методом нелинейного преобразования времени для функции волнового давления в точке (x, t) имеет вид $\bar{p}(x, t) = \bar{V}_h(w(t - x/c_0))$, (1)

где t - время;

c_0 - скорость звука.

Безразмерные величины

$$\bar{p} = p / (\rho_0 c_0^2); \quad (2)$$

$$\bar{V}_h = V_h(t) / c_0. \quad (3)$$

Функция $t = w(\tau)$ является решением уравнения

$$t - \frac{1}{c_0} h(t) = \tau$$

В классическом случае задания граничного условия на фиксированной границе $h = 0$ решение задачи имеет вид

$$\bar{p}(x, t) = \bar{V}_h(t - x/c_0) \quad (5)$$

При задании закона движения поршня в виде

$$h(t) = V_0 t - a_0 t^2 / 2; \quad (6)$$

$$V_h(t) = V_0 - a_0 t.$$

решение (1) имеет вид

$$\bar{p}(x, t) = M_0 + (1 - M_0) \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2a_0}{c_0} \frac{(t - x/c_0)}{(1 - M_0)^2}} \right), \quad (7)$$

где $M_0 = V_0/c_0$.

При $a_0 = 0$ $\bar{p}_1(x, t) = M_0$,

$$(8)$$

при $V_0 = 0$ $\bar{p}_2(x, t) = 1 - \sqrt{1 + \frac{2a_0}{c_0}(t - x/c_0)}$.

Если бы выполнялся принцип суперпозиции, то общее решение имело бы вид

$$\bar{p}(x, t) = \bar{p}_1(x, t) + \bar{p}_2(x, t) = M_0 + \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2a_0}{c_0}(t - x/c_0)}\right) \quad (9)$$

Сравнение полученного суперпозицией решения (9) с точным решением (7) показывает, что принцип суперпозиции здесь не выполняется.

При движении поршня с малой амплитудой имеем

$$\bar{p}(x, t) = M_0 - \frac{a_0}{c_0}(t - x/c_0), \quad (10)$$

где принцип суперпозиции выполняется.

Рассмотрим закон линейного роста перемещения поршня наложением малых пульсаций

$$h(t) = V_0 t + \varepsilon_0 \sin w_0 t; \quad (11)$$

$$V_h(t) = V_0 + V_1 \cos w_0 t;$$

где $V_1 = \varepsilon_0 w_0$.

В силу малости амплитуды пульсаций граничное условие задаем на контактной границе, движущейся с постоянной скоростью V_0 . Решение получим в виде

$$\bar{p}(x, t) = M_0 + M_1 \cos(w_1(t - x/c_0)); \quad (12)$$

где

$$M_0 = V_0/c_0;$$

$$M_1 = V_1/c_0;$$

$$w_1 = w_0/(1 - M_0).$$

Полученное решение (12) описывает известный эффект Допплера (изменение частоты).

Теперь поставим обратную задачу – нахождение закона движения поршня $h(t)$ по заданному временному профилю изученной волны давления

$$\bar{p}(t) = \bar{p}_0 e^{-\alpha_0 t}. \quad (13)$$

Закон движения поршня с учетом подвижности границы

$$h(t) = -\ln[\bar{p}_0(e^{-\alpha_0 t} - 1) + 1],$$

где $\bar{p}_0 = p_0/(\rho_0 c_0^2)$;

$$\bar{h} = \frac{\alpha_0}{c_0} h(t).$$

Перейдем к задачам взаимодействия волны давления с подвижной границей раздела сред.

Пусть нестационарная волна давления профиля $p_0(t)$ падает на движущуюся с постоянной скоростью V_0 абсолютно жесткую преграду. Профиль отраженной волны найдется выражением

$$p_1(x,t) = p_0 \left(\frac{1+M_0}{1-M_0} \cdot (t-x/c_0) \right), \quad (15)$$

где $M_0 = \frac{v_0}{c_0}$.

Коэффициент поджатия отраженной волны

$$k = \frac{1+M_0}{1-M_0}.$$

Рассмотрим взаимодействие акустической волны, догоняющей фронт ударной волны. Скорость фронта ударной волны

$$D \approx c_0 \left(1 + \frac{n+1}{n} \cdot \frac{p}{An} + \dots \right), \quad (16)$$

Скорость акустической волны в области поджатия ударной волной

$$C \approx c_0 \left(1 + \frac{n-1}{2} \cdot \frac{p}{An} + \dots \right), \quad (17)$$

Для воды $n \approx 7$, $An = \rho_0 c_0^2$ и $c/c_0 = 1 + 3\bar{p}$, $D/c_0 = 1 + 2\bar{p}$.

Если $p_0(t)$ - профиль падающей волны, то профиль отраженной волны

$$p_1(t) = -k_2 \cdot p_0(k_3 t), \quad (18)$$

где $k_2 = \frac{1-k_1\bar{D}}{1+k_1\bar{D}}$;

$$k_1 = \rho_0 / \rho_1;$$

$$k_3 = \frac{1-\bar{D}}{1+\bar{D}}.$$

Как видно из полученного решения, отраженная от разрыва акустическая волна меняет знак по отношению к падающей, амплитуда её уменьшается в k_2 раз, а профиль растягивается в k_3 раз. Выразим коэффициенты k_1, k_2, k_3 через давления в ударной волне

$$\begin{aligned} k_1 &= 1 - \bar{p}; \\ k_2 &= \frac{n+1}{8} \bar{p} \left(1 + \frac{n+1}{8} \bar{p} \right); \\ k_3 &= 1 - \frac{n-3}{4} \bar{p}; \end{aligned} \quad (19)$$

где $\bar{p} = p / An$;

при $n = 7$ имеем $k_1 = 1 - \bar{p}$; $k_2 = \bar{p}(1 + \bar{p})$; $k_3 = 1 - \bar{p}$.

Теперь пусть волна с профилем $p_{10}(t)$ по нормали падает на границу раздела двух акустических сред: $z_1 = \rho_1 c_1$; $z_2 = \rho_2 c_2$. Если граница раздела

движется с постоянной скоростью V_0 , то для профиля отраженной волны получим

$$p_{11}(t) = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \cdot p_{10} \left(\frac{1 - M_1}{1 - M_1 \frac{c_1}{c_2}} \cdot t \right), \quad (20)$$

а профиль прошедшей волны

$$p_2(t) = \frac{2z_2}{z_2 + z_1} \cdot p_{10} \left(\frac{1 - M_1}{1 + M_1} \cdot t \right), \quad (21)$$

где $M_1 = V_0 / c_1$.

Если вторая среда абсолютно жесткая, то $c_2 \rightarrow \infty$ получаем профиль отраженной волны по (15)

$$p_{11}(t) = p_{10} \left(\frac{1 - M_1}{1 + M_1} \cdot t \right), \quad (22)$$

В случае равноускоренного движения границы раздела $V_1 = a_0 t$, получаем

$$p_2(t) = \frac{2z_2}{z_2 + z_1} \cdot p_{10} \left\{ \frac{c_1}{a_0} \left(1 + \frac{c_2}{c_1} \cdot t \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2a_0 t}{c_2}} \right) - \frac{a_0 t}{c_1} \right\}, \quad (23)$$

$$p_{11}(t) = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \cdot p_{10} \left\{ \frac{c_2}{a_0} \left(1 + \frac{c_2}{c_1} \cdot t \right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2a_0 t}{c_2}} \right) - \frac{a_0 t}{c_1} \right\}, \quad (24)$$

В заключении рассмотрим задачу Френеля о падении волны на границу раздела сред, где граница имеет вызванное волной движение. Так при падении волны вида $p_0(t) = p_0 \cdot \exp(-\alpha t)$ получим

$$p_{11} \approx \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \cdot p_0 \cdot \exp(-\alpha_1 t); \quad (25)$$

$$p_2 \approx \frac{2z_2}{z_2 + z_1} \cdot p_0 \cdot \exp(-\alpha_2 t); \quad (26)$$

где

$$\alpha_1 \approx \alpha \left(1 - \frac{\beta_0}{c_1} \right) / \left(1 + \frac{\beta_0}{c_1} \right); \quad (27)$$

$$\alpha_2 \approx \alpha \left(1 - \frac{\beta_0}{c_1} \right) / \left(1 - \frac{\beta_0}{c_2} \right). \quad (28)$$

Движение границы происходит по закону

$$h(t) = -\frac{c_1}{2} \ln(1 + \beta_0 (e^{-\alpha t} - 1) / c_0), \quad (29)$$

где $p_0 = \frac{2p_0}{z_1 + z_2}$.

Как видно из полученных выражений $\alpha_1 < \alpha$ всегда и, следовательно, отражающаяся волна всегда растягивается по сравнению с падающей. Что

касается проходящей волны, то при $c_2 < c_1$ $\alpha_2 > \alpha$ проходящая волна растягивается, а при $c_2 > c_1$ $\alpha_2 > \alpha$ и проходящая волна сжимается.

Что касается дальнейших исследований задач с подвижными границами, то их цель лежит в учете нелинейности самой среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будаков В.Д., Поздеев В.А. Подвижные границы в задачах механики импульсного деформирования твердого тела: монография - Николаев: Илион, 2014. – 94с.
2. Поздеев В.А., Сичко В.М., Шмаков Ю.И. Импульсные волновые течения сжимаемой идеальной жидкости : монография - Николаев: Илион, 2014. – 112с.

TOPICAL SECTION 1

**MODERN APPLIED PROBLEMS OF MECHANICS
OF CONTINUOUS ENVIRONMENTS**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ В СИСТЕМАХ КОНСОЛЬ-СТЕРЖЕНЬ ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНЫХ ВОЛН

И.И. Аникьев, В.А. Максимюк, М.И. Михайлова, Е.А. Сущенко

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

Приведены результаты экспериментального определения коэффициента динамичности K для двух вариантов упругих систем консольная балка-стержень при падении на консоль воздушной ударной волны ступенчатого вида. Основное внимание в данном сообщении уделено стержневым элементам при этом их деформации не превышали $3 \cdot 10^{-3}$. Консольная балка и стержень изготавливались из стеклотекстолита СФ-1-15 (ГОСТ 10316-78). Модуль упругости материала составлял $E = 2,6 \cdot 10^{10}$ Па, его плотность – $\rho = 1,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Конструктивные параметры балок и стержней двух систем приведены в табл.1, где введены следующие обозначения: l, b, h – длина, ширина и толщина стержня; L, B, H – длина, ширина и толщина консольной балки.

Таблица 1

№ сист.	l , м	b , м	h , м	L , м	B , м	H , м
1	0,136	0,01	0,0015	0,105	0,061	0,0025
2	0,08	0,009	0,0025	0,105	0,063	0,002

Методика определения K основана на сравнении при равных давлениях значений статических деформаций в характерных точках стержня с максимальными динамическими деформациями в таких же точках. Характерные точки определялись исходя из предварительно найденных эпюр статических деформаций. В данной работе их было в системе №1 – три, а в системе №2 – две. Методика определения статических и динамических деформаций представлена в работе [1]. Результаты полученных K для двух систем сведены в табл.2, где l_0 – относительные значения координат характерных точек.

Таблица 2

l_0	K , система №1	K , система №2
0,05	2,9	2,7
0,60	4,6	–
0,97	4,8	1,6

Из исследований выявлено, что K в различных точках стержня значительно отличались по величине друг от друга. При проектировании конструкций необходимо брать во внимание максимальные значения K . Для рассмотренных выше систем K составлял соответственно 4,8 и 2,7. Также установлено, что с увеличением жесткостных свойств стержней их K приближалось к 2.

ЛІТЕРАТУРА

1. Anik'ev I.I., Maksimyuk V.A., Mikhailova M.I., Sushchenko E.A. Incidence of a Shock - Wave on a Cantilever Plate Coupled with an Elastic Rod // Int. Appl. Mech.– 2013. – 49, N 4. – P. 482 – 487.

ДЕЯКІ ДИНАМІЧНІ ЗАДАЧІ ДЛЯ ТІЛ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ

С.Ю. Бабич

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

Робота присвячена динаміці тіл з початковими напруженнями. Розглянуті плоскі динамічні контактні задачі і задачі про рухомі навантаження [1,2].

Дослідження проведені в рамках теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [3].

Напруження і переміщення записані через комплексні потенціали, які введені академіком НАН України Гузем О.М. [4].

З фізичної точки зору цікавим є випадок, коли швидкість руху штампів (навантажень) збігається з швидкістю поверхневих хвиль Релея у пружному тілі з початковими напруженнями. У цьому випадку встановлені явища «резонансного характеру».

У роботі проаналізовані закономірності розповсюдження пружних поверхневих хвиль Релея вздовж плоских і криволінійних границь тіл з початковими (залишковими) напруженнями.

Одержані якісні і кількісні ефекти впливу початкових напружень на характер хвильових процесів і на основні характеристики контактної взаємодії.

Для даної роботи характерним і загальним є те, що: по-перше, всі розглянуті тіла – пружні, по-друге, усі основи (тіла) – попередньо напружені.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гузь А.Н. Статика и динамика упругих оснований с начальными (остаточными) напряжениями / А.Н. Гузь, С.Ю. Бабич, Ю.П. Глухов. – Кременчуг «Press-Line», 2007. – 795 с.
2. Гузь А.Н. Контактна взаємодія пружних тіл з початковими напруженнями / А.Н. Гузь, С.Ю. Бабич, В.Б. Рудницький. – К.: Вища школа, 1995. – 304 с.
3. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями. – Киев: “А.С.К”, 2004. – 672 с.
4. Гузь, А.Н. О плоских динамических задач для упругих тел с начальными напряжениями / А.Н. Гузь, С.Ю. Бабич // Докл. АН СССР.-1981. – 261, № 2. – С. 313 – 316.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ НИЗШИХ КВАЗИЛЭМБОВСКИХ ВОЛН В СИСТЕМЕ: СЛОЙ ЖИДКОСТИ – УПРУГИЙ СЛОЙ

А.М. Багно

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

Волны, распространяющиеся вдоль границы контакта упругого слоя и жидкого слоя, относятся к числу обобщений основательно исследованных основных типов поверхностных волн: Рэлея, Стоунли, Лява и Лэмба. Значительное практическое использование акустических волн ставит задачу изучения дисперсионных свойств мод Лэмба в гидроупругом волноводе, состоящем из упругого и жидкого слоев, в широком диапазоне частот, охватывающем как длинноволновую, так и коротковолновую части спектра для толщин упругого и жидкого слоев соизмеримых с длиной волны. В связи с этим для проведения такого исследования в данной работе в качестве подхода были выбраны постановки задач и метод, основанные на применении представлений общих решений трехмерных линеаризованных уравнений движения идеальной сжимаемой жидкости и упругого тела, приведенными в публикациях [1–3].

В рамках этого подхода получено характеристическое уравнение, которое в дальнейшем решалось численно. При этом были построены дисперсионные кривые для двух гидроупругих систем: органическое стекло (слабо жесткий материал) – вода и сталь (сильно жесткий материал) – вода.

Проведенный анализ показал, что в первой упруго-жидкостной системе низшие квазилэмбовские моды проникают в твердое тело и также как и моды более высокого порядка распространяются в упругом слое. При этом упругий слой является определяющим в формировании волнового поля и основным волноводом, по которому распространяются волновые возмущения и осуществляется перенос большей части энергии волн.

В случае второй гидроупругой системы не только первая мода, но и ряд низших квазилэмбовских мод, порождаемых слоем жидкости, не проникают в твердое тело и распространяются вдоль границы контакта преимущественно в приповерхностной области жидкости. Все остальные квазилэмбовские моды более высокого порядка распространяются в упругом слое по всей его толщине. Скорости их с возрастанием частоты стремятся к скорости волны сдвига в материале твердого тела. В этом случае волноводами для распространения нормальных волн и переноса волновой энергии служат как упругий, так и жидкий слои.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guz A.N. Aerohydroelasticity problems for bodies with initial stresses // Int. Appl. Mech. – 1980. – **16**, № 3. – P. 175–190.
2. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными напряжениями: в 2 т. – К.: Наук. думка, 1986.
3. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями. – К.: А.С.К., 2004. – 672 с.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ГІПЕРБОЛОЇДНОЇ ВЕЖІ

Бойчук О.В., Маковійчук Д.О.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Вимогами до конструкцій є міцність та надійність, живучість та легкість конструкції, естетична завершеність та витонченість, швидкість монтажу та економічність.

Одним з таких шедеврів архітектури, що одночасно відповідає всім перерахованим вимогам є гіперboloїдна вежа Шухова, яка має оригінальну витончену сітчасту конструкцію, завдяки чому досягається мінімальна вітрове навантаження, що представляє головну небезпеку для високих споруд. За формою секції башти – це однопорожнинні гіперboloїди обертання, зроблені з прямих балок, що опираються кінцями в кільцеві підставки. Ажурна сталева конструкція поєднує в собі міцність і легкість.

Для дослідження гіперboloїдних веж була обрана водонапірна башта Шухова в Миколаєві та для порівняння була створена абстрактна конічна вежа з ідентичною висотою та діаметрами найбільшого і найменшого перетинів. Розроблена методика побудови геометрії та скінченно-елементної моделі гіперboloїдної вежі.

Моделювання та розрахунок веж проводився за допомогою програми FEMAP, що дозволяє отримати власні частоти та форми коливань, провести статичний розрахунок скінченно-елементної моделі та отримати розподіл напружень та переміщень точок досліджуваного об'єкта [1]. В основі розрахунку на стійкість за допомогою FEMAP покладено трактування стійкості стиснутих конструкцій по Ейлеру [2].

Проведено дослідження власних частот та форм коливань, а також стійкості та напружено-деформованого стану обох веж. Отримані результати переконують в перевазі гіперboloїдної вежі за стійкістю, легкістю, міцністю, хоча деякі розміри та навантаження оцінені наближено.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудаков К.М. FEMAP. Геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій у MSC. visual Nastran for Windows. Посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2005. – 218 с.
2. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК, 2001. – 448 с.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК СТРУКТУРОВАНОЇ ПЕРЕКРИТТЯ-ОБОЛОНКИ

Бойчук О.В., Курчик Т.М.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

При розробці конструкцій найголовніші питання, які повинні бути вирішені, це – міцність і надійність. Інноваційні технології і матеріали авіабудування та суднобудування дають можливість витримувати значне навантаження, навіть знакозміне, при невеликій масі навантажених елементів. Велика питома несуча здатність не зайва і для великопрогонних будівельних конструкцій.

Не менш важливим фактором для будівництва, є економічність у процесі спорудження, яку визначають простота і мала трудомісткість роботи, можливість зведення об'єкту і виробництва конструкцій на місці забудівлі. Зменшення терміну від моменту початку будівництва до його завершення – теж одна з головних задач будівельників.

Конструктивним рішенням із задоволенням зазначених вимог є структурована конструкція, що представляє перехресно-стержневу систему. Завдяки чудовій властивості перерозподіляти навантаження внаслідок відмови деяких стержнів структуровані конструкції найменш вразливі до руйнування при виході з ладу частини несучої конструкції.

В якості матеріалів можуть застосовуватись як добре відомі сталь, алюмінієві сплави, так і порівняно нові матеріали: вуглепластики, поліарамідні волокна, тощо. Ще одна хороша властивість структур – можливість зміни матеріалу відповідно до зміни зусиль в елементах.

За допомогою програми FEMAP [1] було створено геометрію двошарової сітчастої сферичної оболонки з розкосами. Для порівняння міцності, жорсткості та стійкості створювалася також дві одношарові та мембранна сферичні оболонки таких же діаметрів основ та висоти.

Ефективність представленої концепції структурованої двошарової сферичної оболонки в якості великопрогонного купола полягає в меншій металоємності в порівнянні з структурованою одношаровою та мембранною сферичними оболонками, а в порівнянні з останньою ще й простоті виготовлення та малій трудомісткості складання.

Розроблена модель може бути застосована для підбору розмірів перерізів стержнів у відповідності із відомим реальним навантаженням, для підбору різних матеріалів у нижніх і верхніх шарах та як основа для вивчення інших особливостей структурованої двошарової оболонки з розкосами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудаков К.М. FEMAP. Геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій у MSC. visual Nastran for Windows. Посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2005. – 218 с.

ЧИСЕЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНИХ ЧАСТОТ НЕКРУГОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ЕЛІПТИЧНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

Борисенко М.Ю.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Теоретичні дослідження коливань оболонок некругового поперечного перерізу пов'язані з значними труднощами реалізації математичної моделі та необхідністю розв'язання складної системи диференціальних рівнянь в частинних похідних із змінними коефіцієнтами, при розв'язанні якої спостерігається нестійкість розрахунку, втрата необхідного порядку даних обчислень. Для дослідження цієї проблеми широко використовують системи автоматизованого конструювання (computer-aided engineering – CAE), які спроможні обчислювати конструкцію будь-якої форми завдяки застосуванню методу скінченних елементів. Крім того, CAE-системи дають користувачу можливість оцінити поведінку комп'ютерної моделі оболонкових елементів конструкцій в реальних умовах експлуатації, дати оцінку її несучої здатності без значних затрат часу та коштів. Однією з таких систем є пре- і постпроцесор для виконання інженерного аналізу методом скінченних елементів – Femap з розв'язувачем NX Nastran [2].

Метою цього повідомлення є встановлення залежності динамічних характеристик некругових циліндричних оболонок від механічних параметрів матеріалу.

Розглядаються три консольно закріплені еліптичні циліндричні ізотропні оболонки з різних матеріалів: сталь (модуль Юнга $E = 214 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,32$, густина $\rho = 7820 \text{ кг/м}^3$), алюміній (модуль Юнга $E = 71 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,34$, густина $\rho = 2710 \text{ кг/м}^3$), мідь (модуль Юнга $E = 110 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,35$, густина $\rho = 8920 \text{ кг/м}^3$). Геометрія оболонок та розбивка скінченними елементами ідентичні і представлені в роботі [1].

В результаті дослідження отримані частоти та форми власних коливань розглянутих оболонок, а також графіки залежності власних частот від механічних параметрів матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будаков В.Д. Определение собственных частот эллиптической оболочки постоянной толщины методом конечных элементов / В.Д. Будаков, А.Я. Григоренко, М.Ю. Борисенко, Е.В. Бойчук // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2014. – 57, № 1. – С. 145-152.
2. Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. – К. НТУУ «КПІ», 2011. – 317с.

ЧИСЕЛЬНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПРЯМОКУТНОЇ ПЛАСТИНИ З ВІЛЬНИМИ КРАЯМИ

Борисенко М.Ю.¹, Борисенко І.А.², Пригода О.П.¹, Роговцов Ю.О.²

¹Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

²Миколаївський муніципальний колегіум ім. В.Д. Чайки

Пластини різноманітних форм є найбільш поширеними елементами тонкостінних конструкцій, які широко застосовуються в будівництві, машинобудуванні, електротехніці та в інших областях техніки. Такі конструкції піддаються різного роду статичним і динамічним навантаженням, при цьому до їх міцності і надійності пред'являють постійно високі вимоги. При проектуванні і будівництві різних інженерних споруд необхідно проводити розрахунок несучих елементів конструкцій на випадок дії різноманітних раптово виниклих змінних навантажень, тому вивчення динамічної поведінки таких елементів інженерних споруд є актуальною проблемою. У зв'язку з цим є необхідним розробити чисельно-експериментальний метод дослідження частот та форм власних коливань прямокутних пластин.

Чисельне визначення проводилось методом скінченних елементів реалізованого на програмному засобі Femap з розв'язувачем NX Nastran [2]. Для розв'язку поставленої задачі побудована геометрія прямокутної пластинки постійної товщини $d = 3 \text{ мм}$, розмірами $a = 173 \text{ мм}$ та $b = 130 \text{ мм}$ з круговим отвором радіусом $r = 7 \text{ мм}$. В якості ізотропного матеріалу вибирався алюміній з характеристиками: модуль Юнга $E = 71 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, густина $\rho = 2710 \text{ кг/м}^3$. Модель жорстко закріплювалась по поверхні отвору. Розбивка проводилась восьми-вузловими *solid*-елементами розміром $1,5 \text{ мм}$. Геометрія і матеріал були вибрані у відповідності з геометрією і матеріалом реальної пластинки, яка досліджувалась експериментально.

Експериментальне визначення частот здійснювалось методом механічного збудження пластини в точці центра мас та спостереженням форм коливань на резонансній частоті в реальному часі з подальшою реєстрацією картин на фотокамеру.

В результаті дослідження розв'язана тестова задача на визначення власних частот квадратної пластини з вільними краями [1]. Визначені частоти та форми власних коливань прямокутної пластини з отвором. Чисельно отримані результати добре узгоджуються з результатами отриманими експериментально, що дає змогу зробити висновок про ефективність запропонованого підходу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мелешко В.В., Папков С.О. Изгибные колебания упругих прямоугольных пластин со свободными краями: от Хладни (1809) и Ритца (1990) до наших дней // Акустичний вісник. – 2009. – 12, № 4. С. 34-51.

2. Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. – К. НТУУ «КПИ», 2011. – 317с.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ ТА ФОРМ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ТОНКОСТІННОЇ КРУГОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Борисенко М.Ю.¹, Тарасов А.П.¹, Жук І.Ю.²

¹*Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського*

²*Чорноморський державний університет імені Петра Могили*

Реалізація багатьох сучасних проектів вимагає розробки конструкцій типу оболонки, які широко використовують в термоядерній і атомній енергетиці, машинобудуванні, криогенній і космічній техніці, та в інших галузях виробництва. При ескізному проектуванні цих конструкцій велику роль відіграють методи, які дозволяють найбільш просто спостерігати вплив тих чи інших параметрів і розробляти шляхи вдосконалення конструкцій без значних затрат часу та коштів. Одними із ефективних та актуальних методів є метод скінченних елементів та метод стробоголографічної інтерферометрії, які дозволяють досліджувати елементи конструкцій складної форми під дією різних статичних, динамічних, температурних та інших навантажень.

Метою цієї роботи є чисельно-експериментальне визначення частот та форм власних коливань консольної тонкостінної циліндричної оболонки кругового поперечного перерізу. Методика проведення чисельних розрахунків описана в роботі [2]. Оптична схема установки та методика проведення експерименту описані в роботі [1].

Для чисельно розрахунку побудована геометрія оболонки висотою $h = 120 \text{ мм}$, товщиною $d = 2 \text{ мм}$ та радіусом серединної поверхні $R_c = 43,547 \text{ мм}$ з жорстко закріпленим одним краєм, інший край вільний. Матеріалом оболонки задавалась сталь 40Х з модулем Юнга $E = 214 \text{ ГПа}$, коефіцієнтом Пуассона $\nu = 0,32$, густиною $\rho = 7820 \text{ кг/м}^3$. Скінченно-елементна розбивка проводилась лінійними восьмикутними solid-елементами розміром сторони 1 мм. Для експериментального дослідження була виготовлена циліндрична оболонка з геометричними розмірами та фізико-механічними параметрами, як у випадку чисельного розрахунку.

В результаті чисельно-експериментального дослідження отримані частоти та форми власних коливань розглянутої оболонки. Досить добре узгодження експериментальних і чисельних частот та форм коливань вказує на добру достовірність обох методик досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будаков В.Д. Исследование свободных колебаний цилиндрических оболочек

постоянной и переменной толщины с помощью метода голографической интерферометрии / В.Д. Будак, А.Я. Григоренко, В.В. Хоришко, М.Ю. Борисенко // Прикладная механика. – 2014. – 50, №1 – С. 101-109.

2. Будак В.Д. Определение собственных частот эллиптической оболочки постоянной толщины методом конечных элементов / В.Д. Будак, А.Я. Григоренко, М.Ю. Борисенко, Е.В. Бойчук // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2014. – 57, № 1. – С. 145-152.

ЧИСЕЛЬНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ТОВСТОСТІННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Будак В.Д.¹, Григоренко О.Я.², Борисенко М.Ю.¹,
Хоришко В.В.¹, Пригода О.П.¹

¹Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

²Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко НАН України

Розв'язується задача про власні коливання товстостінної ізотропної циліндричної оболонки сталої товщини за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) реалізованого на програмному комплексі Femap з розв'язувачем NX Nastran та експериментального методу стробоголографічної інтерферометрії.

Визначення власних частот і форм коливань за допомогою МСЕ зводиться до розв'язання системи алгебраїчних рівнянь

$$\mathbf{K}\vec{\Phi}_j - \omega_j^2 \mathbf{M}\vec{\Phi}_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, s,$$

де ω_j – частота гармонічних коливань, $\vec{\Phi}_i$ – вектор вузлових переміщень i -того елемента, \mathbf{K}_i та \mathbf{M}_i – матриця жорсткості та матриця мас. Основні положення методики чисельних розрахунків наведені в [2].

Для експериментального визначення частот та форм власних коливань використовується методика, основні положення якої наведені в [1].

В даному повідомленні розглядається консольно закріплена товстостінна циліндрична оболонка сталої товщини $d = 4,55$ мм, висотою $h = 120$ мм, радіусом серединної поверхні $r = 44,15$ мм та фізико-механічними характеристиками: густина $\rho = 7850$ кг/м³, модуль Юнга $E = 214$ ГПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,28$.

Обраними методами отримані частоти та форми власних коливань товстостінної циліндричної оболонки, відхилення експериментально отриманих частот та форм коливань від чисельно визначених не перевищує 7% для форм (1:4) та (2:4), для інших розглянутих форм не перевищує 2%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Буда́к В.Д. Исследование свободных колебаний цилиндрических оболочек постоянной и переменной толщины с помощью метода голографической интерферометрии / В.Д. Буда́к, А.Я. Григоренко, В.В. Хоришко, М.Ю. Борисенко // Прикладная механика. – 2014. – 50, №1 – С. 101-109.
2. Буда́к В.Д. Определение собственных частот эллиптической оболочки постоянной толщины методом конечных элементов / В.Д. Буда́к, А.Я. Григоренко, М.Ю. Борисенко, Е.В. Бойчук // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2014. – 57, № 1. – С. 145-152.

ВИМУШЕНІ РЕЗОНАНСНІ КОЛИВАННЯ І ДИСИПАТИВНИЙ РОЗІГРІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПАНЕЛІ З НЕЗАЛЕЖНИМИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.

В.Д. Буда́к, А.В. Завгородній, А.В. Овчаренко, К.С. Панчук
Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Розглядається зв'язана динамічна тривимірна задача для циліндричної панелі з ізотропного в'язкопружного матеріалу з незалежними від температури механічними і теплофізичними властивостями при дії на неї зовнішнього тиску, що змінюється по гармонічному закону, з частотою, близькою до резонансної частоти. Розв'язок цієї задачі зведений до розв'язку послідовності трьох задач: 1) динамічної тривимірної задачі про вимушені резонансні коливання в'язкопружної циліндричної панелі; 2) розрахунку дисипативної функції по відомому розв'язку задачі механіки; 3) розв'язку тривимірної нестационарної задачі теплопровідності з відомим джерелом тепла. Для розв'язку першої і третьої задач розроблений скінченно-елементний метод. Розглянуто два типи механічних граничних умов, що відповідають шарнірному і жорсткому закріпленням торців. Для обох випадків граничних умов розраховані амплітудно- і температурно-частотні характеристики коливань по першій основній згинній моді.

При певних умовах навантаження і теплообміну залежністю механічних і теплофізичних властивостей матеріалу від температури та амплітуди деформацій при розрахунку механічного і теплового стану непружних елементів можна знехтувати. При цьому розв'язування спряженої задачі значно спрощується і зводиться до розв'язку вказаних вище трьох задач.

Проведено аналіз впливу механічних граничних умов на амплітудно- і температурно-частотні характеристики коливань циліндричної панелі. До того ж ці задачі є базовими для розглянутих в подальшому нелінійних задач і для оцінки впливу нелінійностей на вказані динамічні характеристики. Для розв'язку тривимірної динамічної задачі механіки і стаціонарної задачі теорії теплопровідності використовується метод скінченних елементів. Розглянуті

задачі є основою для розв'язку зв'язаних задач термомеханіки з урахуванням нелінійностей, які породжуються залежністю властивостей матеріалу від температури і зв'язаністю механічних і теплових полів, а також залежністю механічних властивостей матеріалів від амплітуд деформацій або напружень. Для цього необхідно використовувати ітераційні методи, що зводять початкову істотно нелінійну задачу до послідовності лінійних задач механіки і теплопровідності з відомим джерелом тепла.

Розглянута циліндрична панель з в'язкопружного матеріалу, механічні і теплофізичні властивості якого не залежать від температури та амплітуд деформацій. Вона знаходиться під дією поверхневого зовнішнього тиску $P = P_0 \cos \omega t$, що змінюється по гармонічному закону з частотою, близькою до першої резонансної частоти. Механічна поведінка непружного матеріалу описується концепцією комплексних характеристик [2]. Матеріал панелі вважається ізотропним і його механічна поведінка характеризується комплексним модулем зсуву і дійсним коефіцієнтом Пуассона.

Для порівняння вказані задачі розв'язується методом скінченних елементів з використанням класичної теорії Кірхгофа-Лява [1].

Також розглянуто динамічну задачу про коливання і дисипативний розігрів тришарової товстостінної циліндричної панелі постійної товщини, складеної з середнього демпфуючого в'язкопружного шару і двох симетрично розташованих зовнішніх шарів.

Встановлено залежності максимальної амплітуди, максимальної температури, власної частоти і коефіцієнта демпфування відповідно від товщини внутрішнього демпфуючого шару циліндричної панелі

Для випадку тришарової панелі встановлено, що структурна неоднорідність, граничні умови суттєво впливають на перераховані вище динамічні характеристики товстостінної панелі.

Таким чином, запропонована методика дозволяє вивчити термомеханічну поведінку товстостінної циліндричної панелі з в'язкопружних матеріалів і дослідити вплив різних факторів на ефективність пасивного демпфування її вимушених резонансних гармонічних коливань.

Розроблена методика дозволяє досліджувати термомеханічну поведінку не тільки циліндричної панелі, але і в'язкопружних тіл обертання з різними граничними умовами на торцях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек / С.А.Амбарцумян – М.: Наука, 1974. – 446 с.
2. Бате К. Численные методы и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вильсон – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТОЛСТОЙ ПЛАСТИНЫ

В.Д. Будак, В.М. Січко, А.В. Овчаренко, А.В. Завгородний
Николаевский национальный университет им. В.А.Сухомлинского

Толстые пластины из неупругих материалов находят широкое применение во всех областях современной техники. Для моделирования их динамического поведения используются различные приближенные модели, основанные на гипотезах Тимошенко и их обобщениях. Для оценки пределов применимости указанных моделей необходимо иметь точные аналитические решения задачи в пространственной постановке. При изготовлении таких элементов конструкций из полимерных материалов и композитов на их основе необходимо учитывать их вязкоупругие свойства. При гармоническом механическом нагружении с частотой, близкой к резонансной, в элементе конструкции может наблюдаться существенное повышение температуры диссипативного разогрева, возникающей в результате гистерезисных потерь в материале. В работе [1] дается обзор основных достижений по термомеханике связанных полей в телах из неупругих материалов при моногармоническом механическом нагружении. Для решения этих задач, как правило, используют численные методы. В литературе отсутствуют точные решения о колебаниях и диссипативном разогреве тел пространственной конфигурации. Связано это с большими математическими трудностями при аналитическом решении такого класса задач.

В работе дана постановка задачи о резонансных колебаниях и диссипативном разогреве толстой прямоугольной пластины при ее нагружении гармоническим во времени поверхностным давлением с частотой, близкой к резонансной. Для описания неупругого механического поведения используется концепция комплексных характеристик, развитая в монографии [1]. Считается, что торцы пластины шарнирно оперты. Это позволяет методом разделения переменных свести задачу к системе обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка, для решения которой предлагается использовать эффективный численный метод дискретной ортогонализации, позволяющий получить числовые результаты с наперед заданной точностью. Предполагается, что характеристики вязкоупругого материала не зависят от температуры. Тогда задача распадается на несколько отдельных задач: 1) задачу о вынужденных резонансных колебаниях вязкоупругой толстой прямоугольной пластины; 2) задачу расчета диссипативной функции; 3) задачу расчета температурного поля с известным источником тепла.

Для исследования вынужденных колебаний вязкоупругой прямоугольной толстой пластины используем уравнения, представленные в монографии [2]. В этих уравнениях необходимо добавить силы инерции. Процедура разделения переменных подробно изложена в [2].

Для расчета температуры диссипативного разогрева воспользуемся тем фактом, что при резонансных колебаниях в соответствующих рядах Фурье необходимо оставить только один член, отвечающий той или иной форме колебаний.

Получить аналитическое решение представленных краевых задач не представляется возможным. Для их решения предлагается использовать метод дискретной ортогонализации, дающий практически точные результаты.

Для расчета собственной частоты с использованием пространственной постановки задачи использовалось решение задачи на вынужденные колебания.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карнаухов В.Г., Михайленко В.В. Нелинейная термомеханика пьезоэлектрических неупругих тел при моногармоническом нагружении. – Житомир: ЖГТУ, 2005. – 428с.
2. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Статика анизотропных толстостенных оболочек.– Киев: Вища школа, 1985. – 190с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КРЕСЕЛ САМОЛЕТА

С.А. Воропаев, А.З. Двейрин, В.В. Мерзлюк, М.В. Муштай, В.А. Никитина
ГП «АНТОНОВ»

Наряду с требованиями по обеспечению заданной грузоподъемности, пассажировместимости, надежности и экономичности при создании самолета в настоящее время на одно из первых мест выходит требование обеспечения травмобезопасности пассажиров и экипажа, создания им высокого уровня комфорта. Кресла являются одним из основных агрегатов самолета, которые служат как для размещения членов экипажа и пассажиров, так и для обеспечения необходимого уровня травмобезопасности и комфорта пассажиров и членов экипажа.

Для оценки конструкции кресла и окружающего интерьера с точки зрения обеспечения прочности и защиты находящегося в кресле человека используются специальные критерии, приведенные в регламентирующем документе [1] и включающие в себя как требования к статической и динамической прочности кресел, так и требования к травмобезопасности.

Целью настоящего доклада является ознакомление специалистов с применяемыми на ГП «АНТОНОВ» подходами и методами подтверждения статической и динамической прочности кресел, а также обеспечения травмобезопасности пилотов и пассажиров.

В докладе в качестве примера описан комплекс работ по обеспечению статической и динамической прочности кресел, который включает в себя расчеты, выполняемые с использованием современных программных

вычислительных комплексов, проведение статических и динамических испытаний в сертифицированных лабораториях.

Кроме того, в докладе представлена методика расчетно-аналитического обоснования соответствия установки кресел требованиям Норм и Правил по критерию травмирования головы (Н1С) с учетом результатов исследований, приведенных в [2,3]. Методика продемонстрирована на примере установки кресла пилота модели 254 разработки фирмы IPESO в кабине пилотов пассажирского самолета Ан-148-100. Предлагаются пути обеспечения достаточного уровня травмобезопасности пассажиров посредством подбора соответствующей жесткости препятствия (перегородки) или с помощью применения специальных средств [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. - М.: МАК, 1994. - 332 с.
2. DOT/FAA/AR-02/103 Parametric Study of Crashworthy Bulkhead Designs. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration/ December 2002.
3. Report No. MBK 980358. 21 MAY 98.
4. С.А. Воропаев, А.З. Двейрин, Мерзлюк В.В., Муштай М.В., Филь С.А. Обеспечение травмобезопасности по критерию Н1С пассажиров первого ряда с помощью подушек безопасности // Інформаційні системи, механіка та керування: науково-технічний збірник // КПІ, випуск 7, 2011 р. - С.131-141.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ КРЕСЕЛ САМОЛЕТА

**А. Г. Вдовиченко, С.А. Воропаев, В.В. Мерзлюк, Н. В. Николаев, С.В. Шкнай
ГП «АНТОНОВ»**

Кресла, как пилотские, так и пассажирские устанавливаются в самолете, как правило, на рельсы. Такой способ установки позволяет членам экипажа, размещенным в этих креслах, выполнять перемещение в фиксированном диапазоне для занятия положения, необходимого для выполнения функциональных обязанностей в пилотской кабине, а для пассажирских салонов - в определенных диапазонах, в зависимости от принятой компоновки, изменять взаимное расположения кресел. Вопрос обеспечения прочности рельсов под установку кресел на воздушных судах достаточно актуален, так как оказывает прямое влияние на безопасность членов экипажа и пассажиров. Поэтому в современных Авиационных правилах и других регламентирующих и рекомендательных документах (циркулярах) [1, 2] прописаны строгие требования к прочности рельсов и процедуры подтверждения прочности рельсов от воздействия не только статических, но и динамических нагрузок, возникающих в наземных и полетных случаях нагружения, включая случаи

«Аварийной посадки» самолета. Указанные процедуры предусматривают как выполнения аналитических расчетов на прочность, так и проведение статических и динамических испытаний в специальных сертифицированных Авиационными властями лабораториях.

Целью настоящего доклада является ознакомление с применяемой на ГП «АНТОНОВ» методикой обеспечения и подтверждения соответствия прочности крепления кресел требованиям Сертификационного базиса самолета.

Методика заключается в комплексной оценке, включающей:

анализ применения типов узлов крепления кресел в других сертифицированных самолетах с другими типами кресел, а также сравнение нагрузок на указанные узлы;

выполнение расчетов статической прочности узлов крепления для расчетных случаев нагружения самолета, включая случаи «Аварийной посадки»;

выполнение расчетов на прочность узлов крепления на нагрузки, замеренные при натурных динамических испытаниях;

проведение статических испытаний и предварительных динамических испытаний кресел с использованием разработанных (штатных) узлов крепления;

выполнение оценки несущей способности узлов крепления при статическом нагружении.

Использование описанной методики позволяет минимизировать затраты на проведение сертификационных испытаний (стоимость одного испытания в сертифицированном центре составляет несколько десятков тысяч у.е.), так как повышает вероятность получения положительного результата при испытаниях, что и было продемонстрировано при выполнении сертификационных динамических испытаний кресел членов экипажа самолета Ан-148.

В настоящем докладе, в качестве примера, показано применение методики для подтверждения прочности типового рельса крепления пассажирских кресел.

Для оценки напряженно-деформированного состояния рельса при статическом и динамическом нагружении использовался пакет конечно-элементного анализа MSC/NASTRAN. Для оценки прочности рельс нагружался усилиями, соответствующими случаю «Аварийной посадки» самолета с продольной перегрузкой $n_x=9$, а также нагрузками, замеренными при динамическом нагружении в ходе испытаний кресла на продольно-боковой удар с перегрузкой $n=16$. Выполнено сравнение результатов исследований с результатами статических испытаний головки рельса на несущую способность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. - М.: МАК, 1994. - 332 с.
2. Рекомендательный циркуляр FAA AC25.562-1B, 10.01.2006 - 98 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ШАРУВАТОЇ ОСНОВИ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ ПРИ ДІЇ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Ю.П. Глухов

Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

У роботі у рамках лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [1] розглянута постановка і метод розв'язку просторової динамічної задачі про збурення двошарового заздалегідь напруженого напівпростору поверхневим навантаженням, що рухається з постійною швидкістю.

Розглянута тривимірна модель шаруватого середовища «пластина і попередньо напружений напівпростір». Рух верхнього шару описаний системою рівнянь з теорії пластин, що враховує інерцію обертання і поперечний зсув. Підстилаючий напівпростір має початкові напруження і складається із стисливого або нестисливого, ізотропного в природному стані матеріалу. Граничні поверхні елементів шаруватого середовища плоскі і паралельні між собою. До вільної поверхні шару прикладено навантаження, що рухається з постійною швидкістю. Досліджено два види контакту між пластиною і основою: нежорсткий і жорсткий. Аналогічні плоскі задачі розглянуті в роботах [2,3].

Вважаємо, що початковий напружений стан є однорідним і визначається співвідношеннями

$$\lambda_1 = \lambda_2 \neq \lambda_3; \quad S_0^{11} = S_0^{22} \neq S_0^{33}.$$

Для розв'язку задачі використовується подвійне перетворення Фур'є. Розв'язок задачі про усталений рух двошарового заздалегідь напруженого напівпростору під впливом рухомого навантаження в області зображень Фур'є зводиться до розв'язку системи алгебраїчних рівнянь. Фундаментальний розв'язок задачі отримано в загальному вигляді для рівних і нерівних коренів характеристичних рівнянь та різних швидкостей руху поверхневого навантаження. Форма пружного потенціалу має загальний вигляд і повинна бути конкретизована лише при виконанні чисельних розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гузь, А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями. – Киев: “А.С.К”, 2004. – 672 с.
2. Бабич, С.Ю. Об одной динамической задаче для слоистого сжимаемого полупространства с начальными напряжениями / С.Ю. Бабич, Ю.П. Глухов, А.Н. Гузь // Прикл. механика. – 2008. – 44, № 3. – С. 36 – 54.
3. Бабич, С.Ю. Динамика слоистого несжимаемого полупространства с начальными напряжениями при воздействии подвижной загрузки / Бабич С.Ю., Глухов Ю.П., Гузь А.Н. // Прикл. механика. - 2008. - 44, № 4. - С. 35 - 55.

ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ПОЛОГО ШАРА

А.Я. Григоренко, С.Н. Яремченко

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

В наше время широкое применение находят неоднородные материалы, механические характеристики которых могут изменяться в одном или нескольких координатных направлениях. Часто в производстве различных конструкций используются так называемые функционально градиентные материалы [2], свойства которых изменяются непрерывно. При чем современные технологии стремятся к созданию конструкций с известными заранее изменяющимися упругими характеристиками.

В работе [1] рассмотрен способ расчета осесимметричного напряженного состояния неоднородного полого цилиндра с помощью методики, которая основана на сведении двумерной краевой задачи к одномерной с помощью сплайн-аппроксимации и решением ее с помощью метода дискретной ортогонализации.

В данном сообщении предлагается методика расчета напряженно-деформированного полого шара с изменяемым вдоль радиуса модулем упругости. В этом случае используем сферическую систему координат (r, θ, φ) , где r – расстояние до начала координат, θ и φ – зенитный и азимутальный углы соответственно.

Так как исследуется осесимметричное в направлении φ напряженное состояние шара, то для описания его поведения достаточно взять 2 уравнения равновесия из трех. Как и в случае с полым цилиндром, используя соотношения упругости и уравнения связывающие перемещения и деформации, из уравнений равновесия получим разрешающую систему уравнений в перемещениях. При этом учитываем переменность модуля упругости вдоль координаты r .

Добавив к разрешающим уравнениям граничные условия на краях r и $\theta = \text{const}$ (при этом, как и с разрешающими уравнениями, выразив их в перемещениях) получим двумерную краевую задачу, которую решаем, как и в [1], с помощью методов сплайн-колокации и дискретной ортогонализации.

На основе предложенного подхода решены задачи для шара под внутренним давлением, модуль упругости которого изменяется вдоль радиуса по квадратичному закону. Рассмотрены случаи убывающего, возрастающего и постоянного вдоль радиуса модуля упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grigorenko A.Ya., Müller W.H., Wille R., Yaremchenko S.N. Numerical solution of the problem on the stress-strain state in hollow cylinders by means of spline-approximations // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* – 2010. – 53, № 3. – С. 127–134.
2. Ichikawa K. (Ed.) *Functionally Graded Materials in the 21st Century. A Workshop on Trends and Forecasts.* Springer, 2001. – 242 p.

РОЗРАХУНОК ЧАСТОТ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ШАРУВАТИХ ПРЯМОКУТНИХ В ПЛАНІ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ В УТОЧНЕНІЙ ПОСТАНОВЦІ

О. Я. Григоренко¹, О.Ю. Пархоменко²

¹*Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко НАН України*

²*Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського*

При проектуванні та виготовленні сучасних елементів конструкцій, зокрема і у формі шаруватих пологих оболонок з прямокутним планом, часто використовуються композитні матеріали. Оцінка міцності, надійності, довговічності, безпечності даних елементів можлива з використанням ефективних чисельних методів розрахунку їх параметрів, серед яких і визначення частот їх власних коливань [1].

При проведенні дослідження власних коливань шаруватих пологих оболонок за основні використано співвідношення неklasичної уточненої теорії оболонок типу Тимошенка. Дана модель базується на гіпотезі прямолінійного елемента, згідно якої спочатку нормальний до координатної поверхні елемент після деформації залишається прямолінійним, але вже не перпендикулярним до деформованої координатної поверхні, і не змінює своєї довжини [2], що дозволяє враховувати поперечні зсуви, нехтувати якими у випадку не тонких оболонок не можна. Вихідна задача про вільні коливання шаруватих пологих оболонок описується системою диференціальних рівнянь в частинних похідних десятого порядку зі змінними коефіцієнтами та відповідними крайовими умовами на краях оболонок та вирішується з використанням розробленого чисельно-аналітичного підходу. Розроблена методика передбачає зведення вихідної двовимірної крайової задачі до системи звичайних диференціальних рівнянь за допомогою застосування методу сплайн-апроксимації в одному з координатних напрямків, з подальшим розв'язанням отриманої одновимірної крайової задачі чисельним методом дискретної ортогоналізації в поєднанні з методом покрокового пошуку [2].

Застосовуючи запропонований підхід розв'язано задачу про вільні коливання тришарових пологих оболонок змінної товщини, шари яких виготовлені як з ізотропних, так і з ортотропних матеріалів. При розрахунках передбачається, що шари оболонок переміщуються спільно, без відриву і ковзання, а також симетричні відносно серединної поверхні структури.

Розглянуто шарнірно та жорстко закріплені по всіх краях пологі прямокутні в плані оболонки змінної товщини, верхній і нижній шари яких ізотропні, а внутрішній шар – ортотропний. Товщина середнього шару $0,4h$, а верхнього і нижнього – $0,3h$, де h – товщина оболонки. Отримано частоти власних коливань таких оболонок при різних значеннях пружних сталей внутрішнього шару та різному співвідношенні лінійних розмірів.

Розв'язано задачу про вільні коливання тришарової пологої оболонки з вказаними співвідношеннями товщини шарів, у якої всі шари виготовлені з ортотропного матеріалу.

Побудовано та проаналізовано графіки залежності власних частот коливань тришарових прямокутних в плані пологих оболонок змінної товщини від механічних параметрів окремих шарів при різному співвідношенні їх лінійних розмірів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек / Амбарцумян С.А. – М. : Наука, 1974. – 448 с.
2. Григоренко Я.М. Теория оболочек переменной жесткости. / Григоренко Я.М., Василенко А.Т. – К. : Наук. думка, 1981. – 544 с. – (Методы расчета оболочек: В 5-ти т.; Т4).

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОСТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В МАТЕРІАЛІ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОМУ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ПІВПРОСТОРУ

Я.О. Жук¹, Л.Я.Васильєва²

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

² *Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського*

Технологічні завдання по підвищенню міцності, довговічності та витривалості деталей машин та елементів конструкцій розв'язують за допомогою класичних технологій обробки їх поверхні, таких як проковування, обкатування тощо, але широкого використання набула також обробка поверхні лазерним імпульсом або імпульсом електронного променя.

Імпульсне механічне навантаження, яке задається у вигляді імпульсу напружень або визначається певним законом зміни деформацій (переміщень), як правило, прикладається до тіла в умовах підвищеної температури. Термомеханічний вплив на матеріал при опроміненні реалізується, як правило, через два основні механізми. За першим з них, внаслідок дії потужного імпульсу частина матеріалу поверхні випаровується, утворюючи плазму, яка внаслідок розширення генерує хвилю стискання, що поширюється всередину об'єкта. За другим механізмом відбувається швидкий розігрів матеріалу і наступне поступове охолодження з великими градієнтами температури. Як наслідок виникають великі теплові напруження і залишкові деформації. При цьому механічні і трибологічні властивості елемента конструкції можуть суттєво змінитися не лише на поверхні, а й у приповерхневому шарі [1]. Ускладнюючим фактором в таких задачах може бути зміна мікроструктурного стану матеріалу при швидкому розігріві та поступовому охолодженні конструкції.

Вплив імпульсного температурного навантаження на властивості матеріалу і поведінку конструкції досліджують експериментально. Проте

чисельне моделювання процесів з врахуванням всіх особливостей динамічної зв'язаної фізично нелінійної поведінки матеріалів, а саме: непружного деформування, динамічного зміцнення, теплового звороту, залежності властивостей матеріалу від температури та мікроструктурних перетворень, дозволяє проаналізувати як загальні, так і конкретні особливості взаємодії механічних і теплових полів в широкому інтервалі параметрів задачі.

Для дослідження взаємодії механічних і теплових полів при таких комбінованих навантаженнях використовується динамічна постановка задачі із залученням узагальненої узгодженої з термодинамікою незворотних процесів моделі фізично нелінійної поведінки матеріалів в широкому діапазоні температур, модифікованої для врахування мікроструктурних перетворень (МСП) [2]

В рамках розглянутої постановки досліджується задача про дію комбінованого навантаження: теплового імпульсу та імпульсу напружень на півпростір. Задача, що розв'язується, має важливе практичне значення, оскільки моделює як термічний, так і силовий фактор дії лазерного опромінення поверхні металевих тіл при їх технологічній обробці, зокрема наклепуванні. При цьому вважаємо, що термомеханічний вплив на матеріал не супроводжується зміною агрегатного стану, тобто він реалізується в рамках другого механізму. Задача розв'язується за допомогою методики скінчених елементів розвиненої для моделювання зв'язаної термомеханічної поведінки фізично нелінійних матеріалів [2]. Вивчаються особливості термомеханічного та мікроструктурного станів, які виникають у процесі дії імпульсу, та залишкового напружено-деформованого стану, що формується при наступному поступовому охолодженні.

МСП разом з механічним імпульсом приводять до формування залишкових стискальних напружень, або, принаймні, зменшують розтягувальні напруження на поверхні тіл з мартенситних сталей. Цей ефект може використовуватись з метою підвищення їх міцності, зокрема втомної.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жук Я. О. Залишковий напружено-деформований стан сталевго диска при імпульсному тепловому опроміненні / Я. О. Жук, І. К. Сенченков, О. В. Бойчук // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 2008. – Т. 51, № 1. – С. 157 – 168.
2. Жук Я. О. Вплив мікроструктурних перетворень на напружено-деформований стан локально опроміненого сталевго диска / Я. О. Жук, І. К. Сенченков, Л. Я. Васильєва // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 2011. - Т. 54, № 1. – С. 101-115.

ВПЛИВ СТРУКТУРНОГО ФАКТОРУ ЛОКАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ В РУЙНУВАННІ ПОЛІМЕРІВ

Зазимко Н.М., Малежик М.П., Малежик П.М.

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова

Проблема вивчення механічних властивостей полімерів на молекулярному рівні є важливою і актуальною [1,2]. В даній роботі наводяться результати отримані при вивченні молекулярного механізму деформації прямими фізичними методами.

Зовнішнє механічне навантаження, прикладене до полімерного зразка, розподіляючись вздовж полімерних ланцюжків, змінює міжатомні відстані і валентні кути в ньому. При цьому відбувається зміна силових сталих хімічного зв'язку такого ланцюжка, а також виникає зміщення відповідних смуг поглинання в інфрачервоному спектрі (ІЧ-спектрі) в довгохвильову сторону.

Визначення локальних напружень, в основу якого покладене знімання ІЧ-спектрів, здійснювали на мікроприставці ПМО-2 до спектрометра ИКС-12. При визначенні локальних напружень в поліметилтерефталаті (ПЕТФ) була обрана смуга поглинання (975 см^{-1}), що дозволило отримати найбільше зміщення максимуму смуги при докладанні навантаження. За зміщенням вказаної смуги поглинання будувався тарувальний графік, на якому показано, що залежність зміщення максимуму смуги поглинання від прикладеного навантаження в діапазоні навантажень від 0 до 0,8 ГПа є лінійною. Це дало можливість використовувати лінійну залежність зміщення частоти від навантаження, при оцінці величини напружень у вершині дефекту.

Локальні напруження визначали при кімнатній температурі в зразках слабо орієнтованого ПЕТФ. Зразки виготовляли у вигляді плівок довжиною 35 мм, шириною 8 мм та товщиною 20-25 мкм. Концентратор утворювався проколом зразка спеціальним ножем шириною $2b = 1,7$ мм. Розміри світлового пучка променів складали 50×50 мкм, що дозволило досить точно визначити напруження в вершині тріщини. Напруження розтягу були взяті такими, щоб зразок тривалий час знаходився в рівноважному стані, тобто швидкість росту тріщинки була нехтовно мала в порівнянні зі швидкістю знімання спектру.

Коефіцієнт концентрації напруження знаходили за формулою

$$K_{\sigma} = 1 + 2 \sqrt{\frac{b}{\rho}}, \quad (1)$$

де K_{σ} - коефіцієнт концентрації напружень; b - пів довжини великої осі еліпса (пів довжини тріщини); ρ - радіус заокруглення у вершині еліпса (тріщини).

Розрахункове значення K_{σ} змінюється від 11,6 до 14 і залежить в значній мірі від радіуса заокруглення у вершині тріщини. Із порівняння видно, що розрахункові дані добре узгоджуються з даними, отриманими методом ІЧ-спектроскопії. Дослідження методом фотопружності проводили при такому ж значенні зовнішнього напруження, що і при дослідженні методом ІЧС, при цьому деформація не перевищувала 5%. Враховуючи величину деформації і

властивості матеріалу, можна вважати, що деформування зразків відбувається в області пружних деформацій. Це дало можливість для визначення напружень використати закон фотопружності Вертгейма

$$\delta = Cd(\sigma_1 - \sigma_2), \quad (1)$$

де δ - різниця ходу променів при подвійному їх заломленні; C – оптична стала матеріалу; $(\sigma_1 - \sigma_2)$ - різниця головних нормальних напружень.

На контурі прорізу

$$\delta = C \cdot d \cdot \sigma_\theta, \quad (2)$$

де σ_θ - максимальне тангенціальне напруження на контурі прорізу.

Аналіз виразу (2) показує, що в вершині прорізу вимірювана різниця ходу прямо пропорційна діючому напруженню. В поперечному перерізі зразка на значній відстані від прорізу, практично виконується умова одноосного напруженого стану. Отже, вимірювана різниця ходу променів в цьому перерізі прямо пропорційна зовнішньому прикладеному напруженню. Таким чином, коефіцієнт концентрації напружень можна визначити як відношення максимальної різниці ходу у вершині прорізу δ_{\max} і різниці ходу, що утворює лише зовнішнє навантаження, $\delta_{\text{зовн}}$:

$$K_\sigma = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{\text{зовн}}}. \quad (3)$$

Така методика визначення δ_σ дала можливість уникнути побудови тарувальних графіків, оскільки даний зразок є самотарувальним.

Після проведених досліджень з'явилася можливість з'ясувати, в якому зв'язку знаходиться коефіцієнт концентрації напружень K_σ та структурно-чутливий коефіцієнт у рівнянні довготривалої міцності

$$\gamma = \gamma_k \cdot \alpha^3$$

де γ_k - коефіцієнт перенапруження, що вказує у скільки разів навантаження на розривному зв'язку переважає зовнішнє, прикладене до зразка; α^3 - активаційний об'єм хімічного зв'язку, що розривається.

Аналіз отриманих результатів дає можливість зробити наступні висновки. Роль геометричного концентратора збільшується з переходом від гладкого зразка до зразка з прорізом, а роль структурного концентратора зменшується. Для гладкого зразка γ_k повністю визначається структурними перенапруженнями. Очевидно, що структурно-чутливий коефіцієнт γ для гладких зразків пов'язаний з орієнтацією полімерних ланцюжків: чим вища орієнтація у напрямку прикладання розтягуючого навантаження, тим менше γ , а внаслідок цього, і γ_k .

ЛІТЕРАТУРА

1. Пахомов П.М., Шерматов М., Корсуков В.Е., Куксенко В.С. Связь конформационных переходов с деформацией большого периода в полиэтилене// Высокомолекулярные соединения. – 1976. - №1. – С.132 – 139.
2. Vettegren V.I., Novak I.I., Friedland K.J. Overstressed interatomic bonds in stressed polymers// J. Fracture. 1975, vol. 11, N 5. -P. 789-797.

ТРЕХМЕРНАЯ ЗАДАЧА О ВЫНУЖДЕННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЯХ И ДИССИПАТИВНОМ РАЗОГРЕВЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ИЗ ВЯЗКОУПРУГОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

В.Г.Карнаухов¹, В.И.Козлов¹, А.В.Завгородний²

¹*Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины*

²*Николаевский национальный университет им. В.А. Сухомлинского*

Тела вращения, состоящие из пассивных и пьезоактивных материалов компонент, находят широкое применение в различных областях современной техники [1, 4] в качестве излучателей и приемников звука, работающих в широком диапазоне частот. Для повышения прочности и эффективности работы в активные элементы конструкций часто включаются металлические слои. С другой стороны, в последние годы для управления стационарными и нестационарными колебаниями конструкций из пассивных (без пьезоэффекта) материалов разработаны активные методы. Суть этих методов состоит в том, что в конструкцию включаются пьезоэлектрические слои, выполняющие роль сенсоров и актуаторов [5]. Существует несколько методов активного управления колебаниями. Первый из них состоит в использовании только актуаторов, к которым подводится некоторая разность потенциалов, которая, например, компенсирует действие механической нагрузки, в результате чего амплитуда колебаний уменьшается и соответственно уменьшается уровень динамических напряжений. Второй метод основан на совместной работе сенсоров и актуаторов. При этом к актуатору подводится разность потенциалов, пропорциональная скорости изменения разности потенциалов, снимаемой с сенсора, в результате чего в теле кроме демпфирования колебаний за счет гистерезисных потерь в материале появляется дополнительное затухание. Но присущие неупругим материалам гистерезисные потери приводят к повышению температуры в теле, так называемой температуры диссипативного разогрева. Ее уровень зависит от многих факторов – геометрических параметров тела, уровня частоты нагружения, диссипативных свойств материала, механических и температурных граничных условий и др. Наибольшее повышение температуры следует ожидать при колебаниях на резонансных частотах. Резонансным колебаниям тел из пассивных и пьезоактивных неупругих материалов посвящено очень много работ. Однако

практически во все этих работах не учитывается диссипативный разогрев, который может привести не только к количественным, но и к качественным изменениям колебательного процесса. Например, при достижении температурой точки Кюри пьезоактивного материала имеет место специфический тип теплового разрушения, когда конструкция перестает выполнять свое функциональное назначение из-за потери пьезоэффекта.

В настоящей статье представлена постановка задачи о вынужденных колебаниях и диссипативном разогреве неупругого трехслойного тела вращения, которое составлено из внутреннего пассивного слоя и двух внешних слоев из пьезоактивного материала. Для моделирования неупругого поведения материалов слоев используется концепция комплексных характеристик [2, 3], согласно которой определяющие уравнения пассивных и пьезоактивных материалов имеют такой же вид, как и определяющие уравнения для упругого материала с той лишь разницей, что они становятся комплексными с характеристиками, которые зависят от температуры (первый тип физической нелинейности) либо от амплитуд независимых полевых величин (второй тип физической нелинейности). Кроме того, в обоих случаях диссипативная функция зависит от температуры и амплитуд независимых полевых величин. В данной статье рассматривается только первый тип физической нелинейности.

Для решения нелинейных краевых задач о колебаниях и диссипативном разогреве тел из неупругих пассивных и пьезоактивных материалов при действии на них гармонических во времени механических и электрических нагрузок использован итерационный метод пошагового интегрирования [2, 3], сводящий исходную нелинейную задачу к последовательности линейных задач электромеханики с зависящими от координат комплексными характеристиками и линейных задач теплопроводности с известным источником тепла. Представлена вариационная постановка указанных линейных задач. Для решения вариационных задач применяется метод конечных элементов. В качестве примера рассмотрена задача о колебаниях и диссипативном разогреве тела вращения в виде трехслойной цилиндрической панели, одним из наиболее распространенных на практике элементов конструкций [4].

Приведены результаты расчета амплитудно-частотных и температурно-частотных характеристик этой панели. Результаты расчетов представлены в виде графиков, иллюстрирующих влияние физической нелинейности первого типа на указанные характеристики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Шульга Н.А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Электроупругость. – Т.5. – Киев: Наук. думка, 1989. – 290 с.
2. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф. Электротермовязкоупругость. Механика связанных полей в элементах конструкций. – Киев: Наук. думка, 1988. Т.4. – 320 с.

3. Карнаухов В.Г., Михайленко В.В. Нелинейная термомеханика пьезоэлектрических неупругих тел при моногармоническом нагружении. – Житомир: ЖТТУ, 2005. – 428с.

4. Hamid R. Hamidzadeh, Reza N.Jazar. Vibrations of Thick Cylindrical Structural. – New York – Dordrecht – Heidelberg-London: Springer. – 2010. – P. 201.

5. Sabat R.G., Mukherjee B., Ren W., Yung G. Temperature dependence of the complete material coefficients matrix of soft and hard doped piezoelectric lead zirconate titanate ceramics // Journal of Applied Physics. – 2007/. V/101/ –P 06411–1–7.

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКОМПОЗИТІВ ПОЛІЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ – ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ

Карнаухов В.Г., Лисенков Е.А., Пригода О.П.

¹Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

²Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Полімерні композити, що містять нанорозмірні частинки наповнювача, є предметом інтенсивних досліджень протягом останнього десятиліття завдяки своїм унікальним властивостям та широкій області застосувань. Одним з найбільш перспективних матеріалів, які використовуються як наповнювачі для полімерних нанокompозитів є вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Численні дослідження багатьох дослідників як вітчизняних так і закордонних, були присвячені використанню нанотрубок як наповнювачів для виготовлення різноманітних полімерних нанокompозитів цільового застосування. ВНТ у композитах модифікують полімерну матрицю та породжують нові властивості, завдяки своїй надзвичайній механічній міцності, електричній та тепловій провідності. Отже, використання ВНТ як наповнювача дозволяє проводити розробки нових багатофункціональних матеріалів з широким спектром застосувань у промисловості.

Для проведення дослідження було обрано модельну серію нанокompозитів; як матрицю використовували поліетиленгліколь, а як наповнювач – багатошарові вуглецеві нанотрубки. Поліетиленгліколь (ПЕГ) з $M_w = 1000$, виробництва компанії Aldrich, використовувався як полімерна матриця. Багатошарові вуглецеві нанотрубки, виробництва ООО «Спецмаш» Україна, виготовлені методом CVD. Вміст мінеральних добавок складає приблизно 0,1%. Питома поверхня S трубок становить $190 \text{ м}^2/\text{г}$. Дані КНТ мають зовнішній діаметр $d \approx 40 \text{ нм}$, а довжину l від 5 до 10 мкм.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що введення відносно невеликої кількості ВНТ (0÷1,0 мас. %) у ПЕГ відіграє вирішальну роль у формуванні як в'язкопружних властивостей, так і інших макрохарактеристик (густини, пористості) нанокompозиту. Виявлено, що

основні в'язкопружні властивості системи, такі як модуль пружності, модуль втрат, швидкість звуку, тангенс кута механічних втрат та коефіцієнт дисипації енергії звукових хвиль, значно змінюються при введенні ВНТ. Зростання звукопроникності матеріалу на 10 % та модуля пружності на 40 % в області концентрацій від 0,6 до 0,8 % є типовим перколяційний переходом і пояснюється утворенням нанотрубок „неперервного” перколяційного кластера, який пронизує весь матеріал матриці. Утворення перколяційного кластера з рівномірно розподілених ВНТ у композиті приводить до значного армувального ефекту. Встановлено, що поріг перколяції, концентрація ВНТ, при якій відбувається різка зміна властивостей системи, для даних матеріалів становить 0,5 %.

Отримані нанокомпозити ПЕГ-ВНТ, при наповненні до порогу перколяції є перспективним матеріалом для створення демпфувальних та шумопоглинаючих покриттів, а після досягнення наповнювачем порогу перколяції можуть використовуватись як покриття із підвищеною міцністю.

ТЕПЛОВЕ РУЙНУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИМИ КОЛИВАННЯМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ І СФЕРИЧНИХ ОБОЛОНОК ЗА ДОПОМОГОЮ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ СЕНСОРІВ ТА АКТУАТОРІВ

І.Ф.Киричок¹, Т.В.Карнаухова²

¹ *Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України*

² *Національний технічний університет України “КПІ”*

Непружні сферичні та циліндричні оболонки широко використовуються в різних галузях сучасної техніки. Резонансний режим є одним з основних при їх експлуатації. Але neprужні матеріали при гармонічному деформуванні мають суттєві гістерезисні втрати, в результаті яких механічна енергія розсіюється в теплову і має місце явище дисипативного розігріву. Воно може суттєво вплинути на механічний і тепловий стан neprужного тіла. При досягненні температурою дисипативного розігріву точки деградації матеріалу (наприклад, точки плавлення пасивного матеріалу чи точки Кюрі п'єзоактивного) має місце специфічний тип теплового руйнування, коли neprужний елемент не розділяється на частини, але втрачає своє функціональне призначення.

В даній роботі розглянуто одновимірні задачі про теплове руйнування сферичних і циліндричних оболонок з п'єзоелектричними сенсорами та актуаторами при їх вимушених резонансних коливаннях. Розглядаються тришарові сферичні та циліндричні оболонки, що складаються з внутрішнього neprужного пасивного шару з залежними від температури характеристиками і зовнішніх пружних п'єзоелектричних шарів, з яких один виконує роль сенсора, а другий – актуатора. Оболонки навантажені гармонічним за часом

поверхневим тиском. Для моделювання механічної поведінки пасивного шару використовується концепція комплексних характеристик [1]. Розраховуються критичні значення механічного навантаження в залежності від коефіцієнта теплообміну. Якщо механічне навантаження перевищує критичне, обчислюється критичне значення часу, при якому температура досягає точки Кюрі. Побудовано криві типу Веллера залежності критичного часу від навантаження для різних умов теплообміну. Ця крива зверху асимптотично наближається до значення критичного навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карнаухов В.Г., Михайленко В.В. Нелинейная термомеханика пьезоэлектрических неупругих тел при моногармоническом нагружении. – Житомир: ЖТТ У, 2005. –428с.

ПРО ВИКОРИСТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ У ВЕКТОРНІЙ ФОРМІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПРУЖНОПЛАСТИЧНОГО СТАНУ НЕКРУГОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК

В.А. Максимюк, О.В. Піголь, Є.А. Сторожук, І.С. Чернишенко
Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

Тонкі циліндричні оболонки некругового поперечного перерізу знаходять широке застосування в різноманітних галузях техніки як конструктивні елементи машин та приладів. При значних рівнях діючих навантажень у вказаних елементах конструкцій виникають зони підвищених напружень, а властивості їх матеріалу характеризуються нелінійною діаграмою деформування.

Для вивчення процесу нелінійного деформування віднесемо оболонку до криволінійної ортогональної системи координат (s_1, s_2, γ) , де s_1, s_2 і γ – довжини твірної, дуги напрямної і нормалі до серединної поверхні оболонки. Геометрію серединної поверхні оболонки задамо в глобальній декартовій системі координат (X, Y, Z) , вісь OX якої напрямлена по осі циліндра. Площину поперечного перерізу оболонки віднесемо до системи координат (Y, Z) , а його рівняння запишемо в параметричній формі: $Y = Y(s_2); Z = Z(s_2)$.

Розрахунки некругових циліндричних оболонок традиційними чисельними методами показали, що у випадку тонких непологих оболонок виникає явище так званого мембранного замикання, яке значно уповільнює збіжність числових результатів. Для ліквідації цього явища у роботі запропоновано використати варіаційний векторно-різницевий метод (ВВРМ), в якому геометричні співвідношення представлені згідно теорії непологих оболонок Кірхгофа-Лява у векторній формі [1]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{11} &= \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{u}}{\partial s_1}; & \varepsilon_{12} &= \vec{e}_2 \cdot \frac{\partial \vec{u}}{\partial s_1} + \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{u}}{\partial s_2}; \\ \mu_{11} &= \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial s_1}; & 2\mu_{12} &= \vec{e}_2 \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial s_1} + \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial s_2}; \\ e_{11} &= \varepsilon_{11} + \gamma\mu_{11}; & e_{12} &= \varepsilon_{12} + 2\gamma\mu_{12} \quad (1 \leftrightarrow 2),\end{aligned}\tag{1}$$

де $\vec{u} = u_1\vec{e}_1 + u_2\vec{e}_2 + u_3\vec{n}$ – вектор переміщень точок серединної поверхні оболонки; $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{n}$ – орти системи координат (s_1, s_2, γ) ; $\vec{\varphi} = \varphi_1\vec{e}_1 + \varphi_2\vec{e}_2$ – вектор кутів повороту нормалі, які визначаються за формулами: $\varphi_1 = -\vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{u}}{\partial s_1}$ ($1 \rightarrow 2$).

Вважаючи, що навантаження просте, фізичні співвідношення запишемо на основі теорії малих пружнопластичних деформацій [1]:

$$\sigma_{11} = 2G \left[\frac{1-\omega_i}{1-\nu_i} e_{11} + \frac{(1-\omega_i)\nu_i}{1-\nu_i} e_{22} \right]; \quad \sigma_{12} = G(1-\omega_i)e_{12}; \quad (1 \leftrightarrow 2).\tag{2}$$

Тут G – модуль зсуву матеріалу оболонки; ω_i, ν_i – функція пластичності і змінний коефіцієнт поперечної деформації.

Систему розв'язувальних рівнянь отримаємо з принципу можливих переміщень за допомогою методу додаткових напружень і ВВРМ. Приймаючи, що у варіаційному рівнянні принципу можливих переміщень нелінійні члени, які враховують пластичні деформації матеріалу, відомі з попереднього наближення і не варіюються та реалізуючи гіпотези Кірхгофа-Лява методом множників Лагранжа, приходимо до такого змішаного функціоналу [1]:

$$\begin{aligned}P^{ln} &= \frac{1}{2} \iint_{\Sigma} (T_{11}^0 \varepsilon_{11} + T_{22}^0 \varepsilon_{22} + T_{12}^0 \varepsilon_{12} + M_{11}^0 \mu_{11} + M_{22}^0 \mu_{22} + \\ &+ 2M_{12}^0 \mu_{12}) d\Sigma + \iint_{\Sigma} (T_{11}^P \varepsilon_{11} + T_{22}^P \varepsilon_{22} + T_{12}^P \varepsilon_{12} + M_{11}^P \mu_{11} + \\ &+ M_{22}^P \mu_{22} + 2M_{12}^P \mu_{12}) d\Sigma + \iint_{\Sigma} (T_{1\gamma} \varepsilon_{1\gamma} + T_{2\gamma} \varepsilon_{2\gamma}) d\Sigma - A,\end{aligned}\tag{3}$$

де T_{ij}, M_{ij} ($i, j = 1, 2$) – внутрішні зусилля і моменти; індекси "0" і "P" зверху відповідають лінійній і нелінійній частинам внутрішніх силових факторів; (Σ) – серединна поверхня оболонки; A – робота зовнішніх сил; $T_{1\gamma}, T_{2\gamma}$ – множники Лагранжа; $\varepsilon_{1\gamma}, \varepsilon_{2\gamma}$ – вирази виду:

$$\varepsilon_{1\gamma} = \vec{\varphi} \cdot \vec{e}_1 + \frac{\partial \vec{u}}{\partial s_1} \cdot \vec{n} \quad (1 \rightarrow 2).$$

Покриваємо область (Σ) основною і допоміжною системами сіток, у виразі (3) для змішаного функціоналу переходимо від диференціювання до скінченних різниць і від інтегрування – до підсумовування за формулою прямокутників.

Всебічне тестування ВВРМ показало, що використання для компонент деформації оболонки скінченно-різницевого аналога геометричних співвідношень, записаних у векторній формі (1), повністю виключає негативний вплив жорстких переміщень на збіжність результатів, що значно підвищує точність розв'язування задач теорії оболонок.

З використанням запропонованої методики і складених прикладних програм досліджено вплив пластичних деформацій матеріалу, геометричних параметрів, виду і величини навантаження на напружено-деформований стан циліндричної оболонки еліптичного перерізу при дії рівномірного внутрішнього тиску і осьового розтягу заданої інтенсивності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Максимюк В.А., Сторожук Е.А., Чернышенко И.С. Вариационно-разностные методы в линейных и нелинейных задачах деформирования оболочек из металлических и композитных материалов (обзор) // Прикл. механика. – 2012. – 48, №6. – С. 3 – 80.

ДО СТАТИКИ ТОНКИХ ОРТОТРОПНИХ ОБОЛОНОК ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ З НЕЛІНІЙНО ПРУЖНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.А. Максимюк, Є.А. Сторожук, І.С. Чернышенко
Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

Композитні елементи конструкцій у вигляді тонких пластинок і оболонок сталої чи змінної товщини мають широке застосування в техніці. Вони можуть мати вирізи, підкріплені отвори, жорсткі включення. Навколо таких неоднорідностей виникають підвищені градієнти напружено-деформованого стану (НДС). Композитні матеріали (КМ) можуть бути ортотропними та нелінійно-пружними [1]. Необхідність врахування реальних властивостей КМ вимагає притягнення адекватних теоретичних уявлень.

1. *Постановка нелінійних задач.* Тонку композитну оболонку з підкріпленнями у вигляді ребер, кілець, накладок або з ділянками потовщень чи потоншень будемо розглядати як оболонку змінної товщини. Поверхні такої оболонки можуть бути кусково-гладкими. Виберемо між ними деяку уявну гладку поверхню в криволінійній ортогональній системі координат $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, як поверхню приведення в теорії оболонок. Відстані вздовж координати α_3 від

поверхні приведення до зовнішніх поверхонь оболонки позначимо $h_1(\alpha_1, \alpha_2)$ і $h_2(\alpha_1, \alpha_2)$. Тоді $-h_1 \leq \alpha_3 \leq h_2$, а товщина оболонки буде

$$h(\alpha_1, \alpha_2) = h_1(\alpha_1, \alpha_2) + h_2(\alpha_1, \alpha_2).$$

Вважатимемо, що тонка оболонка виготовлена з нелінійно пружного ортотропного КМ. Процес навантаження під дією поверхневих та крайових сил є активним та простим. Осі ортотропії КМ збігаються з лініями головних кривин поверхні приведення оболонки. За певних навантажень в оболонці проявляються нелінійні властивості анізотропного матеріалу, а деформації є малими. Зазначені передумови дозволяють для одержання основних рівнянь скористатися геометрично лінійною теорією оболонок і теорією пластичності анізотропних середовищ [2], враховуючи змінну товщину оболонки.

2. *Методичні аспекти розв'язування задач.* Геометричні гіпотези Кірхгофа-Лява реалізуються алгоритмічно [1] методом множників Лагранжа. Фізичні нелінійні залежності між компонентами напружень і деформацій при плоскому напруженому стані для простих навантажень приймемо згідно з теорією пластичності анізотропних середовищ Ломакіна [2]. Рівняння цієї теорії є суттєво нелійними, розв'язати їх відносно напружень можна чисельно за допомогою методу Ньютона. Після їх чисельного обернення, виділення лінійних σ_{ij}^0 ($i, j = 1, 2$) та нелінійних σ_{ij}^* доданків, введення середніх по товщині оболонки внутрішніх зусиль T_{ij} та моментів M_{ij} подамо останні аналогічно як і напруження у вигляді суми лінійних та нелінійних доданків

$$T_{ij} = T_{ij}^0 + T_{ij}^*; \quad M_{ij} = M_{ij}^0 + M_{ij}^* \quad (i, j = 1, 2).$$

Лінійні члени, позначені верхніми символами 0 , визначаються за формулами:

$$T_{11}^0 = (c_{11}\varepsilon_{11} + c_{12}\varepsilon_{22})h + (c_{11}\kappa_{11} + c_{12}\kappa_{22})(h_2^2 - h_1^2)/2;$$

$$T_{22}^0 = (c_{22}\varepsilon_{22} + c_{21}\varepsilon_{11})h + (c_{22}\kappa_{22} + c_{21}\kappa_{11})(h_2^2 - h_1^2)/2;$$

$$T_{12}^0 = G_{12}\varepsilon_{12}h + G_{12}\kappa_{12}(h_2^2 - h_1^2);$$

$$M_{11}^0 = (c_{11}\varepsilon_{11} + c_{12}\varepsilon_{22})(h_2^2 - h_1^2)/2 + (c_{11}\kappa_{11} + c_{12}\kappa_{22})(h_2^3 + h_1^3)/3;$$

$$M_{22}^0 = (c_{22}\varepsilon_{22} + c_{21}\varepsilon_{11})(h_2^2 - h_1^2)/2 + (c_{22}\kappa_{22} + c_{21}\kappa_{11})(h_2^3 + h_1^3)/3;$$

$$M_{12}^0 = G_{12}\varepsilon_{12}(h_2^2 - h_1^2)/2 + 2G_{12}\kappa_{12}(h_2^3 + h_1^3)/3,$$

$$\text{де } c_{11} = \frac{E_{11}}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad c_{12} = c_{21} = \frac{E_{11}\nu_{12}}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \quad c_{22} = \frac{E_{22}}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}.$$

Нелінійні члени з верхніми символами * обчислюються за формулами

$$T_{ij}^* = \int_{-h_1}^{h_2} \sigma_{ij}^* d\alpha_3; \quad M_{ij}^* = \int_{-h_1}^{h_2} \sigma_{ij}^* \alpha_3 d\alpha_3 \quad (i, j = 1, 2).$$

З використанням наведених формул була модифікована розроблена раніше [1] методика дослідження нелінійного НДС оболонок з підкріпченими отворами або змінної товщини, виготовлених з нелінійно-пружних КМ.

Використано метод послідовних наближень, варіаційно-різницевий метод (ВРМ). Проведено чисельний аналіз НДС тонких сферичних оболонок з нелінійно-пружних КМ. Досліджено вплив нелінійних властивостей КМ на НДС оболонок. Виявлено ряд ефектів обчислювального і механічного характеру, обумовлених ортотропією, нелінійними властивостями композитних матеріалів, змінною товщиною оболонок і жорсткістю підкріплень, які практично неможливо передбачити апріорно.

Результати розрахунків для випадків сталої та змінної товщини з точністю до двох значущих цифр збігаються з аналогічними результатами, отриманими методом скінченних різниць (МСР) [3], що свідчить про ефективність розробленого методу. Більше того, МСР не дозволяє розраховувати оболонки кусково сталої товщини через необхідність обчислення першої і другої похідних від товщини, а ВРМ є вільним від такого недоліку і в запропонованому варіанті дозволяє розраховувати оболонки з довільним законом зміни товщини, включаючи, навіть, оболонки з ребрами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Maksimiyuk V.A., Storozhuk E.A., Chernyshenko I.S. Variational finite-difference methods in linear and nonlinear problems of the deformation of metallic and composite shells (review) // *Int. Appl. Mech.* – 2012. – **48**, N 6. – P. 613–687.
2. Ломакин В.А. О теории пластичности анизотропных сред // *Вестн. Моск. ун-та. Математика и механика.* – 1964. – № 4. – С.49 – 53.
3. Максимюк В.А., Чернышенко И.С. Физически нелинейные осесимметричные задачи теории ортотропных оболочек переменной толщины // *Прикл. механика.* – 1987. – 23, № 1. – С. 44–48.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ С ДИСКРЕТНЫМ ПРОДОЛЬНОМ РЕБРИСТЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗКАХ

Мейш В.Ф., Палюк А.В.

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАНУ

В данной работе рассмотрены трехслойные цилиндрические оболочки эллиптического поперечного сечения с учетом продольного дискретного ребристого наполнителя при нестационарных нагрузках. В рамках гипотез типа Тимошенко для оболочек и стержней согласно геометрически линейной теории приведены уравнения колебаний [1]. Для вывода уравнений колебаний трехслойной упругой структуры с дискретным наполнителем используется вариационный принцип стационарности Гамильтона – Остроградского,

согласно которому $\delta \int_{t_1}^{t_2} (K - \Pi + A) dt = 0$, где K – полная кинетическая энергия упругой системы, Π – полная потенциальная энергия упругой системы, A – работа внешних сил.

После стандартных преобразований в вариационном уравнении, с учетом выражений для потенциальной и кинетической энергий для обшивок и ребер согласно [1], получаем две группы уравнений: уравнения колебаний обшивок (внутренняя и внешняя цилиндрические оболочки) и уравнения колебаний для продольного ребра. Уравнение колебания обшивок имеют вид [1]

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{11}^k}{\partial s_1} + \frac{\partial S^k}{\partial s_2} &= \rho_k h_k \frac{\partial^2 u_1^k}{\partial t^2}; & \frac{\partial S^k}{\partial s_1} + \frac{\partial T_{22}^k}{\partial s_2} + k_2 T_{23}^k &= \rho_k h_k \frac{\partial^2 u_2^k}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial T_{13}^k}{\partial s_1} + \frac{\partial T_{23}^k}{\partial s_2} - k_2 T_{22}^k + P_3^k(s_1, s_2, t) &= \rho_k h_k \frac{\partial^2 u_3^k}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial M_{11}^k}{\partial s_1} + \frac{\partial H^k}{\partial s_2} - T_{13}^k &= \rho_k \frac{h_k^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1^k}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial H^k}{\partial s_1} + \frac{\partial M_{22}^k}{\partial s_2} - T_{23}^k &= \rho_k \frac{h_k^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_2^k}{\partial t^2}; \quad k = 1, 2; \end{aligned}$$

Уравнение колебаний продольного стержня представлены в [1].

Для решения поставленной задачи использована явная конечно-разностная схема интегрирования уравнений [1]. Представлен числовой пример решения задачи о вынужденных неосесимметричных колебаний указанной неоднородной оболочечной структуры при действии распределенной нестационарной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головки К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / под ред. Акад. НАН Украины А.Н. Гузя. – К.: Изд. – полиграф. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ И МИКРОСТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВА

Н. Д Оксенчук¹, Е.В. Доля²

¹Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины,

²Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Интенсивное развитие технологий поверхностного упрочнения элементов конструкций с помощью лазерного термического импульсного воздействия стимулирует разработку моделей термомеханических и микроструктурных

процессов в поверхностных слоях металла. В работах [1, 2] установлено, что микроструктурные превращения мартенситного типа в процессе охлаждения поверхностных слоев могут быть основным механизмом упрочнения вследствие более высокого предела прочности и временного сопротивления материала в мартенситной фазе по сравнению с исходной фазой материала.

Полученные результаты касались короткоимпульсных воздействий длительностью $\sim 10^{-8}$ с и сформированных мартенситных структур толщиной $10^{-7} \div 10^{-6}$ м. При таких параметрах результаты, полученные в рамках континуальных моделей, могут быть чувствительными к морфологическим особенностям структуры материала.

В настоящей работе проводится исследование зависимости толщины мартенситного слоя от длительности теплового импульса и выяснение ограничений континуального подхода к описанию термомеханических процессов в поверхностных слоях материала.

Рассматривается облучение тепловым импульсом полупространства $z > 0$, $0 < r < \infty$. Для описания термомеханического поведения материала используется унифицированная модель Боднера-Партома, обобщенная на случай зависимости ее параметров, которые отвечают за предел текучести и временное сопротивление материала, от фазового состава. Накопление концентрации фаз вдоль кривых охлаждения в области мартенситного превращения рассчитывается с помощью уравнения Коистинена–Марбургера.

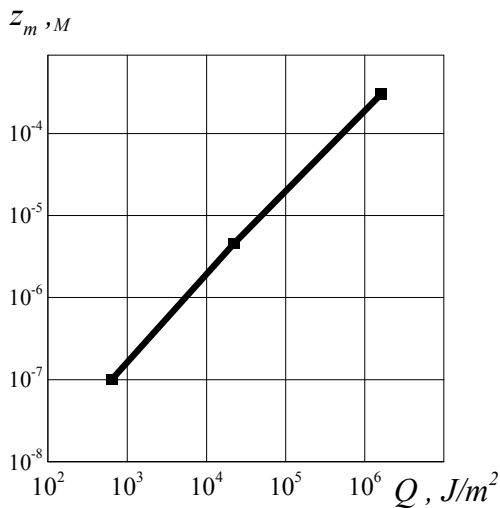


Рис. 1

На поверхности начально невозмущенного пространства $z = 0$, задаются граничные условия импульсного термического нагружения и свободной границы

$$q_z = q_0 \sin \frac{\pi}{t_q} t, \quad t \leq t_p; \quad q_z = 0, \quad t > t_p.$$

Здесь q_0 – параметр теплового потока; t_q – время действия импульса.

В качестве материала используется сталь 35ХМА.

Задача является нелинейной и решается численно методом пошагового интегрирования по времени, итерационным методом и методом конечных элементов.

Размер зоны термического влияния z_m в зависимости от параметра

тепловложения $Q = \int_0^{t_q} q_z dt$ [$Дж / м^2$] представлен на рис. 1.

Реальные металлы, в частности, стали, имеют зернистую структуру. Поэтому континуальный подход, использующий усредненные характеристики,

дает более или менее надежные результаты, если область изменчивости характеристик механического и микроструктурного состояния хотя бы на порядок больше размера неоднородности (зерна) z_h . В рассматриваемой задаче условием эффективной гомогенизации является соотношение $z_m \geq 10z_h$. Размер зерна z_h характеризуется номером (баллом) и изменяется в пределах $z_h \approx 10^{-4} \text{ м}$ (балл 1) и $z_h \approx 10^{-5} \text{ м}$ (балл 8) [3].

Если условие гомогенизации выполняется, то результаты, полученные в рамках континуального подхода, можно принять в качестве количественной оценки, в противном случае их следует рассматривать как качественную оценку. Развитый подход и данные, представлены на рис. 1 позволяют провести анализ степени достоверности результатов для данного класса задач на основе известных морфологических особенностей структуры конкретного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жук Я. А., Доля Е.В., Оксенчук Н.Д. Упрочнение цилиндра при импульсном тепловом нагружении с учетом мартенситных превращений // Теор. и прикл. механика. — 2012. — №5 (51). — С. 58—63.
2. Сенченков И. К., Червинко О. П., Оксенчук Н. Д. Термомеханическое импульсное нагружение диска с учетом влияния фазового состава материала на неупругие характеристики // Теор. и прикл. механика. — Донецк, 2012. — №5 (51). — С. 51—57.
3. Гуляев А. П. Металловедение [учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп.] / Гуляев А. П. — Металлургия, 1986. — 544 с.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ, ВЫЗВАННЫЕ ДВИЖЕНИЕМ ПОРШНЯ

Олефиренко О.Ю.

Николаевский национальный университет им. В.А. Сухомлинского

Одномерное нестационарное движение идеальной сжимаемой жидкости описывается системой уравнений:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = - \frac{\partial p}{\partial x} / \rho, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$p - p_0 = A[(\rho / \rho_0)^n - 1], \quad (3)$$

где v - скорость жидкости; x - координата; t - время; p - давление; ρ - плотность; ρ_0, p_0 - параметры невозмущенной среды; A, n - константы ($A=300 \text{ МПа}$, $n=7$).

Риманом система уравнений (1-3) сведена к уравнению [1,2]

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u(v) \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

где скорость возмущений определяется как

$$u(v) = c_0 + \frac{n+1}{2} v, \quad (5)$$

где c_0 - скорость звука в невозмущенной среде; u - скорость распространения возмущений в среде.

Решение уравнения (4) записывается в неявном виде [2]

$$v(x, t) = F \left[t + \frac{n+1}{2} \frac{v \cdot t}{c_0} - \frac{x}{c_0} \right], \quad (6)$$

где F – пока неизвестная функция.

Для функции давления, получим представление

$$p = A \left[\left(1 + \frac{n-1}{2} \frac{v}{c_0} \right)^{2n/n-1} - 1 \right]. \quad (7)$$

Рассмотрим частный, но достаточно общий случай закона движения поршня, который допускает получение точного решения

$$H(t) = v_0 t - \frac{a_0 t^2}{2}, \quad (8)$$

$$V_H(t) = v_0 - a_0 t.$$

Используя метод нелинейного преобразования [3], получаем

$$t^2 + 2 \frac{c_0}{na_0} \left(1 + \frac{n+1}{na_0} M_0 \right) - \frac{2}{n} \frac{c_0}{a_0} \tau = 0, \quad (9)$$

где $M_0 = v_0/c_0$, τ - новое время.

Из уравнения (8) найдем обратную функцию

$$t = \frac{c_0}{na_0} \left[1 + \frac{n+1}{2} M_0 \right] \cdot \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2na_0}{c_0} \cdot \frac{\tau}{\left(1 + \frac{n+1}{2} M_0 \right)^2}} \right], \quad (10)$$

Далее, получим, что

$$v(\tau) = v_0 - \frac{c_0}{n} \left(1 + \frac{n+1}{2} M_0 \right) + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2na_0}{c_0} \cdot \frac{\tau}{\left(1 + \frac{n+1}{2} M_0 \right)^2}} \right]. \quad (11)$$

В соответствии с (6) принимая в (11) $\tau = t - (x - \frac{n+1}{2} v \cdot t)/c_0$, запишем

$$\bar{v}(x, t) = M_0 - \frac{1}{n} \left(1 + \frac{n-1}{2} M_0 \right) + \left[\frac{1}{n^2} \left(1 + \frac{n-1}{2} M_0 \right)^2 - 2 \frac{a_0}{nc_0} \left(t + \frac{(n+1)t \cdot \bar{v}(x, t) - x}{c_0} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

где $\bar{v} = v / c_0$.

Уравнение (12) содержит функцию $\bar{v}(x, t)$ в неявном виде. А теперь найдем функцию $\bar{v}(\bar{x}, \bar{t})$ в явном виде

$$\bar{v}(\bar{x}, \bar{t}) = M_0 - \frac{1}{n} \left(1 + \frac{n-1}{2} M_0 + \frac{n+1}{2} \bar{t} \right) \times \left\{ 1 - \frac{\sqrt{2n \left[(\bar{t} - \bar{x}) + \frac{n+1}{2} M_0 \bar{t} \right]}}{\left[1 + \frac{n-1}{2} M_0 + \frac{n+1}{2} \bar{t} \right]^2} \right\}. \quad (12)$$

где $\bar{t} = \frac{a_0 t}{c_0}$, $\bar{x} = \frac{a_0 x}{c_0^2}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1975. 288с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 733 с.
3. Поздеев В.А. Метод нелинейного преобразования времени в краевых задачах теории потенциала с подвижными границами для линейного волнового уравнения // Прикл. математика и механика. 1991. № 6. С. 1055-1058.

МОДЕЛЮВАННЯ КІН ДВОХ ВЗАЄМОДІЮЧИХ ПОВЕРХНЕВИХ ШВЕЛПТИЧНИХ КОЛІНЕАРНИХ ТРІЩИН МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

І. Підгурський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Процеси об'єднання і механічної взаємодії кількох тріщин відіграють важливу роль при оцінці живучості конструкцій. Критеріальна оцінка живучості (залишкового ресурсу) конструкцій при наявних тріщинах пов'язана, як правило, з визначенням коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН), який характеризує напружено-деформівний стан (НДС) у вершині тріщини. Розрахунок КІН в реальних конструкціях є складною задачею, зважаючи на геометрію і граничні умови, особливо для тривимірних тіл.

Представлено результати оцінки КІН методом скінчених елементів при моделюванні взаємовпливу двох колінеарних поверхневих півеліптичних тріщин за одновісного розтягу пластин скінчених розмірів.

Розподіл коефіцієнтів інтенсивності напружень вздовж фронту поверхневої тріщини отримано методом скінчених елементів (МСЕ). Застосовували спеціалізований програмний пакет «ANSYS-Workbench – 14.5» [1]. Змоделювало поверхневі півеліптичні тріщини у пластині скінчених розмірів під дією розтягуючих напружень. Створено тривимірну модель зразка з глобальною сіткою елементів та модель області тріщини з локальною сіткою. Елементи сітки тетраедричні. Загальна кількість елементів – 375000. Розмір елементів глобальної сітки – 2,75 мм, локальної – 0,1 мм. Моделювали зразок товщиною $t=20$ мм з низьколегованої сталі 09Г2С з $\sigma_T=350$ МПа. Коефіцієнт Пуассона при пружному деформуванні становив $\nu=0,3$. Методика досліджень описана в [2].

Моделювання взаємовпливу двох поверхневих півеліптичних колінеарних тріщин здійснено для двох однакових, а також різних за розмірами тріщин. На рис. 1. Показана схема розташування поверхневих пів еліптичних колінеарних тріщин різних розмірів у пластині скінчених розмірів, на рис. 2 скінчено-елементна модель, а на рис. 3 – результати зміни КІН при зближенні тріщин.

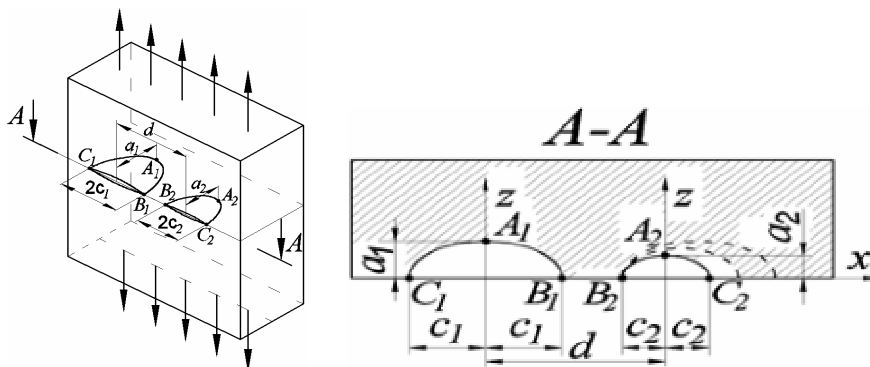


Рис. 1. Поверхневі півеліптичні колінеарні тріщини різних розмірів у пластині скінчених розмірів.

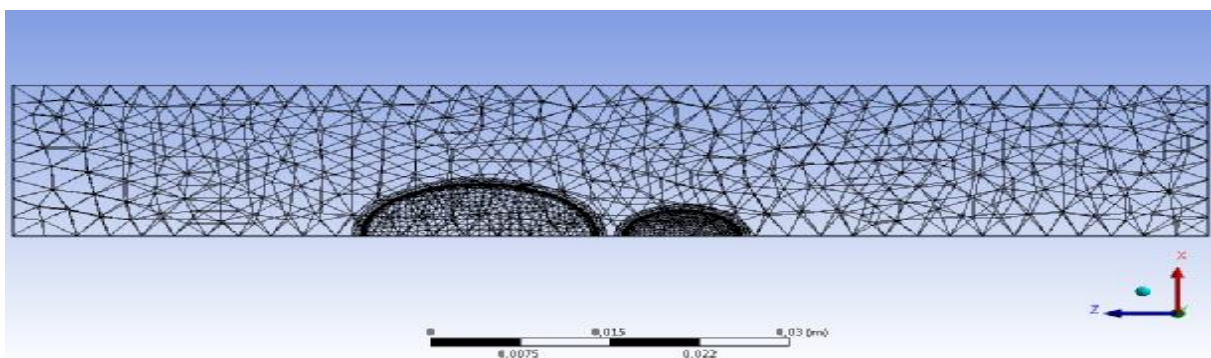


Рис. 2. Скінчено-елементна модель двох поверхневих тріщин різного розміру.

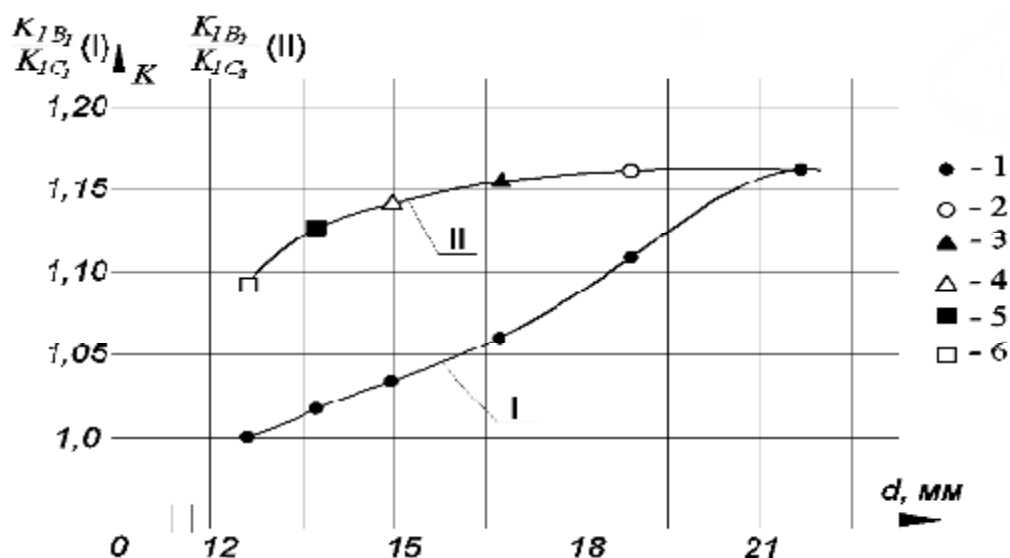


Рис. 3. Відношення КІН K_I для внутрішніх поверхневих точок B_1 та B_2 до відповідних зовнішніх поверхневих точок C_1 та C_2 при взаємодії різних півеліптичних тріщин: I – для більшої тріщини; II – для меншої тріщини: $2c_1=20$ мм; $2c_2=20$ мм(1); $2c_2=15$ мм(2); $2c_2=10$ мм(3); $2c_2=7,5$ мм(4); $2c_2=5,0$ мм(5); $2c_2=2,5$ мм(6).

Крива I побудована за результатами досліджень більшої із взаємодіючих тріщин $2c_1=20$ мм, крива II – відповідно для тріщин $2c_2=2,5; 5,0; 7,5; 10; 15$ та 20 мм. Зазначимо домінуючий вплив на зміну КІН більшої з тріщин (див. криву II), а порівняно невеликі тріщини мало впливають на зміну КІН більшої тріщини.

Для вказаних відношень розмірів поверхневих тріщин зміна значень КІН не перевищує 4% (див. три крайні точки на кривій I), тоді як вплив більшої з тріщин на менші складає 9...14% для тих же співвідношень тріщин.

Аналіз результатів досліджень вказує на суттєве зростання КІН при зближенні тріщин, що дозволяє уточнити оцінку залишкового ресурсу елементів конструкцій при наявності кількох тріщин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Морозов Е., Муйземнек А., Шадский А. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. – М.: Ленард, – 2010. – 456с.
2. П. Ясній, І. Підгурський Дослідження КІН двох взаємодіючих поверхневих півеліптичних тріщин методом скінчених елементів / Вісник ТНТУ, 2014 – №2. – С. 15-25.

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН КІН ДЛЯ ВИПАДКІВ ВЕЛИКИХ РІЗНИЦЬ ОПТИЧНОГО ХОДУ ПРОМЕНІВ

Підгурський М.І.¹, Рудяк Ю.А.²

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

²Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

Розглянуто випадок, коли оптична картина біля вершини тріщини, при моделюванні задач механіки руйнування методом фотопружності, характеризується високоградієнтною картиною, при якій важко визначити нульову смугу, і, як наслідок, порядок смуг у точках виміру (у зоні дії пружної асимптотики Ірвіна-Вестергаарда). У цьому випадку безпосередньо застосовувати метод смуг досить складно, оскільки існують труднощі у визначенні порядку смуги. Застосування класичних компенсаційних методів (Бабіне-Солейля, Краснова та, найбільш поширеного, Сенармона) теж ускладнене. Різниця ходу променів визначається за формулою:

$$\delta = n\lambda \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі зондуючого випромінювання; n – порядок ізохромі (лінії однакової різниці ходу променів, кратної довжині хвилі λ)

Запишемо для n наступний вираз:

$$n = n' + \psi/180 \quad (2)$$

де n' – цілий порядок ізохромі; ψ – кут повороту аналізатора, який визначає дробову частину.

Для великих різниць оптичного ходу ($\delta > 8\lambda$), та при складнощах у визначенні порядку ізохромі, метод Сенармона може давати досить великі похибки [1]. При визначенні КІН для випадку великих різниць оптичного ходу променів δ , доцільно застосовувати підходи, запропоновані у роботі [2].

Для визначення величин K_I та K_{II} , використовуємо формули, наведені у роботі [3]. Вимірювання проводимо у двох точках (т.1 та т.2), які знаходяться у зоні дії пружної асимптотики. Застосовуємо монохроматор з можливістю змінювати довжину хвилі зондуючого випромінювання. Нехай через точку 1 проходять хвилі з довжинами λ_1 та λ_2 , яким відповідають порядки смуг n_1 та n_2 , відповідно. Якщо $\lambda_1 > \lambda_2$, $n_1 < n_2$. Нехай $n_2 = n_1 + k_1$. Тоді, для т.1 можемо записати:

$$\delta_1 = n_1\lambda_1 \quad (3)$$

$$\delta_1 = n_2\lambda_2 = (n_1 + k_1)\lambda_2 \quad (4)$$

Звідки

$$\delta_1 = \frac{k_1\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (5)$$

Для т.2, при аналогічних підходах, одержимо:

$$\delta_2 = \frac{k_2\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (6)$$

Для випадку, коли ми для визначення δ_1 та δ_2 використовували дві довжини хвилі λ_1 та λ_2 , і, відповідно, формули (5) та (6), вирази для визначення КІН K_I та K_{II} приймуть вигляд:

$$K_I = -\frac{\sqrt{\pi}\lambda_1\lambda_2[k_1(\sin 2\varphi_1 + \cos 2\varphi_1) + k_2(\sin 2\varphi_2 + \cos 2\varphi_2)]}{Cd(\lambda_1 - \lambda_2)(1/\sqrt{r_1} - 1/\sqrt{r_2})} \quad (7)$$

$$K_{II} = -\frac{\sqrt{\pi}\lambda_1\lambda_2[k_1(\sin 2\varphi_1 - \cos 2\varphi_1) + k_2(\sin 2\varphi_2 - \cos 2\varphi_2)]}{Cd(\lambda_1 - \lambda_2)(1/\sqrt{r_1} - 1/\sqrt{r_2})} \quad (8),$$

де φ_1, φ_2 – кути-ізокліни у точках 1,2; r_1, r_2 – радіус-вектори точок 1,2; C – коефіцієнт оптичної чутливості матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А.Я. Поляризационно-оптические методы механики деформированного тела /А.Я.Александров, М.Х.Ахметзянов. – М.:Наука,1973. – 576 с.
2. А. с. СССР, М 5 кл. G 01В 11 / 16. Способ определения оптической разности хода составляющих поляризованного луча / Мыльников А.В. - № 1608113 от 31.05.1990.
3. Рудяк Ю.А. Метод визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень для неоднорідного основного напруженого стану / Ю.А.Рудяк // Вісник національного авіаційного університету, Київ, 2012. - № 4. – С. 101 – 103

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН КІН ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ОПТИЧНО МАЛОЧУТЛИВИХ МАТЕРІАЛІВ

Рудяк Ю.А.¹, Підгурський М.І.²

¹Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Стояло завдання розвинути поляризаційно-оптичний метод для рішення задач механіки руйнування (визначення величин КІН) для малих величин оптичної анізотропії (коли оптична різниця ходу не перевищує однієї довжини хвилі λ зондуючого випромінювання) у випадку неоднорідного основного напруженого стану. Така картина характерна для органічного та неорганічного силікатного скла.

Запропоновано проводити виміри напруженого стану в двох різних точках 1 та 2, що знаходяться в області дії пружної асимптотики Ірвіна-Вестергаарда.

Відомо, що напружений стан тіла з тріщиною можна записати у вигляді суми:

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij}^0 + \sigma_{ij}, \quad (1)$$

де σ'_{ij} – компоненти загального напруженого стану; σ^0_{ij} – компоненти основного напруженого стану; σ_{ij} – компоненти додаткового напруженого стану.

Звідки

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} - \sigma^0_{ij}. \quad (2)$$

Для першого та другого типів деформації берегів тріщини, компоненти додаткового напруженого стану описуються, відповідно, приведеними нижче системами рівнянь:

I тип деформації берегів тріщини (нормальний відрив)

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\Theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\Theta}{2} \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \\ \sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\Theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\Theta}{2} \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \\ \tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\Theta}{2} \cos \frac{\Theta}{2} \cos \frac{3\Theta}{2} \end{cases} \quad (3)$$

II тип деформації берегів тріщини (поперечний зсув)

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\Theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\Theta}{2} \cos \frac{3\Theta}{2} \right) \\ \sigma_y = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\Theta}{2} \cos \frac{\Theta}{2} \cos \frac{3\Theta}{2} \\ \tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\Theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\Theta}{2} \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \end{cases} \quad (4)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – компоненти додаткового напруженого стану в околі вершини тріщини; Θ – кут наближення до вершини тріщини; r – радіус-вектор точки вимірювання.

Для різниць нормальних та дотичних напружень в точках 1 та 2, одержимо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left\{ \sigma_{x(1)} - \sigma_{y(1)} \right\} - \left\{ \sigma_{x(2)} - \sigma_{y(2)} \right\} = \left\{ \sigma'_{x(1)} - \sigma'_{y(1)} \right\} - \left\{ \sigma'_{x(2)} - \sigma'_{y(2)} \right\} + \left\{ \sigma^0_{x(2)} - \sigma^0_{x(1)} \right\} + \\ + \left\{ \sigma^0_{y(2)} - \sigma^0_{y(1)} \right\} \approx \frac{2}{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{r_1}} - \frac{1}{\sqrt{r_2}} \right) \times \\ \times \left\{ -K_I \cos \frac{\Theta}{2} \sin \frac{\Theta}{2} \sin \frac{3\Theta}{2} - K_{II} \sin \frac{\Theta}{2} \left(1 + \cos \frac{\Theta}{2} \cos \frac{3\Theta}{2} \right) \right\} \\ \left\{ \tau_{xy(1)} - \tau_{xy(2)} \right\} = \left\{ \tau'_{xy(1)} - \tau'_{xy(2)} \right\} + \left\{ \tau^0_{xy(2)} - \tau^0_{xy(1)} \right\} \approx \\ \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{1}{\sqrt{r_1}} - \frac{1}{\sqrt{r_2}} \right) \left\{ -K_I \cos \frac{\Theta}{2} \sin \frac{\Theta}{2} \sin \frac{3\Theta}{2} - K_{II} \sin \frac{\Theta}{2} \left(1 + \cos \frac{\Theta}{2} \cos \frac{3\Theta}{2} \right) \right\} \end{cases} \quad (5)$$

У формулах системи (5) враховано, що градієнт параметрів основного напруженого стану набагато менший градієнта параметрів загального напруженого стану, тому $\sigma^0_{ij(1)} - \sigma^0_{ij(2)} \approx 0, \tau^0_{ij(1)} - \tau^0_{ij(2)} \approx 0$.

Основний закон поляризаційно-оптичного методу – закон Вертгейма, пов'язує різницю нормальних напружень з різницею оптичного ходу променів:

$$\frac{\delta}{Cd} = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (6)$$

де δ – оптична різниця ходу променів; C – оптико-механічна константа (коефіцієнт оптичної чутливості матеріалу); d – товщина зразку (довжина ходу променя зондуючого випромінювання у матеріалі); σ_1, σ_2 – головні нормальні напруження.

Сумісне рішення рівнянь (5) із врахуванням (6) після ряду перетворень приводить до наступних виразів для визначення КІН:

$$\begin{cases} K_I = \frac{A_1(\delta_1 \cos 2\varphi_1 - \delta_2 \cos 2\varphi_2) + B_1(\delta_1 \sin 2\varphi_1 - \delta_2 \sin 2\varphi_2)}{Cd(1/\sqrt{r_1} - 1/\sqrt{r_2})} \\ K_{II} = \frac{A_2(\delta_1 \cos 2\varphi_1 - \delta_2 \cos 2\varphi_2) + B_2(\delta_1 \sin 2\varphi_1 - \delta_2 \sin 2\varphi_2)}{Cd(1/\sqrt{r_1} - 1/\sqrt{r_2})} \end{cases} \quad (7)$$

Вирази системи (7) – це формули експериментального визначення K_I та K_{II} поляризаційно-оптичним методом (при зміні кута Θ будуть змінюватись величини A_1, A_2, B_1, B_2).

КОНТАКТНА ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ З ПОКРИТТЯМИ ІЗ ШТАМПАМИ КАНОНІЧНОЇ ФОРМИ З УРАХУВАННЯМ ЗНОШУВАННЯ МАТЕРІАЛУ

Сачук Ю.В.

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

Основною виробничою проблемою на виробництві є тертя і зношування деталей машин та основних взаємодіючих вузлів. Для підвищення зносостійкості контактуючих тіл використовують різні підходи [1]. До найбільш ефективних відносять технологічні методи, в яких використовують зміцнювальні покриття та технології їх нанесення [2]. На робочу поверхню деталей наноситься тонкий шар покриття (пластмаси, напилення, хімічні покриття), який при роботі деталей в процесі тертя зношується [2, 3]. Важливими факторами є допустима величина зношування робочих поверхонь, яка не призведе до поломки та виходу з ладу механізмів.

Для можливості моделювання процесів контактної взаємодії між тілами з покриттям широко використовують апарат механіки деформівного твердого тіла, зокрема контактної механіки. Розробка таких моделей дає можливість визначити вплив на процес взаємодії товщини покриття, його жорсткості.

Розглядається плоска контактна задача про взаємодію жорстких штампів із пружною півплощиною, яка захищена тонким покриттям (зокрема, з урахуванням зношування). Тонке покриття моделюється пружним шаром Вінклера у вигляді неперервно розподілених пружних стержнів.

Інтегральне рівняння в даному випадку із врахуванням коефіцієнта Вінклера має вигляд [3]:

$$-f'(x) = -\frac{1}{\pi\theta} \int_{-a(t)}^{a(t)} \frac{p(x, \xi)}{\xi - x} d\xi + K_B p'(x, t) + fK_W V \int_0^t p'(x, t) dt, \quad |x| \leq a(t),$$

(1)

де $a(t)$ – змінна область контакту, $K_B = 2h_B(1 - 2\nu_B)(1 + 2\nu_B)/(E_B(1 - 2\nu_B))$ – коефіцієнт Вінклера, $f(x)$ – функція, що описує профіль штампа.

Розв'язок інтегрального рівняння знайдено для циліндричної, гіперболічної та еліптичної форми штампів. Інтегральне рівняння буде залежати від двох змінних. Для його розв'язування застосовується покриттів за часом алгоритм. За цим алгоритмом час зношування розбивається на достатньо малі відрізки Δt . Припускається, що на кожному з них контактний тиск і область контакту є постійними.

На основі отриманих результатів можна визначити час взаємодії жорсткого штампа з півплощиною за який повністю зноситься покриття, також можна визначити, як впливає на процес взаємодії жорсткість покриття та його товщина.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов В.С. Зносостійкість, сплавів відновлення та зміцнення деталей машин. Навчальний посібник. – Запоріжжя: Вид-во ВАТ «Мотор Січ». – 2006. – 420 с.
2. Erdogan F., Guler M.A. Contact Mechanics of FGM Coatings. – Lehigh University Bethlehem. – 2000. – 276 p.
3. Максимук О.В., Махніцький Р.М., Щербина Н.М. Математичне моделювання та методи розрахунку тонкостінних композитних конструкцій. – Львів: Національна академія наук України. Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України. – 2005. – 396 с.

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МНОГОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКЕ И ЦИКЛИЧЕСКОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

И.К.Сенченков¹, О.П.Червинко¹, С.Н.Якименко²

¹Институт механики им. С.П.Тимошенко НАН Украины,

²Кировоградский национальный технический университет

Валки горячей прокатки, ролики МНЛЗ, штампы горячего деформирования металла и т. п. при изготовлении или ремонте подвергаются многослойной наплавке и последующему циклическому эксплуатационному термомеханическому нагружению.

Разработана методика расчета остаточного напряженно-деформированного и микроструктурного состояния цилиндрической детали при многослойной наплавке по боковой поверхности, а также расчета ее термомеханического состояния и усталостной долговечности при последующем эксплуатационном циклическом термомеханическом нагружении. Методика позволяет оценивать усталостную долговечность наплавленных деталей в зависимости от величины и соотношения эксплуатационных циклических термических и механических нагрузок и от применяемых наплавочных материалов для подслоя и износостойкого слоя.

Неизотермическое поведение материала описывается унифицированной моделью течения Боднера-Партома. Оценка микроструктурного состояния, в частности, мартенситных превращений при остывании тел, проводится на основе модели Коистинена-Марбургера. Физико-механические характеристики материала в многофазном состоянии рассчитываются по формулам линейной теории смесей. Изменение формы тела в процессе наплавления учитывается в рамках модели растущих тел, при этом используется концепция собственных деформаций и температуры.

Временные уравнения интегрируются по неявной шаговой схеме по времени. Возникающая на каждом шаге нелинейная задача термомеханики решается итерационным методом, при этом линеаризированная на каждой итерации задача решается методом конечных элементов.

Для оценки усталостной долговечности используется модель Мэнсона-Биргера для случая асимметричного цикла нагружения.

Объектом исследования является валок горячей прокатки из стали 50ХФА, наплавленный подслоем низкоуглеродистой стали 08кп и наружным слоем мартенситной стали 25Х5ФМС. Диаметр бочки валка 1435 мм.

После наплавки валок подвергается эксплуатационному циклическому термомеханическому нагружению.

Учитывая двухстадийный характер процесса – наплавка и эксплуатация, а также осевую протяженность геометрии валка, предлагается следующий подход к решению задачи.

1. Стадия спиральной наплавки моделируется в рамках осесимметричной постановки задачи.

2. Стадия эксплуатации, характеризующаяся высоко локализованными контактными температурно-механическими нагрузками, описывается в рамках задачи о плоской деформации для осевого сечения цилиндра.

При этом постановка задачи для стадии 2 учитывает остаточные деформации, сформированные на стадии наплавки.

С использованием разработанной методики дана оценка усталостной долговечности наплавленных деталей в зависимости от величины и соотношения эксплуатационных циклических термических и механических нагрузок, а также от применяемых наплавочных материалов для подслоя и износостойкого слоя.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТОЛСТОСТЕННОЙ ВЯЗКОУПРУГОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ

В.М. Сичко¹, Л.В. Мольченко², И.Н. Умрихин¹

¹*Николаевский национальный университет им. В.А.Сухомлинского*

²*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка*

В современной технике часто применяются толстостенные цилиндрические оболочки, для расчета динамического состояния которых возникает необходимость в использовании пространственной постановки задач механики деформируемого твердого тела. Кроме того, решение задач в такой постановке дает возможность оценить пределы применимости приближенных теорий, основанных на гипотезах Кирхгоффа-Лява и уточненных гипотезах типа Тимошенка. При изготовлении таких элементов конструкций из полимерных материалов и композитов на их основе необходимо учитывать их вязкоупругие свойства. При гармоническом механическом нагружении с частотой, близкой к резонансной, в элементе конструкции может наблюдаться существенное повышение температуры диссипативного разогрева, возникающей в результате гистерезисных потерь в материале. В работе [1] дается обзор основных достижений по термомеханике связанных полей в телах из неупругих материалов при моногармоническом механическом нагружении. Для решения этих задач, как правило, используют численные методы. В литературе отсутствуют точные решения о колебаниях и диссипативном разогреве тел пространственной конфигурации. Связано это с большими математическими трудностями при аналитическом решении такого класса задач.

В работе дана постановка задачи о резонансных колебаниях и диссипативном разогреве толстостенной цилиндрической панели при ее нагружении гармоническим во времени поверхностным давлением с частотой, близкой к резонансной. Для описания неупругого механического поведения используется концепция комплексных характеристик, развитая в монографии [1]. Считается, что торцы панели шарнирно оперты. Это позволяет методом разделения переменных свести задачу к системе обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка, для решения которой предлагается использовать эффективный численный метод дискретной ортогонализации, дающий практически точные результаты. Предполагается, что характеристики вязкоупругого материала не зависят от температуры. Тогда задача распадается на несколько отдельных задач – 1) задачу о вынужденных резонансных колебаниях вязкоупругой цилиндрической панели; 2) задачу расчета диссипативной функции; 3) задачу расчета температурного поля с известным источником тепла.

Для исследования вынужденных колебаний вязкоупругой цилиндрической панели используем уравнения, представленные в монографии [2]. В этих уравнениях необходимо добавить силы инерции. Процедура разделения переменных подробно изложена в [2].

Для независимых от температуры свойств материала задача распадается на решение краевых задач для системы обыкновенных дифференциальных уравнений о механических колебаниях цилиндрической панели и решение краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений теплопроводности.

Получить аналитическое решение представленных краевых задач не представляется возможным. Для их решения предлагается использовать метод дискретной ортогонализации, дающий практически точные результаты.

В качестве примера рассматривалась задача о колебаниях цилиндрической панели из полиэтилена, механические свойства которого представлены в монографии [3]. Для оценки влияния сдвиговых деформаций рассматривалась задача о колебаниях цилиндрической оболочки с использованием уточненной теории, представленной в монографии [3].

Для расчета собственной частоты с использованием пространственной постановки задачи использовалось решение задачи на вынужденные колебания. Полученная амплитудно-частотная характеристика, рассчитанная на основе метода дискретной ортогонализации.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карнаухов В.Г., Михайленко В.В. Нелинейная термомеханика пьезоэлектрических неупругих тел при моногармоническом нагружении. – Житомир. ЖГТУ. – 2005. – 428с.
2. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Статика анизотропных толстостенных оболочек. – Киев: Вища школа, 1985. – 190 с.
3. Свойства полимеров и нелинейная акустика. Физическая акустика /Под редакцией У.Мезона. Т.2, Ч.Б. – М.: Мир, 1969.– 420с.
4. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. – Москва: Наука, 1974. – 446с.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОМПОЗИТНОЇ ОБОЛОНКИ З ОТВОРАМИ

К.І.Шнеренко

Інститут механіки ім.С.П.Тимошенка НАН України

Розглядається напружений стан циліндричної оболонки з двома близько розташованими круговими отворами. Оболонка виготовлена із композитного матеріалу з малою зсувною жорсткістю. Отвори розташовані в напрямку окружної координати. Контури отворів підкріплені пружними кільцями. Оболонка знаходиться під дією внутрішнього тиску [1].

Основний напружений стан оболонки вважається відомим. Для знаходження збуреного стану використовуються рівняння пологих оболонок в рамках двомірної теорії оболонок типу Тимошенка.

Для розв'язку задачі використовується метод скінчених елементів. Область розбивається на квадратичні ізопараметричні елементи, з якими зв'язуються локальні системи координат. Шукані переміщення для кожного елемента подаються в вигляді інтерполяційних многочленів [2].

Із варіаційного рівняння знаходиться система лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів розв'язку [3].

Досліджено залежність коефіцієнтів концентрації напружень від зміни зсувної жорсткості при різних значеннях відстані між контурами отворів. Показано порівняння значень коефіцієнтів концентрації напружень для підкріплених і непідкріплених контурів отворів [4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Годзула В.Ф., Гузь А.Н., Шнеренко К.И. К задачам статики непологих анизотропных оболочек с отверстиями //Прикл.механика.– 1988.– 24, №9.– С.22-30.
2. Богатырчук А.С., Шнеренко К.И. Применение метода конечных элементов к расчету трансверсально-изотропной цилиндрической оболочки с отверстием //Прикл.механика.– 1987.– 23, №7.– С.125-128.
3. Богатырчук А.С., Гузь А.Н., Шнеренко К.И. Исследование концентрации напряжений около двух отверстий в композитных оболочках методом конечных элементов //Прикл.механика.– 1990.– 26, №7.– С.34-38.
4. Гузь А.Н., Чернышенко И.С. Чехов Вал.Н., Чехов Вик.Н., Шнеренко К.И. Цилиндрические оболочки, ослабленные отверстиями.– Киев: Наук.думка, 1974.– 272 с.

TOPICAL SECTION 2

**PHYSICS OF THE CONDENSED STATE OF
MATTER**

INFLUENCE OF PREPARATION METHODS OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES ON THEIR THERMAL CONDUCTIVITY

Dinzhos R., Darmosiuk V., Kolesnyk S., Kvachova A.

Mykolayiv National Sukhomlynsky University

The increased use of polymer micro- and nanocomposites connected, as is known, with their improved properties as compared to unfilled polymers. Needs further development of this area necessitate an in-depth study of the influence of various factors on the basic characteristics of such composites. According to several studies, these characteristics depend essentially on the methods for the preparation of composite materials. This fact determines the relevance of a comparative analysis of these methods in terms of establishing the laws of their influence on the structure and properties of composites. Of particular interest is the relevant research for the highly composites application prospects are connected with the production of heat and power equipment parts, chemical plants, food processing industry and others.

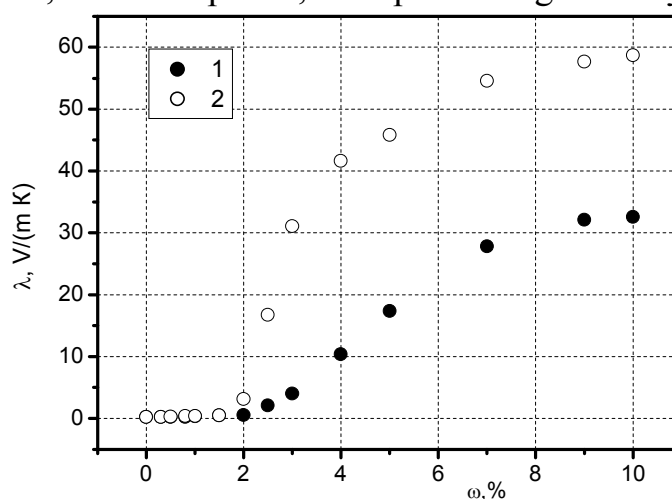


Fig.1. The dependence of the thermal conductivity of polymer composites based on polypropylene produced using the methods of mixing the components in dry form (1) and in the polymer melt (2) in the matrix polymer filling CNTs.

The results of studies of thermophysical properties of the highly conducting polymer composites based on polypropylene filled with carbon nanotubes or particles of aluminum, at using methods for acquisition of these composites based on mixing the components in dry form and in the polymer melt are given (Fig.1). This contains materials about the patterns of influence of these methods on the heat-conducting properties of the composites, their heat capacity, density, porosity, degree of crystallinity of the polymer matrix, and so forth are offered. It is shown that by using the method of mixing the components in the polymer melt compared to the method of mixing in a dry form composites provided a much higher heat-conducting properties, somewhat lower values of specific heat (mostly in region of polymer fusion) the higher density and lower degree of crystallinity of the polymer matrix. The explanations of the mechanisms of this influence based on analysis of the effectiveness of formation of the percolation structures are presented.

BASIC APPROACHES AND FUNDAMENTAL KNOWLEDGE ON PLASTICS WELDING

Iurzhenko M.V.

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine

Nowadays, when more and more products and constructions start to be done from plastics changing other materials such as metals, glass, wood, clay etc., the research and development of various technologies and techniques of their processing and joining becomes more and more actual. In past, let's say 20-30 years ago, anyone could even imagine that plastics come into human life in almost all areas of human activities. Can anyone imagine modern humanity without packaging made with plastics? At the same time plastics are able to change, for example, metals in such high technological industries as aircraft and airspace building. Today such aircraft building companies as Boeing or Airbus investigate the possibility of small planes production with 100% plastics use. Some operational prototypes of such planes made with 85% of plastics are already produced and presented for the world. Wherefore such extended use of plastics requires novel types of plastics with special properties and operational characteristics. Also these new types of plastics must be joined in any way for different products and constructions manufacturing. As a rule new technologies, approaches and technique of these novel plastics joining must be developed. For today the main method of thermoplastics' joining is welding. A number of techniques and approaches to plastics welding, depending on type of energy and way of its transfer to the welded surface, exist: thermal (open fire welding, hot gas welding, welding with heated tool etc.), mechanical (ultrasonic welding, friction welding etc.) and electromagnetic (thermoresistive, high-frequency, induction welding etc.).

From the other hand a rapid development of plastics industry outstrips detailed investigation of welding processes and welds' formation mechanism; so they remain unexplored. For example, polyethylene (PE) is one of the common materials in the modern world, and PE products take the major share on industrial and trade markets. Various types of technical PE like PE-63, PE-80 and PE-100 have wide industrial applications, i.e. in construction, for pipeline systems etc., but there is still no final answer to the question how PE weld's microstructure forms. Such conditions limits our way to the understanding of the problem and, respectively, prevents scientific approaches to the welding of more complicated (from chemical point of view) types of polymers than PE.

FEATURES OF THE HEAT-RESISTANT PLASTICS WELDING

M.V. Iurzhenko^{1,2}, V.L. Demchenko^{1,2}, M.G. Korab¹, A.M. Galchun¹,
V.Yu.Kondratenko¹, V.V. Anistratenko¹, S.M. Dyachenko¹, M.G. Menzheres¹

¹ *Plastics Welding Department, E.O.Paton Electric Welding Institute, National Academy of Sciences of Ukraine*

² *Institute of Macromolecular Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine*

Nowadays the requirements for durability, strength, heat-resistance of industrial plastic products for oil and gas, aerospace and other industries are constantly increasing. In recent years, new high-performance polymeric materials, such as polyetherimides (PEI) and polyetheretherketones (PEEK), have already become competitors to metals, ensuring long-term reliability, heat, thermal, chemical and radiation resistance in difficult operating conditions of specific constructions. These polymers are used in a pure form as well as a matrix for various composite materials. At the same time manufacture of many products needs joining of polymeric parts, so the development of efficient technologies of such heat-resistant polymers welding is actual.

In the present work welding of polyetherimides and polyetheretherketones was performed in three ways: heated tool, ultrasonic and thermistor welding.

It was revealed that materials melts are prone to cavitation that degrades the quality of welds. For the best understanding of the welding processes [1] and development of the efficient welding technology the structural features of the welded joints were studied by optical (TOM and POM) and electron microscopy (TEM and SEM), wide-angle (WAXS) and small-angle (SAXS) X-ray spectroscopy. As the result it was found that the strongest joints were formed by welding at "soft" modes. The mechanical strength of joints at break has been received about 86% comparing to the mechanical strength of the basic material at optimal mode of butt welding and 100% at optimal mode of overlapping welding, which are the maximum level reached in the world (according to the literature) by similar types of welding for these materials.

LITERATURE

1. Galchun A., Korab N., Kondratenko V., Demchenko V., Shadrin A., Anistratenko V., Iurzhenko M. Nanostructurization and thermal properties of polyethylenes' welds // *Nanoscale Research Letters*.-2015.-10.-P. 138-149.

PERCOLATION BEHAVIOR IN SYSTEMS BASED ON OLIGOETHERS AND CARBON NANOTUBES

E. A. Lysenkov¹, V. V. Klepko²

¹*Mykolayiv National University named after V.O. Sukhomlynskiy*

²*Institute of Macromolecular Chemistry of NAS of Ukraine*

Researches of the structure and properties of nanosystems have been attracting a high interest in the recent years. Such attention to nanosystems is associated, first of all, with a complex of their new unique properties different from those demonstrated by macroscopic systems, which makes their application in novel nanotechnologies very promising.

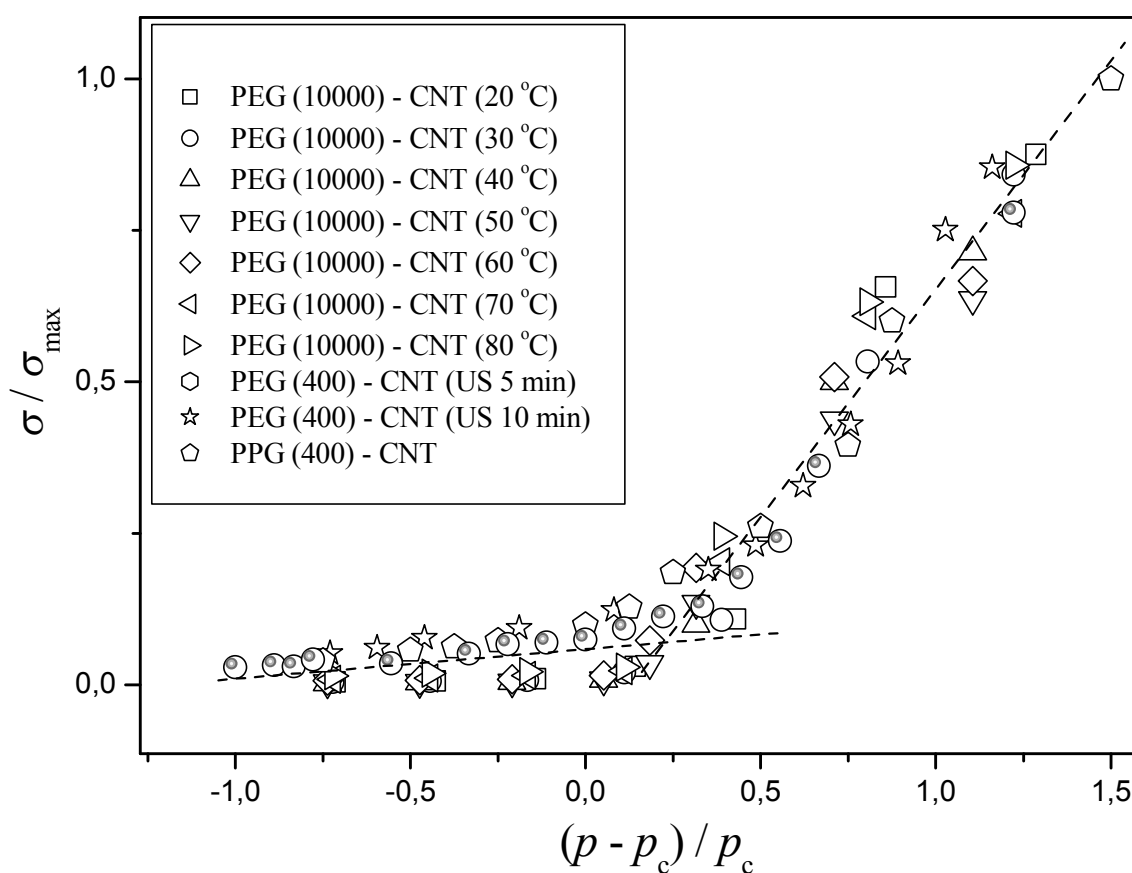


Fig. 1. Scaled dependence conductivity versus the concentration for systems oligoethers- carbon nanotubes.

The study of the critical phenomena is one of important questions in fundamental physics. Mostly, the critical phenomena are observed in the systems at the second order phase transitions. In such systems, large fluctuations with the infinite correlation radius are show up. Thus, the system is nonlinear. The analogue of the critical phenomena is the phenomenon of percolation. Unlike temperature phase transitions, where a transition between two phases takes a place at a critical

temperature, a percolation transition is a geometrical phase transition. The percolation threshold, or a critical concentration, divides two phases: in one phase there are clusters of certain length, in other there are clusters of infinite length [1].

The adding of CNT to polymeric material substantially changes some its properties (conductivity, heat conductivity, mechanical hardness), that it is related to formation of continuous (percolation) cluster [1]. There are many factors, that can influence on percolation transition. The purpose of this work is studying the features of percolation threshold of the model system based on polyethylene glycol and carbon nanotubes.

In Fig. 1, the concentration dependences of the composite conductivity are exhibited for all studied systems in the reduced coordinates σ/σ_{\max} versus $(p - p_c)/p_c$, where σ_{\max} is the corresponding composite conductivity maximum. One can see that the applied scaling allows all experimental results obtained for the conductivity to be adequately described irrespective of the specific matrix, preparation conditions, and temperature regimes.

Hence, the results of experimental researches of the electric conductivity in systems of the type oligoether/nanotubes show that the corresponding critical parameters can change, by depending on various factors, such as the matrix type, the temperature, the mixing regime, and so forth. Since the process of percolation cluster formation in such systems is not statistical, the critical exponents for the conductivity can differ from their theoretical values. The application of the scaling function for the conductivity eliminates the influence of microstructural factors and allows the behavior of similar systems near the percolation threshold to be described, by using a universal dependence.

LITERATURE

1. Stauffer D., Aharony A. Introduction to percolation theory. / London: Taylor and Francis. (1994) 318.

THERMOMECHANICAL BEHAVIOUR OF SOLID ION-CONDUCTIVE POLYMERS BASED ON EPOXY OLIGOMER AND LiClO₄

L. K. Matkovska¹, M. V. Iurzhenko¹, Ye. P. Mamunya¹, O. K Matkovska¹,
E. V. Lebedev¹, G. Boiteux², A. Serghei²

¹*Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine*

²*Université de Lyon, Université Lyon 1, Ingénierie des Matériaux Polymères, France*

Nowadays, one of the most important research directions in development and creation of functional polymeric materials is the search of new solid electroactive polymers with high ionic conductivity at elevated temperatures. Particularly, widening of the range of materials, which can be used for this purpose, is relevant.

For example, composite materials based on polymers and inorganic components are used for ion-conductive membranes production and further application in batteries, electrolyzers etc.

It is known that the use of organic compounds such as oligoethylene oxide makes possible an existence of ionic conductivity at anhydrous conditions that widens the range of operating conditions and, accordingly, the sphere of their practical application. The choice of polyethylene oxide PEO was caused by significant ability to solvate inorganic salts and, as a consequence, the presence of high ionic conductivity in materials on its basis. Besides polyethylene oxide epoxy oligomer of diglycide aliphatic ester of polyethylene glycol (DEG) also contains fragments with ether oxygen in the polymer chain. Its chemical structure is similar to the structure of PEO that makes possible to assume the possibility of transfer mechanism of lithium ions similar to polyethylene oxide. However DEG has good mechanical properties and heat resistance comparing to PEO.

The epoxy oligomer of diglycide aliphatic ester of polyethylene glycol (DEG) and salt of lithium perchlorate LiClO_4 were used for synthesis of ion-conductive epoxy polymer composites. DEG- LiClO_4 solutions were prepared with content from 0 to 20 phr on 100 phr of DEG. Polyethylene polyamine hardener (10 phr) as a curing agent of DEG was used.

The results of thermomechanical analysis shows that the increase of LiClO_4 amount in reactive mixture from 0 to 20 phr leads to linearly increase of glass transition temperature from -26 to -16 °C. That can be a result of electrostatic interactions between lithium cations Li^+ and the macromolecular chain of DEG with immediate forming of coordinative complexes, such as {ether oxygen - lithium cations - ether oxygen}, which are accompanied by displacement of electron density of the oxygen atoms and their partial polarization. The result is a substantial reduction of segmental mobility of DEG chains within the complexes formed, that shows up in a glass transition temperature rise of polymer matrix.

IMPACT OF LASER IRRADIATION AND LASER WELDING OF PLASTICS

Tarasenko O.O., Demchenko V.L., Shadrin A.O., Palagesha A.M., Fedoseeva O.V.,
Menzheres M.G., Iurzhenko M.V.

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine

Among the classical welding methods, laser welding has recently become an interesting alternative and offers a number of advantages. This method is characterized by improved optical properties, small heat affected zone, miniaturization, less thermal, mechanical or electrical load upon the product, less flash or no flash at all, feasibility of 3D weld geometries etc. Also in some cases it allows to weld dissimilar polymers, which cannot be welded by other methods.

There are two kinds of laser welding: overlap (transmission) welding and butt welding. Today the most commonly used is transmission welding. In this method the

first material is transparent and the second is absorbing of the laser irradiation. Laser beam penetrates through the first polymer (upper) and it is absorbed by the second (lower) one. The result and process depend on the type of polymers and lasers.

The major benefits of the transmission laser welding technique can be summarized as: weld high quality seam, no direct contact with the welding tool, flexible configurations of joint, controlled and localized energy input, high strengths of joint, minimal thermal motion and deformation. In process of the butt welding, laser beam focuses at the junction of two semi-transparent materials. This method is insufficiently explored. The result and quality of junction depends also on optical properties of plastics to be joined, their thickness and thermal properties (especially it depends on the thermal conductivity of polymers).

There are no researches in Ukraine of plastics laser welding, and it is very vivid nowadays. The main areas of progress and plastics laser welding researches can be the following: multilayer film welding (triple layer joining), influence of different laser irradiations on different plastics, welding of high-temperature thermoplastics, technological features in welding of plastics.

In this work we present the results of investigations of laser irradiation influence of different lasers on engineering plastics like high density polyethylene, namely PE-100, PE-400, PP, PEEK and PEI plastics. CO₂, Nd:YAG and fiber lasers were used. This made it possible to investigate the effect of different wavelengths on each polymer. After lasers' processing the microscopic analysis of morphological changes in these plastics have been performed.

ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ 1-ОКТАДЕЦЕНУ В СИЛІКАГЕЛЯХ З РІЗНИМИ ПОВЕРХНЯМИ ТА РОЗМІРАМИ ПОР

АЛЕКСЄЄВ О.М.* , АЛЕКСЄЄВ С.О.* , ЛАЗАРЕНКО М.М.* , ЛАЗАРЕНКО М.В.** ,
КОВАЛЬОВ К.Н. * , ТКАЧЕВ С.Ю. * , ЛАЗАРЕНКО Т.К.***

* *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

** *Національний університет харчових технологій.*

*** *Ірпінська вечірня загальноосвітня школа II-III ступенів Ірпінської міської ради Київської області*

У зв'язку з розвитком різноманітних напрямків в області нанотехнологій останнім часом значно виріс інтерес до фізичних досліджень наноструктурованих матеріалів: малих частинок та нанопошків, тонких плівок, нанокомпозитів. Зокрема, велику увагу приділяють дослідженням властивостей речовин, що введені в пористі матриці з розміром пор від одиниць до сотень нанометрів. Було показано, що умови обмеженої геометрії можуть призводити до формування в порах кристалічних модифікацій, що відрізняються від об'ємних, помітно впливати на атомну та молекулярну рухливість у рідинах, зміщувати температури фазових переходів, а в низці випадків змінювати їх характер. Яскравим прикладом є вплив обмеженої геометрії на процеси плавлення та кристалізації. Тому метою нашої роботи

було вивчення впливу матриці з пористого кремнезему SiO_2 (силікагелю) з різним розміром пор та хімічним складом поверхні на фазові перетворення в 1-октадецені.

Для даного експерименту були обрані зразки силікагелів з різними розмірами пор та питомою площею поверхні, а саме КСК – 2.5 , КСС – 4 , КСМ – 6с з радіусами 5,16 , 2,34 та 1,16 нм. Також був взятий зразок силікагелю для колоночної хроматографії виробництва компанії United Chemical Technologies, фракція 100 – 200 MESH (SiO_2 UCT). Були дослідженні також зразки тих же силікагелів з хімічно модифікованою (Октадецилтрихлорсилан та Триметилхлорсиланом) поверхнею.

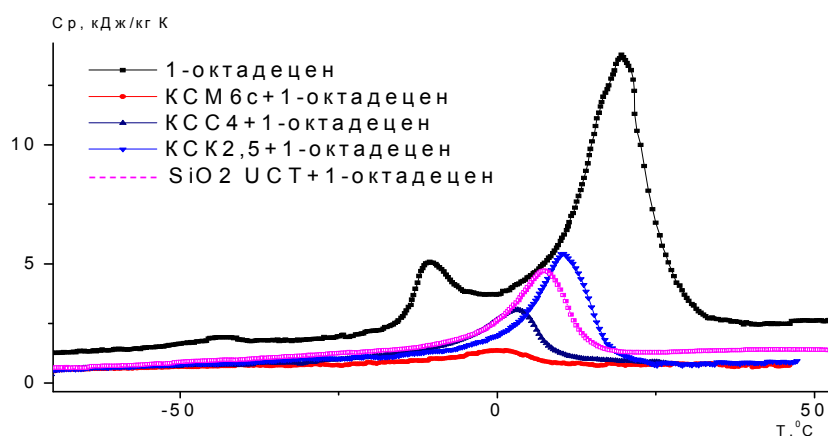


Рис. 1. Температурні залежності питомої теплоємності для досліджуваних зразків.

Отримувались температурні залежності питомої теплоємності для досліджуваних зразків (рис.1). З даних залежностей видно, що температури плавлення наноструктурованого 1-октадецену зменшується із зменшенням розмірів пор.

Отримувались температурні залежності питомої теплоємності для 1-октадецену в порах SiO_2 UCT силікагелю з різною поверхнею (рис. 1). З даних залежностей видно, що температури плавлення наноструктурованого 1-октадецену зменшується при модифікації пор ТМС та збільшується при модифікації октадецилтрихлорсиланом.

З температурних залежностей питомої теплоємності стає зрозуміло, що модифікація поверхні силікагелю ТМС зменшує розмір пор і температура плавлення 1-октадецену для силікагелю КСК 2,5 знизилась на $1,5^\circ\text{C}$, для КСС 4 – 3°C , силікагелю для колоночної хроматографії 2°C . Можна сказати, що зміна характеру поверхні з гідрофільної на гідрофобну не внесла вагомих змін до температурної залежності. Отже різниця в енергіях взаємодії 1-октадецену з гідрофобною та гідрофільною поверхнею є несуттєвою.

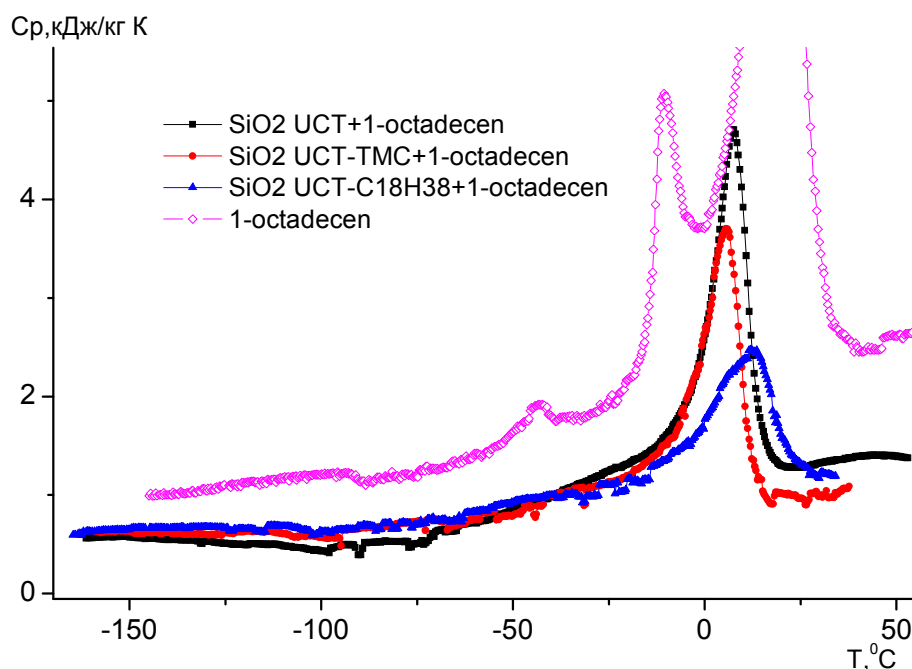


Рис.2 Температурні залежності теплоємності 1-октадецену в порах SiO₂ UCT силікагелю з різною поверхнею.

З проведених досліджень для зразків силікагелів гідроксильованою поверхнею та закріпленими на поверхні $-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ групами показано, що температура плавлення октадецену у порах змінюється згідно рівнянню Гіббса-Толмена. Для октадецену в порах SiO₂-C18 показано утворення подвійної кристалічної структури: $-\text{C}_{18}\text{H}_{37}$ групи на поверхні пор співкристалізуються з октадеценом утворюючи одну структуру, а октадецен в середині пори утворює іншу структуру.

РЕЛАКСАЦІЯ В ВОДНИХ РОЗЧИНАХ САХАРИДІВ ТА ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Алексєєв О.М., Довгопола А.В., Ковальов К.М.,
Лазаренко М.М., Ткачов С.Ю.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Дослідження водних розчинів сахаридів є актуальним з огляду на широке застосування останніх, зокрема, в медицині. Авторами були проведені дослідження водних розчинів глюкози, мальтози та декстрану діелектричним методом. Виявлено, що температурні залежності уявної частини комплексної діелектричної проникності зразків мають максимуми в діапазоні температур $(-80 \div 0)$ °C (рис.1). Максимуми зміщуються зі зростанням частоти струму, що вказує на наявність діелектричної релаксації в зразках у вказаному інтервалі

температур. Для інтервалу частот та температур, в якому досліджувались зразки, характерною є теплова дипольна релаксація.

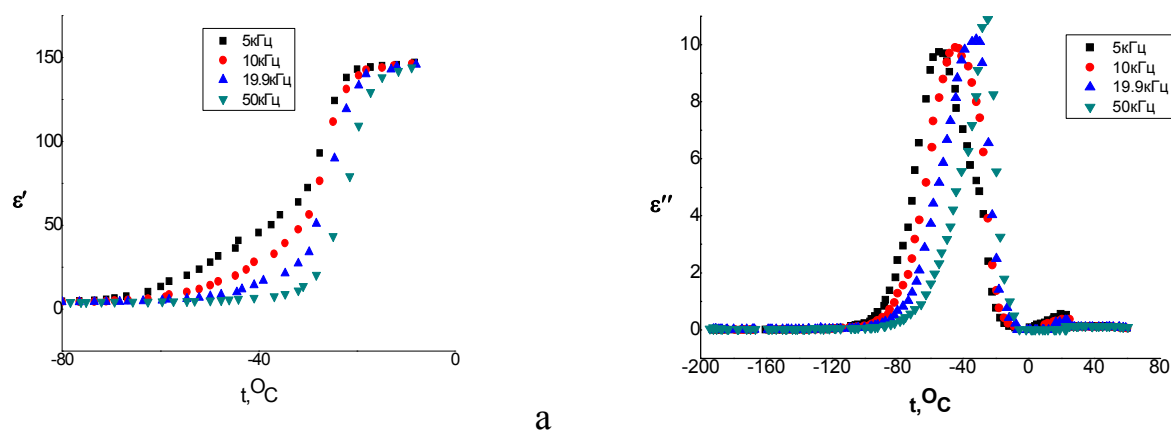


Рис.1. Температурна залежність дійсної (а) та уявної (б) компонент комплексної діелектричної проникності для водного розчину глюкози $c=100$ г/л та натрію хлориду $c=9$ г/л (трикомпонентна система).

Нами були визначені типи релаксаторів та параметри релаксаційного процесу в наближенні моделі незалежних релаксаторів, що можуть мати 2 стани з енергіями U_1 та U_2 . Ця модель задовільно узгоджується з експериментальними залежностями.

Для систем з йонною складовою спостерігалися також особливості в температурному інтервалі $(0 \div 40)$ °С. Відсутність зсуву зі зміною частоти та зменшення величини максимуму зі зростанням частоти поля вказує на те, що ми спостерігаємо йонну міграційну релаксацію.

Також було виявлено факт зсуву інтервалу, де спостерігається теплова дипольна релаксація, в область більш низьких температур для зразків вода-сахарид-йонна компонента порівняно з системами вода-сахарид. Формування уявлень про механізм цього явища потребує подальших досліджень.

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ У СИСТЕМАХ ПОЛІПРОПІЛЕНГЛІКОЛЬ-ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ

С.І. Бохван¹, Е.А. Лисенков², В.В. Клепко¹

¹Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

²Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Розробка матеріалів на основі полімерної матриці та ВНТ є дуже складним процесом завдяки термодинамічним і кінетичним бар'єрам, які перешкоджають рівномірному розподілу нанотрубок. Отже ступінь дисперсності нанотрубок у полімері є визначальним фактором для отримання матеріалів з покращеними функціональними характеристиками. Для уникнення

агрегації використовують різні методи змішування. Метод змішування у розчині є не дуже ефективним завдяки складностям у видаленні розчинника. Метод функціоналізації поверхні ВНТ хоч і приводить до покращення розподілу нанотрубок у нанокompозиті, проте погіршує його фізичні властивості. Тому, вивчення структуроутворення у нанопаповнених полімерних системах є дуже актуальним оскільки, оскільки структура полімерних нанокompозитів визначає їхні властивості.

Для вивчення та аналізу структури та морфології полімерних нанокompозитів, наповнених ВНТ використовується широкий ряд методів, таких як сканувальна та просвічувальна електронна мікроскопія (СЕМ та ПЕМ відповідно), тепловий аналіз, Раманівська спектроскопія та рентгеноструктурний аналіз. Зокрема, малокутове розсіювання рентгенівських променів дає інформацію про характер агрегації окремих нанотрубок або їхніх пучків та дозволяє встановити структуру та розміри цих агрегатів. Метою даної роботи було вивчення особливостей структурування вуглецевих нанотрубок у полімерній матриці на прикладі модельної нанопаповненої системи на основі поліпропіленгліколю (ППГ) та ВНТ.

У результаті проведених досліджень вивчено особливості структурування ВНТ в полімерній матриці на основі поліпропіленгліколю. Методом малокутового розсіювання рентгенівських променів для досліджуваних нанокompозитів була зафіксована дворівнева фрактальна агрегація. Встановлено, що фрактали першого структурного рівня агрегації для досліджуваних систем є поверхневими, а фрактали другого рівня – масовими. При зростанні вмісту наповнювача у системі, фрактальна розмірність агрегатів першого структурного рівня зростає і досягає значення 3, що вказує на утворення поверхнево-фрактальних агрегатів з найбільш шорсткою поверхнею. Значення фрактальної розмірності для масово-фрактальних структур другого ієрархічного рівня для системи ППГ-ВНТ змінюється від 2,5 до 2,9, що свідчить про утворення сітки з кластерів нанотрубок та ущільнення таких масово-фрактальних агрегатів зі збільшенням вмісту ВНТ. Використовуючи підхід Гін'є розраховано розміри пор, які утворюються між окремими нанотрубками при їх агрегації та є опосередкованою характеристикою щільності упаковки ВНТ у нанокompозиті. Показано, що розмір "пор", які утворюються між окремими нанотрубками при їх агрегації, зменшувався з 6,2 нм до 4,7 нм при збільшенні вмісту наповнювача. Така тенденція у залежності діаметрів пор від вмісту нанотрубок вказує на ущільнення структур з ВНТ та визначальну роль процесів агрегації ВНТ при утворенні структури полімерних нанокompозитів на основі ППГ. Методом оптичної мікроскопії встановлено, що системи ППГ-ВНТ характеризуються фрактальною структурою.

ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ НА СТРУКТУРУ ПОЛІЕТИЛЕНІВ

Демченко В.Л.^{1,2}, Гальчун А.М.¹, Менжерес М.Г.¹,

Скок А.Г.¹, Юрженко М.В.^{1,2}

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України*

²*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України*

Серед полімерів, з яких виготовляють труби, до найбільш розповсюджених матеріалів належить поліетилен, який за співвідношенням ціни, механічних властивостей та здатності до зварювання має переваги перед багатьма іншими полімерами. Незважаючи на широке застосування на практиці та різнобічну технологічну розробку способів зварювання полімерних труб, механізми формування зварних з'єднань досі залишаються до кінця не вивченими. У зв'язку з цим у даній роботі ставилося за мету здійснити комплексне дослідження структури зварних з'єднань технічних поліетиленів різних марок методом ширококутового розсіювання рентгенівських променів.

При проведенні аналізу ширококутових рентгенівських дифрактограм зразків поліетиленів високої густини (ПЕВГ) марок ПЕ-80 і ПЕ-100 та їх зварного з'єднання виявлено, що всі вони мають аморфно-кристалічну структуру. При цьому утворення зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 підвищує кількість кристалічних площин з індексами Міллера (200) і рівень упорядкованості цих площин у кристалічній решітці ПЕВГ. Це проявляється у збільшенні інтенсивності дифракційного максимуму (200), кутове положення ($2\theta_m$) якого на дифрактограмах становить $23,6^\circ$. І навпаки, зменшується кількість кристалічних площин з індексами Міллера (110) і рівень упорядкованості цих площин у кристалічній решітці ПЕВГ, що супроводжується зменшенням інтенсивності дифракційного максимуму (110), кутове положення $2\theta_m$ якого на дифрактограмах становить $21,2^\circ$. Оцінка відносного рівня кристалічності досліджуваних полімерних систем, проведена за методом Метьюза. Оцінка ефективного розміру кристалітів (L) полімерних систем, проведена за методом Шеррера.

Показано, що для поліетиленів обох типів ступінь кристалічності є майже однаковим (ПЕ-80 – 56%, ПЕ-100 – 57%) і суттєво відрізняється від ступеня кристалічності зварного з'єднання обох поліетиленів, який є значно вищим (66%), при цьому розміри кристалітів $L \approx 7,2$ нм для ПЕ-80 і ПЕ-100 та 7,6 нм для системи ПЕ-80/ПЕ-100 (для обчислень використовували дифракційні максимуми при $2\theta_{max} = 21,2$ і $23,6^\circ$).

КІНЕТИКА НЕІЗОТЕРМІЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ МІКРО- І НАНОКОМПЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІКАРБОНАТУ

Дінжос Р.В., Махровський В.М., Прокопенко П.Ю.

Миколаївський національний університет ім. В. О. Сухомлинського

Наведено дані експериментально-теоретичних досліджень щодо механізмів структуроутворення при кристалізації полімерних композитів на основі полікарбонату, наповнених вуглецевими нанотрубками або мікрочастинками алюмінію. Встановлено механізми кристалізації розглянутих полімерних мікро- і нанокомпозитів на початковій стадії кристалізації (стадії нуклеації) та стадії кристалізації в об'ємі матеріалу в цілому.

Використана експериментально-теоретична методика встановлення механізмів структуроутворення включала два етапи, перший з яких складався в експериментальному визначенні екзотерм кристалізації композиту при його охолодженні з розплаву із заданою постійною швидкістю.

Другий етап застосовуваної методики полягав у теоретичному визначенні на основі отриманих експериментальних даних характеристик структуроутворення на стадії початку формування в матеріалі окремих упорядкованих структур з використанням рівняння нуклеації і в знаходженні параметрів утворення таких структур на стадії їх формування у всьому обсязі композиту із застосуванням рівняння Колмогорова – Аврамі [2].

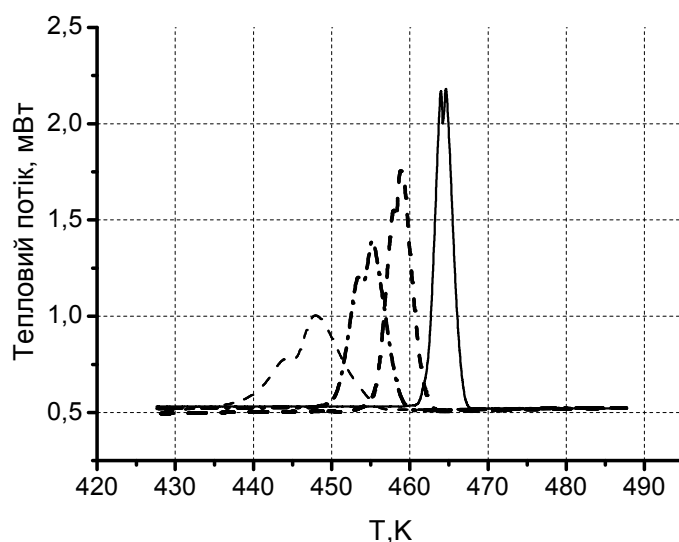


Рис. 1. Екзотерми кристалізації для полімерних нанокомпозитів на основі полікарбонату, наповнених вуглецевими нанотрубками, при вмісті наповнювачів $\omega = 4,0\%$ при різних швидкостях охолодження композиту з розплаву :

1 - $Vt = 0,0083 \text{ K/s}$; 2 - $0,0333 \text{ K/s}$; 3 - $0,0833 \text{ K/s}$; 4 - $0,333 \text{ K/s}$

Виявлено ефекти впливу швидкості охолодження композиту з розплаву V_t і частки наповнювача ω на різні характеристики процесу кристалізації. Зокрема показано, що зі зростанням V_t відбувається зниження максимуму теплового потоку Q_{\max} який відводиться від композиту і зменшення температур початку T_N і кінця T_K кристалізації при помітному підвищенні інтервалу температур кристалізації ΔT . Встановлено також факт трансформації унімодального піку на екзотермі кристалізації в бімодальний при підвищенні масової частки наповнювача ω .

ЛІТЕРАТУРА

1. Вундерлих Б. Физика макромолекул. Т.2: Зарождение, рост и отжиг кристаллов [Текст] / Вундерлих Б.. – М.: Мир, 1979. – 574 с.

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛАСТОМЕНОГО ГОМОПРОПІЛЕНУ МЕТОДОМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ СКАНУЮЧОЇ КАЛОРИМЕТРІЇ

Долгошей В.Б

Київський національний університет будівництва і архітектури

Отримання термоеластопластів на базі поліпропілену представляє в науці інтерес саме через їх багатотонажність та порівняно невелику ціну. В даній роботі методом диференціальної скануючої калориметрії були вивчені властивості стандартних ізотактичних полімерів PP-0, PP-EB, PP-RB, отриманих різними методами полімеризації та еластомерного поліпропілену PP-EL

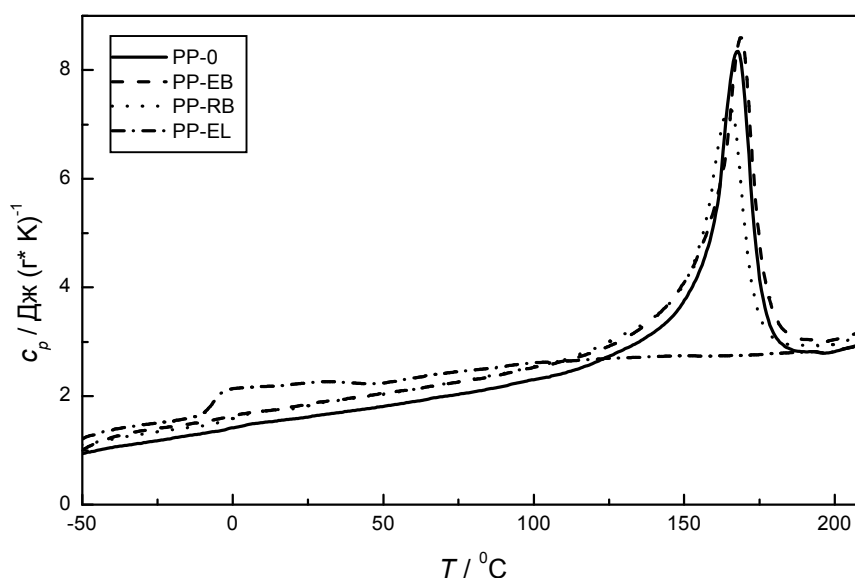


Рис.1. Питома теплоємність PP-0 (суцільна лінія), PP-EB (штрихова лінія), PP-RB (пунктирна лінія) та PP-EL (штрих-пунктирна лінія).

Для кожного з зразків PP-0, PP-EB та PP-RB в твердому стані спостерігається плавне зростання C_p в досить широкому інтервалі температур, що переривається ендотермічними ефектами з різкими максимумами, які відповідають температурам топлення T_m (рис.1), що являється типовим для напівкристалічних полімерів. Для цих трьох зразків абсолютні значення C_p як вище, так і нижче T_m являються досить близькими до таких же табульованих значень для комерційного ізотактичного поліпропілену PP [1]. Оскільки значення як "калориметричного" ступеню кристалічності $X_H = \Delta H_m / \Delta H_m^0$ (де ΔH_m та $\Delta H_m^0 = 165200$ Дж/кг [2] є ентальпії топлення відповідно напівкристалічного зразка та повністю кристалічного ізотактичного PP) так і температури топлення T_m , являються досить високими, то індекси ізотактичності всіх цих зразків повинні бути набагато вищими за 95 % [3]. Навпаки, для зразка PP-EL спостерігається тільки стрибок питомої теплоємності $\Delta C_p = 440$ Дж/(кг*К) при температурі склування $T_g \approx -7^\circ$ С, який супроводжується неперервним зростанням C_p при збільшенні температури до 220° С (рис.1). Така поведінка наводить на думку про високо нерегулярну стереоструктуру цього особливого зразка, що створює перешкоди для можливої кристалізації. Такий ефект можна пояснити існуванням просторової сітки маленьких кристалічних об'єктів ("нанокристалів"), утворених боковими з'єднаннями частин стереорегулярних послідовностей, які, однак, є надто короткими для розвитку складчастих ланцюгів, ламелярних кристалів, типових для напівкристалічних гомополімерів. Так, слабкі негативні та позитивні відхилення від лінійності на ДСК кривих для PP-EL в інтервалах температур нижче та вище 90° С, відповідно, можуть бути розглянуті як доведення існування неміцних, слабких структурних перерозміщень просторової сітки нанокристалів протягом її неперервного нагрівання вище T_g .

ЛІТЕРАТУРА

1. Привалко В.П. Свойства полимеров в блочном состоянии: Справочник по физической химии полимеров / Под ред. Ю.С. Липатова. – т.2. – К.: Наук. Думка, 1984. – 331 с.
2. Wunderlich, B. Macromolecular Physics, Vol. 3. – New York.: Academic Press. – 1980. – 484 p.
3. Pukkeri R., Lehtinen A., Thermal behaviour of polypropylene fractions : 1. Influence of tacticity and molecular weight on crystallization and melting behaviour // Polymer. – 1993. – Vol. 34. – P. 4075 – 4082.

ВПЛИВ МОЛЕКУЛ ВОДИ НА ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЛІЦЕРИНУ

О.М. Займак, О.П. Руденко

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка,

Протягом останніх років діелектричні властивості спиртів, а також їхніх водних розчинів викликали значний інтерес, зокрема, завдяки важливості цих систем у поясненні механізмів флуктуації водневих зв'язків в асоційованих рідинах. Особливістю спиртів в таких дослідженнях виступає широка варіативність балансу гідрофільних, гідроксильних і олеофільних вуглеводневих груп [1].

Одним із найбільш поширених багатоатомних спиртів є гліцерин (1,2,3-пропантріол, $C_3H_5(OH)_3$) – представник трьохатомних спиртів, у молекулі якого кожний атом Карбону пов'язаний із гідроксильною групою. За фізичними властивостями гліцерин – це густа в'язка рідина без запаху і кольору, солодка на смак, добре розчинна у воді. Використання гліцерину в різних галузях медицини, сільського господарства, фотографії, текстильної, лакофарбової промисловості, електротехніки і радіотехніки вимагає системних досліджень фізико-хімічних властивостей даної сполуки [2].

Вимірювання діелектричної проникності і тангенса кута втрат на частотах (0,5–200) кГц проводились при кімнатній температурі 20°C мостовим методом, за допомогою електронного моста, виконаного на операційних підсилювачах. Вимірювальний конденсатор, являє собою дисковий конденсатор з діаметром пластин $d=50$ мм і відстанню між ними $h=3,36$ мм, латунні пластини якого для зменшення активної провідності покрито фторопластовими плівками [3].

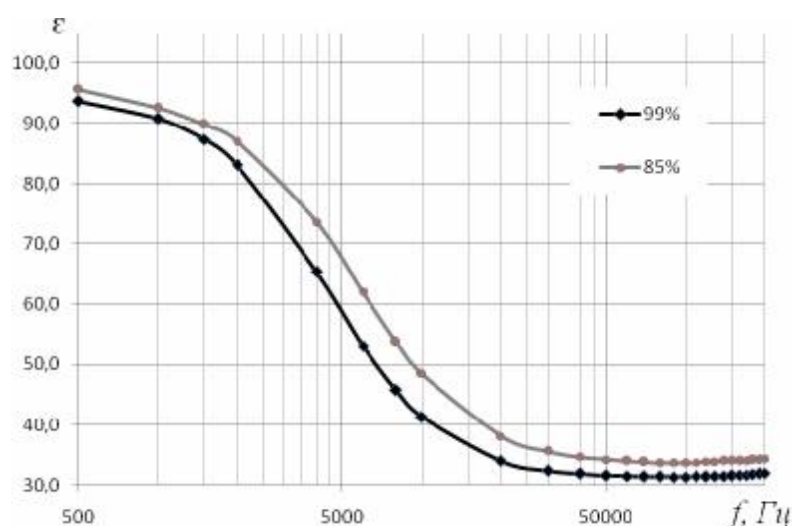


Рис. 1. Частотні залежності діелектричної проникності в логарифмічному масштабі водних розчинів гліцерину

Аналізуючи дані частотних залежностей діелектричних характеристик можна констатувати, що графік залежності діелектричної проникності чистого гліцерину лежить нижче графіку 85% водного розчину гліцерину, що свідчить

про збільшення діелектричної проникності зі збільшенням вмісту води в розчині. Стосовно ж самої кривої релаксаційної поведінки, то її форма при розчиненні зберігається і зміщується в область більш високих значень діелектричної проникності.

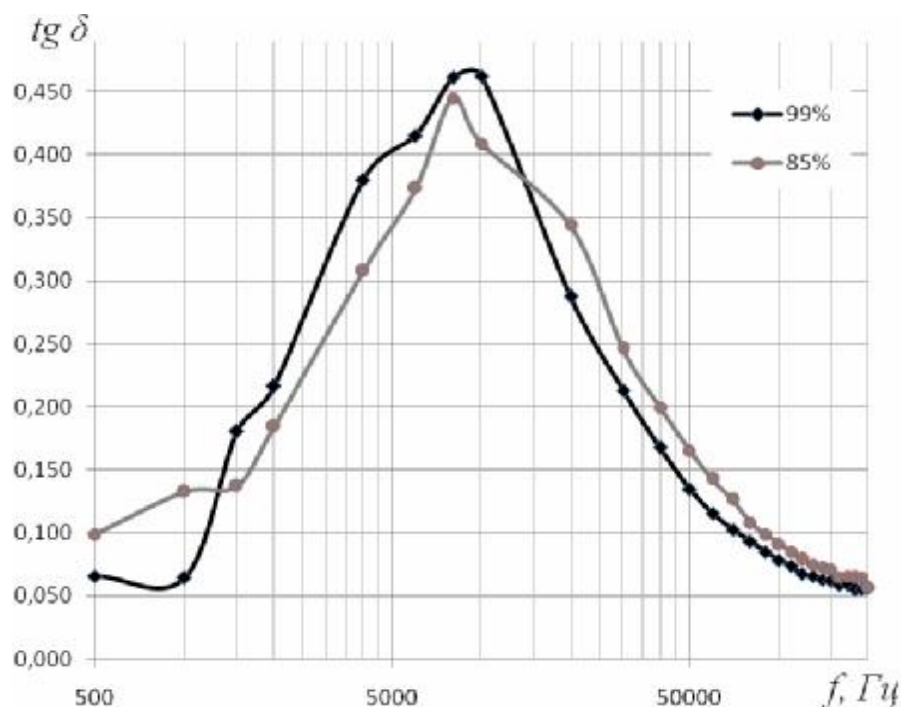


Рис. 2. Частотні залежності тангенса кута діелектричних втрат в логарифмічному масштабі водних розчинів гліцерину

Частотні залежності тангенса кута втрат чистого гліцерину і 85%-го водного розчину співпадають у межах похибки експерименту, що може свідчити про подібність релаксаційних процесів у даному діапазоні частот.

Користуючись табличним значенням дипольного моменту $\mu=2,56$ D для чистого гліцерину, можемо розрахувати орієнтаційну поляризацію молекул, за формулою наведеною в [4]: $P_o = \frac{4\pi}{3} N \frac{\mu^2}{3kT} = 136 \text{ см}^3$.

З вище наведених залежностей можна стверджувати, що при розчиненні гліцерину водою руйнуються зв'язки між молекулами і йонами в розчиненій речовині і розчиннику, і в цей же час відбувається процес комплексоутворення, тобто виникнення нових зв'язків. При розчиненні гліцерину притаманне явище зміни сумарного об'єму (конфракція), що пояснюється утворенням сполук типу гідратів у результаті взаємодії молекул спирту з атомами води і асоціювання за рахунок полярних водневих зв'язків [2].

Аналізуючи діаграми Коула-Коула (Рис.3) можна говорити, що молекули даної речовини не є сферичними, а є дещо витягнутими, це призводить до виникнення декількох часів релаксації і проявляється неспівпадінням діаметра півкола діаграми з віссю абсцис.

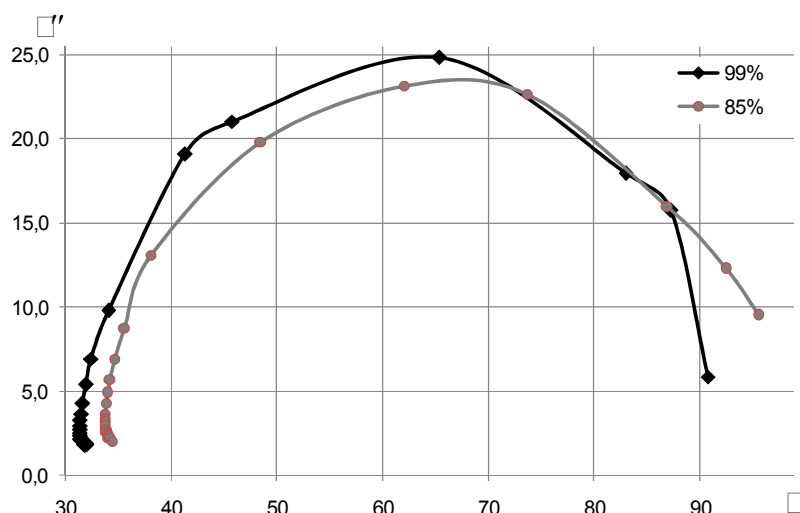


Рис. 3. Графік залежності уявної частини діелектричної проникності від дійсної водних розчинів гліцерину

ЛІТЕРАТУРА

1. Dielectric properties of glycerol/water mixtures at temperatures between 10 and 50 degrees C / R. Behrends, K. Fuchs, U. Kaatzea, Y. Hayashi, Y. Feldman // Journal of Chemical Physics. – 2006. – Vol. 124. – p. 144512.
2. Неволин Ф.В. Химия и технология производства глицерина: производственно-практическое издание / Ф.В. Неволин. – М.: Пищепромиздат, 1954. – 204 с.
3. Установка для вимірювання електричних властивостей рідин в діапазоні частот 10 Гц-100 кГц / О.П. Руденко, В.С. Сперкач, В.В. Шилов, В.М. Нестеренко, В.К. Калаптурівський // Збірник наукових праць Полтавського державного педагогічного університету імені В.Г. Короленка. – Полтава, 1998. – Вип. 3. – С. 72–75. – (Серія: «Фізико-математичні науки»).
4. Дебай П. Диэлектрические свойства чистых жидкостей / П. Дебай // Успехи физических наук. – 1937. – Т. XVII, № 4. – С. 459.

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИГРАФІТОВИХ СУМІШЕЙ

І.Л. Карпова, В.В. Корсканов, М.В. Рухайло, С.І. Лобок
 Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Частинки графіту, завдяки своїй шаруватій будові, широко використовуються у техніці як антифрикційні наповнювачі. Саме тому являло інтерес дослідити реологічні властивості епоксиграфітових полімерних композитів (ПК).

Розміри частинок вихідного графіту (ГР) у суміші оцінювали методом трансмісійної оптичної мікроскопії (ТОМ) за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star при відносному збільшенні 400.

Приведені мікрофотографії свідчать, що морфологія ПК переходить від ізольованих включень наповнювача в неперервній полімерній матриці при найменших вмістах ГР (рис. 1а) до неперервного кластеру ГР у матриці ПК. Це значить, що реологічні властивості таких сумішей при збільшенні концентрації наповнювача теж мають подібним чином змінюватись.

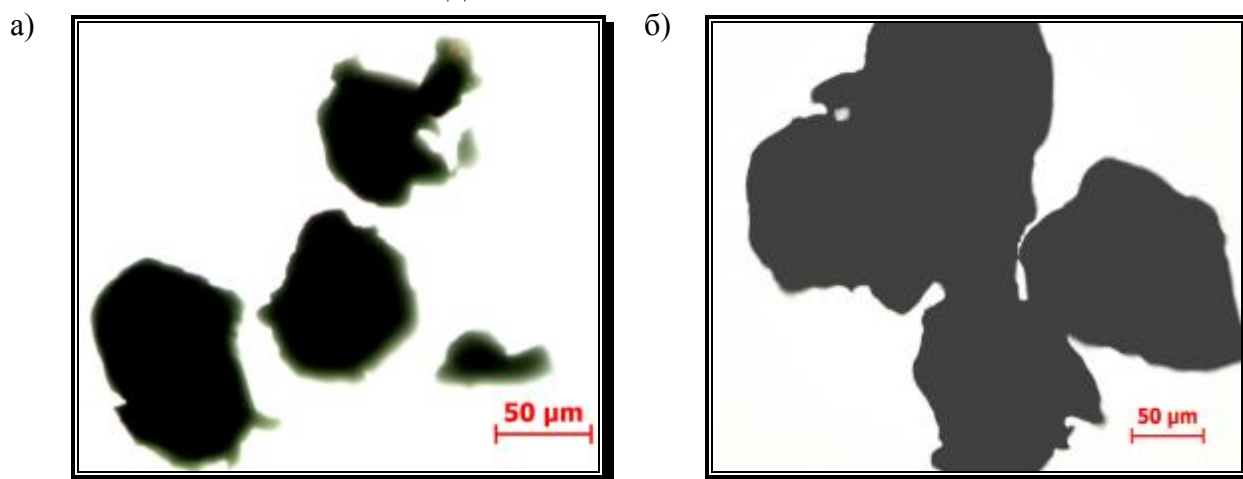


Рис. 1. Мікрофотографії композитів, що відповідають масовим концентраціям графіту $w = 1,0\%$ (а), та $w = 20\%$ (б).

В'язкість зразків досліджували у широкому інтервалі швидкостей зсуву від 33 c^{-1} до 4860 c^{-1} за допомогою ротаційного віскозиметра Reotest 2.1 з використанням робочого вузла конус-плоскістю.

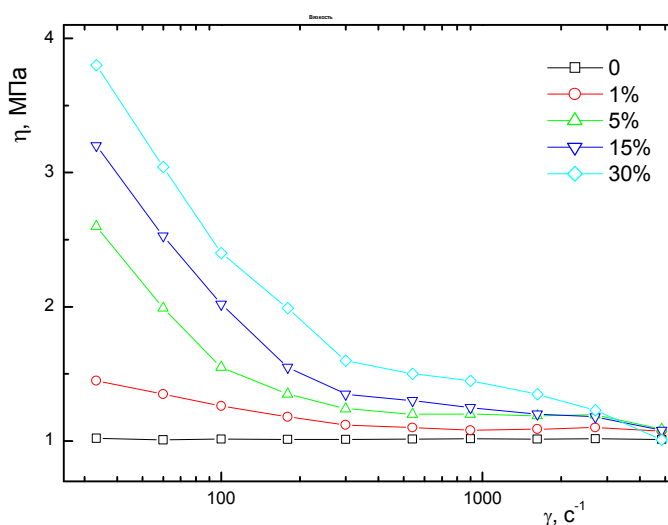


Рис. 2. Залежність в'язкості зразків від швидкості зсуву. Цифрами вказано масовий вміст графіту.

З приведених на рис. 2 графіка залежності в'язкості від швидкості видно, що характер течії у цих системах змінюється з Ньютонівського (при мінімальному вмісті ГР) на в'язкопластичний (більш 10% Гр), що обумовлюється виникненням структурної сітки наповнювача в результаті появи контакту між окремими його частинками. Подібний ефект появи неперервного кластеру при вмісті Гр 15% виявлений при дослідженнях електричної провідності цих ПК (рис.1б).

При цьому ефективна в'язкість незначно підвищується зі збільшенням вмісту наповнювача. На нашу думку, цей ефект може бути результатом прояву антифрикційних властивостей ГР.

ТЕРМОДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОЛІМЕРНИХ СИСТЕМ

В.В. Корсканов І.Л. Карпова, М.В. Рухайло, С.І. Лобок
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Вивчення енергетичного балансу при формуванні багатокомпонентних композитів дозволяє розрахувати енергію взаємодії складових, яка є першоджерелом формування багатьох фізичних властивостей матеріалу і дозволяє спрогнозувати поведінку більшості його технологічних параметрів.

За допомогою методу ДСК вивчено вплив карбонатотрубок (КНТ) на термодинаміку формування нанокомпозитів (НК) на основі епоксидного полімеру (ЕП). Досліджено концентраційні залежності теплофізичних та термодинамічних властивостей, густини та електропровідності НК з масовим вмістом КНТ $w = 0,05\%, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5$ та $1,0\%$.

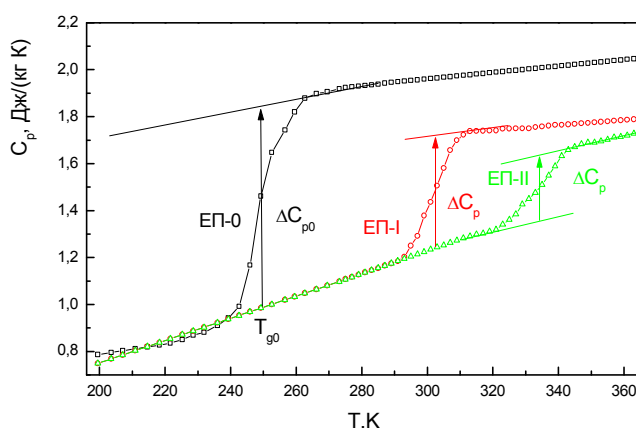


Рис. 1. Температурні залежності теплоємності вихідного суміші ЕП (ЕП-0), отвердженого при температурі 293К (ЕП-І), та термічно доотвердженого композиту при температурі 473К (ЕП-ІІ).

Згідно класичної термодинаміки, при нагріванні речовини від температури T_1 до температури T_2 зміна ентальпії буде складати:

$$\Delta H(T_1 \rightarrow T_2) = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT.$$

Для термореактивних ця зміна ентальпії розраховується як площа під експериментальними кривими температурної залежності теплоємності C_p (рис. 1).

З рис. 1 слідує, що процес формування такої системи супроводжується відповідними змінами теплофізичних параметрів: температури склування T_g та стрибком теплоємності ΔC_p .

Для НК різного складу подібні залежності приведені на рис. 2.

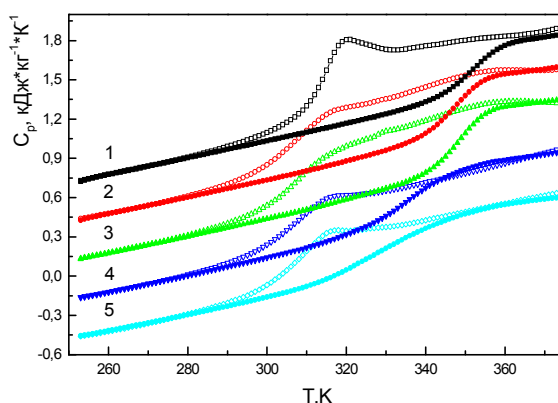


Рис. 2. Термограми ДСК досліджених зразків. Світлі позначення – зразки серії ЕП-I, темні – зразки серії ЕП-II. Масовий вміст КНТ: 1–0%, 2 – 0,05% (термограми зсунуті по осі ординат на -0,4 кДж/(кг·К)), 3 – 0,1% (термограми зсунуті по осі ординат на -0,6 кДж/(кг·К)), 4 – 0,5% (термограми зсунуті по осі ординат на -0,9 кДж/(кг·К)), 5 – 1,0% (термограми зсунуті по осі ординат на -1,2 кДж/(кг·К)).

Ступінь завершеності реакції зшивання α для ЕП-I оцінювали по рівнянню ДіБенедетто, яке раніше засвідчило свою придатність для багатьох сітчастих полімерних систем, в тому числі і полімерних сіток на епоксидній основі:

$$\alpha = \left[\frac{\Delta C_{p\infty}}{\Delta C_{p0}} \cdot \frac{T_{g\infty} - T_g}{T_g - T_{g0}} + 1 \right]^{-1},$$

де: $T_{g0}, \Delta C_{p0}$ – температура склування та стрибок теплоємності при склуванні вихідного ЕП, $T_{g\infty}, \Delta C_{p\infty}$ – температура склування та стрибок теплоємності для ЕП-II, $T_g, \Delta C_p$ – відповідні значення для досліджуваного зразка.

Якщо при термодозшиванні ЕП ступінь завершеності реакції змінюється на $\delta\alpha_{EP} = \alpha_{II} - \alpha_I$ і сумарна витрата енергії при цьому складала $\delta H_{I,II}$, то

загальна енергія формування термодинамічної системи дорівнюватиме $\delta H_{\infty} = \delta H_{I,II} / (\alpha_{II} - \alpha_I)$. Енергія, що має бути втрачена на термічне дозрівання НК дорівнює $\delta H_{НК\ зм} = \delta H_{ЕП\ зм} \cdot (\delta\alpha_{НК} / \delta\alpha_{ЕП})$. Внесок від взаємодії ЕП і КНТ вираховується як різниця між енергіями, які затрачені на формування ЕП та НК, тобто $\delta H_{ЕП-КНТ} = \delta H_{НК} - \delta H_{ЕП}$ (рис. 3).

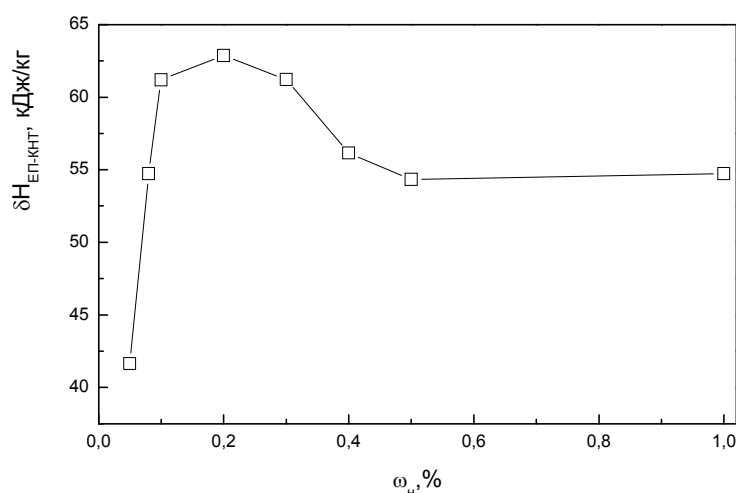


Рис. 3. Концентраційна залежність внеску енергії взаємодії полімер-наповнювач у загальну енергетику формування НК.

Рис. 3 свідчить, що максимальна енергія взаємодії полімер-наповнювач досягається при $w_n = 0,1 \div 0,4$. Очевидно це і є одним із головних чинників, які забезпечують досягнення оптимальних електро- та теплопровідних властивостей досліджених у НК.

Таким чином, на прикладі термореактивних НК на основі ЕП показано, що шляхом обробки теплофізичних результатів методами можливо адекватно розрахувати енергію термодинамічної взаємодії складових компонентів і для інших багатокомпонентних НК. Саме ця енергія є відповідальною за формування інших властивостей речовини (тепло- та електропровідності, густини, в'язкості і т.д.).

ЕЛЕКТРЕТНИЙ ЕФЕКТ ЯК ДЖЕРЕЛО БІФУРКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТАХ

Кривцов В.В.

Рівненський державний гуманітарний університет

Теорія біфуркацій знаходить застосування як синергетичний підхід в різних науках, починаючи від фізики і хімії, закінчуючи біологією і соціологією

[1]. Основи математичної теорії біфуркацій були створені Пуанкаре і Ляпуновим на початку ХХ століття, а потім розвинуті деякими школами [2, 3]. Походження терміну біфуркація (від лат. bifurcus – роздвоєний) пов'язана з тим фактом, що динамічна система, поведінка якої в рівноважній області описується системою лінійних диференціальних рівнянь, які мають єдине рішення, при зміні параметрів до деякого критичного значення, досягає так званої точки біфуркації – точки розгалуження можливих шляхів еволюції системи. Цей момент (точка біфуркації) відповідає переходу системи в нерівноважний стан, а на рівні математичного опису йому відповідає перехід до нелінійних диференціальних рівнянь. Під терміном «біфуркація» також розуміють набуття нової якості еволюції динамічної системи при малій зміні її параметрів. Біфуркація відповідає перебудові характеру руху або структури реальної системи (фізичної, хімічної, біологічної і т.д.). У момент часу, коли система знаходиться поблизу точки біфуркації, значну роль починають грати малі збурення значень її параметрів. Ці збурення можуть носити як випадковий характер, так і бути цілеспрямованими. Саме від них залежить за якою еволюційною гілкою піде система, пройшовши через точку біфуркації.

Користуючись поняттями теорії біфуркацій, вважатимемо, що процес електризування полімерного матеріалу призначений для переведення динамічної системи в нерівноважний (електретний) стан. В цей момент (в точці біфуркації) система набуває нової якості при малій зміні її параметрів – у полімері виникає електретний ефект, який може бути обумовлений або великою та повільно спадаючою залишковою поляризацією (гетерозарядом), або значним вільним гомозарядом, що повільно розсмоктується. Як відомо [4-6], з однієї і тієї ж полімерної речовини при електризуванні можна отримати гомо- та гетероелектрети (що відповідно збігаються та не збігаються за полярністю зі знаком заряду електроду) з різною густиною поверхневих зарядів. Причому в електреті можуть бути присутні як гомо-, так і гетерозаряди, співвідношення між якими визначає ефективну поверхневу густину зарядів електретів.

Встановлення факторів, від яких залежить яким еволюційним шляхом піде система, тобто, якого заряду набуде електрет, пройшовши точку біфуркації, становить у дослідженнях електретного стану полімерних матеріалів важливий науковий та прикладний інтерес [7].

Метою роботи є встановлення природи та визначення параметрів електретного стану у композитних полімерних матеріалах, покращення їх електретних та п'єзоелектричних характеристик за рахунок удосконалення режимів електризації і дослідження фізичних явищ формування і релаксації поляризованого стану. **Об'єктами досліджень** вибрано полімерні системи, одержані на основі найбільш поширених в промисловості лінійних аморфних полімерів, які відрізняються складом, молекулярною масою, розмірами та рухливістю бокових груп, дипольними електричними та магнітними моментами: порошкоподібний полівінілхлорид (ПВХ), гранульований поліетилен (ПЕ) та листовий поліметилметакрилат (ПММА). У роботі ряд зразків ПВХ, ПММА та ПЕ наповнювали сегнетоелектричним наповнювачем.

Для визначення елементів структури та властивостей отриманих систем використовувались такі **методи дослідження**: метод термостимульованої деполяризації (ТСД), компенсаційний метод визначення поверхневої густини зарядів та потенціалу поверхні, ІЧ-спектроскопія, визначення електричного опору та п'єзоелектричних властивостей в статичних умовах і ін.

За результатами роботи отримано полімерні матеріали з високими та стабільними електретними характеристиками, які можуть знайти застосування в традиційних областях використання електретів. Підтверджено біфуркаційний характер релаксації електретного заряду в полімерах і полімерних композиційних матеріалах, який проявляється у розділенні процесів релаксації гомозаряду, гетерозаряду та поляризації Максвелла-Вагнера. Згідно струмохвильової моделі розроблено підхід до оцінки утворень гомо- і гетерозарядів в об'ємі діелектрика, який заряджається в полі коронного розряду. Вказані основні операції створення електретів з різних полімерних матеріалів з покращеними електретними характеристиками в режимі їх експлуатації до +80°C. Встановлено і обґрунтовано співвідношення основних параметрів електризації, яких треба дотримуватись для одержання підвищених значень поверхневої густини заряду та п'єзоелектричних коефіцієнтів.

ЛІТУРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. Часть 1: Принципы и основы. Неравновесные фазовые переходы и самоорганизация в физике, химии и биологии / Г. Хакен. – М.: Editorial URSS, 2015. – 448 с.
2. Теория бифуркаций динамических систем на плоскости / [А.А. Андронов, Е.А. Леонтович, И.М. Гордон и др.]. – М.: Наука, 1967. – 488 с.
3. Арнольд В.И. Теория бифуркаций / В.И. Арнольд, В.С. Афраймович, Ю.С. Ильяшенко, Л.П. Шильников // Современные проблемы математики. Фундаментальные направления. Итоги науки и техн. ВИНТИ АН СССР. – 1985. – Т.5. – С. 5 – 218.
4. Луцейкин Г.А. Полимерные электреты / Г.А. Луцейкин. – М.: Химия, 1984. – 192 с.
5. Электреты / [Г. Сесслер, Й. ван Тюрнхют, Б. Гросс и др.]. – М.: Мир, 1983. – 486 с.
6. Губкин А.Н. Электреты / А.Н. Губкин. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
7. Кривцов В.В. Застосування методу термічно стимульованої деполяризації для вивчення структури полімерних композитів / В.В. Кривцов, Б.С. Колупаєв, Є.В. Лебедев // Український фізичний журнал. – 2006. – Т. 51, №8. – С.830–835.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНОКСИДУ ТА ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

Е.А. Лисенков, В.М. Голованець, М.А. Рехтета, Р. Klonos

¹ *Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського,*

² *National Technical University of Athens, Zografou Campus, Athens, Greece*

Протягом двох останніх десятиліть, полімерні нанокompозити широко застосовуються у багатьох сферах виробництва завдяки своїм унікальним функціональним характеристикам. Такі унікальні властивості нанокompозитів проявляються через поєднання полімерної матриці та рівномірно розподіленого в ній неорганічного нанонаповнювача. Властивості таких нанокompозитів залежать від вмісту нанонаповнювача, його розміру та форми (частинок або їх агрегатів), контактних явищ між частинками, наявності міжфазних взаємодій полімер–наповнювач, структури полімерної матриці, просторового розподілу частинок наповнювача, технологічних та експлуатаційних режимів виготовлення тощо. Одним із перспективних нанонаповнювачів для створення полімерних нанокompозитів є вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Введення ВНТ приводить до різкого покращення таких властивостей матеріалу як механічні, електричні, оптичні. Теплофізичні властивості полімерних нанокompозитів, які містять ВНТ, викликають особливий інтерес завдяки можливості їх застосування для створення електро- та теплопровідних полімерних плівок, покриттів та компонентів нанoeлектроніки. Теплофізичні параметри таких систем визначаються явищами переносу в гетерогенній полімерній системі, у якій формується неперервна фаза з частинок дисперсного наповнювача.

Саме тому метою даної роботи було дослідження теплофізичних властивостей систем на основі поліетиленоксиду (ПЕО) і ВНТ поблизу перколяційної точки та аналіз їх, використовуючи перколяційну теорію та скейлінговий підхід.

Із результатів проведених досліджень випливає, що теплофізичні властивості полімерних нанокompозитів на основі поліетиленоксиду (ПЕО) та вуглецевих нанотрубок (ВНТ) суттєво залежать від структури полімерної матриці та вмісту наповнювача. Встановлено, що введення ВНТ у систему змінює ступінь кристалічності полімерної матриці. При малому наповненні ВНТ, ступінь кристалічності ПЕО зростає, що пов'язано із нуклеаційною функцією нанотрубок, які виступають в якості зародків кристалізації. Подальше зниження ступеня кристалічності відбувається завдяки стеричним перешкодам, які створює полімерним макромолекулам розвинена поверхня ВНТ. Показано, що зміна теплопровідності в області малих концентрацій ВНТ добре корелює зі зміною кристалічності ПЕО. Виявлено, що теплопровідність системи ПЕО-ВНТ проявляє перколяційну поведінку і добре описується у рамках скейлінгового підходу. Поріг перколяції для теплопровідності складає 0,6%. За результатами мікроскопічних досліджень було підтверджено значення порогу перколяції, отриманого за результатами вимірювання теплопровідності. Показано, що при вмісті 0,6 % ВНТ, утворюється перколяційний кластер з нанотрубок.

СТРУКТУРА ТА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНИХ ОЛІГОМЕРІВ ТА ГЕТЕРОПОЛІКИСЛОТ

Матковська О.К.¹, Мамуня Є.П.¹, Юрженко М.В.¹, Зінченко О.В.¹,
Лебедєв Є.В.¹, Boiteux G.², Serghei A.²

¹*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України*

²*Université de Lyon, Université Lyon 1, Ingénierie des Matériaux Polymères, Lyon, France*

Одним із важливих напрямків сучасної науки і техніки є розробка методів створення функціональних матеріалів з новими або покращеними властивостями. Особливе місце серед них займають твердотільні електроактивні полімерні матеріали, які широко використовуються в багатьох сучасних технологіях, зокрема, як елементи сенсорів, портативних джерел струму, тощо. Разом з тим, незважаючи на значні успіхи в розробці таких матеріалів, питання створення електроактивних полімерних систем, які б поєднували в собі високі механічні характеристики і термостійкість з необхідним рівнем електропровідності є відкритим.

З цієї точки зору привертають до себе увагу затверднені гетерополікислотами епоксидні системи. Високі механічні показники та термостійкість епоксидних смол, одночасно з різноманітністю хімічної будови та доступністю епоксидних олігомерів, як органічної складової, з однієї сторони, та високим рівнем протонної провідності, винятковими каталітичними властивостями гетерополікислоти, як неорганічної складової, з іншої, спонукає очікувати на отримання протонпровідного органо-неорганічного матеріалу з покращеними характеристиками при затвердненні епоксидних олігомерів гетерополікислотами.

Кристалічну ГПК фосфорвольфрамову (ФВК) або фосформолібденову (ФМК) змішували з дистильованою водою з отриманням розчину необхідної концентрації (від 50 до 10%, тобто при зміні масового співвідношення ГПК/вода від 1/1 до 1/9). Далі водні розчини гетерополікислот різних концентрацій вводили в епоксидну смолу (ЕД-20 або ДЕГ-1) таким чином, щоб співвідношення ЕС/ГПК в досліджуваних системах дорівнювало 99/1 мас.ч. в усіх випадках, а вміст води в вихідній суміші варіювався від 1 до 9 мас.ч. Для вивчення деформаційних та структурних властивостей використовувався метод термомеханічного аналізу. Методом широкосмугової діелектричної релаксаційної спектроскопії визначали електропровідність на змінному струмі.

Термомеханічні дослідження проведено для систем ЕД-20/ГПК/вода, та, для порівняння, досліджено епоксиамінну систему ЕД-20/ПЕПА. Густина зшивки, що визначається кількістю сегментів (вузлів зшивки) в одиниці об'єму n_c (моль/см³) розраховувалась як:

$$n_c = \rho / M_c$$

де $\rho = 1,205 \text{ г/см}^3$ – густина полімеру; M_c – середня молекулярна маса сегмента між вузлами полімерної сітки, г/моль, яку визначали за формулою:

$$M_c = \frac{3R\rho T_e}{E_e} = \frac{3R\rho T_e \Delta l_e S}{l_0 F}$$

де R – універсальна газова стала, що дорівнює $831,4 \text{ Н}\cdot\text{см}/(\text{моль}\cdot\text{К})$; T_e – температура переходу в високоеластичний стан, К; E_e – рівноважний високоеластичний модуль, МПа; Δl_e – деформація зразку при досягненні високоеластичного стану, мкм; l_0 – початковий розмір зразку в склоподібному

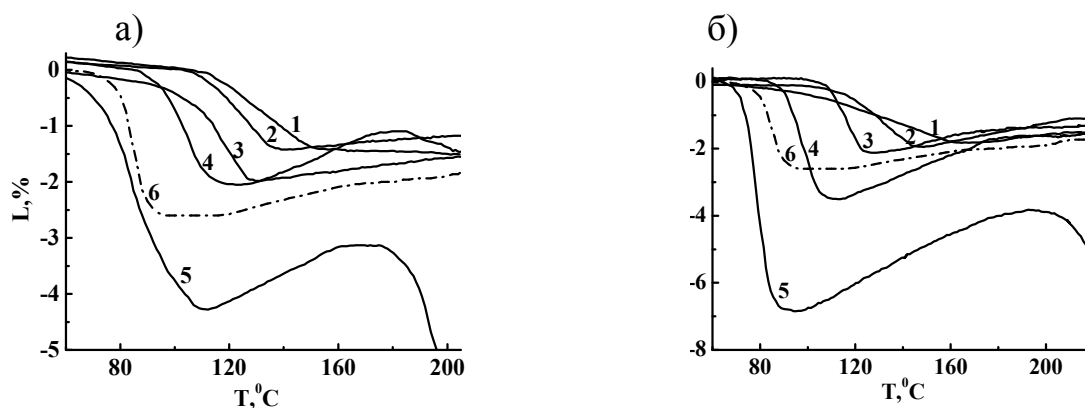


Рис. 1. Термомеханічні криві для епокси-неорганічних полімерних матеріалів наступних складів: ЕД-20/ГПК/вода 1 – 99/1/1; 2 – 99/1/1,5; 3 – 99/1/2; 4 – 99/1/3; 5 – 99/1/5 мас.ч., де ГПК є: а) ФВК; б) ФМК та епоксиамінного полімеру: 6 – ЕД-20/ПЕПА = 90/10 мас.ч.

стані, мкм; S – площа індентора, $S = 7 \text{ мм}^2$; F – сила, прикладена до зразка, $F=1\text{Н}$.

На рис. 2 приведено залежність температури склування T_c від кількості сегментів в одиниці об'єму n_c для полімерних матеріалів, отриманих з використанням ФВК або ФМК (згідно термомеханічних даних, рис. 1). Зростання кількості молекулярних зв'язків в одиниці об'єму досліджуваного полімеру із зменшенням вмісту води в вихідній суміші зменшує рухливість сегментів, що приводить до зростання температур склування за лінійною залежністю:

$$T_c = T_{c0} + b n_c,$$

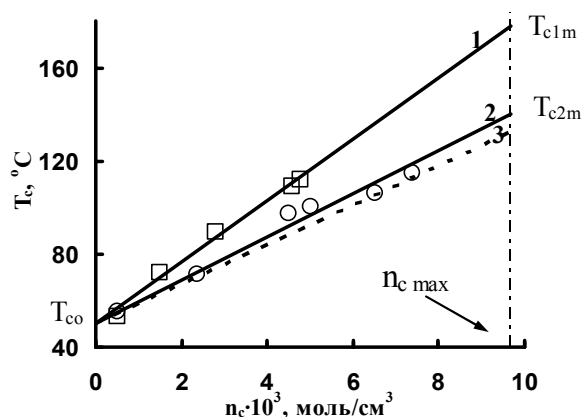


Рис. 2. Залежність T_c від кількості сегментів в одиниці об'єму при використанні як твердників водних розчинів ГПК: 1–ФМК; 2–ФВК та 3–теоретична залежність відповідно літературних даних. Штрихпунктирна лінія показує значення максимальної n_c . T_{c1m} та T_{c2m} – максимальні температури склування при $n_{c \text{ max}}$

де $T_{c0}=50^{\circ}\text{C}$ – температура склування лінійного епоксидного полімеру, отримана при перетині прямих з віссю ординат; b – коефіцієнт, що відображає ступінь зростання T_c з підвищенням n_c . Коефіцієнт b для систем, отриманих з використанням як твердників ФВК та ФМК є близьким до теоретичного значення ($b_{\text{ФМК}}=14,5 \cdot 10^3$ град·см³/моль, $b_{\text{ФВК}}=8,8 \cdot 10^3$ град·см³/моль, $b_{\text{теор}}=8,5 \cdot 10^3$ град·см³/моль). $b_{\text{теор}}$ розраховано згідно напівемпіричної формули:

$$T_c = T_{c0} + 788/N,$$

де N – середня кількість атомів між вузлами зшивки.

При однаковій густині зшивки для полімерів, затверднених ФМК, спостерігаються вищі температури склування, ніж для полімерів, затверднених ФВК. Ми вважаємо, що такий ефект спричинений підвищенням вмістом ФМК порівняно з ФВК в мольному відношенні (ФМК/ЕД-20=1/570 моль/моль > ФВК/ЕД-20=1/820 моль/моль).

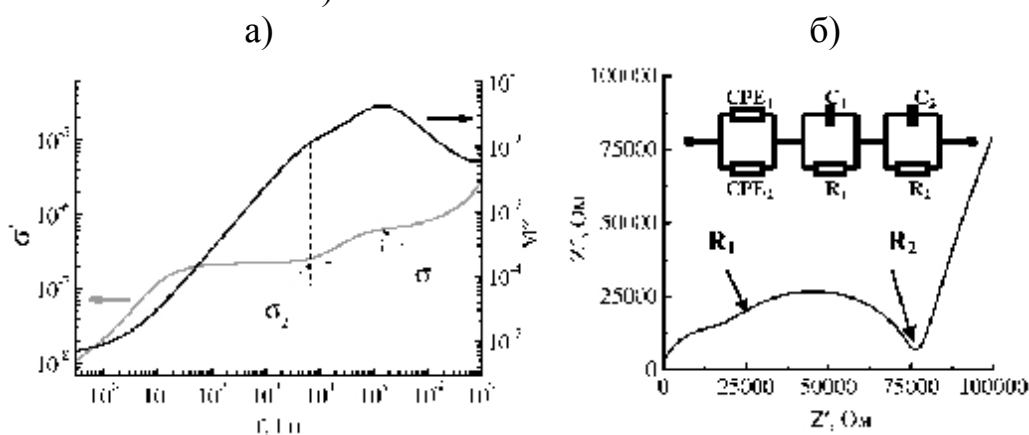


Рис. 3. Зв'язок діелектричних характеристик із моделлю електричної структури протонпровідного полімеру ДЕГ-1/ФВК/вода = 99/1/3: а) об'єднана частотна залежність дійсної частини комплексної провідності та уявної частини електричного модуля, б) діаграма Кола-Кола та відповідна їй електрична схема.

Характер впливу вмісту води в вихідній суміші на протонну провідність є однаковий для випадку як ароматичного, так і аліфатичного полімерів (наприклад, наявність двох плечей та їх поступове виродження в одне зі зростанням рівня води в реакційній суміші на частотних залежностях σ'). Для полімеру на основі ДЕГ-1 з **вмістом води в вихідній суміші 3 м.ч.** при співставленні дійсної частини комплексної провідності та уявної частини електричного модуля (рис. 3,а) спостерігається відповідність двох максимумів M'' двом зламам кривої σ' . Тобто, максимумами на кривій M'' пов'язані з релаксацією провідності. Приведена для цієї системи діаграма Кола-Кола $z''=f(z')$ відповідає електричній схемі, що містить три послідовно з'єднані елементи: 1) два паралельно розташовані сталі фазові елементи CPE_1 та CPE_2 (похила пряма на кривій z'' вище 75 кОм); 2) паралельно з'єднані конденсатор C_1 та опір R_1 (півколо в області $z' \sim 0-25$ кОм); 3) паралельно з'єднані конденсатор C_2 та опір R_2 (півколо в області $z' \sim 25-75$ кОм) (рис. 3,б). Наявність двох CPE та двох послідовних ділянок ланцюга, що містять ємнісну складову та опір, вказує

на присутність в такій системі двох ділянок з різними характеристиками, через які заряд рухається послідовно. При співставленні дійсної частини комплексної провідності σ' та уявної частини електричного модуля M'' для системи з вмістом води **9 м.ч.** (рис. 4, а) спостерігається відповідність максимуму M'' зламу кривої σ' . Приведена діаграма Кола-Кола $z'=f(z'')$ для цієї системи відповідає електричній схемі, що містить два послідовно з'єднані елементи: 1) сталий фазовий елемент СРЕ (похила пряма на кривій z' вище 7 кОм), який є наслідком граничних явищ на з'єднанні матеріал-електрод; 2) паралельно з'єднані конденсатор С та опір R (півколо в області $z' \sim 0 - 7$ кОм) (рис. 4, б).

На рисунку 5, а зображена структурна модель епоксидного полімеру, серед ланцюгів якого знаходиться молекула ФВК. Вказана молекула являє собою аніон (сіре коло) із зарядом 3^- та три протони (\bullet) із зарядом 1^+ кожний.

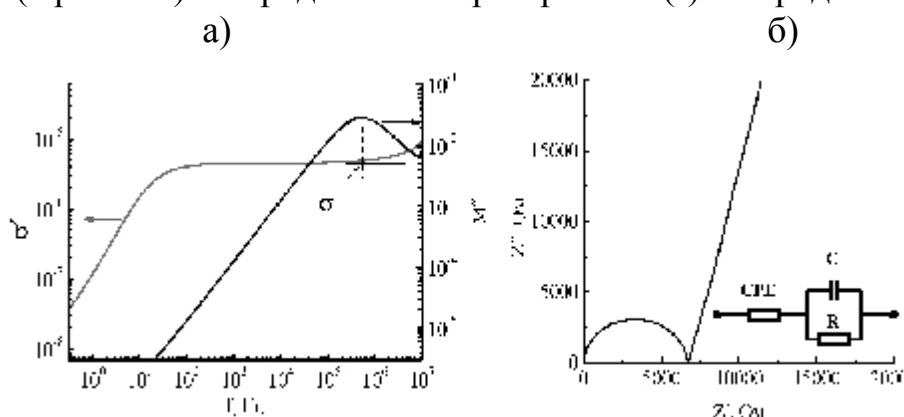


Рис. 4. Зв'язок діелектричних характеристик із структурою протонпровідного епоксидного полімеру ДЕГ-1/ФВК/вода = 99/1/9: а) об'єднана частотна залежність дійсної частини комплексної провідності та уявної частини електричного модуля, б) діаграма Кола-Кола та відповідна їй електрична схема спостерігається відповідність максимуму M'' зламу кривої σ' .

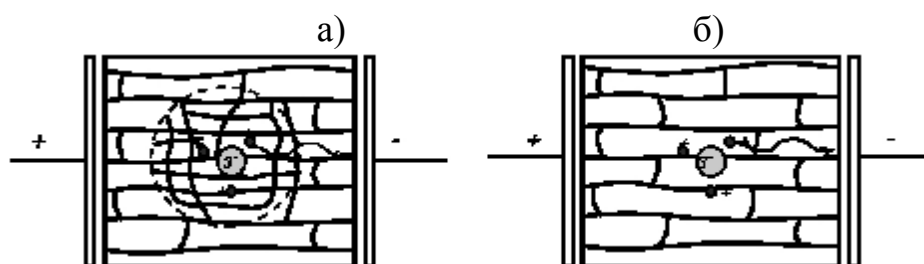


Рис. 5. Структурні моделі полімерних матеріалів складу ДЕГ-1/ФВК/вода відповідно до вмісту води в реакційній суміші: а) 3 м.ч., б) 9 м.ч.

Таким чином, низький вміст води в вихідній суміші (1-3 м.ч.) приводить до отримання епоксидних матеріалів з покращеними термомеханічними властивостями, порівняно з використанням твердника поліетиленполіаміну. Вода в вихідній суміші в кількості до 7 мас.ч. сприяє процесу структурування в безпосередній близькості до молекули катализатора, що приводить до утворення двох областей густини полімеру – щільної навколо молекули ГПК, та менш щільної у віддаленні. Тоді, під дією прикладеної до зразка напруги, протон

рухається до від'ємно зарядженого електроду послідовно через дві області, що і є причиною двох значень провідності σ_1 і σ_2 . Друга модель протонпровідного епоксидного полімеру (рис. 5, б) приведена для випадку присутності в вихідній суміші 9 м.ч. води: велика кількість розчинника спричиняє утворення гомогенної структури сітки полімерного матеріалу, якій відповідає одне значення σ .

ВЛАСТИВОСТІ НАНОКОМПОЗИТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНГЛІКОЛЮ ДОПОВАНИХ БАГАТОШАРОВИМИ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

Мельник І.А.^{а, б}, Лебовка М.І.^а, Клепко В.В.^б, Лисенков Е.А.^{б, г}

^а*Інститут біологічної хімії імені Ф. Д. Овчаренко, НАН України*

^б*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

^г*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України*

^д*Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського*

Завдяки високій сольватуючій здатності поліетиленгліколь (ПЕГ, Н-[OCH_2CH_2] $_n$ -ОН) є перспективною речовиною для створення на його основі електролітів, які можуть бути використані в різноманітних електрохімічних приладах, в літійових батареях, а також гнучких електрохромних дисплеях [1]. Однак, дані системи потребують підсилення іонної електропровідності. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом допування електролітів на основі ПЕГ вуглецевими нанотрубками [2-6].

Методом диференційної скануючої калориметрії та дослідженням електричної провідності вивчено вплив допування багатошаровими вуглецевими нанотрубками (НТ) на властивості поліетиленгліколей (ПЕГ) різних молекулярних мас, M_w (ПЕГ-400, ПЕГ-1000, ПЕГ-10000). Досліджено залежності ступеня кристалічності полімерів, а також температурну поведінку електропровідності за різних концентрацій НТ. Отримані результати свідчать про суттєвий вплив молекулярної маси ПЕГ на однорідність просторового розподілу НТ та електричну провідність досліджуваних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Christie A. M., Lilley S. J., Staunton E., Andreev Y. G., Bruce P. G. Increasing the conductivity of crystalline polymer electrolytes // Nature. - 2005. - 433. - P. 50–53.
2. Lysenkov E. A., Gomza Y. P., Klepko V. V. Effect of anisometric nanofillers on the structure and conductivity of PEG1000 / LiClO₄ in bulk and thin films // Polymer J. - 2010 - 32(3) - P. 223–228.

3. Lysenkov E. A., Gomza Y. P., Davidenko V. V., Klepko V. V. Structure and properties of polymer electrolytes based on polyethylene glycol and carbon nanotubes // *Phys. Condens. Macromol. Syst.* - 2010 - 14 - P. 15–20.
4. Lysenkov E. A., Klepko V. V., Yakovlev Y. V. Influence of the features of polymer matrix on percolation behaviour of polyether – carbon nanotubes nanocomposites // *Nanostructural Material Science.* - 2013 - 3-4 - P. 46–54.
5. Lysenkov E. A., Gomza Y. P., Klepko V. V., Kunitsky Y. A. Structure of multiwalled carbon nanotubes and nanocomposites based on them // *Phys Chem Solid State* - 2010 - 11(2) - P. 361–366.
6. Lebovka N. I., Lysenkov E. A., Goncharuk A. I., Gomza Y. P., Klepko V. V., Boiko Y. P. Phase behaviour, microstructure, and percolation of poly(ethylene glycol) filled by multiwalled carbon nanotubes and organophilic montmorillonite // *J. Compos. Material* - 2011 - 45(24) - P. 2555–2566.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ

Е.Панько, С. Емельянов

Николаевский национальный университет им. В.А.Сухомлинского

Морфология скоплений галактик тесно связана с процессом формирования как самих скоплений, так и галактик, объединенных в более крупные структуры. Детальное описание скопления галактик включает, кроме численных параметров, морфологический тип. Однако, даже самые мощные компьютеры не в состоянии напрямую определить морфологический тип крупномасштабной структуры, начиная от галактики и заканчивая сверхскоплением галактик. Для этого необходимы визуальные оценки. Даже в самом обширном проекте по изучению Вселенной – Слоановском цифровом обзоре неба ((Sloan Digital Sky Survey, SDSS) морфологические типы галактик определялись визуально командой волонтеров Zooniverse.

Для определения морфологических типов скоплений и групп галактик РФ [1] мы разработали пакет Cluster Cartography, который создает карты скоплений галактик в тангенциальных координатах с учетом звездной величины галактики. Использование этого пакета позволит определить морфологические типы более тысячи скоплений галактик каталога PF.

ЛИТЕРАТУРА

1. Panko E. The Catalogue of Galaxy Clusters and Groups. / E. Panko, P. Flin // *Journal of Astronomical Data.* — 2006. — Vol. 12. — P. 1-9.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗАТМЕННЫХ СИСТЕМ С ВАРИАЦИЯМИ ПЕРИОДОВ В АОК НИКОЛАЕВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. В.А.СУХОМЛИНСКОГО

Е.Панько, О. Сергиенко

Николаевский национальный университет им. В.А.Сухомлинского

В Астрономической обсерватории им. Н.Д.Калиненко с 2005 года проводятся наблюдения затменных двойных звезд с вариациями периодов [1]. Базовая информация для выбора звезд приведена в [2]. Наблюдения звезд программы проводятся в первичном фокусе телескопа ЗТС-702 обсерватории (диаметр зеркала 702 мм, фокусное расстояние 2806 мм) в инструментальной фотометрической системе, приближенной к стандартной V. В качестве приемника излучения используется CCD камера SBIG ST-7 (размер пикселя 9.0x9.0 микрон, размер изображения 765x510 пикселей), что дает масштаб 0,"67/пиксель при размере поля зрения 5'x8'. За время работы получены кривые блеска CU Peg, V609 Aql, VM UMa, V841 Cyg, V859Cyg, V724 Aql [3-8]. Для каждой из звезд был проведен анализ вариаций периодов и выполнены оценки физических параметров систем.

В докладе проводится общий анализ результатов наблюдений звезд программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kreiner J. M., Kim Ch-H, Nha I.-S. An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars. Krakow, 2000. <http://www.as.ap.krakow.pl/o-c>
2. Sergienko, O.; Panko, E.: 12th Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, held in Kyiv, Ukraine, April 19-23. Abstracts. 2005, Kyiv University Press, p. 82
3. Panko E.; Flin P.; Pikhun A.: 2006, *ApSS*, 305, 385.
4. Turner D.G.; Panko E.A.; Sergienko O.G. et al.: 2008, *The Observatory*, 128, 2.
5. Virnina N.A.; Panko E.A.; Sergienko O.G. et al.: 2010, *OAP*, 23, 148
6. Sergienko O.G.; Bodryagin D.V.; Panko E.A.: 2013, *OAP*, 26, 214.
7. Panko, E. A.; Sergienko, O. G.; Pomazan, A. V.; Bodryagin, D. V. : 2013, *OAP*, 27, 50.
8. Sergienko O.G.; Panko E.A.: 2015, *OAP*, 27 (in preparation)

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Підлісний А.Р.^{1,2}, Аністратенко В.В.¹, Тудженкова О.С.²,
Янчевський Л.К.², Тарасенко О.О.¹, Юрженко М.В.¹, Січкара Т.Г.²

¹ Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України

² Національний педагогічний університет ім. М.П.Драгоманова

Зварювання пластмас являє собою технологічний процес отримання нероз'ємного з'єднання деталей або елементів конструкції із пластмас, в

більшості випадків оснований на дифузно-реологічних процесах, які протікають в зоні з'єднання поверхонь при їх нагріванні або механічному впливі. В залежності від виду використовуваної енергії і шляху її передачі до з'єднувальних поверхонь розрізняють термічне (зварювання відкритим полум'ям, нагрітим газом, нагрітим інструментом і т.д.), механічне (ультразвукове зварювання, зварювання тертям і т.д.) та електромагнітне зварювання (терморезисторне, високочастотне, магніто-імпульсне зварювання і т.д.) пластмас.

Ультразвукове (УЗ) зварювання пластмас – це високотехнологічний процес з'єднання матеріалів, при якому для проведення зварювання використовуються механічні коливання ультразвукової частоти. Ультразвукове зварювання здійснюється за допомогою ультразвукового пресу, який складається з генератора електромагнітних коливань, конвертера ультразвукових коливань, бустера (трансформатора), сонотрода і опори. Принцип діє УЗ зварювання полягає у наступному: електричні коливання, які виробляються генератором, перетворюються в механічні повздовжні коливання на конверторі і підсилюються за допомогою бустера (трансформатора), а потім передаються на матеріал за допомогою сонотрода.

Відмінними особливостями ультразвукового зварювання пластмас є короткий час зварювання (не більш декількох секунд), висока якість зварного з'єднання і стабільність процесу, локальне тепловиділення в зоні зварювання, що виключає перегрів пластмас, можливість зварювання по забрудненим поверхням, можливість зварювання ряду пластмас на великій відстані від місця введення коливань та ін. Такі особливості дають можливість проводити зварювання пластмас спеціального (цільового) призначення, в тому числі високо термостійких, композитних і т.д., що робить УЗ зварювання надзвичайно перспективним для використання у високотехнологічних областях промисловості.

КВАНТОВО-РОЗМІРНІ СТАНИ ДЕФОРМОВАНОЇ МЕЖІ РОЗДІЛУ ДВОХ КОНДЕНСОВАНИХ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ

Сенета М.Я., Пелешак Р.М., Дорошенко М.В., Галь Ю.М.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

З розвитком нанотехнологій, фізики наносистем та квантових систем, локалізованих в об'ємах молекулярних розмірів, виникає питання про вплив неоднорідно-деформованої межі розділу структурно-неоднорідних систем на електронні стани. Це зумовлено тим, що межа розділу створює додатковий деформаційний потенціал, який впливає на електронні стани, що в кінцевому впливає на транспортні характеристики нано-оптоелектронних приладів (рухливість, час життя носіїв заряду).

На сьогодні є значна кількість робіт, присвячена дослідженню поверхневих електронних станів, які виникають на поверхні кристала і

зумовлені обмеженістю кристалічної ґратки, або, іншими словами, обривом періодичного потенціалу. При цьому в залежності від вибору фізичної моделі розрізняють стани Тамма, що виникають внаслідок зміни потенціалу на межі кристал-вакуум, і стани Шоклі, зумовлені обривом зв'язків на межі.

Однак згадані вище дві моделі не охоплюють всі задачі про поверхневі стани. Зокрема, є актуальною задача, коли квазічастинка рухається в полі неперіодичного потенціалу, але її рух обмежений в одному напрямку межею розділу двох конденсованих структурно-неоднорідних систем. У роботі [1] було проведено теоретичне дослідження поверхневих електронних станів на нерівній двовимірній границі розділу двох середовищ з нескінченно високим потенціальним бар'єром.

У даній роботі на основі рівняння Шредінґера

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(x, y, z)] \psi = 0 \quad (1)$$

з скінченним потенціалом на межі розділу двох конденсованих структурно-неоднорідних систем знайдено власні функції та власні значення оператора Шредінґера. Потенціальний рельєф задано наступним чином:

$$U(x, y, z) = \begin{cases} 0, & z > z_0(x, y), \\ U_0, & z \leq z_0(x, y). \end{cases} \quad (2)$$

На межі середовищ $z = z_0(x, y)$ граничні умови є такими:

$$\psi_1(z_0(x, y)) = \psi_2(z_0(x, y)); \quad (3)$$

$$\frac{1}{m_1} \vec{n}_1 \vec{\nabla} \psi_1 \Big|_{z=z_0(x, y)} = \frac{1}{m_2} \vec{n}_2 \vec{\nabla} \psi_2 \Big|_{z=z_0(x, y)}, \quad (4)$$

де \vec{n}_1 і \vec{n}_2 – нормалі до поверхні $z = z_0(x, y)$; m_1 , m_2 – ефективні маси першого та другого конденсованих середовищ відповідно.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.А. Погребняк, В.М. Яковенко, И.В. Яковенко. ФТТ, 1977, 39, 10, 1875.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРУ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫХ ПОЛИМЕРОВ

Л. П. Стебленко, Л. Н. Яценко*, Л. А. Воронцова*, А. Н. Курилюк,
Ю. Л. Кобзарь, С. Н. Науменко, А. Н. Крит, Д. В. Калиниченко
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

* *Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины*

В связи с возрастанием масштабов применения полимерных материалов, актуальной становится задача по улучшению их механических свойств с целью

оптимизации их эксплуатационных характеристик. Известно, что микротвердость является микромеханической характеристикой чувствительной к морфологическим и структурным изменениям в полимерных материалах. Указанные изменения могут быть обусловлены наличием наполнителя, микротвердость которого превышает соответствующий параметр полимерной матрицы.

Вышеизложенные аспекты определили цель данной работы, которая заключалась в исследовании изменений микротвердости и структуры эпоксиуретановых (ЭУ) композитов, обусловленных введением в полимерную матрицу полисилоксановых частиц (ПСЧ).

Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что для эпоксиуретановых композитов характерным является линейное увеличение микротвердости при увеличении концентрации ПСЧ в диапазоне от 0,001 масс.% SiO₂ до 1 масс.% SiO₂ (рис.1).

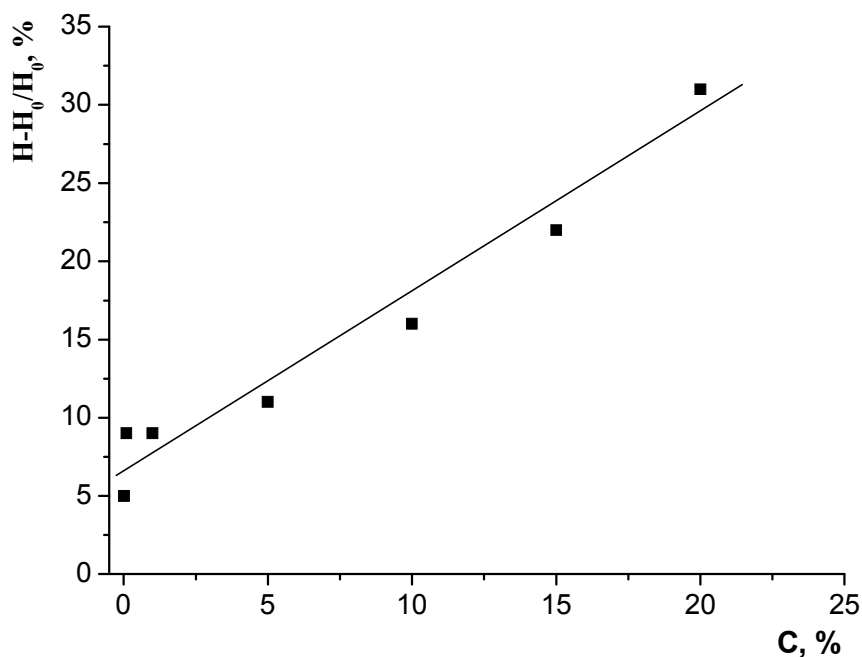


Рис.1. Эффект изменения микротвердости в нанонаполненных полимерных образцах в зависимости от концентрации ПСЧ, введенных в полимерную матрицу: H_0 – микротвердость эпоксиуретановой матрицы; H – микротвердость нанокомпозитных эпоксиуретановых полимеров, содержащих ПСЧ.

Исследования эпоксиуретановой матрицы свидетельствуют об однородности структуры ЭУ полимера без наполнителя (рис.2).

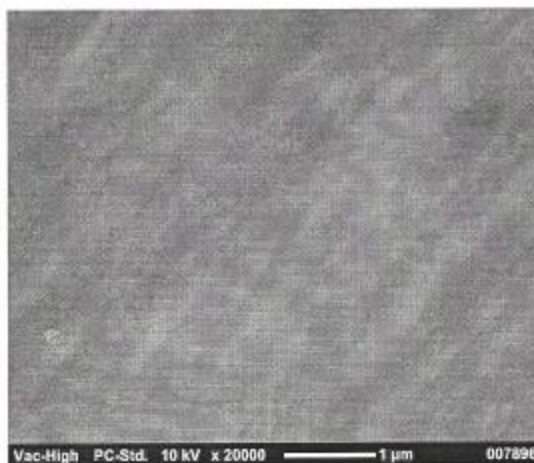


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхности скола эпоксиуретанового полимера без наполнителя.

Было установлено, что возрастание микротвердости хорошо согласуется с увеличением размеров и плотности локализации нановключений в полимерной матрице при возрастании концентрации ПСЧ (рис.3).

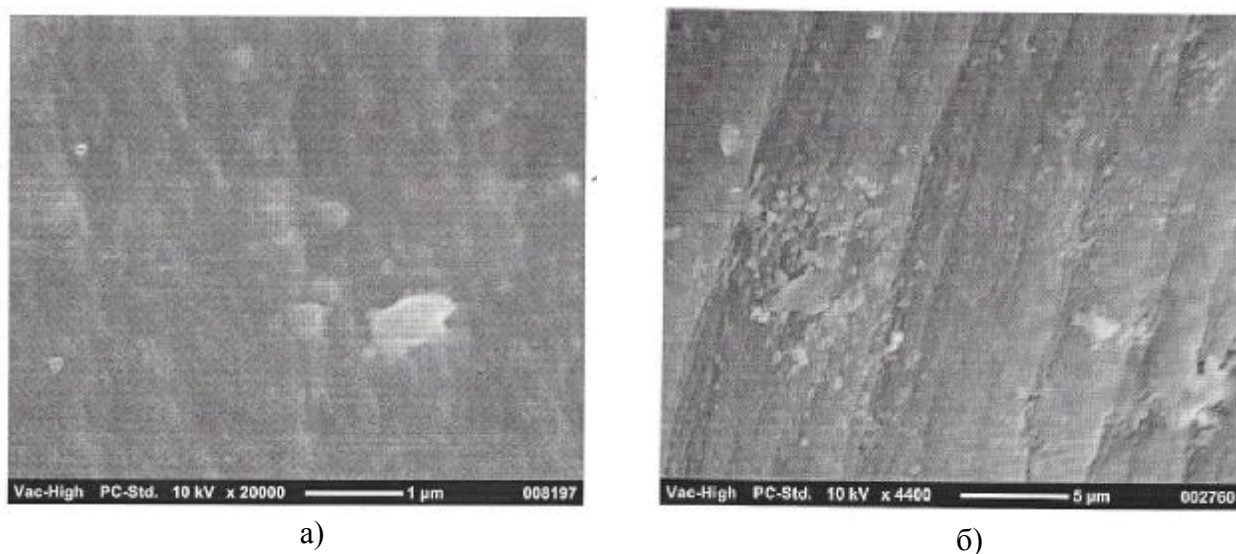


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхности скола эпоксиуретана, содержащего наполнитель в виде полисилоксановых частиц. Концентрация ПСЧ: а) $W=0,001\%$ масс. SiO_2 ; б) $W=1\%$ масс. SiO_2 .

Таким образом, проведенные в работе исследования структурных изменений, обуславливаемых изменениями концентрации ПСЧ, показали, что существует корреляция между микротвердостью и структурной эволюцией.

ІННОВАЦІЙНИЙ СПОСІБ ЗВАРЮВАННЯ АРМОВАНИХ БАГАТОШАРОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ

Таланюк В.В.^{1,2}, Гальчун А.Н.¹, Кондратенко В.Ю.¹, Аністратенко В.В.¹,
Демченко В.Л.¹, Тудженкова О.С.², Тарасенко О.О.¹, Січкач Т.Г.²,
Юрженко М.В.¹

¹ *Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України*

² *Національний педагогічний університет ім. М.П.Драгоманова*

В сучасній промисловості при газо- та водопостачанні масово використовуються одношарові та багатошарові поліетиленові та поліпропіленові труби. Наприклад, для водопостачання гарячої води використовують армовані багатошарові труби з композиційним шаром, який наповнений скловолокном, що мають коефіцієнт теплового розширення близький до коефіцієнта теплового розширення труб з фольгою. При проведенні та ремонті трубопроводів з одношарових труб традиційними способами зварювання є зварювання нагрітим інструментом встик, а для багатошарових - нагрітим інструментом враструб.

При зварюванні багатошарових труб спосіб зварювання встик не використовується, оскільки при такому зварюванні відбувається змішування шарів перпендикулярно осі зварювання, а зварне з'єднання формується лише по внутрішньому шару, що призводить до зниження його міцності відносно основного матеріалу. Зварювання враструб, зазвичай, проводиться з використанням муфт, при якому зварне з'єднання формується лише по зовнішньому шару, що також негативним чином впливає на його міцність. Для розв'язання такого ряду проблем в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України розроблено інноваційний спосіб стикового зварювання в армованих багатошарових трубах, при якому процес зварювання відбувається пошарово без проникнення одного шару в інший, їх зміщення та змішування, тобто морфологічна структура зварного з'єднання є ідентичною пошаровій структурі основного матеріалу композитної труби.

КОНЦЕНТРАЦІЇ КРОСОВЕРУ РОЗЧИНІВ ПОЛІВІНІЛОВОГО СПИРТУ У ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДІ

О.В. Хорольський, О.П. Руденко

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

Дослідження фізичних властивостей розчинів полівінілового спирту (ПВС) перспективні завдяки їх використанню у різних галузях промисловості та сільському господарстві [1], фармакології та медицині [2]. З ростом концентрації ПВС розчини змінюються від розбавлених до напіврозбавлених, а далі і до концентрованих розчинів (тобто спостерігаються різні концентраційні режими), причому структура розчинів також змінюється, переходячи від

ізолюваних макромолекул в розчині до агрегатів і утворення просторових міжмолекулярних сіток. Тому дослідження концентраційних режимів водних і неводних розчинів полівінілового спирту у широкому діапазоні концентрацій і температур є актуальними для вдосконалення способів таргетної доставки лікарських форм, створення композицій із заданими характеристиками.

Без додаткової очистки використано полівініловий спирт марки Mowiol 3-85 (Kuraray) зі ступенем гідролізу $85,2 \pm 1,0$ мол. % (ПВС-I), а також марки Mowiol 4-98 (Kuraray) зі ступенем гідролізу $98,4 \pm 0,4$ мол. % (ПВС-II). Як розчинники використано двічі дистильовану воду і диметилсульфоксид $((\text{CH}_3)_2\text{SO}$, ДМСО) марки “фарм”, який витримували над NaOH і переганяли при низькому тиску (3-5 мм. рт. ст.).

Експериментально досліджені кінематична в'язкість і густина розчинів полівінілового спирту у воді та диметилсульфоксиді з концентраціями від 0,2 до 20 мас. % в інтервалі температур (293-363) К з використанням стандартних методик. Розчини готували гравіметрично. Кінематична в'язкість ν досліджувалась за допомогою капілярних віскозиметрів з капілярами різних діаметрів, причому похибка вимірювань не перевищувала 2 %. Густина ρ визначалась пікнометричним методом з похибкою 0,05 %.

Для обробки експериментальних даних розчинів полівінілового спирту у воді та диметилсульфоксиді були розраховані характеристичні в'язкості, які залежать лише від природи полімеру і не залежать від його концентрації. Екстраполюючи концентраційну залежність приведеної в'язкості до нульової концентрації, отримуємо характеристичну в'язкість полімеру [3]:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left(\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 C} \right), \quad (1)$$

де η – в'язкість розчину полімеру, η_0 – в'язкість розчинника, C – концентрація розчину у масових частках.

За значеннями характеристичної в'язкості згідно рівняння Марка-Куна-Хаувінка [3] для розбавлених розчинів полівінілового спирту віскозиметричним методом у межах концентрацій $C = (0,2 \div 0,8)$ мас. % визначали середньов'язкісну молекулярну масу \bar{M}_η :

$$[\eta] = K_\eta \bar{M}_\eta^\alpha, \quad (2)$$

де K_η – константа системи полімер-розчинник, яка залежить від температури, полідисперсності, розгалуженості тощо; α – величина, пов'язана з жорсткістю ланцюгів, конформацією макромолекул і термодинамічного стану розчинника. Згідно з [3], при температурі 303 К для водних розчинів полівінілового спирту маємо $K_\eta = 6,66 \cdot 10^{-4}$ дл/г і $\alpha = 0,64$, а для розчинів ПВС в диметилсульфоксиді – $K_\eta = 0,26 \cdot 10^{-4}$ дл/г і $\alpha = 0,79$. Отже, використані об'єкти є низькомолекулярними полівініловими спиртами з середніми ступенями полімеризації $\bar{p} \sim 300$ та середньов'язкісною молекулярною масою $\bar{M}_\eta = 12200$ г/моль для ПВС-I, а також $\bar{p} \sim 600$ та $\bar{M}_\eta = 17200$ г/моль для ПВС-II.

У теорії розбавлених розчинів полімерів характеристична в'язкість використовується як критерій для оцінки концентраційного режиму розчину. Як правило, у розбавлених розчинах гнучколанцюгових полімерів обособлені макромолекули знаходяться у згорнутих клубкоподібних конформаціях [4]. Зі зростанням концентрації полімеру структура розчину змінюється, переходячи від ізольованих макромолекул до агрегатів і міжмолекулярної сітки зачеплень при досягненні критичної концентрації перекриття макромолекулярних клубків C^* – початку так званої області кросоверу. Для гнучколанцюгових полімерів критичну концентрацію кросоверу C^* можна визначити експериментально віскозиметричним методом [4]:

$$C^* = \frac{1}{[\eta]}. \quad (3)$$

Результати розрахунків дають наступні значення для концентрацій кросоверу: 3,64 мас. % для водного розчину ПВС-I і 2,93 мас. % для водного розчину ПВС-II, а також для розчину ПВС-I в ДМСО отримали 2,27 мас. % і для розчину ПВС-II в ДМСО – 1,74 мас. %. Тобто перехід від розбавленого до напіврозбавленого розчину ПВС у ДМСО відбувається при нижчих концентраціях, ніж перехід від розбавленого до напіврозбавленого розчину ПВС у воді. Збільшення молекулярної маси та ступеню гідролізу полімеру також призводять до зниження критичних концентрацій кросоверу.

Для концентрацій нижче концентрації кросоверу застосуємо модельну теорію Ейнштейна, яка дозволяє за віскозиметричними даними визначити розмір молекули розчиненої речовини і згідно якої молекула розчиненої речовини розглядається як тверда сфера, а розчинник – як суцільне середовище [5]. З певними застереженнями модельна теорія Ейнштейна дозволяє оцінити зміну розмірів макромолекули в розбавленому розчині зі зміною температури. Для зсувної в'язкості розчину було отримано формулу [5]:

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{5}{2} \frac{4\pi R^3}{3} n \right), \quad (4)$$

де R – радіус модельної сфери або ефективний гідродинамічний радіус молекули; n – кількість молекул розчиненої речовини в одиниці об'єму розчину. Отримані температурні залежності ефективних гідродинамічних радіусів макромолекул в розбавлених розчинах полівінілового спирту вказують на те, що зі збільшенням температури ефективні гідродинамічні радіуси макромолекул зменшуються.

Для опису концентраційної залежності ефективного гідродинамічного радіусу макромолекул полівінілового спирту у диметилсульфоксиді та воді використано співвідношення, отримане в роботі [6]:

$$R = \left(\frac{3[\eta]M}{9,3 \cdot 10^{24} (1 + ([\eta] - [\eta_0])(1 - \exp(-C/C^*))/[\eta_0])} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5)$$

де $[\eta]$ і $[\eta_0]$ – характеристична в'язкість у даному розчиннику і характеристична в'язкість при тета-умовах, C і C^* – концентрація полімеру і критична

концентрація кросоверу. В межах похибок експерименту розрахунки за співвідношенням (5) вказують на те, що зі зростанням концентрації розміри ефективних гідродинамічних радіусів макромолекул ПВС зменшуються до критичної концентрації кросоверу. Подальше зростання концентрації не призводить до значних змін ефективних гідродинамічних радіусів.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження концентраційних і температурних залежностей кінематичної в'язкості та густини розбавлених і напіврозбавлених розчинів низькомолекулярних полівінілових спиртів зі ступенями гідролізу $85,2 \pm 1,0$ мол. % і $98,4 \pm 0,4$ мол. % у диметилсульфоксиді та воді. Розрахунки показують, що для розчинів полівінілового спирту в диметилсульфоксиді критичні концентрації кросоверу нижчі, ніж для водних розчинів ПВС. Збільшення молекулярної маси та ступеню гідролізу полімеру також призводять до зниження критичних концентрацій кросоверу. Ефективні гідродинамічні радіуси макромолекул ПВС зростають у диметилсульфоксиді і при збільшенні довжини ланцюга макромолекул, а також зменшуються для усіх розчинів з ростом температури і концентрації – аж до концентрації кросоверу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ушаков С.Н. Поливиниловый спирт и его производные. В 2 томах / С.Н. Ушаков. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 1. – 553 с.
2. Braybrook J.H. Organic polymer surfaces for use in medicine: their formation, modification, characterization and application / J.H. Braybrook, L.D. Hall // *Prog. Polym. Sci.* – 1990. – Vol. 15. – pp. 715-734.
3. Геллер Б.Э. Практическое руководство по физикохимии волокнообразующих полимеров: учебное пособие для вузов / Б.Э. Геллер, А.А. Геллер, В.Г. Чиртулов. – М.: Химия, 1996. – 432 с.
4. Meng Kok C. A semi-empirical method for prediction of critical concentrations for polymer overlap in solution / C. Meng Kok, A. Rudin // *Europ. Polym. J.* – 1982. – Vol. 18, № 2. – pp. 363-366.
5. Застосування віскозиметричного методу для вивчення конфігураційних переходів у водних розчинах глюкози / Л.А. Булавін, О.М. Алексеев, Л.М. Гаркуша, Ю.Ф. Забашта, С.Ю. Ткачов // *УФЖ.* – 2011. – Т. 56, № 5. – С. 450-455.
6. Qian J.W. Prediction of hydrodynamic properties of polymer solutions / J.W. Qian, A. Rudin // *European Polymer Journal.* – 1992. – Vol. 28, № 7. – pp. 733-738.

МЕХАНІЧНА ПОВЕДІНКА ЛІОФІЛЬНИХ ГІБРИДНИХ ПОЛІМЕРНИХ НАНОСИСТЕМ

Юрженко М.В., Мамуня Є.П., Левченко В.В., Матковська О.К.,
Лебедев Є.В.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Ліофільність характеризує здатність твердих тіл до взаємодії з рідинами через міжмолекулярну взаємодію. Інтенсивна взаємодія між молекулами рідини і твердого тіла може бути охарактеризовано ліофільністю, а слабка взаємодія – ліофобністю. Найбільше ці поняття відносять до високомолекулярних сполук, а також до колоїдно-дисперсного стану твердого тіла. Ліофільні речовини добре змочуються, набухають або розчиняються у даній рідині. Кількісно ліофільність або ліофобність можна визначати декількома методами. У теплофізичному методі вимірюється кількість теплоти, яка виділилася при розчиненні, набуханні бо змочуванні речовини. Також розповсюджений метод оцінки ліофільності/ліофобності по вимірюванню крайового куту каплі рідини, нанесеної на тверду поверхню. У випадку набухаючих твердих тіл ліофільність визначається по кількості і швидкості входження рідкого сорбату в об'єм твердого сорбенту. У найбільш практично важливому випадку взаємодії речовини з водою ліофільність та ліофобність називаються гідрофільністю і гідрофобністю. Міжмолекулярні сили взаємодії в при цьому визначаються силами Ван-дер-Ваальса.

В роботі синтезовано гібридні органо-неорганічні полімерні наносистеми (ОНС) на основі макродіізоціанату МДІ (органічна фаза) і металсилікату МС (неорганічна фаза). Реакція полімеризації протікає за рахунок взаємодії вільних NCO-груп органічної частини з OH-групами металсилікату. При цьому утворюється еластична гібридна органо-неорганічна сітка МДІ/МС, яка є рідкосшитою внаслідок низького вмісту NCO-груп в МДІ. Показано, що такі гібридні наносистеми характеризуються високим рівнем водопоглинання, що може досягати тисяч відсотків, тобто відносяться до класу ліофільних, або гідрофільних. Такий ефект досягається за рахунок високого водопоглинання мінеральною фазою, яка розподілена у полімерній (органічній) фазі у вигляді нановключень з великою питомою поверхнею. Вода накопичується в міжмолекулярному просторі полімеру на поверхні мінеральної фази. Полімерна матриця має низьке водопоглинання (до 5 %) і слугує "контейнером" для накопичення сорбату (наприклад, води) завдяки своїй високій еластичності. Розроблено модель таких ліофільних гібридних полімерних наносистем.

TOPICAL SECTION 3

**CHEMISTRY OF THE CONDENSED STRUCTURE-
INHOMOGENEOUS SYSTEMS**

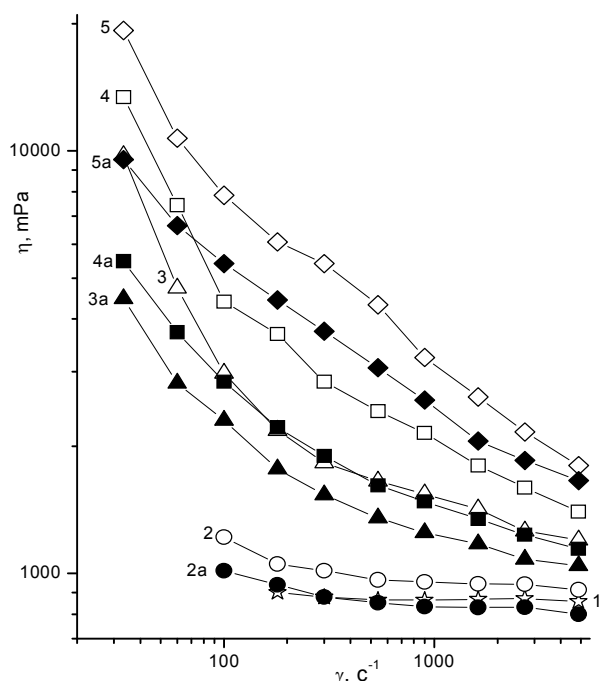
IMPACT ON STRENGTH OF ASSOCIATION CARBON NANOTUBES EPOXY OLIGOMERS VISCOSITY

T.A. Shantalii, I.L. Karpova, S.I. Lobok

Institute of Macromolecular Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine

In this paper we studied the effect carbon nanotubes (CNT) on the rheological properties epoxy oligomers (EO). Viscosity EO and mixtures thereof with the CNT measured in a rotary viscometer Reotest 2.1 (cone and plate) at shear rates $\dot{\gamma}$ from 20 s^{-1} to 4860 s^{-1} . As objects of study diene EO DER-321 and Lapox B47 and multi walled CNT were taken. CNT are in the form of associates. EO and CNT mixtures were sonicated for five minutes.

The effective viscosity η of the various concentrations EO DER-321 with CNT (0.1, 0.5, 1.0 and 1.5 wt.%) are plotted versus shear rate $\dot{\gamma}$ in double logarithmic coordinates in Figure. Initial EO is typical Newtonian flow (curve 1).



Plot of viscosity vs. shear rate for EO (1) and CNT mixture before (2-5) and after (2a-5a) sonication. Filler concentration, wt.%: 0.1 - 2; 0.5 - 3; 1.0 - 4; 1.5 - 5

Introduction CNT leads to increased viscosity of the system (curves 2-5). Sonication of the mixture (curves 2a-5a) leads to a reduction of the viscosity data compared to the starting mixtures, while not changing the character of the flow. Small amount of filler (curves 2 and 2a) does not affect the character of the flow. Increasing the concentration of the CNT (curves 3 - 5, 3a-5a) leads to an increase in both the viscosity and change the character of the flow. Viscosity decreases significantly with increasing shear rate. Such behavior is typical for viscoplastic disperse systems due to the formation of structural network filler particles. It collapses under the action of

shear stress, which leads to a decrease in viscosity of the system. Since associates have significant anisometry CNT as well as the individual tubes, they form a structure similar to the EO which form non-associated tube and confirmed that the same character of the flow. Similar behavior were observed for systems based on Lapox B47.

STRUCTURE-PROPERTIES RELATIONSHIP IN POLYMERIC SYSTEMS BASED ON BIURET-FUNCTIONALIZED POLYURETHANE WITH NANOSILVER

A.L. Tolstov, V.F. Matyushov, E.V. Lebedev
Institute of Macromolecular Science of the NAS of Ukraine

Development of polymeric functional coating is very popular area of polymer science and technology. Among many types of polyurethanes the biuret-containing polymers (or poly(urethane-biuret), PUB) attract a great attention because of high stability, excellent physical-mechanical and film-forming properties [1], controlled bioactivity [2]. The one of the most known approach to achieve a biological activity of PUB (in oligomeric or high-molecular forms) is partial hydrolysis of PUB into primary amine functionalized products with own effect on living cells or organisms [2]. However, a very prospective and non-destructive method to provide the bioactivity of PUB is an introducing nanodispersed silver into the polymer matrix.

Here we proposed an approach for preparation of nanosilver-containing PUB. An effect of silver nanoparticles (AgNP) on structural organization of cross-linked PUB matrix has been studied. PUB/AgNP nanocomposites were prepared by soaking PUB film in AgNO₃ solution in N,N-dimethylformamide until full saturation reaches followed by thermally initiated reduction of ionic silver into nanoparticulate form. Process of a formation of nanocomposite was controlled by UV-vis spectroscopy. An appearance of multimodal absorption band of plasmonic resonance with maxima at 406 and 443 nm is observed.

Features of nanophase-matrix interaction were identified by FTIR-spectroscopy. Defined changes in spectral parameters of absorption bands of NH and C=O groups of PUB is evidenced of interaction of electron donor functional groups with a surface of AgNP. Note, that more drastical bands evolution was fixed for C=O of biuret fragments of PUB matrix (possibility of FTIR spectroscopy are not allowed to separate NH functions of different structural fragments).

Because of AgNP playing a role of additional cross-linking sites an appropriate effect of inorganic nanophase on lyophilic properties of nanocomposite compared to neat PUB was observed and discussed.

LITERATURE

1. Sukhareva L.A., Legonkova O.A., Yakovlev V.S. *Polymers for Packaging and Containers in Food Industry*. Amsterdam: CRC Press, 2008.
2. Purgett M.D., Deits W., Vogl O. // *J. Polym. Sci. Polym. Chem.*-1982.-20.-P. 2477-2499.

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR FILM-CASTING OF XANTHAN/PVA FILMS FROM THE WATER SOLUTION

^{1,2}T. Yemelyanova, ²I. Lobko, ²A. Hubina

¹ National University of Kyiv-Mohyla Academy

² Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine

The idea is to develop the method of formation blends of xanthan and a polymer with lower glass transition temperature poly(vynil alcohol) (PVA). In current research the solution properties of different Xanthan/PVA mixtures were studied to specify the conformational changes of xanthan in solution and interactions with PVA to obtain the optimum conditions for development of film-casting.

The viscoelastic properties of Xanthan /PVA were investigated and then the films casted from the solutions were explored using AFM.

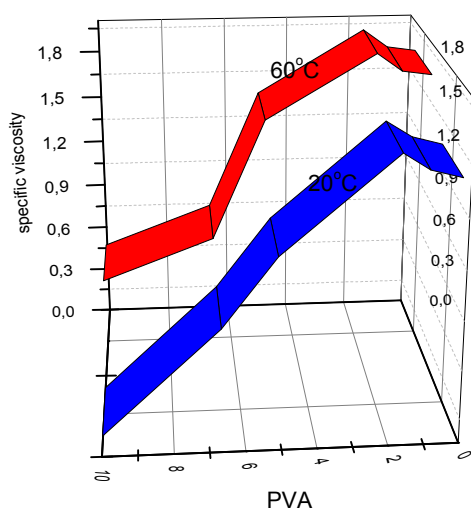


Fig. 1. Dependence of the viscosity of 0,1% solution on the different PVA-Xanthan ratio.

The 0,2% solution of the 1:10 Xanthan/PVA ratio solution showed the maximum viscosity. Formation of the specific structures on the surface of this sample was confirmed via the AFM microphotographs.

Using the viscosimetric parameters the optimal conditions for film-casting were developed as it was planned at the first stage of the research. Considering the obtained data the concentrations of 0.1 and 0.2 % were chosen for further film casting with the optimal ratios for this concentration in the range between 1:5 (PVA-Xanthan) and 1:1 (PVA-Xanthan). The obtained films are smooth and their thickness can be tuned via volume of the solution.

This research is supported by the “Green Chemistry” IUPAC/UNESCO/PhosAgro grant.

ВПЛИВ СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ СИЛОКСАНВМІСНИХ ЕПОКСИУРЕТАНОВИХ НАНОКОМПОЗИТІВ НА В'ЯЗКОПРУЖНІ ТА АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ

Н.В.Бабкіна, Л.М.Ященко

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

В останній час серед полімерних матеріалів особлива увага приділяється полімерним наноккомпозитам, які умовно характеризуються розміром часток в області нанометрів та мають цілий комплекс унікальних властивостей. Для отримання органо-неорганічних наноккомпозитів поширене використання золь-гель технологій. Перевагою даного методу є можливість в широких межах змінювати розмір та структуру неорганічного наповнювача, характер його розподілення в органічній матриці, а також регулювати властивості композиційного матеріала в цілому при варіюванні умов синтезу.

В даній роботі вивчено вплив способу формування полісилоксанових часток (ПСЧ) і їх вмісту на в'язкопружні та адгезійні властивості наповнених епоксиуретанових полімерів (нЕУ), які отримували золь-гель методом. Полісилоксанові частки отримували кислотною гідролітичною поліконденсацією тетраетоксисилану (ТЕОС). Вводили ПСЧ в епоксиуретановий олігомер (ЕУО) двома способами: через синтез SiO_2 -часток безпосередньо в середовищі поліоксіпропіленгліколя (нЕУО-1), а також через введення в поліоксіпропіленгліколя (ПОПГ) вже сформованого золя SiO_2 (нЕУО-2). В обох випадках реакція проходила при співвідношенні ТЕОС: H_2O = 1:4. Вміст полісилоксанових часток в перерахунку на SiO_2 варіювали від 0,001 до 2,0 мас.%. Наповнені епоксиуретанові полімери нЕУ-1 та нЕУ-2 отримували через змішування нЕУО-1 і нЕУО-2 відповідно з твердником (ізо-метілтетрагідрофталеvim ангідридом). За даними малокутового розсіювання рентгенівських променів розмір отриманих первинних полісилоксанових часток становить 5-80 нм.

В'язкопружні характеристики епоксиуретанових наноккомпозитів вивчали методом динамічного механічного аналізу (ДМА). З температурних залежностей тангенса механічних втрат ($\text{tg } \delta$) визначали температуру склування (T_c), а з температурних залежностей динамічного модуля пружності (E') визначали значення рівноважного модуля пружності в області плато високоеластичності ($E_{v,e}$), яке використовували для розрахунку молекулярної маси відрізків ланцюгів між вузлами зшивок (M_c).

Дослідження в'язкопружних властивостей показали, що незалежно від способу формування нЕУ, спостерігається нелінійна залежність значень T_c та M_c від вмісту ПСЧ. Встановлено, що вже при незначному вмісті SiO_2 (0,001-0,5 мас.%) формується структура з високою густиною зшивки в органо-неорганічному наноккомпозиті, про що свідчить зростання T_c та зменшення значення M_c (табл. 1 та 2).

Таблиця 1.

В'язкопружні характеристики, адгезійна міцність та значення M_c для нЕУ-1 при різному вмісті ПСЧ.

w(SiO ₂), мас. %	T _c , °C	tgδ _{max}	E _{в.е.} , МПа	σ _{відр} , МПа	M _c
0	103	0,94	2,78	28,6	4300
0,001	98	1,04	3,77	43,2	3200
0,01	120	0,73	8,03	35,8	1500
0,1	120	0,88	7,56	35,0	1600
0,5	130	0,55	9,80	33	1240
1,0	105	1,10	1,92	35	6330
2,0	100	0,89	1,74	17,5	7020

структурні перетворення, які призводять до збільшення гнучкості макромолекул, що утворюють полімерну матрицю. Це може бути пов'язане з утворенням кремнійорганічного поліетеру.

Для нЕУ-2, що отримані другим способом, тобто при формуванні неорганічної складової зовні середовища ПОПГ, значне зростання густини сітки відбувається вже при мінімальних концентраціях ПСЧ (значення M_c зменшується більш, ніж в 3 рази) і, на відміну від нЕУ-1, густина зшивки залишається високою і при більш високих вмістах ПСЧ, що може свідчити про формування просторової неорганічної сітки з полісилоксанових часток в структурі епоксиретанової матриці, що приводить до зміцнення полімеру в цілому.

Показано, що при зростанні в сітчастих полімерах неорганічної складової, утвореної різними способами, також спостерігається нелінійний характер змін адгезійної міцності клейових з'єднань (σ_{відр}) для алюмінію (табл. 1 та 2).

Таким чином, в результаті дослідження в'язкопружних та адгезійних властивостей встановлено, що топологічна структура отриманих золь-гель методом силоксанвмісних епоксиретанових полімерів залежить від способу їх отримання. Однак, незалежно від способу формування епоксиретанових нанокompозитів вже при незначному вмісті SiO₂ (0,001-0,5 мас.%) формується структура з високою густиною зшивки і спостерігається нелінійна залежність T_c, M_c та σ_{відр} від вмісту полісилоксанових часток в полімері.

Збільшення T_c та зниження tgδ_{max} для нЕУ-1 при підвищенні вмісту SiO₂ в межах від 0,01 до 0,5 мас.% свідчить про обмеження рухливості полімерних ланцюгів в присутності ПСЧ, і може бути наслідком значної міжфазної взаємодії між частками наповнювача і полімерною матрицею, а, також утворення додаткових вузлів зшивки. Але зниження T_c і підвищення tg δ_{max} при подальшому збільшенні вмісту SiO₂ свідчить про те, що в полімерній системі відбуваються

Таблиця 2.

В'язкопружні характеристики, адгезійна міцність та значення M_c для нЕУ-2 при різному вмісті ПСЧ.

w(SiO ₂), мас. %	T _c , °C	tgδ _{max}	E _{в.е.} , МПа	σ _{відр} , МПа	M _c
0	103	0,94	2,78	28,6	4300
0,001	130	0,65	9,60	28,0	1270
0,01	125	0,70	7,07	32,0	1700
0,01	140	0,61	11,17	27,0	1100
0,5	127	0,63	6,60	27,0	1840
1,0	113	1,02	5,47	24,0	222

ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІВІНІЛОВОГО СПИРТУ ТА КРЕМНІЄВОЇ КИСЛОТИ

І.М. Бей, О.В. Слісенко, В.Л. Будзінська

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Полівініловий спирт (ПВС) є водорозчинним синтетичним полімером, який, завдяки комплексу цінних властивостей (доступність, низька токсичність, біосумісність, висока гідрофільність, здатність до біодеградації тощо) знаходить широке застосування в різноманітних галузях для виготовлення адгезивів, мембран, систем доставки ліків, чутливих елементів тощо. Зокрема, велика кількість досліджень спрямована на отримання і вивчення полімерних гідрогелів на основі ПВС та його композитів з іншими полімерами або наповнювачами.

Метою даної роботи було дослідження кінетики сорбції води органо-неорганічними композитами на основі сітчастого полівінілового спирту та кремнієвої кислоти конденсованою *in situ*. Як зшиваючий агент для ПВС було використано глутаровий альдегід, реакцію проводили у кислому середовищі при температурі 80°C. Синтезовано зразки ПВС з різним ступенем зшивки та ОНК на його основі з різним вмістом неорганічної складової. Для отриманих зразків було досліджено кінетику водопоглинання за нормальних умов, а також вплив густини зшивки ПВС та вмісту кремнієвої кислоти на основні сорбційні характеристики.

СТРУКТУРА І ТЕРМОДИНАМІКА ВЗАЄМОДІЙ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВІ ПУ/ПГЕМА ВПС ТА БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

О.М. Бондарук¹, Л. В. Карабанова¹, Ю.П. Гомза¹, С.Д. Несін¹,
Е.Ф.Воронін², Л.В. Носач²

¹*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України*

²*Інститут хімії поверхні ім. О.О.Чуйка НАН України*

Синтезовані наноккомпозити на основі багатокомпонентної полімерної матриці, що складається з поліуретану (ПУ) та полі(2-гідроксиетил-метакрилату) (ПГЕМА), та наповнювачів на основі кремнезему з механо-активованою поверхнею та з поверхнею, модифікованою амінокислотою гліцин та сульфатом цинку. Наповнювачі в кількості 1-15% вводили в системи на стадії синтезу ПУ.

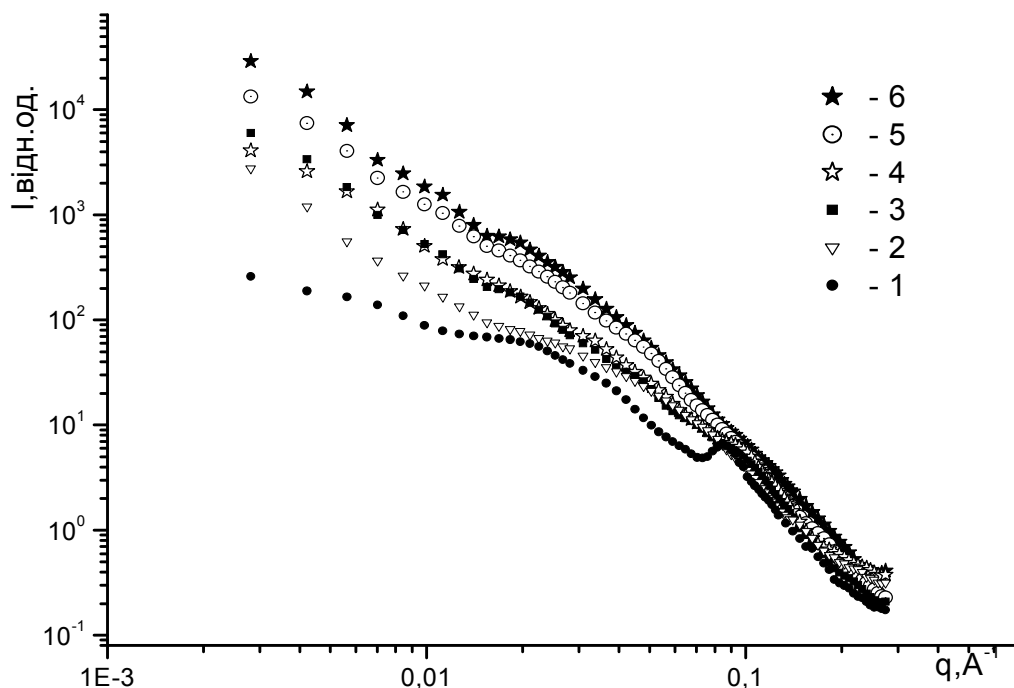


Рис.1- Експериментальні залежності інтенсивності розсіювання $I(q)$ від вектора розсіювання q для зразків: 1- напів-ВПС з 17% ПГЕМА; 2,3,4,5,6- напів-ВПС з 17% ПГЕМА+1%;3%;5%;10%;15% наповнювача денсил відповідно

Проведено дослідження структурних особливостей одержаних наноккомпозитів методом малокутового рентгенівського розсіювання [1]. У вихідній полімерній матриці на основі тривимірного поліуретану і лінійного полі-(2-гідроксиетилметакрилату), структура і синтез якої описані в роботі [2], – встановлена наявність двох ієрархічних рівнів гетерогенності. Введення навіть мінімальної кількості (1 мас %) нанонаповнювача денсилу кардинально змінює характер розсіюваної інтенсивності (рис.1). Практично повністю зникає дифракційний (поліуретановий) максимум та максимум ВПС. Це може свідчити про нерівномірний розподіл наповнювача, про його переважну концентрацію в одному з доменів матриці. При введенні модифікованих наповнювачів масово-фрактальний характер просторового розподілу часток зберігається (рис.2,3) Однак шорсткість поверхні частинок зростає через формування поверхневого шару на межі розділу з наповнювачем.

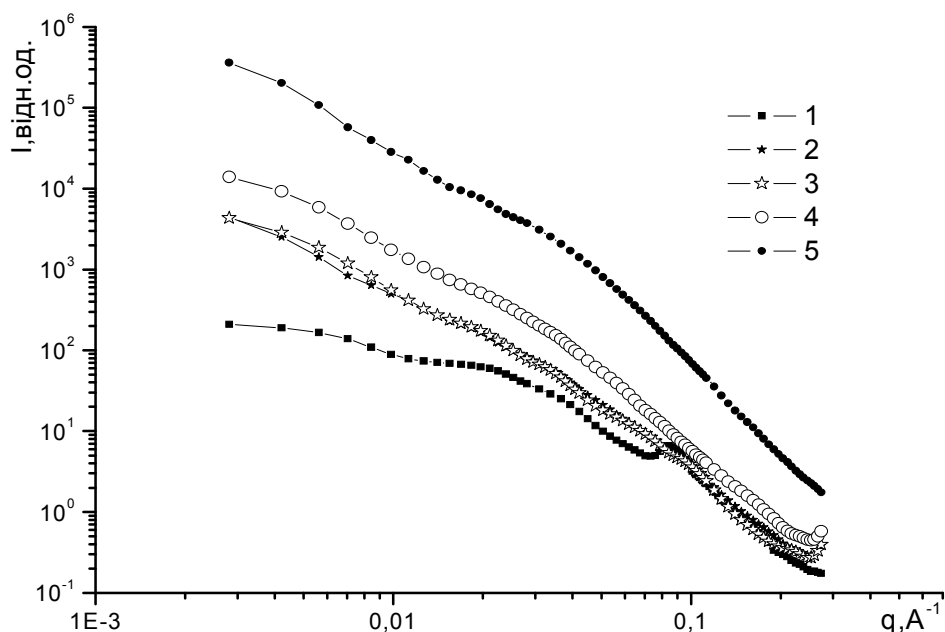


Рис.2 - Експериментальні залежності інтенсивності розсіювання $I(q)$ від вектора розсіювання q для зразків: 1- напів-ВПС з 17% ПГЕМА; 2,3,4- напів-ВПС з 17% ПГЕМА+3%;5%;15% наповнювача відповідно; 5-наповнювач з гліцином

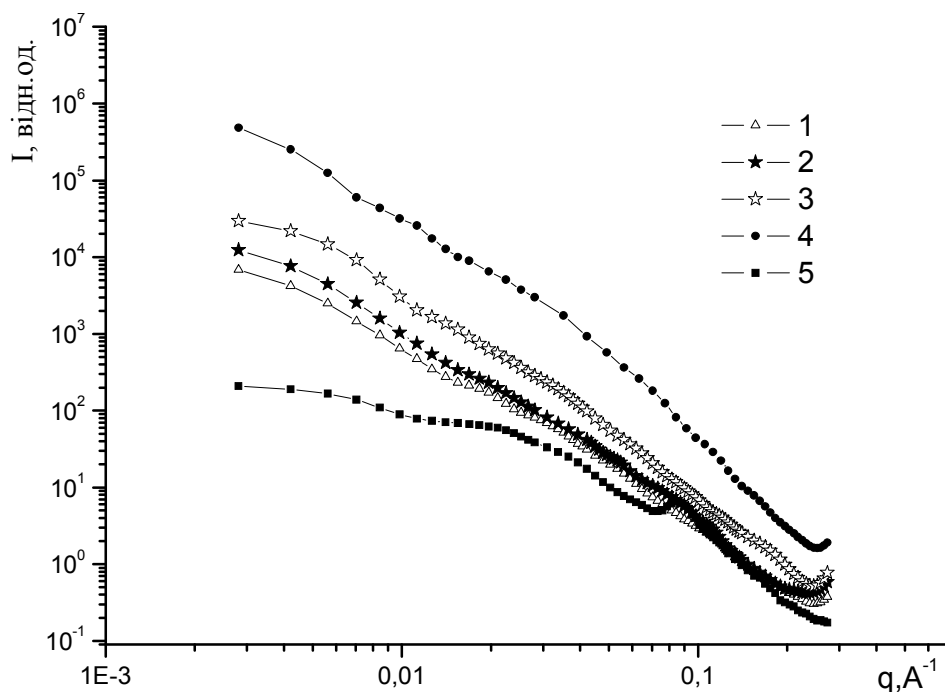


Рис. 3 - Експериментальні залежності інтенсивності розсіювання $I(q)$ від вектора розсіювання q для зразків: 1- напів-ВПС з 17% ПГЕМА; 2,3,4- напів-ВПС з 17% ПГЕМА+3%;5%;15% наповнювача відповідно; 5-наповнювач з сульфатом цинку

На основі експериментальних даних з дослідження сорбції парів розчинників зразками нанокompatитів проведена оцінка термодинамічної спорідненості полімерних компонентів, що складають матрицю, до наповнювачів. Ізотерми сорбції парів зразками нанокompatитів отримували із застосуванням вакуумної установки з терезами Мак-Бена. Експериментальні значення ізотерм сорбції використовували, щоб розрахувати значення вільної

енергії змішування полімерних компонентів з наповнювачами при формуванні нанокомпозитів. Показано, що вільна енергія взаємодії полімерних компонентів і наповнювачів залежить від складу полімерної матриці. Для нанокомпозитів, з матрицями напів-ВПС з 17 % ПГЕМА, вона негативна в усьому діапазоні концентрацій наповнювача, що свідчить про термодинамічну сумісність між матрицею і наповнювачем (Табл.1). Найменше значення вільної енергії змішування Гіббса мали зразки напів-ВПС 17 ПГЕМА з наповнювачем, модифікованим сульфатом цинку і напів-ВПС 37 ПГЕМА з наповнювачем, модифікованим амінокислотою гліцин(рис.4).

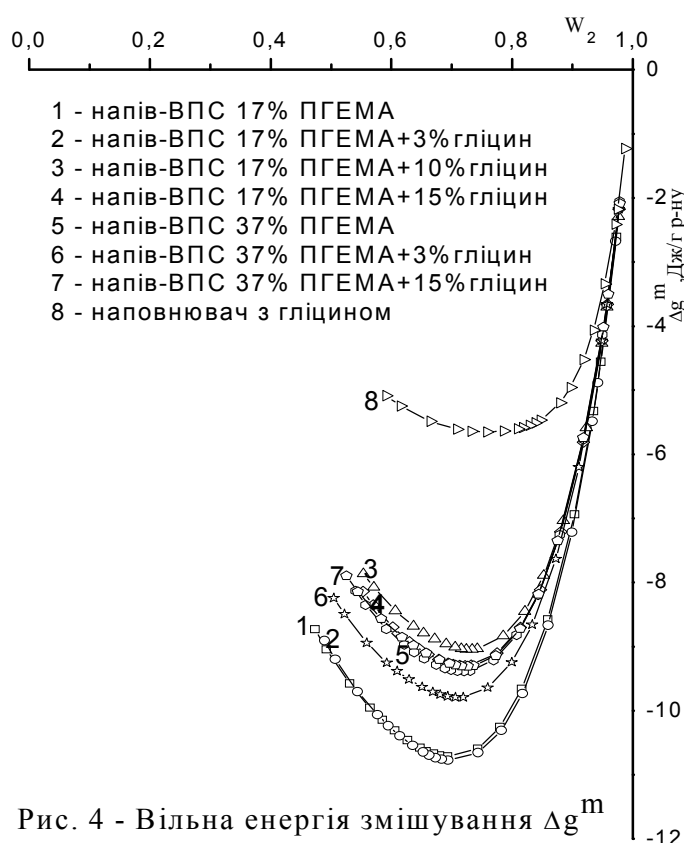


Рис. 4 - Вільна енергія змішування ΔG^m полімерів та наповнювача з хлористим метиленом

Таблиця 1 - Вільна енергія взаємодії напів-ВПС з нанонаповнювачем денсилом $\Delta G^*_{п-н}$ відносно концентрації останнього

Склад зразка	Вільна енергія взаємодії полімер-наповнювач $\Delta G^*_{п-н}$
Напів-ВПС з 17% ПГЕМА + 3% денсилу	-3,155
Напів-ВПС з 17% ПГЕМА + 10% денсилу	-5,111
Напів-ВПС з 17% ПГЕМА + 15% денсилу	-4,915
Напів-ВПС з 37% ПГЕМА + 3% денсилу	+0,554
Напів-ВПС з 37% ПГЕМА + 10% денсилу	+0,023
Напів-ВПС з 37% ПГЕМА + 15% денсилу	-1,544

**Робота виконана в рамках проекту №6.22.7.21 ДЦНТІ
“Нанотехнології і Наноматеріали”**

ЛІТЕРАТУРА

1. Ю.С.Липатов, В.В.Шилов, Ю.П. Гомза, Н.Е.Кругляк, Рентгенографические методы изучения полимерных систем.- Киев: Наукова думка, 1982.- 296 с.
2. В.В.Шилов, Л.В.Карабанова, L.David, G.Boiteux, G. Seytre, Ю.П.Гомза, С.Д.Несин, Л.М.Сергеева, Е.Д.Луцык, А.В.Святына // Полимерный журнал. - 2005.- Т.27.-С. 255-267.

**ВПЛИВ МОЛЕКУЛЯРНОЇ МАСИ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ НА
СОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ КОМПОЗИТІВ**

В.Л. Будзінська, І.М. Бей, О.В. Слісенко

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

У останні десятиріччя асортимент композиційних матеріалів все більше розширюється впровадженням різних полімерних матеріалів. Деякі із композитів мають настільки унікальні та специфічні властивості, що їх прийнято називати «smart materials». Сучасні тенденції «розумних матеріалів» знайшли широке використання в області створення ліофільних (суперпоглинаючих) матеріалів. За останні роки створення органо-неорганічних композитів які є ліофільними (розглядається як висока здатність до поглинання розчинників) привертає все більшу увагу через їх дешевизну та широке використання.

В роботі створено серію органо-неорганічних композитів (ОНК) на основі макродіізоціанату (МДІ) різної молекулярної маси (а саме 1052 та 2052) та модифікованого природним полісахаридом силікату натрію (СН). Для синтезу ОНК використовували МДІ на основі олігооксипропіленгліколю ММ 1052 і толуїлендіізоціанату (суміш ізомерів 2,4 – 65% і 2,6 – 35%) кількість NCO-груп складала $7 \pm 0,5\%$. Полісахаридом природного походження був обраний агар-агар, для роботи готували 15%-розчин агар-агару у СН, використовували для роботи свіже приготовлені розчини агар-агару. Зразки ОНК отримували шляхом змішування компонентів до гомогенного стану з наступним формуванням у вигляді плівок у тефлоновій формі. Співвідношення МДІ:СН становило 60:40 мас.ч., вміст агар-агару у композиті – близько 1,5 % від маси реакційної суміші.

Вивчено хімізм формування ОНК методом ІЧ-спектроскопії, та встановлено, що природний полімер виступає в якості наповнювача, при цьому хімічно не зв'язується із складовими системи. Введення модифікатору сприяє збільшенню фізико-механічних параметрів ОНК (міцність при розтязі зростає з 1,5 МПа до 4 МПа, а відносне подовження при розтязі збільшується вдвічі).

Дослідження сорбційних параметрів зразків ОНК показало, що сорбційна ємність матеріалу, який містить агар-агар вища у 10 разів в порівнянні з вихідною не модифікованою системою. Також визначним параметром сорбційної ємності ОНК є молекулярна маса органічної складової. ОНК на основі МДІ ММ 2052 характеризуються високими значеннями сорбційної ємності (2500%) в порівнянні з композитами на основі МДІ з ММ 1052 (1100%).

Визначення експлуатаційних характеристик створених ОНК, а саме визначення фізико-механічних параметрів композитів, дозволило встановити, що після проведення циклу водопоглинання подовження при розтязі збільшується на 30% при цьому композити не руйнуються, що дає змогу рекомендувати такі системи для багаторазового використання.

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА ТА ТЕРМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПУ/ПОСС НАНОКОМПОЗИТІВ

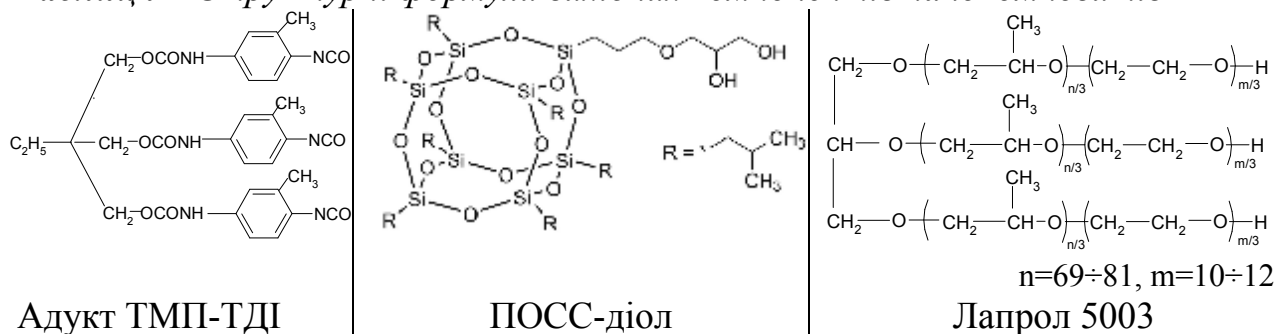
Л. А. Гончарова¹, Д. О. Климчук², В. І. Сапсай², Л. В. Карабанова¹

¹Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,

²Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України

Наноккомпозити є новим класом матеріалів, в яких незначні домішки нанонаповнювачів дозволяють отримати суттєві зміни у властивостях. Покращених властивостей набувають дані сполуки, коли полімерна матриця хімічно зв'язується з нанонаповнювачем. В таких випадках нанонаповнювач має бути функціоналізованим, як, наприклад, 1,2-пропандіолізобутил-ПОСС (ПОСС-діол, Таблиця). Наявність двох реакційноздатних гідроксигруп у складі периферичного замісника ПОСС-діола дозволяє йому реагувати з діізоціанатами, вбудовуючись в основний полімерний ланцюг наноккомпозитів [1-3].

Таблиця – Структурні формули вихідних компонентів наноккомпозитів



В даній роботі використовували ПОСС-діол для отримання поліуретанвмісних (ПУ/ПОСС) нанокомпозитів і досліджували вплив вмісту дигідроксифункціоналізованого наноаповнювача на їхні структурні і термічні властивості.

ПУ/ПОСС нанокомпозити синтезували в два етапи: на першому отримали прекурсор – адукт триметилпропану з толуїлендіізоціанатом (адукт ТМП-ТДІ) за методикою [4], до якого на другій стадії додавали гідроксилвмісний компонент для формування поліуретанової сітки - трифункціональний олігоєфіргліколь з мол. масою ~5000. ПОСС-діол вводили на стадії формування ПУ, варіюючи вміст від 1 до 10 мас.%. Зразки отримували у вигляді плівок завтовшки ~1 мм.

ІЧ-спектри пропускання всіх зразків реєстрували на ІЧ-спектрометрі з Фур'є перетворенням TENSOR 37 (фірми «BRUKER») в діапазоні хвильових чисел 400-4000 cm^{-1} . Термічні властивості нанокомпозитів досліджували методами динамічної сканувальної калориметрії (ДСК) і термогравіметричного аналізу (ТГА) в інертній атмосфері. Морфологію ПУ/ПОСС нанокомпозитів вивчали за допомогою сканувальної електронної мікроскопії (SEM).

Процес взаємодії адукту з ПОСС-діолом досліджували за допомогою ІЧ-спектроскопії на прикладі модельної системи (рис. 1). Вихідний ПОСС характеризувався сильними поглинаннями за довжин хвиль 1108, 742 і 481 cm^{-1} , що відповідали коливанням Si-O-Si октаедричної структури: асиметричним і симетричним валентним та деформаційним, відповідно, а також дуже широкою смугою валентних OH-груп з максимумом 3420 cm^{-1} , сумарною смугою 839 cm^{-1} валентних коливань Si-C в ізобутильній групі ПОСС і деформаційних коливань C-O-N [1]. В області 2870-2955 cm^{-1} проявлялися валентні коливання C-H в CH_3 , CH_2 , CH -групах органічних замісників ПОСС.

Порівняльний аналіз ІЧ-спектрів вихідних компонентів і модельної системи до термозатверджування (рис. 1) свідчив про наявність смуг валентних та деформаційних коливань як адукту, так і ПОСС в ній. Після термозатверджування модельної системи адукт-ПОСС на ІЧ-спектрах одночасно зі зменшенням інтенсивності поглинання NCO смуги 2275 cm^{-1} спостерігали зростання інтенсивності піків валентних і деформаційних NH в області 3320-3400 cm^{-1} і 1537 cm^{-1} , відповідно, валентних C=O 1710-1740 cm^{-1} , валентних CN 1223 cm^{-1} . Причому пік валентних ν_{NH} вільних (3410 cm^{-1}) зростав стрімкіше, що підтвердило проходження реакції уретаноутворення за рахунок хімічної взаємодії ізоціанатних груп адукту з OH-групами ПОСС [5].

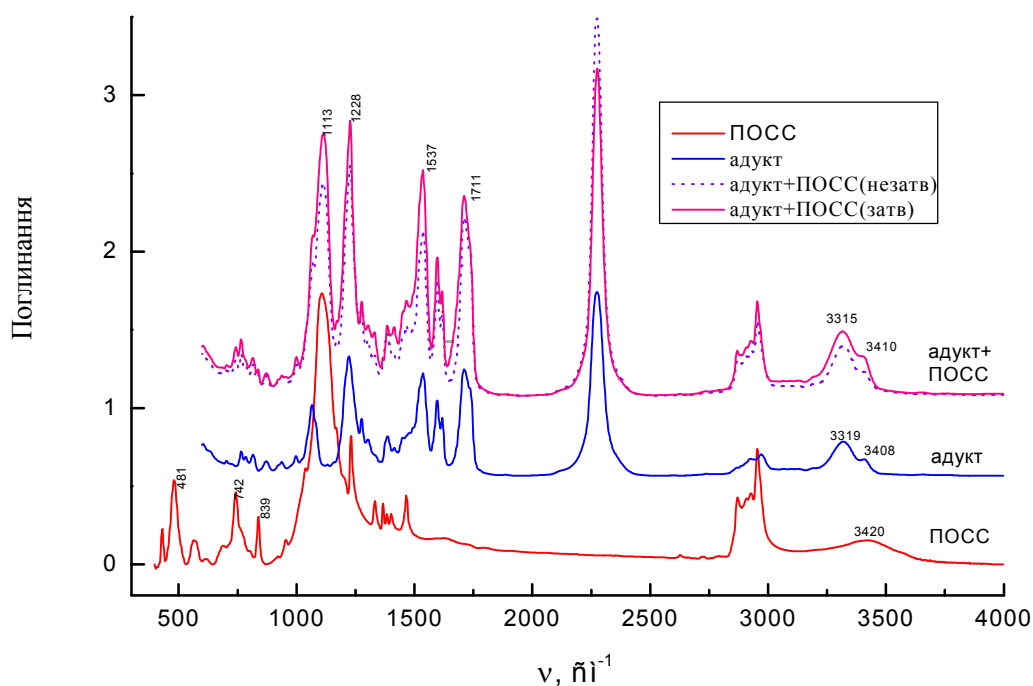


Рис. 1 ІЧ-спектри вихідних адукту, ПОСС та модельної системи адукт+ПОСС до та після термозатверджування

З даних ДСК (друге нагрівання) (рис. 2а) було виявлено зростання температур склування зі збільшенням вмісту ПОСС в ПУ матриці на $2,37^{\circ}\text{C}$: з $T_{\text{СКЛ}} = -61,13^{\circ}\text{C}$ для вихідного ПУ до $T_{\text{СКЛ}} = -59,76^{\circ}\text{C}$ і $-58,76^{\circ}\text{C}$ для ПУ/ПОСС наноккомпозитів з 1 і 10 мас.% ПОСС, відповідно.

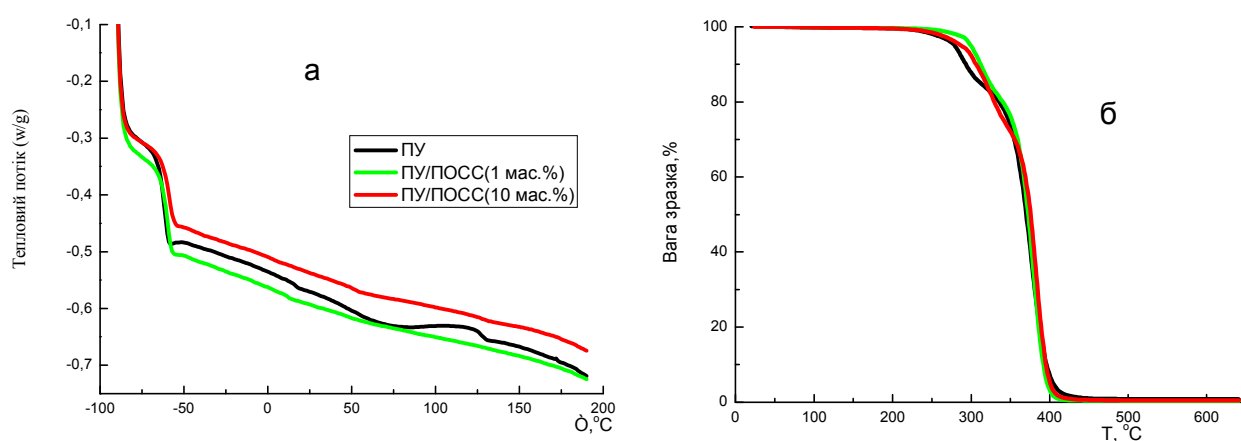


Рис. 2. Термограми ДСК (а) і ТГА (б) для ПУ і наноккомпозитів ПУ/ПОСС

Аналіз кривих ТГА (рис. 2б) свідчив про складність проходження процесу деструкції, що відбувався в дві основні стадії. На першій стадії (288°C) відбувалася деструкція простих ефірних фрагментів ПУ матриці, оскільки

відомо, що олігомери на основі розгалуженого спирта – триметилпропана – починають розкладатися за температури 300°C. Для ТМП характерна найменша втрата маси і низька швидкість розкладу на цій стадії [6]. Максимальні значення швидкості деструкції, отримані на другій стадії, ($T_{d(\text{макс})}$), відповідали розкладу уретанових зв'язків ПУ/ПОСС нанокompозитів. Із збільшенням вмісту ПОСС $T_{d(\text{макс})}$ зміщувались в сторону більш високих температур: з 376°C для вихідного ПУ до 379°C і 382°C для нанокompозитів з вмістом ПОСС 1 і 10 мас.%, відповідно. До того ж, отримані ПУ/ПОСС нанокompозити демонстрували високе зростання температури початку деструкції ПУ матриці в інертній атмосфері $T_{d(\text{поч.})}$ із введенням до її складу ПОСС-діолу: $\Delta T_{d(\text{поч.})}=24^\circ\text{C}$. Причому найвищу $T_{d(\text{поч.})}$ мали ПУ/ПОСС нанокompозити з мінімальним вмістом нанонаповнювача.

З даних, отриманих методом СЕМ (рис. 3), видно, що зі збільшенням вмісту ПОСС в нанокompозитах структура зразків із однорідної стає більш сегрегованою. При максимальному вмісті 10 мас.% ПОСС-діолу в ПУ поряд із сегрегацією спостерігалась агрегація ПОСС частинок у вигляді прямокутних мікродоменів. Очевидно, що ПОСС-діол, введений в ПУ матрицю, відіграє роль наноструктуруючого агента. В результаті формується більш впорядкована структура нанокompозитів, що приводить до отримання матеріалів з покращеною термостабільністю.

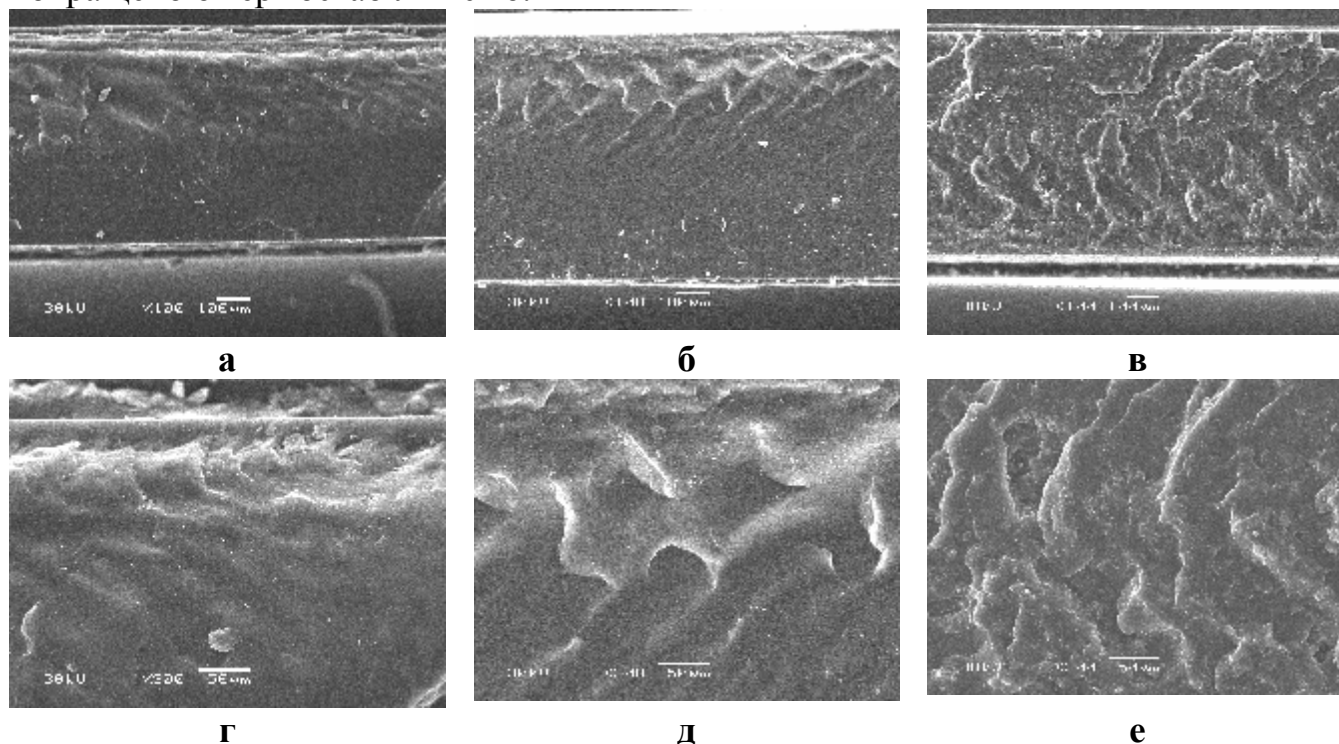


Рис. 3 Мікрофотографії поперечного перерізу ПУ (а,г) та нанокompозитів ПУ/ПОСС з 1 (б, д) і 10 (в,е) мас. % ПОСС з різним збільшенням ($\times 100$; $\times 300$)

Автори висловлюють подяку співробітникам Центрів Колективного Користування науковими Приладами (ЦККП) НАН України «Термофізичні дослідження та аналіз» в ІХВС НАН України за проведення досліджень методами ІЧ-спектроскопії з Фур'є перетворенням, ДСК і ТГА, а також

співробітникам ЦККП НАН України в інституті ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України за проведення досліджень методом СЕМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lai Y.S., Tsai C.W., Yang H.W. et al. // *Mat. Chem. Phys.* – 2009. – 117, №1. – P.91–98.
2. Wang W., Guo Y., Otaigbe J.U. // *Polymer.* – 2009. – 50. – P.5749–5757.
3. Huitron-Rattinger E., Ishida K., Romo-Uribe A., Mather P. T. // *Polymer.* – 2013. – 54. – P.3350–3362.
4. Karabanova L.V., Boiteux G., Gain O. et al // *Polymer International.* – 2004. – 53, №3. – P.2051–2058.
5. Синтез и физико-химия полиуретанов, вып. 5. / Под. ред. Ю.С. Липатова. – Киев: Наук. думка. – 1967.
6. Кремнийорганические полиуретаны / Кузнецова В. П., Ласковенко Н.Н., Запунная К.В. – Киев: Наук. думка. – 1984.

ОЛИГОМЕРНЫЕ МОДИФИКАТОРЫ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ПОЛУЧЕННЫЕ БЕЗИЗОЦИАНАТНЫМ МЕТОДОМ

Гудзенко Н.В., Бубнова А.С., Бусько Н.А.,
Баранцова А.В., Грищенко В.К.

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины

Целью данного исследования являлась разработка методов модификации промышленных алкидных смол функционализированными олигомерами, и получение на их основе покрытий с улучшенными физико-механическими показателями.

Растительные масла являются перспективным, экологически чистым сырьем для получения полимерных материалов. Строение растительных масел, которые представляют собой триглицериды жирных кислот различной молекулярной массы, содержащие ненасыщенные связи, функциональные группы, позволяют получать на их основе полимерные материалы различного назначения.

Среди безизоцианатных методов синтеза полиуретанов реакция циклокарбонатной и первичной аминогруппы является наиболее технологичной (взаимодействие происходит быстро при комнатной температуре). Это позволяет избежать использования токсичных изоцианатов и исключить прохождение побочных реакций при получении полиуретановых материалов и использовать при этом доступное сырье.

Олигоамидуретаны были получены путем взаимодействия высоконенасыщенных растительных масел с алифатическими аминами и

циклокарбонатом соевого масла в соотношении 3:2 (циклокарбонатная:аминогруппа).

Реакционную смесь термостатировали при перемешивании при 40°C в течение 5,5 ч. Методом ИК-спектроскопии контролировали прохождение реакции по исчезновению интенсивности полосы поглощения циклокарбонатной группы 1803 см^{-1} , уменьшению сложноэфирной группы 1740 см^{-1} и появлению полос поглощения 1680 см^{-1} , 3348 см^{-1} , 1531 см^{-1} колебания NH уретановых групп.

Полученный модификатор олигоамидуретан был введен в количестве до 5% масс. в алкидную смолу. Изучение закономерностей формирования алкидуретанов показало повышение адгезии и стойкости в агрессивных средах, что дает возможность использовать модифицированные композиции для покрытий на металлических поверхностях.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО ИМПЛАНТАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ИММОБИЛИЗИРОВАННЫМ МЕТИЛУРАЦИЛОМ

Д.В.Кулеш, Л.Ю.Нечаева, Н.А.Галатенко

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины

В последнее время, перспективным направлением в области полимерной химии является разработка новых и модификация существующих полимерных материалов для использования их в качестве имплантатов в медицине. При этом актуальной задачей является иммобилизация биологически активных веществ на полимерных матрицах, пролонгированное высвобождение которых направлено на уменьшение негативных последствий при имплантации, а также на проведения местного лечебного эффекта, стимулирующего более быстрое и безболезненное выздоровление. Это, главным образом, касается ингибирования воспалительных процессов в месте имплантации, ускорения процессов клеточной регенерации.

Целью данного исследования было получение полимерного имплантационного материала на основе сетчатого полиуретана с иммобилизованным иммуномодулятором – метилурацилом, исследование его физико-механических свойств, определение динамики выхода метилурацила с полимерной матрицы, а также оценка биоактивности и биосовместимости полученного материала при имплантации в организм экспериментальных животных.

Метилурацил относится к классу синтетических иммуномодуляторов, биологическое действие которого направлено на улучшение трофики тканей и стимуляцию процесса регенерации. Нами были получены полимерные образцы

на основе сетчатого полиуретана с разным процентным содержанием метилурацила.

В результате проведенной работы показано, что метилурацил не меняет своей химической структуры при иммобилизации на полимерном носителе, а его иммобилизация на полиуретане происходит за счет образования водородных связей. Установлено, что 78,5% метилурацила пролонгировано высвобождается с полимерной матрицы на протяжении 84 суток. При этом, ударная доза метилурацила (50%) высвобождается уже до 14 суток, что может положительно влиять на протекание клеточных реакций в месте имплантации и способствовать повышению эффективности регенераторных процессов в окружающих имплантат тканях.

Для изучения биоактивности и биосовместимости полимерного материала с метилурацилом была проведена имплантация исследуемых образцов в организм лабораторных животных. Гистологические исследования показали, что полиуретановые имплантаты с метилурацилом обладают биоактивностью, что проявлялось в формировании более тонкой и зрелой соединительнотканной капсулы вокруг имплантируемых образцов, являются нетоксичными и биосовместимыми материалами перспективными для использования в медицинской практике в качестве имплантатов.

СТАН ЙОНУ Fe^{3+} У СІТЧАСТОМУ ПОЛІУРЕТАНІ ЗА ДАНИМИ ЕПР АНАЛІЗУ

Лобко Є.В., Гаголкіна З.О.

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Координаційне оточення парамагнітних іонів, в тому числі Fe^{3+} , а також будову утворених ним комплексів можна безпосередньо проаналізувати, використовуючи спектри ЕПР. Це здійснюється завдяки чутливості таких параметрів спин-Гамільтоніану, як g (g -фактор).

На рис. 1 приведені ЕПР спектри парамагнітного йону Fe^{3+} в $Fe(acac)_3$, зареєстровані при температурах 110 та 300 К в кристалічному стані, в розчині хлороформ/толуол (40/60) та в СПУ матриці. Видно (рис. 1, а), що спектр кристалічного $Fe(acac)_3$ при 300 К, як і слід було очікувати, має ізоморфну будову зі значенням паралельного g -фактору $g_{\parallel} = 2,18$. При цьому ширина лінії становить 2316 Гс.

Для розділення спектру обрано суміш розчинників хлороформ/толуол (40/60). Так, на спектрі ізольованого $Fe(acac)_3$ в розчині хлороформ/толуол (40/60) при 110 К (рис. 1, б) спостерігається резонанс в низькопольовій частині спектра з піками, яким відповідають значення g -факторів 4,30 та 7,96. Це є типовим для високоспінних комплексів Fe^{3+} з ромбічною симетрією, проте з дещо спотвореною низькосиметричною будовою.

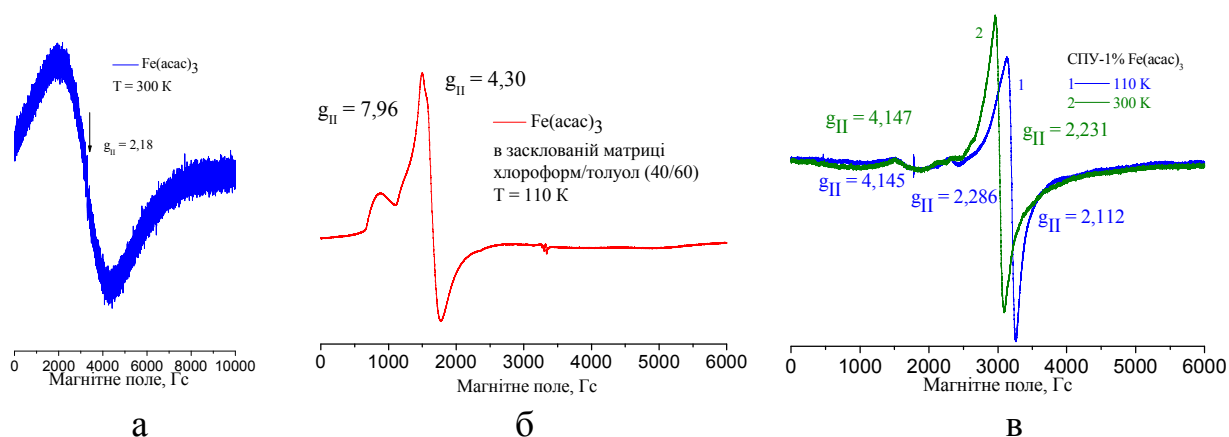


Рис. 1. ЕПР спектри $Fe(acac)_3$ в кристалічному стані при 300 К (а), ізолюваного в матриці хлороформ/толуен (40/60) 110 К (б), в СПУ-1% $Fe(acac)_3$ 300 К (в, крива 1) та в СПУ-1% $Fe(acac)_3$ 300 К (в, крива 2).

Для системи СПУ/1% $Fe(acac)_3$, як при 300 (рис. 1, в, 2), так і при 110 К (рис. 1, в, 1), спостерігається декілька сигналів, що свідчить про формування кількох типів комплексів різної симетрії. Так, сигнали з g -факторами 2,112, 2,231 та 2,286 характерні для низькоспінового Fe^{3+} зі спотвореним октаедричним оточенням з аксіальною симетрією, що вказує на додаткове комплексоутворення $Fe(acac)_3$ з електронно-донорними групами СПУ. Разом з тим, частково зберігається і спотворена ромбічна симетрія комплексу з $g \approx 4,145 \pm 0,002$.

ВПЛИВ КАТАЛІТИЧНОАКТИВНОГО $Fe(acac)_3$ НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ СИСТЕМ ПОЛІУРЕТАН/ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ

Лобко Є.В.¹, Гаголкіна З.О.¹, Яковлев Ю.В.¹, Лисенков Е.А.², Клепко В.В.¹

¹Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

²Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського

Введення в поліуретан вуглецевих нанотрубок (ВНТ) у невеликих кількостях може надавати діелектричній матриці електропровідності. При цьому оптимальні значення рівнів електропровідності будуть залежати від розподілу ВНТ в об'ємі матриці. Цей розподіл визначається такими факторами як будови полімеру, наповнювача, умови та швидкість формування композиту та інше.

Нами синтезовано сітчасті поліуретани (СПУ) з введеним *in situ* ацетилацетонатом Fe^{3+} ($Fe(acac)_3$), що володіє каталітичною активністю. СПУ було синтезовано через стадію форполімеру на основі 2,4-/2,6-толуїлендіізоціанату(80/20) та поліпропіленгліколю з $M_w = 1000$, зшивання проводили триметилпропаном. ВНТ (від 0,02 до 3%мас.) разом з $Fe(acac)_3$ (1%мас.) вводили в СПУ *in situ* на стадії зшивання у вигляді дисперсії в

дихлорометані. Дисперсію ВНТ в дихлорометані готували за допомогою УЗ-диспергатора.

Результати дослідження каталітичного впливу $\text{Fe}(\text{acac})_3$ за допомогою ІЧ-спектроскопії на конверсію NCO-груп (рис. 1) показали, що введення *in situ* $\text{Fe}(\text{acac})_3$ в реакційну масу прискорює реакцію - у 5,5 разів.

При формуванні композитів СПУ/ВНТ/1% $\text{Fe}(\text{acac})_3$ перколяційний перехід спостерігається при концентрації ВНТ 0,02% (рис. 2). Це супроводжується зростанням рівня електропровідності майже на 7 порядків від $4,5 \cdot 10^{-11}$ (для СПУ/1% $\text{Fe}(\text{acac})_3$) до $1,1 \cdot 10^{-4}$ См/см (СПУ/3% ВНТ/1% $\text{Fe}(\text{acac})_3$). Це пов'язано, по-перше, зі стабілізацією нанотрубок та суттєвим зменшенням їх вторинної агрегації за рахунок каталітичного ефекту $\text{Fe}(\text{acac})_3$; по-друге, завдяки координаційній взаємодії $\text{Fe}(\text{acac})_3$ з СПУ, що підтверджено за допомогою ЕПР.

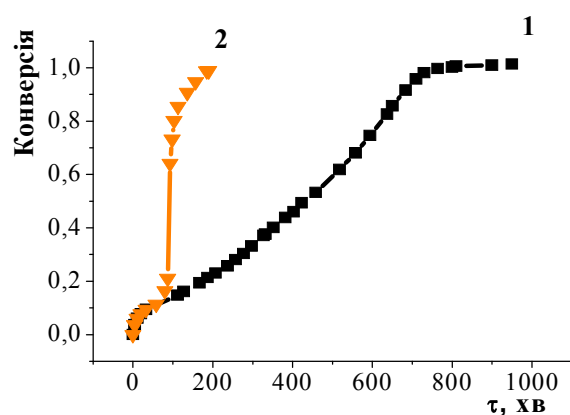


Рис. 1. Конверсія ізоціанатних груп для СПУ без модифікатора (1) та СПУ з введеними *in situ* $\text{Fe}(\text{acac})_3$ (2).

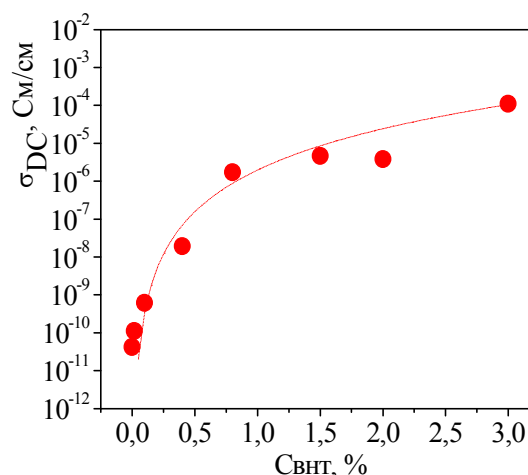


Рис. 2. Концентраційна залежність електропровідності при постійному струмі для СПУ/ВНТ/1% $\text{Fe}(\text{acac})_3$.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕПОКСИ-АКРИЛАТНИХ ВЗАЄМОПРОНИКНИХ ПОЛІМЕРНИХ СІТОК

Т. Ф. Самойленко, Н. В. Ярова, О. О. Бровко, Л. О. Воронцова
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Епоксидно-акрилатні взаємопроникні полімерні сітки (ВПС) отримано фотополімеризацією суміші олігомерів під дією УФ-лампи у кисневих (к) та безкисневих умовах (б/к). Як акрилатну складову (Акр.) використали триетиленглікольдиметакрилат, як епоксидну (Е) – епоксидні смоли різної будови: циклоаліфатичну УП-650 Т (Е-1), аліфатичну УП-650 Д (Е-2) та діанові ЕД-20 (Е-3) і Епікот-828 (Е-4), а як фотоініціатор – Саркат 1011 (суміш трифенілсульфонієвих гексафлуорофосфатних солей).

Для ВПС, які є складними полімерними системами, фазова структура є однією з найважливіших характеристик. Методом світлової мікроскопії показано однофазність усіх досліджуваних сітках. Проте такі результати

Таблиця 1

Сполука	n_D^{20}
Акр.	1,46354
Е-1	1,49055
Е-2	1,48815
Е-3	1,58061
Е-4	1,56761

можуть спостерігатися і для гетерогенних систем при близьких значеннях показників заломлення вихідних компонентів або при формуванні фазових неоднорідностей з розмірами менше довжини хвилі видимого світла (~500 нм). Дані рефрактометричного аналізу (табл. 1) показують, що не всі показники заломлення є близькими, тому щонайменше на результати дослідження ВПС на основі Е-3 і Е-4 цей фактор не впливає.

Таблиця 2

Сітка	$T_{\text{скл}}, ^\circ\text{C}$	Плече ($T, ^\circ\text{C}$)	
ТЕГДМ	177	–	–
Е-1	119	–	–
Е-2	49	–	–
Е-3	102	–	–
Е-4	100	–	–
Акр.: Е-1 (б/к)	138	–	–
Акр.: Е-1 (к)	145	80	–
Акр.: Е-2 (б/к)	50	100	–
Акр.: Е-2 (к)	50	100	138
Акр.: Е-3 (б/к)	125	–	–
Акр.: Е-3 (к)	122	157	–
Акр.: Е-4 (б/к)	120	–	–
Акр.: Е-4 (к)	120	172	–

Для детальнішого дослідження структурних особливостей ВПС було використано метод динамічного механічного аналізу (ДМА). За даними ДМА для деяких ВПС (отриманих переважно при наявності кисню повітря) уже виявлено деяку фазову неоднорідність, яка проявляється у вигляді плеча основного піка (табл. 2) на графічних залежностях $\text{tg}\delta-T$. Решта ВПС, так як і вихідні однофазові сітки, характеризуються наявністю одного α -релаксаційного переходу.

Зважаючи на термодинамічну несумісність більшості пар полімерів, одержані результати можна пояснити

формуванням фазових доменів з малими розмірами, недоступних для виявлення методом оптичної мікроскопії, а також – досягненням кінетичної сумісності компонентів у певних умовах синтезу ВПС.

ХІМІЧНА СТІЙКІСТЬ ПОЛІЗОЦАНАТ/СИЛКАТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДО ДІЇ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

О.В. Слісенко, І.М. Бей, В.Л. Будзінська

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України

Завдяки високим показникам хімічної та механічної стійкості композиції на основі водного розчину силікату натрію знайшли своє застосування як ущільнювачі поверхонь мостів, стін, будівельних плит та блоків [1], для захисту та герметизації споруд з бетону або цегли, гідроізоляції басейнів, резервуарів

для води, укріплення та захисту зовнішніх і внутрішніх поверхонь бетонних каналізаційних колекторів і труб від агресивних стічних вод.

В роботі одержано органо-неорганічні композити (ОНК) на основі ПЩ, SiO_2 та біфункціональної органосилікатної домішки та вивчено вплив агресивних середовищ на фізико-механічні характеристики ОНК. Для синтезу ОНК використовували ПЩ на основі дифенілметандіізоціанату (48 мас.%) і поліізоціанату (52 мас.%, $M_w = \sim 1100$) зі вмістом NCO-груп 31 % та водний розчин силікату натрію з концентрацією ~ 50 мас.%. В якості пришвидшувача тверднення використовували 2-аміноетил-3-амінопропилтриметоксисилан (АПТС). Співвідношення ПЩ/ SiO_2 становило 60/40 мас.ч, кількість АПТС склала 0,5 мас.ч. на 100 мас.ч. суміші ПЩ/ SiO_2 . Синтез проводили змішенням компонентів та витримкою зразків на повітрі для завершення тверднення композицій.

Методом ІЧ-спектроскопії встановлено, що утворення ОНК відбувається за рахунок хімічної взаємодії NH_2 -груп АПТС з NCO-групами ПЩ, а також сіланольних груп, що утворюються при гідролізі алкоксильних груп АПТС з функціональними групами неорганічної складової, яка за своєю природою є колоїдним розчином полікремнієвої кислоти. При формуванні ОНК спостерігається перебіг реакцій NCO-груп з водою з утворенням полісечовини.

Стійкість ОНК до дії агресивних середовищ (технічна вода, 3% розчин H_2SO_4 , технічна олія) вивчали методом витримки в них зразків протягом 30 та 90 діб з наступним випробуванням зразків на міцність (табл.).

Зразок	Міцність на стискання (витримка 30 діб), МПа				Міцність на стискання (витримка 90 діб), МПа			
	повітря	3% H_2SO_4	технічна вода	технічна олія	повітря	3% H_2SO_4	технічна вода	технічна олія
ПЩ/ SiO_2 60/40	45,2	56,6	66,9	51,5	73,9	89,4	80,9	73,6
ПЩ/ SiO_2 /АПТС 60/40/0,5	48,3	55,7	51,4	71,3	89,1	54,8	66,2	68,8

ЛІТЕРАТУРА

1. Larosa-Thompson J., Gill P., Scheetz B.E., Silsbee M.R. Sodium silicate applications for cement and concrete // Proc. 10th Int. Congr on the Chem. of Cement – 1997.

АЛКОКСИСИЛИЛЬНАЯ ПРОТОННАЯ ОЛИГОМЕРНАЯ ИОННАЯ ЖИДКОСТЬ И ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПРОТОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ЕЕ ОСНОВЕ

Стрюцкий А.В.¹, Клименко Н.С.¹, Гуменная М.А.¹, Яковлев Ю.В.¹, Собко О.А.¹, Лобок С.И.¹, Корсканов В.В.¹, Лысенков Э.А.², Клепко В.В.¹, Шевченко В.В.¹

¹*Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины*

²*Николаевский национальный университет им. В.А. Сухомлинского*

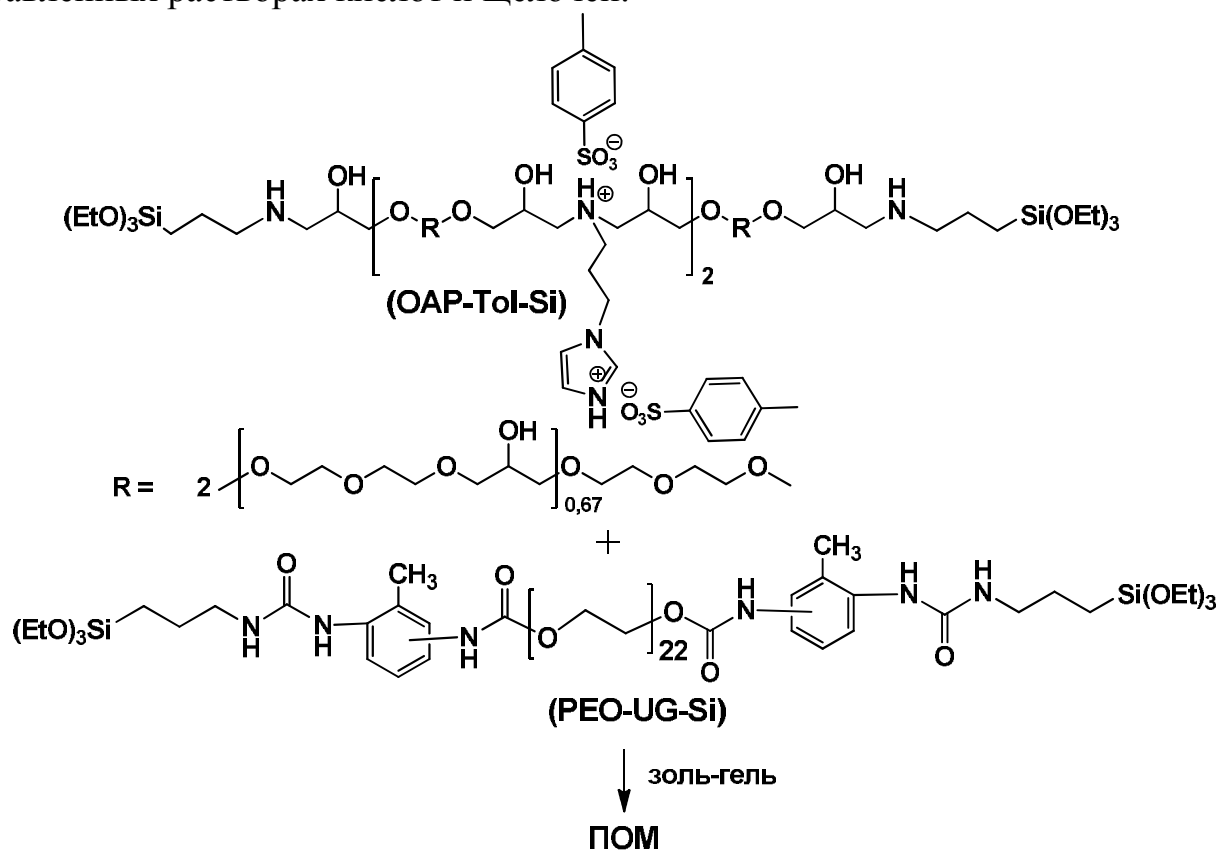
Одним из основных направлений развития полимерэлектrolитных топливных элементов является придание им возможности функционировать в безводных условиях при температурах выше 100°C. Перспективным решением этой задачи является создание наноструктурированных гибридных органо-неорганических полимерных протонобменных мембран (ПОМ) золь-гель методом. Наличие неорганического силсесквиоксанового каркаса в составе таких мембран обеспечивает их высокую термическую стабильность и механическую прочность, а органическая составляющая придает им необходимую эластичность. Другим подходом к повышению эффективности работы полимерэлектrolитных топливных элементов является замена водной протонпроводящей среды в составе ПОМ на безводную. В качестве таковой перспективным является использование ионных жидкостей, которые, однако, склонны к диффузии из объема мембран. В то же время направление использования в синтезе ПОМ протонных олигомерных ионных жидкостей (ОИЖ), сочетающих в себе высокую проводимость низкомолекулярных ионных жидкостей, высокую вязкость олигомерных соединений, препятствующую их диффузии, и олигоэфирную ионпроводящую составляющую остается неразработанным.

В данном исследовании разработан метод синтеза алкоксисилильной протонной ОИЖ (ОАР-Tol-Si), сочетающей в себе способность к золь-гель превращениям, протонодонорные и протонпроводящие свойства, и способ получения органо-неорганических ПОМ на ее основе.

Синтез ОИЖ ОАР-Tol-Si осуществляли реакцией избытка алифатических эпоксидных олигомеров с 1(3-аминопропил)имидазолом с последующим блокированием эпоксидных групп полученного олигомера 3-аминопропилтриэтоксисиланом и нейтрализацией основных групп 4-толуолсульфокислотой. Следует подчеркнуть, что наличие триэтоксисилильных групп в составе синтезированной ОИЖ придает ей способность к гидролитической конденсации, имидазолий-тозилатных ионожидкостных групп – протонодонорные свойства, а в сочетании с оксиэтиленовой составляющей и свойства протонпроводящей среды. В качестве соолигомера в синтезе ПОМ предложено производное олигоэтиленоксида молекулярной массы 1000 с концевыми триэтоксисилильными уретанмочевинными фрагментами (PEO-UG-Si).

Синтез ПОМ осуществляли как гидролитической гомополиконденсацией полученной в данной работе ОИЖ ОАР-Tol-Si, так и ее соконденсацией с

олигомером PEO1000-UG-Si при их соотношениях 25 : 75; 50 : 50; 75 : 25 соответственно. Золь-гель процесс проводили с использованием 0,1н HCl в количестве, обеспечивающем стехиометрическое соотношение воды к этоксильным группам. Синтезированные материалы представляют собой прозрачные гибкие пленки, нерастворимые в органических растворителях, разбавленных растворах кислот и щелочей.



Химическое строение синтезированной ОИЖ и ПОМ на ее основе исследовано методом ИК-спектроскопии. По результатам ДСК установлено, что данные мембраны характеризуются аморфной структурой с T_g в области отрицательных температур. При этом наблюдается снижение T_g с увеличением содержания олигоэтиленоксидного соолигомера PEO1000-UG-Si, что обусловлено влиянием гибкоцепного олигоэфирного фрагмента. Синтезированные мембраны термически стабильны до $(230-250)^\circ\text{C}$, а их статическая обменная емкость в зависимости от содержания ОИЖ составляет $(0,48-1,88)$ мэкв/г. Методом диэлектрической релаксационной спектроскопии исследована протонная проводимость синтезированных материалов в безводных условиях, уровень которой составляет $(10^{-5}-10^{-4})$ См/см при температурах $100-120^\circ\text{C}$. При этом наблюдается рост величин проводимости и термической стабильности ПОМ с увеличением содержания ОИЖ в их составе.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ЭПОКСИДИРОВАНИЯ ЖИДКОФАЗНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ TiO_2 НА ПОВЕРХНОСТЬ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ

А.Л. Толстов, В.Ф. Матюшов, Е.В. Лебедев

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины

В настоящее время интенсивное развитие получило направление по каталитическому эпексидированию ненасыщенных соединений в гетерогенных условиях. Основным фактором, обусловившим развитие данной области химической технологии, является опасность использования пероксидных соединений и специфичность условий (оборудования) при газофазном окислении непредельных соединений кислородом. Использование новых наноструктурированных катализаторов эпексидирования ненасыщенных соединений на основе диоксида титана (TiO_2) позволяет существенно упростить данный процесс и сделать конечный продукт более дешевым. В данной работе для получения композитных катализаторов эпексидирования ненасыщенных соединений в гетерогенных условиях использовался метод жидкофазного осаждения TiO_2 на поверхность дисперсных субстратов, представляющих собой природные силикатные минералы. Согласно разработанной методике в дисперсию минерального субстрату в воде вводится расчетное количество прекурсора TiO_2 и, в ряде случаев, силикатного связующего для улучшения процесса структурирования слоя TiO_2 на поверхности частиц минералов.

Согласно известным на данный момент результатам исследований подобных катализаторов, ключевым фактором их успешного получения является формирование в поверхностном слое композитного катализатора повышенной концентрации активных центров – атомов титана с тетраэдральной координацией и уменьшение концентрации неактивных октакоординированных атомов титана. Результаты исследования образцов композитов методом диффузионного рассеяния/отражения в УФ области спектра свидетельствуют о том, что использование связующего позволяет повысить концентрацию тетракоординированного титана (полоса поглощения с максимумом $\sim 240\text{-}250$ нм). При этом для композитов характерно наличие максимума при 280 нм, обусловленного существенной долей октакоординированного титана в поверхностном слое систем и высокая степень поглощения УФ излучения в диапазоне >400 нм. Силикатное связующее, увеличивая долю активных центров в композитах, также ингибирует процесс кристаллизации TiO_2 , что, учитывая высокую фотоактивность кристаллических модификаций анатаза и брукита, предотвращает нежелательную фотохимическую деструкцию исходных веществ.

Полученные композиты использованы в качестве катализатора эпексидирования ненасыщенных соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang Y., Wang G., Yang M., Tan L., Dong W., Luck R. // J. Colloid Interface Sci.-2011.-353.-P. 519-523.
2. Notari B. // Adv. Catal.-1996.-41.-P. 253-334.

РЕЗИСТИВНІ СЕНСОРИ ПАРІВ АЦЕТОНУ НА ОСНОВІ КОМПОЗИТІВ СІТЧАСТИЙ ПОЛІУРЕТАН/НАНОТРУБКИ

Яковлев Ю.В., Лобко Є.В., Гаголкіна З.О.

Інститут хімії високомолекулярних сполук Національної академії наук України

Полімери, наповнені вуглецевими нанотрубками, викликають значний інтерес з боку дослідників завдяки можливості створення на їх основі матеріалів, що знаходять широке промислове застосування. Використання таких полімерних композитів як матеріалів для сенсорних пристроїв на пари розчинників має ряд переваг завдяки дешевизні та відносній легкості створення сенсорів на їх основі.

Зокрема, використання як матриці для створення сенсорних матеріалів сітчастих поліуретанів (СПУ) дає можливість формувати тонкі плівки для значного підвищення чутливості сенсорів, забезпечувати високу стабільність та відтворюваність результатів завдяки сітчастій будові полімеру, а також надавати селективності матеріалу за рахунок модифікації хімічної будови полімеру в широких межах.

Сенсорні композити було виготовлено на основі СПУ та багатошарових вуглецевих нанотрубок (СПУ/ВНТ). СПУ було синтезовано через стадію форполімеру на основі 2,4-/2,6-толуїлендіізоціанату(80/20) та поліпропіленгліколю з $M_w = 1000$, зшивання проводили триметилпропаном. Дисперсію ВНТ в дихлорометані готували за допомогою УЗ-диспергатора та вводили в СПУ *in situ* на стадії зшивання. Проводили сорбцію/десорбцію парів ацетону. Схематичне зображення установки наведено на рис. 1.

Як видно з рис. 2 адсорбція парів ацетону веде до значного зменшення опору сенсорів на основі СПУ/ВНТ.

Проте, типовою є протилежна поведінка, коли під дією парів розчинника відбувається набухання полімеру та збільшення відстані між електропровідними частинками (розрив електропровідного перколяційного кластеру з ВНТ), що супроводжується зростанням опору сенсора. Можливим поясненням характеру відклику сенсорів в нашому випадку, відомого в літературі як ефект від'ємного коефіцієнту відклику на пари розчинника (NVC), є реорганізація наночастинок при набуханні матриці з утворенням більшої кількості контактів між ВНТ.

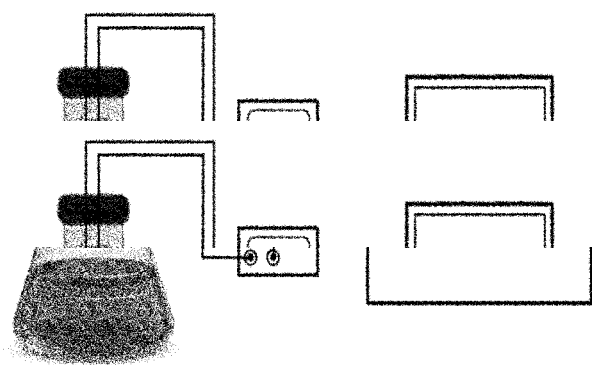


Рис. 1. Схема вимірювального обладнання.

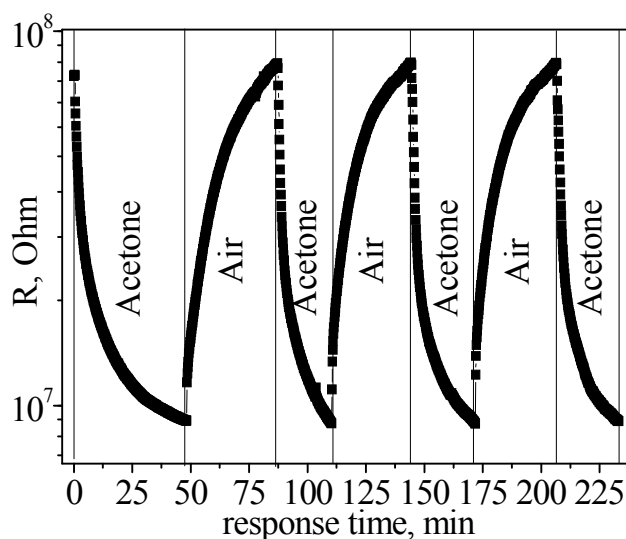


Рис. 2. Залежність опору від часу для СПУ/ВНТ сенсорів на пари ацетону.

Такий ефект можливий за наявності ряду умов: по-перше, концентрація нанотрубок в системах знаходиться поблизу, але менше порогу перколяції, по-друге, при адсорбції розчинника відбувається зміна взаємодії між матрицею та наповнювачем. При меншій за поріг перколяції концентрації наповнення в системі відсутній неперервний кластер з безпосередньо контактуючими ВНТ, і провідність системи забезпечується тунелюванням та/або механізмом стрибкової провідності.

Адсорбція ацетону веде до зменшення взаємодії матриці з групами присутніми на поверхні ВНТ, що приводить до утворення більшої кількості прямих контактів між ВНТ та суттєвого зменшення опору. Десорбція розчинника в сухому повітрі веде до покращення взаємодії між матрицею та наповнювачем з руйнуванням контактів між ВНТ та, відповідно, збільшенням опору сенсору.

TOPICAL SECTION 4

**THEORETICAL ASPECTS OF PHYSICS
CHEMICAL RESEARCHES OF THE CONDENSED
SYSTEMS**

ВПЛИВ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ПАДАЮЧОГО СВІТЛА НА ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА МАСИВОМ ВПОРЯДКОВАНИХ ЛАНЦЮЖКІВ СФЕРИЧНИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК

В.І. Бойчук, І.В. Білінський, Р.І. Пазюк, К.М. Кропивницька
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Дослідження одновимірних надграток з впорядкованих напівпровідникових квантових точок викликає значний науковий інтерес, як для вивчення фундаментальних фізичних ефектів, так і практичного використання.

У роботі [1] досліджувалась надгратка вертикально зв'язаних КТ GaAs в матриці $Al_xGa_{1-x}As$, розташованих вздовж еліптичного квантового дроту. Показано, що енергетичний спектр електрона у надгратках з КТ є чергуванням парних і непарних дозволених і заборонених мінізон енергій, а положення та кількість мінізон визначаються розмірами КТ; ширина дозволених мінізон – товщиною і висотою потенціальних бар'єрів.

Авторами [2] отримано коефіцієнт поглинання для прямих міжпідзонних переходів у 3D-надгратці сферичних квантових точок кристалу GaAs у матриці $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.2, \dots, 1.0$). Обчислення показали, що в дипольному наближенні електронні переходи дозволені між $1s$ - та $1p_z$ -підзонами. Коефіцієнт поглинання характеризується двома максимумами, що відповідають переходам електронів з хвильовими векторами в центрі та на краю зони Бріллюена.

У запропонованій роботі досліджено вплив поляризації падаючого світла на коефіцієнт поглинання світла масивом одновимірних ланцюжків сферичних квантових точок. В ході дослідження розраховано енергетичний спектр електрона для $1s$ - та трьох $1p$ -підзон для різних радіусів КТ та концентрацій Al в матриці $Al_xGa_{1-x}As$ згідно методики [2]. Розглянуто взаємодію електромагнітної хвилі терагерцової області частот з електронною підсистемою надгратки. Досліджено поглинання світла для прямих міжпідзонних переходів електронів та розглянуто коефіцієнт поглинання світла електронного переходу з s -подібної у три p -подібні підзони в дипольному наближенні.

Встановлено наявність максимумів коефіцієнта поглинання на краях області поглинання в результаті міжпідзонних переходів за встановленими правилами відбору та його залежність від положення рівня Фермі. Показано, що максимальне значення коефіцієнта поглинання досягається для хімічного потенціалу, що дорівнює енергії електрона між s -, p -подібними зонами і слабо змінюється з температурою. При зміні напрямку падіння лінійно поляризованої світлової хвилі з перпендикулярного до ланцюжків напрямку на паралельний ширина смуги поглинання різко зменшується. Ширина смуги поглинання також зменшується і при збільшенні радіуса КТ з одночасним зсувом її в довгохвильову область. Отримано, що коефіцієнт поглинання не залежить від способу поляризації (лінійно чи циркулярно) світла, якщо воно падає паралельно до ланцюжків КТ. Зміна напрямку падіння світла на перпендикулярний призводить до появи квазірезонансної смуги всередині

області поглинання. Це зумовлено електронними переходами не лише між $1s$ - та $1p_z$, але й між $1s$ - та $1p_x$, $1p_y$ -підзонами.

ЛІТЕРАТУРА

1. V.A.Holovatsky, V.I.Gutsul, O.M.Makhanets, Rom. Journ. Phys. **52**, 327 (2007).
2. В.І.Бойчук, І.В.Білінський, Р.І.Пазюк Журнал фізичних досліджень, **19**, №1/2. – с.1601(1) (2015).

АНАЛИЗ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКАРБОНАТА

А.М. Катц, П.И. Кушнерик

Николаевский национальный университет им. В. О. Сухомлинского

Еще в конце 19-го века Максвелл положил начало исследованию вопроса об обобщенной проводимости. После этой теории было описано множество методов решение задачи о проводимости смеси. В частности стоит отметить формулу, поданную в источнике [1], которая однако не до конца решает вопроса о проводимости, так как зависит от коэффициента, который обусловлен структурой и другими параметрами смеси и в общем случае неизвестен.

$$\lambda = \langle \lambda \rangle - K \frac{\varphi_1 \varphi_2 (\lambda_1 - \lambda_2)^2}{(\lambda_1 \varphi_2 + \lambda_2 \varphi_1)} \quad (1)$$

Данное сообщение посвящено сравнению результатов эксперимента с теоретическими предсказаниями. А именно использованы формула Максвелла и метод Лихтенкера. Помимо этого, полуэмпирическим методом получен коэффициент K в формуле (1) для пары матрица - наполнитель.

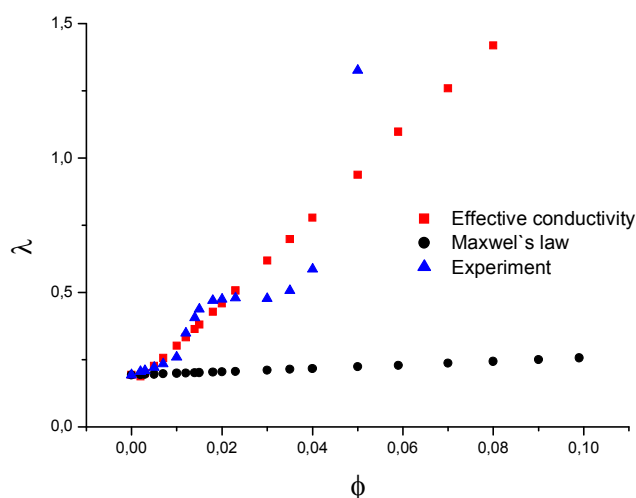


Рис. 1. Поликарбонат – алюминий.

Метод Лихтенкера получил широкое распространение благодаря простоте идеи получения функциональной зависимости эффективной проводимости от концентраций (степенная функция).

Приведено сравнение метода Максвелла и формулы (1), на графике видно, что оба метода дают схожие результаты для малых долей наполнителя. Рост проводимости на эксперименте, очевидно, связан с явлениями неучтенными теорией Максвелла.

Теория Максвелла хорошо предсказывает проводимость смеси при малых концентрациях наполнителя, однако при увеличении концентрации теория существенно разбегается с экспериментом. Метод Лихтенкера не достаточно хорошо описывает проводимость для данных материалов и лучше всего подходит для описания экспериментов с углеродными нанотрубками, для которых другие методы дают плохие результаты.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Основы теплофизики и реофизики полимерных материалов. Привалко В.П., Новиков В. В., Яновский Ю.Г.;
- 2) Свойства и химическое строение полимеров. Д. В. Ван Кревелен.

РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЙ $A_{1-x}B_x$ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ПЕРВОПРИНЦИПНОГО И МОДЕЛЬНОГО ПСЕВДОПОТЕНЦИАЛОВ

А.М. Катц, П.И. Кушнерик

Николаевский национальный университет им. В.А. Сухомлинского

Решение ряда задач современной физики конденсированного состояния требует проведения ресурсозатратных расчётов, которые вовлекают в расчёт достаточно большие подсистемы атомов кристаллических твёрдых тел, именуемые суперячейками, состоящими из многих элементарных ячеек или ячеек с базисом. Первопринципные подходы для решения подобных громоздких задач требуют значительных ресурсов (быстродействие компьютеров, затрачиваемое на расчёты время, количество процессоров), которые резко возрастают при увеличении размеров системы, количества используемых специальных точек в зоне Бриллюэна, увеличения базисов разложения для достижения сходимости и т. п., несмотря на использование эффективных алгоритмов в существующих компьютерных пакетах для решения такого рода задач физики конденсированного состояния [1-5]. Поэтому использование первопринципных подходов эффективно только при достаточно малых размерах суперячеек. С другой стороны ряд задач, вызывающих большой интерес (термодинамика неупорядоченных систем, точечные дефекты,

диффузия дефектов в кристаллической решётке и др.), требуют рассмотрения суперячеек состоящих из сотен, тысяч и более атомов.

В данной работе предлагается комбинированный подход, использующий известные методы модельных псевдопотенциалов, параметры которых находятся путем сопоставления результатов расчетов с первопринципными и модельными псевдопотенциалами для достаточно малых систем. В предельном случае самой малой рассматриваемой системой можно считать элементарные ячейки чистых металлов.

Вычисления, использующие стандартные схемы для первопринципных псевдопотенциалов, как сохраняющих норму [6-7], так и ультрамягких [8] комбинируются с расчётами методом модельного псевдопотенциала [9]. Сравнение и поиск параметров можно проводить и по экспериментальным данным, что обычно стандартно для метода модельного псевдопотенциала, однако предлагаемый подход более гибок, так как учитывает следующие обстоятельства необходимые для проведения дальнейших расчетов с модельными псевдопотенциалами:

- 1) современные первопринципные расчеты имеют достаточно высокую точность, однако при необходимости могут быть также подогнаны под экспериментальные данные, что существенно при увеличении размера суперячеек;
- 2) в упомянутых выше первопринципных расчётах может быть проведен расчет при любых концентрациях компонентов соединений типа $A_{1-x}B_x$, а также более сложных соединений, для которых могут отсутствовать экспериментальные данные;
- 3) в первопринципном подходе может быть проведен расчет гипотетических структур (простая кубическая, гексагональная), необходимых для дальнейших расчетов больших суперячеек, для которых не возможно существование экспериментальных данных, так как они не реализуются в природе.

Реализация расчётной процедуры начинается с первопринципных расчётов для чистых металлов. Результаты первопринципных расчётов на следующем шаге могут подгоняться к экспериментальным данным. Далее находятся параметры модельных псевдопотенциалов для этих металлов. В дальнейшем, пока ресурсозатратность первопринципных расчётов находится в разумных пределах, продолжаютя расчёты структур $A_{1-x}B_x$ и уточнение параметров модельных псевдопотенциалов. Все последующие расчёты выполняются исключительно методом модельного псевдопотенциала.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Blaha, K. Schwarz, G. Madsen, *Comp. Phys. Comm.* **147** (2002) 71.
2. K. Schwarz, P. Blaha, *Comp. Mater. Sci.* **28** (2003) 259.

3. G. Kresse, J. Hafner *Phys. Rev. B* **48** (1993) 13115.
4. G. Kresse, J. Furthmüller *Comp. Mater. Sci.* **6** (1996) 15.
5. P. Giannozzi et al., *J. Phys.: Condens. Matter* **21** (2009) 395502.
6. G.B. Bachelet, D.R. Hamann, M. Schlüter, *Phys. Rev. B* **26** (1982) 4199.
7. N. Troullier, J.L. Martins, *Phys. Rev. B* **43** (1991) 1993.
8. D. Vanderbilt, *Phys. Rev. B* **41** (1990) 7892.
9. Г.Л. Краско, З.А. Гурский, Письма в ЖЭТФ **9** (1969) 596.

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПЕРКОЛЯЦІЙНОЇ ПОВЕДІНКИ НАНОНАПОВНЕНИХ ПОЛІМЕРНИХ СИСТЕМ

Лисенков Е.А., Белозорова К.Д., Баклан Д.А., Привалко Е.Г.

¹Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

²Національний авіаційний університет

Для отримання електропровідних полімерних нанокомпозитів з високим рівнем провідності використовують одночасно хімічно та механічно стабільні компоненти, наприклад частинки металу та полімерну матрицю. Нижче за певну критичну концентрацію наповнювача, яка називається критичним порогом p_c , композит поводить себе як діелектрик, а вище за цю концентрацію матеріал набуває властивостей провідника. Для прогнозування та покращення властивостей таких композитних систем необхідно проводити моделювання теоретичних залежностей провідності від концентрації, розміру частинок наповнювача, а також їх розподілу. Саме для прогнозування поведінки таких системи і використовується теорія перколяції.

Для повного і коректного опису перколяційного переходу у нанокомпозитних системах використовують рівняння Бруггемана-МакЛочлана:

$$\frac{(1-\phi)(\sigma_l^{1/s} - \sigma_m^{1/s})}{\sigma_l^{1/s} + A\sigma_m^{1/s}} + \frac{\phi(\sigma_c^{1/t} - \sigma_m^{1/t})}{\sigma_c^{1/t} + A\sigma_m^{1/t}} = 0$$

Це рівняння є феноменологічним співвідношенням між σ_c , σ_l та σ_m , які є провідностями нанокомпозитного наповнювача, полімерної матриці та нанокомпозита відповідно. Слід відмітити, що у рівнянні можуть входити як комплексні величини σ_c , σ_l та σ_m , так і їх дійсні частини. Значення об'ємної частки ϕ лежить в межах від 0 до 1, при $\phi = 0$ середовище є непровідним ($\sigma_m = \sigma_l$), а при $\phi = 1$ середовище стає провідним ($\sigma_m = \sigma_c$). Критична об'ємна частка ϕ_c або поріг перколяції характеризує перехід від непровідного у провідний стан і визначає коефіцієнт $A = (1 - \phi_c) / \phi_c$, s і t – критичні індекси.

ПЕРШОПРИНЦИПНІ РОЗРАХУНКИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ГЦК → ОЦК → ПК ПІД ТИСКОМ У СПОЛУКАХ Ca-Sr

В.В. Поживатенко

Миколаївський національний університет ім. В.О. Сухомлинського

Важливою особливістю металів та інтерметалічних сполук є необхідність досягати по можливості більш точного врахування енергії заповнених станів поблизу рівня Фермі. Неточності в такого роду обчисленнях з'являються як з-за відхилення поверхні Фермі від простих геометричних форм, так і з-за наближень, що застосовуються при розрахунках енергії зонної структури, які перекручують зонну структуру і приводять до зсуву рівня Фермі. Неточне врахування цих вкладів до повної енергії приводить до слабкої збіжності результатів, іноді навіть до її відсутності.

Більшість розрахунків у рамках теорії функціоналу густини [1] проводиться з використанням параметру розмиття σ , який дозволяє коректно враховувати додаткові внески до енергії зонної структури поблизу рівня Фермі [2-4] і значно покращує збіжність розрахунків. Параметр розмиття σ зазвичай не включають у число параметрів розрахунку (тобто вважають розрахунок першопринципним навіть при наявності цього параметру), обираючи більш-менш розумне значення, однак слід пам'ятати, що він помітно змінює всі характеристики систем, що розглядаються [5].

Всі розрахунки в даній роботі проведено з використанням пакету Quantum ESPRESSO [6]. Застосовано обмінно-кореляційний функціонал Пед'ю – Барка – Ернцерхофа [7] і ультратрам'який псевдопотенціал Вандербільта [8]. В якості схеми для розмиття навколо рівня Фермі обрано підхід Марзарі – Вандербільта [9,10]. Усі розрахунки проведено при обрізанні кінетичної енергії $E_{cut} = 70$ Ry для хвильової функції і 700 Ry для зарядової густини. Результати розрахунків підганялися методом найменших квадратів до рівняння стану Берча – Мурнагана третього порядку [11-13].

Якщо позначити повну енергію, що одержана в дійсно першопринципному розрахунку, який проводиться без будь-яких підгонок, через E_0 , то при врахуванні параметру розмиття, виникає внесок аналогічний внеску TS у вільну енергію (тобто параметр σ подібний до температури), який входить в усі термодинамічні потенціали, у тому числі при $T=0$. Величина

$$E = E_0 - \sigma S, \quad (1)$$

пов'язана з врахуванням об'ємних і енергетичних поправок, визначає повну енергію звичайних першопринципних розрахунків, в яких σ не виступає у ролі параметру. При цьому вважається, що вибір σ не впливає на результати розрахунку. Однак слід враховувати роль σ як параметра, від якого залежать повна енергія, рівняння стану та інші властивості, особливо, металів та їхніх сполук. Тому необхідно розглядати повну енергію як залежну від цього параметру величину. Для цього введемо позначення

$$E_0(\sigma) = E_0 - \sigma S, \quad (2)$$

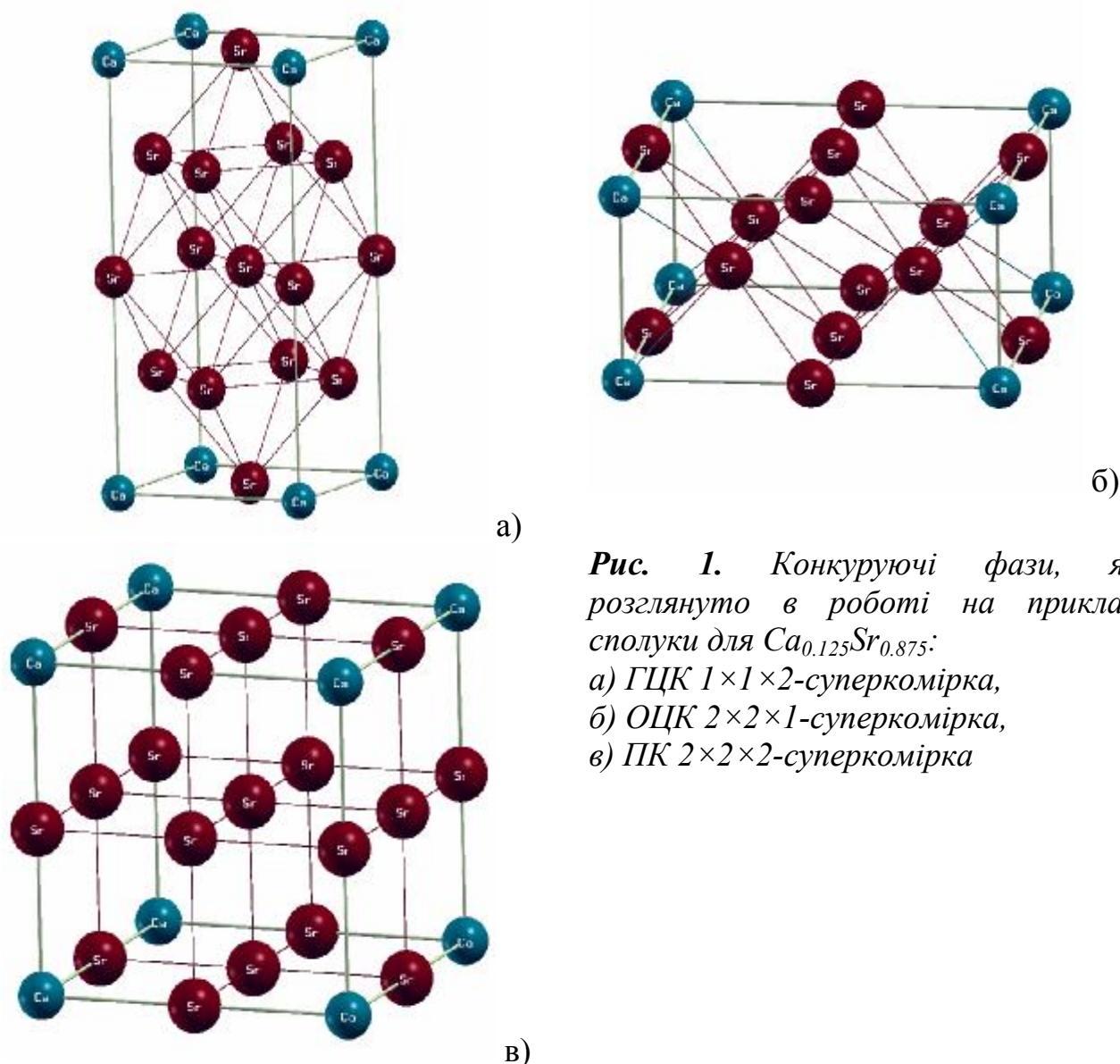


Рис. 1. Конкуруючі фази, які розглянуто в роботі на прикладі сполуки для $Ca_{0.125}Sr_{0.875}$:

- а) ГЦК $1 \times 1 \times 2$ -суперкомірка,
б) ОЦК $2 \times 2 \times 1$ -суперкомірка,
в) ПК $2 \times 2 \times 2$ -суперкомірка*

що також відповідає звичайним першопринципним розрахункам, які зустрічаються в більшості опублікованих результатів досліджень електронної структури і термодинамічних властивостей металів коли параметр σ фіксується на якому-небудь значенні без додаткових пояснень.

Величина параметру розмиття σ впливає на швидкість збіжності, так як більш великі значення скорочують необхідні для розрахунків ресурси. В даній роботі проведено розрахунки фазових перетворень ГЦК - ОЦК при двох достатньо великих значеннях цього параметру (0.04 Ry і 0.05 Ry) і фазового переходу ОЦК – ПК при $\sigma = 0.05$ Ry. Для наочності на Рис.1 представлені конкуруючі фази у вигляді ГЦК-, ОЦК- і ПК-суперкомірок, що використані при розрахунках сполуки $Ca_{0.125}Sr_{0.875}$.

Першопринципні розрахунки фазових перетворень для $Ca_{1-x}Sr_x$ приводять до значного зниження тисків цих перетворень, що є наслідком аналогічних результатів для чистих металів. Слід відмітити, що вже в розрахунках властивостей чистих металів проявляється залежність від параметру σ [5]. При

експериментальному значенні тиску фазового переходу $p_{pt} = 3.5$ ГПа одержуємо приблизно 50% цього значення (ця залежність спостерігається навіть при $\sigma > 0.1$ Ry). Зовсім інші результати розрахунків для кальцію: при $\sigma > 0.06$ Ry фаза ГЦК не буде більш енергетично вигіднішою за фазу ОЦК. До того ж, враховуючи що $p_{pt} = 19.5$ ГПа для кальцію помітно, що розрахунки значно погіршуються при зростанні σ і краще обирати для кальцію малі значення цього параметру. Об'ємні властивості чистих металів та їхніх сполук відтворюються з звичайною для таких обчислень точністю.

На Рис. 2 представлені результати розрахунків фазових перетворень ГЦК – ОЦК і ОЦК – ПК в залежності від концентрації Sr. Першопринципні результати для тисків фазових перетворень ГЦК - ОЦК при цьому мають спільний недолік: заниженні значення p_{pt} , а при $x=0.5$ і $\sigma = 0.05$ Ry навіть від'ємне значення p_{pt} .

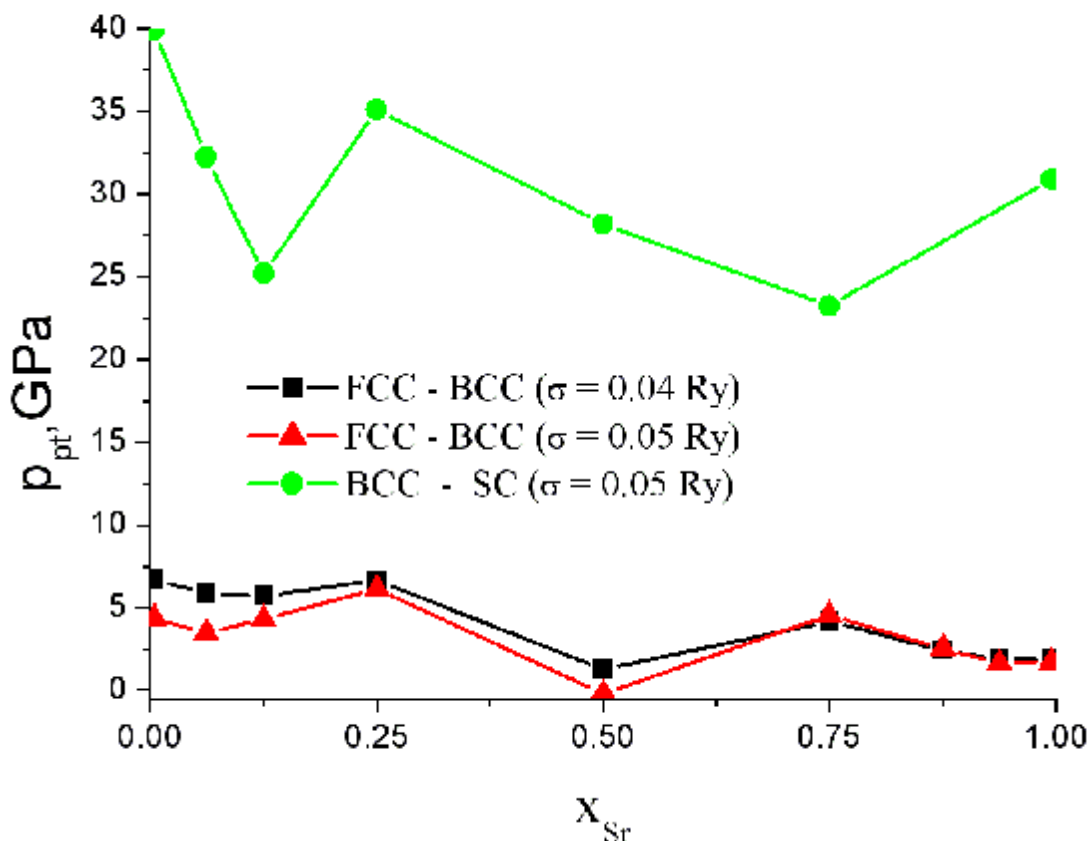


Рис. 2. Тиски фазових перетворень ГЦК – ОЦК та ОЦК – ПК для $Ca_{1-x}Sr_x$ в першопринципних розрахунках.

Висновки

1. Першопринципні розрахунки приводять до помітно занижених значень тисків структурних фазових перетворень ГЦК – ОЦК..
2. Першопринципний опис структурних фазових перетворень ГЦК – ОЦК для сполук $Ca_{1-x}Sr_x$ поблизу $x_{Sr} = 0.5$ вказує на термодинамічну вигідність ОЦК-структури.

3. Першопринципні розрахунки структурних фазових перетворень ОЦК – ПК для сполук $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x$ незначно завищують значення тисків цих переходів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] P. Hohenberg, W. Kohn, *Phys. Rev.* 136(3) (1964) B864-B871.
[2] M. Weinert, J.V. Davenport, *Phys. Rev. B* 45(23) (1992) 13709-13712.
[3] M. Springborg, R.C. Albers, K. Schmidt, *Phys. Rev. B* 57(3) (1998) 1427-1435.
[4] M. Methfessel, A.T. Paxton, *Phys. Rev. B* 40(6) (1989) 3616-3621.
[5] В.В. Поживатенко, *Физ. тверд. тела* 55(10) (2013) 1879-1886.
[6] P. Giannozzi, S. Baroni, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, G.L. Chiarotti, M. Cococcioni, I. Dabo, A. Dal Corso, S. Fabris, G. Fratesi, S. de Gironcoli, R. Gebauer, U. Gerstmann, Ch. Gougoussis, A. Kokalj, M. Lazzeri, L. Martin-Samos, N. Marzari, F. Mauri, R. Mazzarello, S. Paolini, A. Pasquarello, L. Paulatto, C. Sbraccia, S. Scandolo, G. Sclauzero, A.P. Seitsonen, A. Smogunov, P. Uniari, R. M. Wentzcovitch, *J. Phys.: Condens. Matter* 21(39) (2009) 395502, arXiv: 0906.2569, <http://www.pwscf.org/>.
[7] J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, *Phys. Rev. Lett.* 77(18) (1996) 3865-3868.
[8] D. Vanderbilt, *Phys. Rev. B* 41(11) (1990) 7892-7895.
[9] N. Marzari, *Ph.D. thesis*, University of Cambridge, 1996, 187p.
[10] N. Marzari, D. Vanderbilt, A. De Vita, M.C. Payne, *Phys. Rev. Lett.* 82(16) (1999) 3296-3299.
[11] F.D. Murnaghan, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 30(9) (1944) 244-247.
[12] F. Birch, *Phys. Rev.* 71(11) (1947) 809-824.
[13] F. Birch, *J. Geophys. Res.* 83(B3) (1978) 1257-1268.

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ InBi

В.В. Поживатенко

Николаевский государственный университет им. В.А. Сухомлинского

В сенсорной электронике востребованы вещества с контролируемыми свойствами, которые достаточно просто можно изменять. Одним из таких свойств является ширина запрещённой зоны. Изменение параметров энергетической зонной структуры происходит с изменением давления, температуры, а также концентрации примесей и процентного состава атомов разных сортов в твёрдых растворах.

Перспективными материалами для твердотельной электроники являются узкощелевые твердые растворы замещения на основе соединений $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, в которых изменение ширины запрещенной зоны определяется изменением процентного состава атомов определённого сорта. Ожидаемые применения:

технология создания сенсорных датчиков, инфракрасные детекторы, лазеры с плавной перестройкой длины волны.

Соединение InBi является полуметаллом и вхождение его в состав тройных соединений представляет интерес для совершенствования расчётных схем. Вместе с тем в отличие от других полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$, имеющих кубическую структуру ВЗ, InBi кристаллизуется в тетрагональной структуре В10 (Рис. 1). Эта структура содержит дополнительный параметр z , определяющий сдвиг подрешёток, содержащих атомы индия и висмута, соответственно. Таким образом, возникает ещё один интересный теоретический аспект: при непрерывном изменении концентрации атомов, например, Bi и Sb в твёрдом растворе $InSb_{1-x}Bi_x$, должен происходить структурный фазовый переход В10 – ВЗ, параметры которого могут иметь значение для твердотельной электроники, базирующейся на этих материалах.

Экспериментальные параметры решётки InBi: $a = b = 5.000\text{Å}$, $c = 4.773\text{Å}$, $z = 0.393$ [1], достаточно трудно воспроизвести в первопринципных расчётах. Например, известные расчёты для тетрагональной структуры В10 для InBi [2 - 4], выполненные методом теории функционала плотности (как в приближении локальной плотности, так и с обобщенными градиентными поправками) не воспроизводят правильно соотношение c/a .

В данной работе использовано приближение локальной плотности теории функционала плотности [5, 6] совместно с сохраняющим норму псевдопотенциалом Бачелета – Хаманна – Шлютера [7]. Обменно-корреляционные эффекты учтены согласно [8]. Интегрирование по зоне Бриллюэна заменялось суммированием по специальным точкам. В расчётах использована $8 \times 8 \times 8$ сеть Монкхорста – Пака [9]. Энергия обрезания 25 Ry. Для получения термодинамических величин проводилась подгонка под универсальное уравнение состояния [10, 11]. Для сравнения с экспериментом использованы данные из [12 - 14].

Учитывая недостатки стандартных приближений в теории функционала плотности можно предполагать отклонения термодинамических характеристик: равновесного атомного объёма, полной энергии, объёмного модуля сжатия и его производных от экспериментальных значений в рамках обычной для этих расчётов точности. В дальнейших расчётах тройных соединений базирующихся на InBi этой точности может быть недостаточно, поэтому существует необходимость достижения достаточной точности базового расчёта в рамках первопринципной схемы.

Основная идея данной работы использовать объёмный сдвиг для пересчёта полной энергии, приходящейся на ион

$$E_{\text{tot}}^{\text{new}} = E_{\text{tot}}^{\text{old}} + \alpha\Omega, \quad (1)$$

где Ω - объём, приходящийся на ион, а параметр α определяется величиной сдвига самой верхней заполненной валентной зоны (E_{ho}^v) и самой нижней незаполненной зоной проводимости (E_{lo}^c).

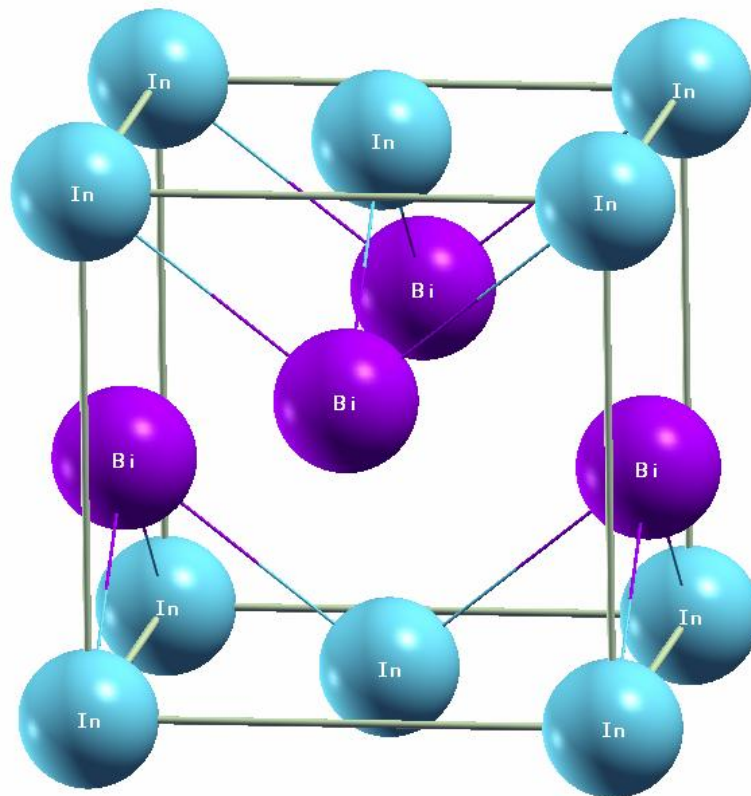


Рис. 1. Структура B10 (α -PbO)

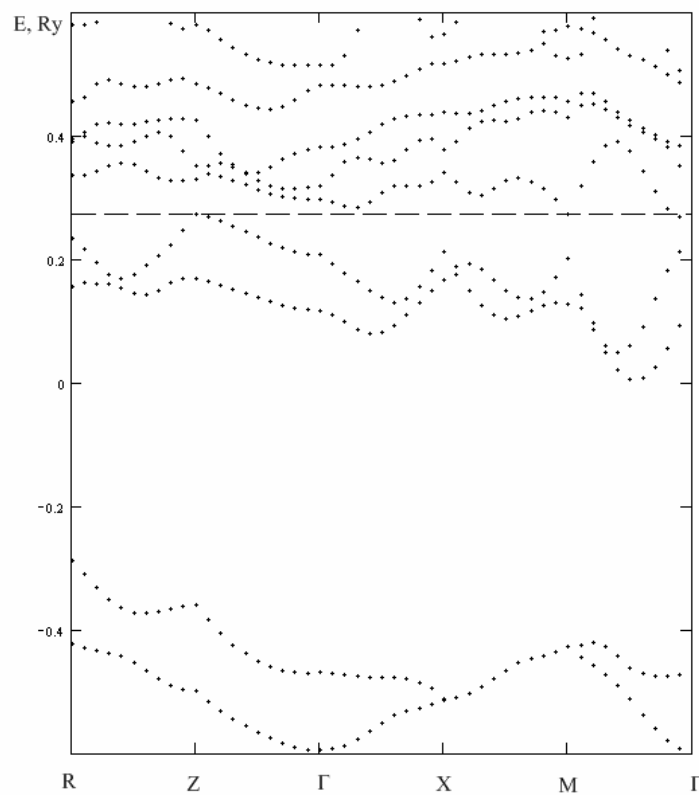


Рис. 2. Зонная структура InBi после сдвига

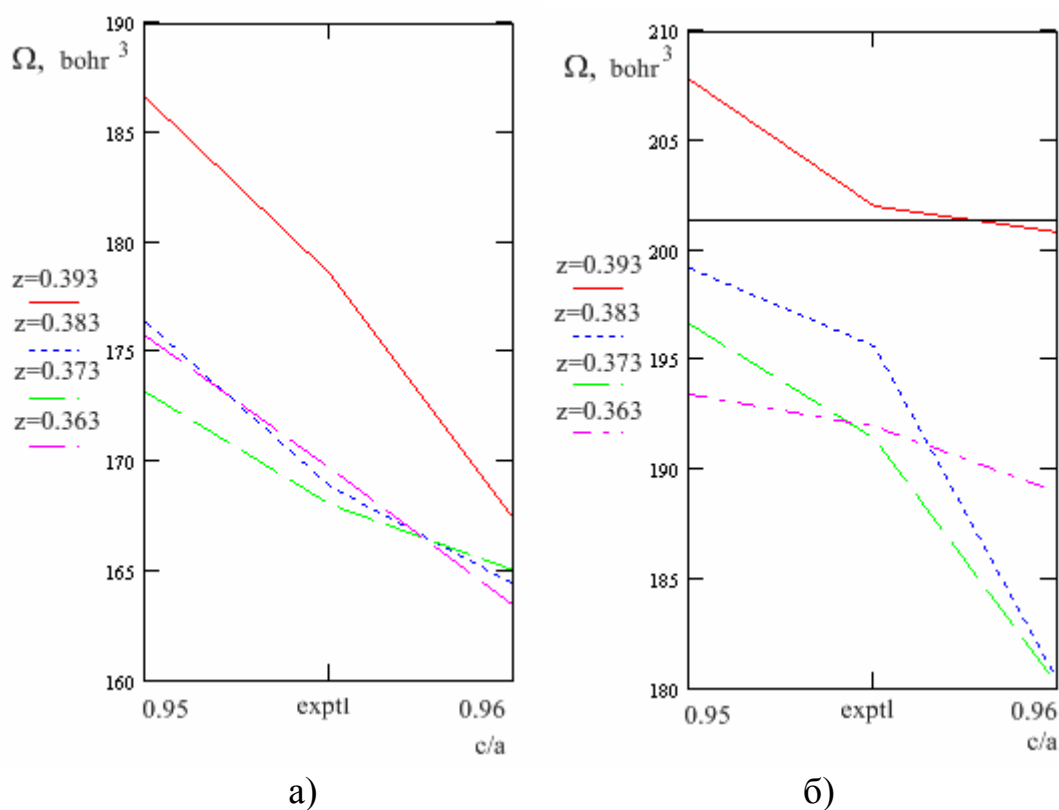


Рис. 3. Равновесный объём, приходящийся на ион а) в первопринципном расчёте, б) после объёмного сдвига (сплошная чёрная линия – экспериментальное значение)

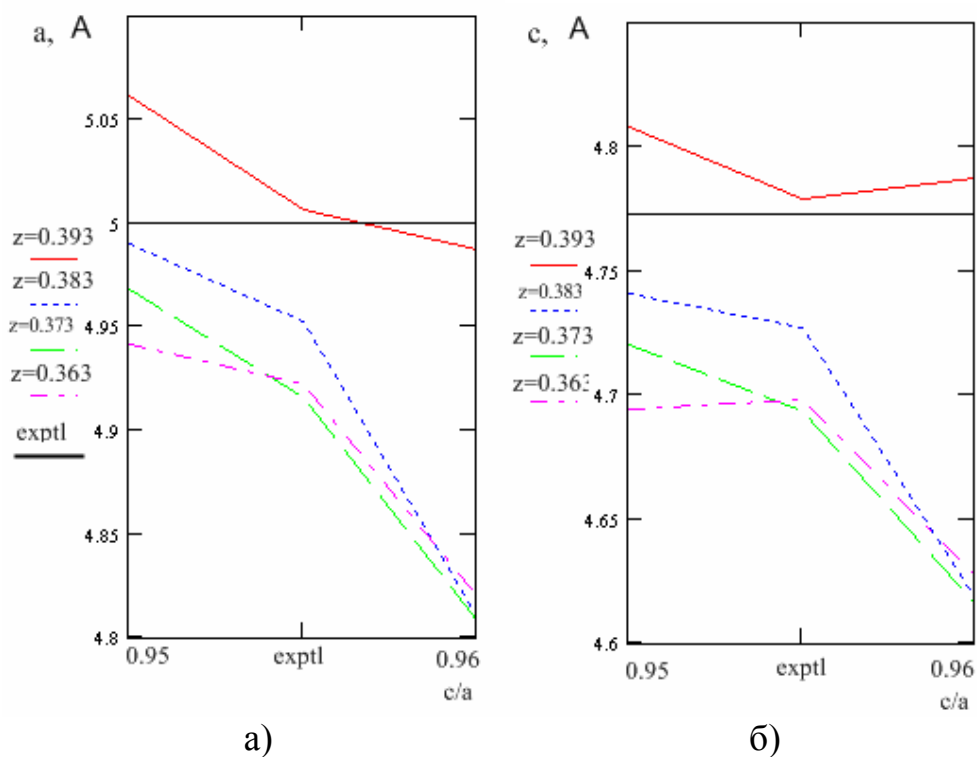


Рис. 4. Параметры тетрагональной решётки после объёмного сдвига: а) a , б) c .

Так как соединение InBi – полуметалл, то в идеальном случае должно быть $E^{\text{gap}} = 0$. Приближение локальной плотности не воспроизводит этот результат. Величина полного сдвига определена их суммой

$$\Delta = \Delta E_{\text{ho}}^v + \Delta E_{\text{lu}}^c. \quad (2)$$

В данной работе фиксировано значение $1/2$, что соответствует сдвигу уровней на половину искажения вносимого в расчёт приближением локальной плотности в точке расчётного равновесного объёма. Этот параметр также может быть использован как подгоночный. На рис.2 представлена зонная структура после сдвига, полученная из первопринципного расчёта зонной структуры InBi при экспериментальных значениях a, c и z . Сдвиг самого верхнего заполненного уровня при этом имеет типичные значения $0.02 - 0.03$ Ry, что немного превышает запрещённую зону для полупроводников, например для InSb $E^{\text{gap}} = 0.018$ Ry [15].

На Рис. 3 а) представлен равновесный объём, приходящийся на ион в первопринципных расчётах. На рис. 3 б), где учтён объёмный сдвиг, более точно воспроизводится экспериментальное значение. Рис.4 представлены соответствующие параметры тетрагональной решётки для расчётов с учётом объёмного сдвига.

Основной результат данной работы состоит в том, что расчёт с учётом объёмного сдвига значительно улучшает объёмные характеристики и в гораздо меньшей степени энергетические, что следует учитывать в дальнейших расчётах тройных соединений использующих предложенный подход.

ЛИТЕРАТУРА

1. Binnie W.P. The structural crystallography of indium bismuthide // Acta Cryst. – 1956. – V. 9, Part 8. – P. 686 – 687.
2. Curtarolo S., Kolmogorov A.N., Cocks F.H. High-throughput ab initio analysis of the Bi-In, Bi-Mg, Bi-Sb, In-Mg, In-Sb, and Mg-Sb systems // Calphad. – 2005. – V. 29, N 2. – P. 155 – 161. (arXiv.org / cond-mat 0502535)
3. Ferhat M., Zaoui A. Structural and electronic properties of III – V bismuth compounds // Phys. Rev. B. – 2006. – V. 73, N 11. – 115107 (7p.).
4. Zaoui A., Madouri D., Ferhat M. First-principles study of the ground state stability of III – V bismuth compounds // Phil. Mag. Lett. – 2009. – V. 89, N 12. – P. 807 – 813.
5. Hohenberg P., Kohn W. Inhomogeneous electron gas // Phys. Rev. B. - 1964. - V. 136, N 3. - P. 864 - 871.
6. Kohn W., Sham L.J. Self-consistent equation including exchange and correlation effects // Phys. Rev. A. - 1965. - V. 140, N 4. - P. 1133 - 1138.
7. Bachelet G.B., Hamann D.R., Schlütter M. Pseudopotentials that work: from H to Pu // Phys. Rev. B. - 1982. - V. 26, N 8. - P. 4199 - 4228.
8. Krasko G.L. Iteration-perturbation theory of covalent bonding in crystals. I. General consideration // Z. Naturforsch. - 1981. - V. 36 a, N 8. - P. 1129 - 1145.
9. Monkhorst H.J., Pack J.D. Special-points for Brillouin-zone integrations // Phys. Rev. B. – 1976. – V. 13, N 12. – P. 5188 – 5192.

10. Compressibility of solids / P. Vinet, J. Ferrante, J.H. Rose, J.R. Smith // J. Geophys. Res. - 1987. - V.92. - P. 9319 - 9325.
11. Universal features of the equation of state of solids / P. Vinet, J.H. Rose, J. Ferrante, J.R. Smith // J. Phys.: Condens. Matter. – 1989. – V. 1, N 11. – P. 1941 – 1963.
12. Термические константы веществ / Под ред. В.П. Глушко. – М.: ВИНТИ, 1971. – вып. 5. – 196с.
13. Boom R., Vendel P.C.M., De Boer F.R. Thermodynamic properties of compounds in the indium-bismuth system // Acta Metallurgica. – 1973. – V. 21, N 6. – P. 807 – 812.
14. Васильев В.П., Гашон Ж.-К. Термодинамические свойства соединений $A^{III}B^V$ // Неорг. Материалы. – 2006. – Т. 42, вып. 11. – С. 1293 – 1303.
15. Дейбук В.Г., Виклюк Я.И. Химическая связь и упругие постоянные некоторых тройных твердых растворов $A^{III}B^V$ // ФТП. – 2002. – Т. 36, вып. 10. – С. 1171 – 1176.

ГРУППОВОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КОНФИГУРАЦИОННОГО ИНТЕГРАЛА СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧАСТИЦ В ОБЛАСТИ ПЛОТНЫХ СОСТОЯНИЙ

Ушкац М.В., Ушкац С.Ю.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

Теоретическое описание плотных состояний вещества и, в частности, фазовых переходов первого рода, все еще остается насущной проблемой статистической физики. До сих пор не было получено точное выражение для конфигурационного интеграла системы взаимодействующих частиц

$$Q_N = \frac{1}{N!} \int_{V^N} \exp \left[-\frac{1}{kT} \sum_{i < j} U(r_{ij}) \right] d\mathbf{r}^N, \quad (1)$$

даже в упрощенных случаях, когда межмолекулярное взаимодействие моделируется парноаддитивными и сферически симметричными потенциалами взаимодействия (такими как потенциалы Сазерленда, Леннард-Джонса, Морзе, Ми и др.).

Еще в первой половине прошлого века Дж.Майер [1] предложил представить конфигурационный интеграл в виде суммы, так называемых, групповых интегралов b_j (групповое разложение)

$$Q_N = V^N \sum_{\{m_j\}} \prod_{j=1}^N \frac{b_j^{m_j}}{m_j!}. \quad (2)$$

Каждый групповой интеграл, в свою очередь, представляет собой сложную сумму произведений неприводимых интегралов β_k , т.е. тех, которые уже не выражаются через интегралы более низких порядков

$$b_j = j^{-2} \sum_{\{n_k\}} \prod_{k=1}^{j-1} \frac{1}{n_k!} \left(j \cdot \frac{\beta_k}{V^k} \right)^{n_k}. \quad (3)$$

На основе выражений (2) и (3) Майер получил широко известное вириальное уравнение, в котором любой коэффициент однозначно связан с неприводимым интегралом соответствующего порядка

$$B_{k+1} = -\frac{k}{k+1} \beta_k.$$

Но в этом выводе использовалось выражение для суммы геометрической прогрессии, сходимость которой должна обеспечиваться дополнительным ограничением на плотность

$$\sum_k k \beta_k \rho^k < 1. \quad (4)$$

Майер четко указывает на это ограничение (4), как на границу адекватности своего вывода [1], но ему никогда не придавали особого значения. Вместо этого, в литературе широко освещается только проблема расходимости вириального ряда [2-4].

Целью данных исследований было получить выражение для конфигурационного интеграла, которое включало бы в себя как можно меньше упрощений и позволяло проводить исследования поведения систем в области плотных состояний за границами условия (4).

Строгий математический подход [5-8] позволил получить производящую функцию для конфигурационного интеграла (1) в рамках его группового разложения (2)

$$F(y) = \left(1 - \sum_{k \geq 1} k \beta_k y^k \right) e^{N \left(\frac{y}{\rho} \left[1 - \sum_{k \geq 1} \frac{k}{k+1} \beta_k y^k \right] + \sum_{k \geq 1} \beta_k y^k \right)}.$$

Подобный способ представить конфигурационный интеграл все еще остается довольно сложным, но у него есть и значительные плюсы:

- Здесь нет ограничений по плотности (кроме интегрирования в бесконечных пределах), а значит и область применимости должна быть шире, чем у вириального уравнения;
- Такой способ все-таки позволяет проводить численные (а в отдельных случаях) и аналитические исследования поведения конфигурационного интеграла, свободной энергии и давления, практически для любого сколь угодно большого числа частиц в системе.

Эти исследования показали важные особенности поведения точного группового разложения по сравнению с его вириальной аппроксимацией и позволили прийти к следующим выводам:

- При субкритических температурах вириальное уравнение является точным вплоть до точек сингулярности изотермической сжимаемости (граница условия (4)). При сверхкритических температурах это уравнение следует считать адекватным во всей области применимости самого группового разложения;

- Широко известная и обсуждаемая в литературе проблема расходимости вириального ряда, в действительности, является проблемой только вириального уравнения и не имеет отношения к групповому разложению;
- На границе области применимости вириального уравнения (условие (4)) при субкритических температурах было обнаружено поведение конфигурационного интеграла, характерное для начала процесса конденсации (см. Рис.);
- В области очень большой плотности, как при субкритических, так и сверхкритических температурах, обнаружена неадекватность группового разложения, связанная, судя по всему, с основным его упрощением – интегрированием неприводимых интегралов в бесконечных пределах.

В будущем, для уточнения, а, возможно, и расширения границ адекватности группового разложения необходимы не только данные по неприводимым интегралам высших порядков, но и разработка методики объективного учета зависимости этих интегралов от плотности.

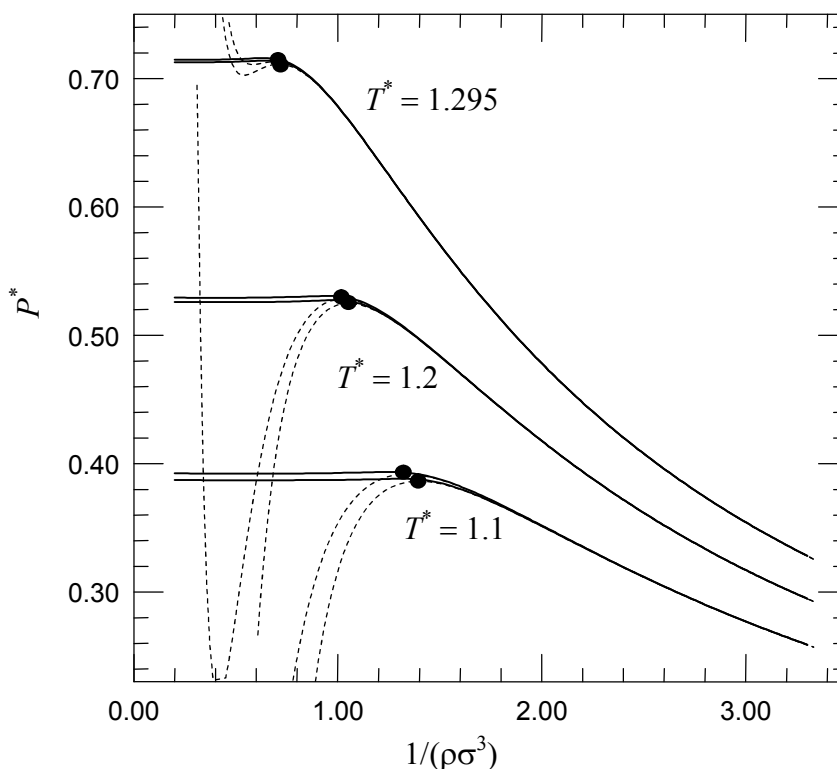


Рис. Изотермы уравнения состояния на основе точного группового разложения (сплошная линия) и вириального уравнения (пунктир) для трех температур при учете четырех вириальных коэффициентов (верхние кривые в каждой из трех групп) и восьми коэффициентов (нижние кривые) для потенциала Леннард-Джонса. Точками отмечено положение сингулярностей изотермической сжимаемости (граница условия (4)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж.Майер, М.Гепперт-Майер. Статистическая механика. М.: Мир, (1980). 544 с.
2. R. Balescu, Equilibrium and Nonequilibrium Statistical Mechanics (John Wiley, New York, 1975).
3. C. N. Yang and T. D. Lee, Phys. Rev. 87, 404 (1952).
4. K. Huang, Statistical Mechanics (John Wiley, New York, 1963)
5. M. V. Ushcats, Phys.Rev.Lett.109, 040601 (2012).
6. М.В. Ушкац, Вісник Харківського Національного Університету ім. В.Н. Каразіна 1020, 6 (2012).
7. M. V. Ushcats, J. Chem. Phys. 138, 094309 (2013).
8. M. V. Ushcats, Phys.Rev.E 87, 042111 (2013).

TOPICAL SECTION 5

**PROBLEMS OF PROFESSIONAL TRAINING OF
SPECIALISTS OF PHYSICS AND MATHEMATICS
DIRECTION**

ПІДГОТОВКА МАЙБУТНЬОГО ВИКЛАДАЧА ФІЗИКИ ДО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕДАГОГІЧНОЇ ОСВІТИ

Адаменко О.О., Дармосяк В.М.

Миколаївський національний університет імені В.О.Сухомлинського

Стратегія розвитку національної системи освіти формується відповідно до сучасних інтеграційних і глобалізаційних процесів, вимог переходу до постіндустріальної цивілізації. Якісна освіта розглядається сьогодні як необхідна умова забезпечення сталого демократичного розвитку суспільства. З огляду на це набуває актуальності пошук ефективних шляхів підвищення якості освітніх послуг, апробації та впровадження інноваційних педагогічних систем та технологій, які забезпечать високий рівень професійної компетентності майбутнього фахівця і, як результат, його конкурентоспроможність на сучасному світовому ринку праці.

Підготовка майбутнього викладача фізики здійснюється на основі Закону України «Про вищу освіту» (розділ V, стаття 16 «Система забезпечення якості вищої освіти») (2014), Національної стратегії розвитку освіти в Україні на 2012-2021 рр., і відповідно до державних стандартів підготовки магістрів.

Сучасний викладач фізики у процесі професійно-педагогічної підготовки має сформувати цілий комплекс компетенцій: предметних, психологічних, методичних, соціально-особистісних, діяльнісно-комунікативних, загальнонаукових, інструментальних та професійних.

Технології педагогічної освіти передбачають проектування педагогом цілей освітнього процесу, вибір компонентів змісту освіти, визначення відповідних методів і засобів. Підготовка майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти під час навчання в магістратурі допоможе йому оволодіти теоретико-методологічними, психолого-педагогічними і методичними основами освітнього процесу. А головне – допоможе особистісному становленню самого фахівця, формуванню важливих професійних якостей та компетенцій.

Педагогічною наукою накопичено певний досвід із вивчення теорії та практики технологічного підходу в освіті. Він пов'язаний з фундаментальними та прикладними дослідженнями щодо розвитку та впровадження найбільш відомих і перспективних педагогічних технологій таких учених, як: В.П.Беспалько, М.В.Гриньова, В.М.Кларин, Н.П.Наволокова, О.М.Пехота, І.П.Підласий, Г.К.Селевко, Н.Е.Шуркова та ін.

Проте недостатньо висвітленим у теоретичному аспекті залишається проблема підготовки майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти.

На основі аналізу досліджень, що існують, та досвіду роботи вищих навчальних закладів України мусимо констатувати, що підготовка майбутніх викладачів фізики до застосування технологій педагогічної освіти ніколи не була предметом цілісного педагогічного дослідження з таких причин:

- не проводилося теоретико-методологічного обґрунтування проблеми;

- не було здійснено дослідження в комплексі діяльнісного, особистісного, суб'єктного та технологічного підходів до формування готовності;
- не розглядався взаємозв'язок і взаємозалежність між теоретичною і практичною підготовкою з даного питання;
- не було виявлено закономірності формування технологічної культури викладача університету до використання як традиційних, так і інноваційних, особистісно-орієнтованих технологій.

З огляду на викладене стає очевидною актуальність проблеми підготовки майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти як основи формування технологічної культури майбутнього викладача університету.

Таким чином створюються організаційно-педагогічні умови, необхідні для осучаснення і цілеспрямованої модернізації педагогічного процесу в університеті в умовах входження педагогічної освіти України в європейський освітній простір.

Цими організаційно-педагогічними *умовами* були визначені:

- *зміна пріоритетів* при визначенні концепції фахової та професійно-педагогічної підготовки у магістратурі сучасного університету, її гуманізація, технологізація та персоналізація;

- *збагачення мети, зміна завдань, змісту та структури* фахової та професійно-педагогічної підготовки в магістратурі згідно галузевих стандартів підготовки окремих фахівців;

- ведення *в зміст* магістерської підготовки сучасних вимог галузевих стандартів;

- впровадження в структуру педагогічної та науково-асистентської практики магістрантів *завдань технологічного характеру* (різного рівня);

- застосування протягом магістерської підготовки сучасних *технологій педагогічної освіти* для майбутніх викладачів фізики (технології формування евристичного мислення, технології проблемно-аналітичного навчання, логіко-систематичного аналізу знань, рейтингової оцінки знань, дослідницької технології, інформаційно-комунікаційних технологій (мережевих, вікі-технологій та дистанційного навчання);

- впровадження в практику викладацької діяльності *принципу індивідуалізації та диференціації* навчально-виховної підготовки та ідей особистісно та суб'єктно орієнтованого підходу до формування компетенцій;

- вивчення магістрантами в ході стажування *інноваційно-педагогічного досвіду* викладачів університету з питань технологізації навчання: індивідуалізації навчального процесу, дослідницької роботи у наукових лабораторіях, створення проектів, організації та проведення конкурсів професійного спрямування, формування інформаційної культури, культури спілкування і саморозвитку та ін.

Об'єктом дослідження є професійно-педагогічна підготовка майбутнього викладача фізики на етапі навчання у магістратурі.

Предмет дослідження - організаційно-педагогічні умови та методичне забезпечення підготовки майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти під час навчання у магістратурі.

Мета: дослідження шляхів підвищення ефективності професійно-педагогічної підготовки майбутнього викладача фізики.

Завдання:

- виявити сутність та особливості підготовки майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти;

- виявити *якісні показники та критерії рівнів готовності* майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти у викладацькій діяльності;

- розробити *модель підготовки майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти*;

- обґрунтувати *організаційно-педагогічні умови підготовки* майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти;

- розробити *методичне забезпечення підготовки* майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти на етапі навчання в магістратурі.

Методологія дослідження реалізується на основі системного, діяльнісного, особистісного, суб'єктного, андрагогічного, акмеологічного, праксеологічного, технологічного, критеріального та рефлексійного підходів.

Підготовка майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти під час навчання в магістратурі допоможе йому оволодіти теоретико-методологічними, психолого-педагогічними і методичними основами освітнього процесу. А головне – допоможе особистісному становленню самого фахівця, формуванню важливих професійних якостей: гуманності, толерантності, емпатійності, креативності. Формування готовності майбутнього викладача фізики до застосування технологій педагогічної освіти сприятиме модернізації навчально-виховного процесу на шляху до євростандарту вищої освіти України.

ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАДАЧ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ

Баран О.І., Дармосюк В.М., Руда А.М.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Значення вищої педагогічної освіти залишається актуальним. Це пов'язано з розширенням спектру соціального замовлення і значної варіативності сучасних навчальних закладів (ліцеїв, гімназій, коледжів тощо). В зв'язку з цим, посилилися вимоги до професійної підготовки вчителя. Разом з тим, за останні десятиліття значно зросли потреби суспільства у математичних знаннях.

Тому одним з головних завдань підготовки майбутніх вчителів математики є формування вмінь і навичок у практичному застосуванні набутих знань в галузі природничо-математичних наук. Це досягається постійним вдосконаленням змісту і методики викладання поглиблених курсів елементарної математики і спецпрактикумів.

Останнім часом значно підвищився рівень складності завдань Міжнародних олімпіад з математики. Відповідно до цього і рівень Всеукраїнських, обласних, районних олімпіад також зазнав суттєвих змін.

Автори пропонують комплексний підхід для розв'язання зазначених проблем практичної підготовки майбутніх вчителів математики, який враховує сучасні зміни компонент освіти в контексті наступності та з урахуванням потреб сучасної середньої і вищої школи.

На математичному відділенні механіко-математичного факультету Миколаївського національного університету ім. В.О.Сухомлинського (МНУ) ведеться наскрізна підготовка майбутніх фахівців до розв'язування задач підвищеної складності, зокрема конкурсних і олімпіадних. Студенти ознайомлюються з типами таких задач (більше 50 типів), вивчають алгоритми і евристичні прийоми та схеми їх розв'язування.

Важливе місце у цій роботі займає також індивідуальна робота з кращими студентами і самостійна робота за індивідуальними програмами під керівництвом викладачів. Працюють предметні гуртки. Під час педпрактики студенти-математики готують і ведуть факультативні заняття, здійснюють профвідбір обдарованих учнів для подальшого навчання на мехматі МНУ.

Студенти-математики залучаються до вузівських олімпіад і змагань з математики, беруть участь в організації і проведенні Миколаївських районних і обласних олімпіад з математики.

Традиційно на мехматі проводиться студентська математична олімпіада ім. Вільяма Ловелла Патнема, а її переможці беруть участь у республіканських математичних змаганнях.

З 2011 року при Миколаївському муніципальному колегіумі проводиться, у відповідності з вимогами «Положення про Всеукраїнські учнівські олімпіади з базових і спеціальних дисциплін, турніри, конкурси-захисти науково-дослідницьких робіт та конкурси фахової майстерності» (наказ Міністерства освіти України від 18 серпня 1998 р. №598/3038), відкритий обласний меморіальний турнір юних математиків ім. професора В.М.Лейфури. До складу журі і експертної ради турніру входять відомі фахівці, автори задач, організатори і члени журі Республіканських олімпіад і змагань юних математиків з різних міст України, викладачі кафедри математики МНУ. Залучаються до організації цих змагань і кращі студенти мехмату МНУ.

З метою підвищення рівня професійної підготовки і активізації пізнавальної і навчальної діяльності майбутніх вчителів математики, на кафедрі математики МНУ було впроваджено спецкурси з елементарної математики, створено і впроваджено у навчальний процес банки задач районних, обласних і

республіканських олімпіад, де пропонуються вказівки до їх розв'язання. Кращі студенти-випускники пишуть дипломні роботи з відповідної тематики.

Розроблена система підготовки майбутніх вчителів математики до розв'язування математичних задач різного рівня складності довела свою ефективність в процесі її реалізації на механіко-математичному факультеті МНУ. Результати цієї апробації представлені на міжнародних і всеукраїнських конференціях і в публікаціях [1-6].

ЛІТЕРАТУРА

1. Баран О.І., Дармосюк В.М. Конструктивні задачі, як засіб активізації пізнавальної діяльності при вивченні математики. Труды международного математического центра. Том 4, № 2, Одесса, 2011.
2. Баран О.І., Дармосюк В.М. Алгебраїчний метод розв'язання конструктивних задач підвищеної складності. Труды международного математического центра. Том 4, № 4, Одесса, 2011.
3. Баран О.І., Чадаєв О.М. Миколаївський обласний турнір юних математиків ім. професора В.М.Лейфури. Збірник «Модернізація шкільної природничо-математичної освіти як стратегія її розвитку у XXI столітті. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції», Миколаїв, 2012.
4. Баран О.І., Васильєва Л.Я., Веліховська А.Б. Розвиток творчих здібностей учнів Миколаївщини за допомогою математичних олімпіад. Збірник «Модернізація шкільної природничо-математичної освіти як стратегія її розвитку у XXI столітті. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції», Миколаїв, 2012.
5. Баран О.І., Васильєва Л.Я., Руда А.М. Історія і досвід підготовки фахівців у галузі природничо-математичних дисциплін у Миколаївському національному університеті ім. В.О.Сухомлинського. Друга Міжнародна науково-практична конференція «Математика в сучасному технічному університеті». Матеріали конференції. 20-21 грудня 2013 року, Київ.
6. Баран О.І., Васильєва Л.Я., Дармосюк В.М., Руда А.М. Підготовка майбутніх вчителів математики до розв'язування геометричних задач. Матеріали Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасні науково-методичні проблеми математики у вищій школі». – К., НУХТ, 2015 р.

ВИКОРИСТАННЯ ІКТ НА УРОКАХ ФІЗИКИ ЯК ЗАСІБ МОТИВАЦІЇ УЧНІВ ДО НАВЧАННЯ

Вітренко О.С., Манькусь І.В.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Використання інформаційних засобів на уроках фізики полягає в тому, що сучасні досягнення науки та техніки вимагають нового підходу до проведення уроків, які враховують ці досягнення. Інформаційні засоби потрібно

використовувати як комп'ютерну підтримку уроку в поєднанні з класичними методами навчання основам фізики.

Особливим аргументом використання комп'ютерної підтримки на уроці став великий інтерес учнів до інформатики та їхнє бажання оволодіти навичками роботи з комп'ютером.

Використання інформаційних технологій дає можливість:

- здійснювати експериментально-дослідницьку діяльність (комп'ютерне моделювання);
- формувати інформаційну культуру, уміння обробляти інформацію;
- готувати учнів до майбутньої професійної діяльності.

Важливе використання інформаційних технологій для специфікації викладання фізики:

- підвищення ефективності, якості, результативності процесу навчання;
- забезпечення спонукальних стимулів, що зумовлюють активізацію пізнавальної діяльності (комп'ютерна візуалізація навчальної інформації);
- поглиблення міжпредметних зв'язків.

Основною перевагою інформаційних технологій є те, що комп'ютерні демонстрації можуть бути органічною складовою будь-якого уроку та можуть ефективно допомогти вчителю й учневі. Іншою важливою обставиною є те, що існують такі фізичні процеси або явища, які неможливо спостерігати візуально в лабораторних умовах, але можуть бути змодельовані на комп'ютері.

Такі уроки викликають в учнів справжній інтерес, примушують працювати всіх і якість знань при цьому помітно зростає.

Комп'ютерний підручник з фізики поєднує всі переваги звичайного підручника з можливістю швидкого тиражування і неперервного вдосконалення. Лабораторна робота на комп'ютері за допомогою комп'ютерної графіки показує перетворення в закритих системах і дозволяє без суттєвих витрат вивчати найскладніші процеси. Комп'ютерний екзаменатор дозволить учню засвоїти матеріал за допомогою самоконтролю або об'єктивно перевірити всі знання при використанні незалежного контролю.

Одним із найперспективніших напрямків використання інформаційних технологій у викладанні фізики, астрономії є комп'ютерне моделювання процесів та явищ, спрямоване на підвищення ефективності (оптимізації) навчання.

Інформаційні технології дають можливість розглядати мікросвіт, взаємодії, сили, теплові процеси та інше, тобто за короткий час демонструвати процеси, які проходять впродовж місяців, років і навіть століть; знайомити з явищами, що мають звукове відображення; проводити практичні та лабораторні роботи. Усе це дозволяє вивести сучасний урок на якісно новий рівень, підвищувати статус вчителя, впроваджувати в навчальний процес інформаційні технології, розширювати можливості ілюстративного супроводу уроку, ефективно організовувати контроль знань, вмінь та навичок учнів, полегшувати та вдосконалювати розробку творчих робіт, проектів.

Використання нових інформаційних технологій у навчально-виховному процесі не лише дозволяє інтенсифікувати процес навчання, зробити його більш

наочним і динамічним, а й розвивати пізнавальну активність, формувати уміння працювати з інформацією, сприяти становленню особистості «інформаційного суспільства», формувати в учнів дослідницькі уміння, розвивати комунікативні здібності, підвищувати мотивацію до вивчення курсу фізики.

Навчання за допомогою використання сучасних інформаційних технологій, впровадження в навчально-виховний процес загальноосвітніх шкіл різнобічних форм і методів роботи з використанням комп'ютера і комп'ютерних технологій, сприяє розвитку пізнавального інтересу до уроків фізики у школярів.

Тому кожному вчителю потрібно поновлювати та розширювати свої методи використання ІКТ.

КАФЕДРА ФІЗИКИ МНУ ІМ. В.О. СУХОМЛИНСЬКОГО: ОСВІТНІЙ ПРОЕКТ „КРОК ДО НАУКИ”

Караченцева Н.Л.

Миколаївський ліцей "Педагог"

Кафедра фізики Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського створює сприятливе розвивальне освітнє середовище для учнів старших класів.

Протягом року учні 11 – Б класу Миколаївського ліцею «Педагог» щочетверга зустрічалися зранку в Миколаївському Національному університеті імені В. Сухомлинського. Крім занять за розкладом, які проходили в аудиторіях університету, нас чекали зустрічі з викладачами, студентами, відвідування лабораторій.

Учні 11 фізико-математичного класу протягом року беруть участь в університетських читаннях «Крок до науки» на базі МНУ ім. В.О.Сухомлинського.

12 березня студентами механіко-математичного факультету було проведено майстер-клас «Фізика у світі професій», на якій учнів ознайомили з професіями, де потрібні знання з фізики. Клас був поділений на чотири групи за різними професіями: діplomати, лікарі, водії та військові. З кожною групою працювали студенти-консультанти, які заздалегіть приготували обладнання для проведення експериментів. Кожна група, опрацювавши своє питання, пояснювала принципи застосування фізики в окремих приладах.

Прилади були саморобні, створені студентами факультету. На завершення вибирали найкращу групу. Всі учні отримали сертифікати учасника університетських читань «Крок до науки» у номінації «Експериментальна фізика».

Моя однокласниця Катерина Діомент поділилась своїми враженнями: «Мені дуже сподобалась сьогоднішня гра, всі активно брали участь у

проведенні дослідів. Вразило, що прилади виконані самими студентами. Сподіваємося, що отримані знання знадобляться нам у майбутньому».

Бузник Надія, учениця 11-Б класу

У травні студенти університету презентували студію освітніх проєктів «Логос», ознайомили учнів зі змістом проєктів.

Заняття в університеті сприяють успішній адаптації учнів до нових умов навчання, готують їх на студентського життя, допомагають професійному самовизначенню.

Робота з науковою літературою, спілкування з науковцями забезпечує підвищення мотивації ліцеїстів, формує їх інтерес до науки.

ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ФІЗИЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ПРИ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ ФІЗИКИ

Конько Я.С., Рехтета М.А.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Під впливом швидкого розвитку мультимедійних засобів виникає необхідність впровадження інтерактивних та віртуальних приладів у навчальну програму загальноосвітніх закладів. Використовуючи на уроках новітні мультимедійні засоби, стає простішим виклад навчального матеріалу. Це дозволяє раціонально витратити час для навчання, забезпечувати високу продуктивність засвоєння отриманих знань. Висвітлення різноманітних фізичних процесів за допомогою мультимедійного забезпечення дає можливість змінити стиль уроку, тип подання теоретичного матеріалу та його наповнення, можливість досконало зрозуміти будь-який процес, побачити деталі, які не помітні звичайним оком. Педагогічним програмним засобом для покращення викладу навчального матеріалу з курсу фізики у загальноосвітніх навчальних закладах є віртуальна фізична лабораторія. За умов впровадження таких лабораторій в освітній процес актуальною постає проблема готовності бакалаврів-учителів фізики до використання віртуальних фізичних лабораторій.

Готовність педагогів до використання віртуальних технологій досліджували вітчизняні й закордонні вчені, теоретики і практики. До визначення структурних складових готовності існують різні підходи: готовність як сукупність знань, умінь і навичок розглядають Л.В. Кондрашова, Н.Ф. Кузьміна, В.О. Сластьонін; готовність як функціональний стан педагога трактують М.Д. Левітов, А.Ф. Ліненко. Переймалися питанням про максимальну оптимізацію процесу навчання за допомогою новітніх комп'ютерних технологій вчені з різних сфер життєдіяльності С. Архангельський, Г. Атанов, Б. Гершунський, Г. Гергей, Є. Машбиць, Н. Тверезовська та ін. Про недоліки навчального процесу та їх усунення за

допомогою використання різноманітних методів комп'ютеризації у своїх роботах говорили М. Лапчик, Є. Машбіц. Однак, питання використання віртуальних фізичних лабораторій бакалаврами-вчителями фізики у науковій літературі висвітлено недостатньо. Виникає необхідність теоретично обґрунтувати й експериментально перевірити ефективність моделі формування готовності бакалаврів-учителів фізики до використання віртуальних фізичних лабораторій в освітньому процесі.

Нами зроблено попередній аналіз психолого-педагогічних джерел та стан використання віртуальних фізичних лабораторій в освітньому процесі.

ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОГО ХАРАКТЕРУ З НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Кривцов В.В.

Національний університет водного господарства та природокористування

Нарисна геометрія – одна з основних дисциплін математичного та природничого циклу підготовки бакалаврів технічного профілю. Методами нарисної геометрії користуються у фізиці, хімії, механіці, астрономії, кристалографії, геодезії, картографії та в багатьох інших галузях знань.

Під час вивчення нарисної геометрії важливо розв'язувати не абстрактні, а саме задачі прикладного характеру, які б викликали зацікавленість у студентів та стимулювали б їх до подальшого опанування теоретичними положеннями цієї дисципліни.

При вивченні теми «Перпендикулярність геометричних елементів» основним є правило проведення прямої, перпендикулярної до площини, на якому ґрунтується розв'язування багатьох позиційних та метричних задач нарисної геометрії. Розглянемо задачу, яка має прикладний характер. Для її розв'язування використовується зазначене вище правило.

Задача. Знайти проекції світлового променя, який вийшов з точки А, відбився від заданої дзеркальної фронтально-проекціуючої площини Δ і потрапив у задану точку В (рис. 1).

Спочатку дамо розв'язування цієї задачі на наочному зображенні (рис. 2). Через точку А проводимо пряму r , перпендикулярну до площини Δ . Відмічаємо точку L перетину прямої r з площиною Δ і на продовженні прямої r фіксуємо точку С, яка є симетричною точці А відносно площини Δ ($AL = LC$). Далі з точки С проводимо пряму в точку В і знаходимо точку К перетину прямої СВ з площиною Δ . Точку К з'єднуємо з точками А і В. Оскільки прямокутні трикутники ALK і CLK є рівними, то кути α і β також є рівними. Кут α можна прийняти за кут падіння, а кут β – за кут відбивання, пряму АК можна прийняти за падаючий промінь, пряму KB – за відбитий промінь, а точку К – за точку падіння променя.

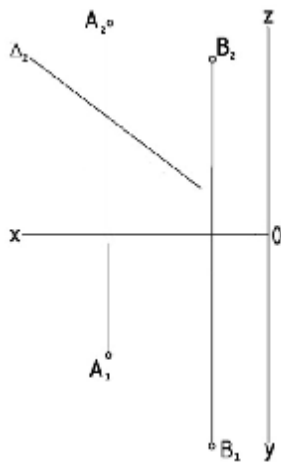


Рис. 1. Початкова умова задачі

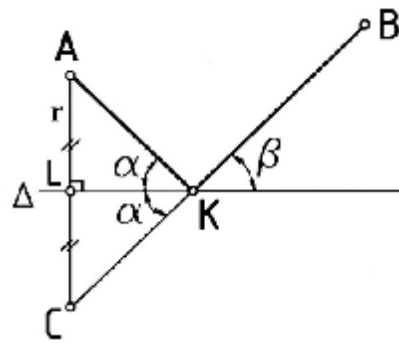


Рис. 2. Розв'язування задачі, наведеної на рис. 1, на наочному зображенні

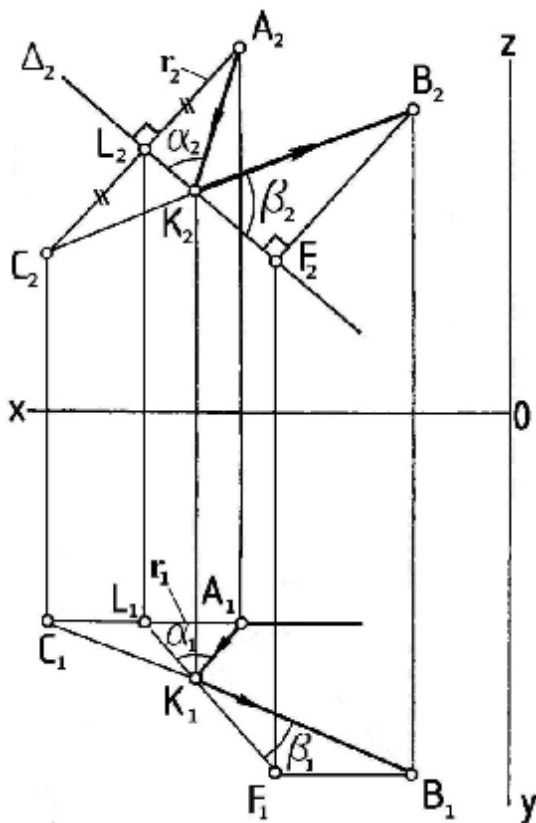


Рис. 3. Розв'язування задачі, наведеної на рис. 1, на епюрі

Розв'яжемо цю задачу на епюрі (рис. 3), виконуючи аналогічні побудови. Прямі r_1 і r_2 є проєкціями прямої r , перпендикулярної до площини Δ : $r_2 \perp \Delta_2$, $r_1 \parallel x$, оскільки площина Δ є фронтально-проєкціуючою. Точки L_1 і L_2 є проєкціями точки L : $L_2 = r_2 \cap \Delta_2$, L_1 знайдено за допомогою лінії проєкційного зв'язку. Точки C_1 і C_2 є проєкціями точки C : $C_2L_2 = A_2L_2$, C_1 знайдено за допомогою лінії проєкційного зв'язку. Проєкції K_2 і K_1 точки K визначено: $K_2 = C_2B_2 \cap \Delta_2$, K_1 - за допомогою лінії проєкційного зв'язку.

Можна різними шляхами перевірити, що задача розв'язана правильно. По - перше, відповідно до закону відбивання світла падаючий та відбивний промені лежать в одній площині, яка перпендикулярна до площини Δ і проходить через точку K падіння променя. Якщо з точки B провести

пряму, перпендикулярну до площини Δ , то точка її перетину з площиною Δ повинна лежати на одній прямій з точками L і K . Ця пряма є прямою перетину двох взаємно перпендикулярних площин, одна з яких проходить через точки A , B і K , тобто через падаючий та відбивний промені, а друга є площиною Δ .

Провівши з точки В пряму ВF, перпендикулярну до площини Δ , бачимо, що знайдена точка F перетину прямої ВF з площиною Δ лежить на одній прямій з точками L і К. По - друге, знайти натуральні величини прямокутних трикутників ALK та ВFK і визначити, що кути α і β цих трикутників при вершині К є рівними.

Знаючи координати точок А і В та розміщення площини Δ , можна графічним способом визначити координати точки К падіння променя та величини кутів α і β , що свідчить про практичне значення розв'язування подібних технічних задач засобами нарисної геометрії.

Можна запропонувати студентам розв'язати більш складну задачу, яка також ґрунтується на правилі проведення прямої, перпендикулярної до площини. Наприклад, задати площину Δ не проекціуючою, а площиною загального положення або на шляху променя поставити декілька дзеркальних площин. Розглянемо задачу з двома дзеркальними (відбивними) площинами, в якій потрібно знайти проєкції променя, що вийшов з точки А, відбився від заданих фронтально-проекціуючих площин Δ та δ і потрапив у задану точку В (рис. 4).

На рис. 5 дано розв'язування задачі на наочному зображенні, а на рис. 6 - на епюрі.

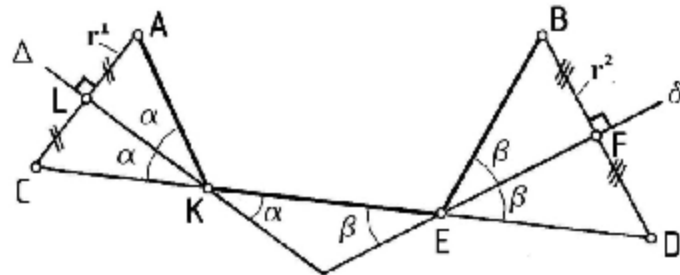
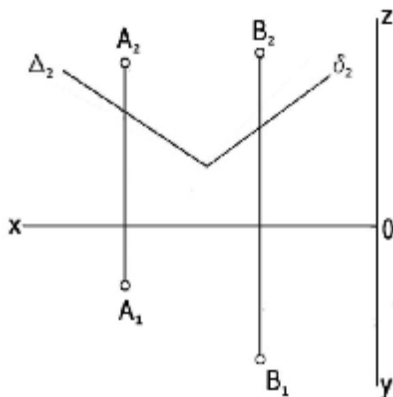


Рис. 4. Початкова умова задачі **Рис.5.** Розв'язування задачі, наведеної на рис. 4, на наочному зображенні

Точки С і D є симетричними точкам А і В відносно площин Δ і δ . Вони знайдені за допомогою прямих r_1 і r_2 , проведених з точок А і В, перпендикулярно до площин Δ і δ . З'єднуємо точки С і D та знаходимо точки К і Е перетину прямої CD з площинами Δ і δ . Точка К є точкою падіння променя, який вийшов з точки А, а точка Е – точкою падіння променя, який відбився від площини Δ в точці К. Оскільки прямокутні трикутники ALK і CLK є рівними, то кути α також є рівними, прямокутні трикутники ВFE і DFE також є рівними, а, отже, рівними є кути β . Кути α – кути падіння та відбивання променя від площини Δ , а кути β – від площини δ .

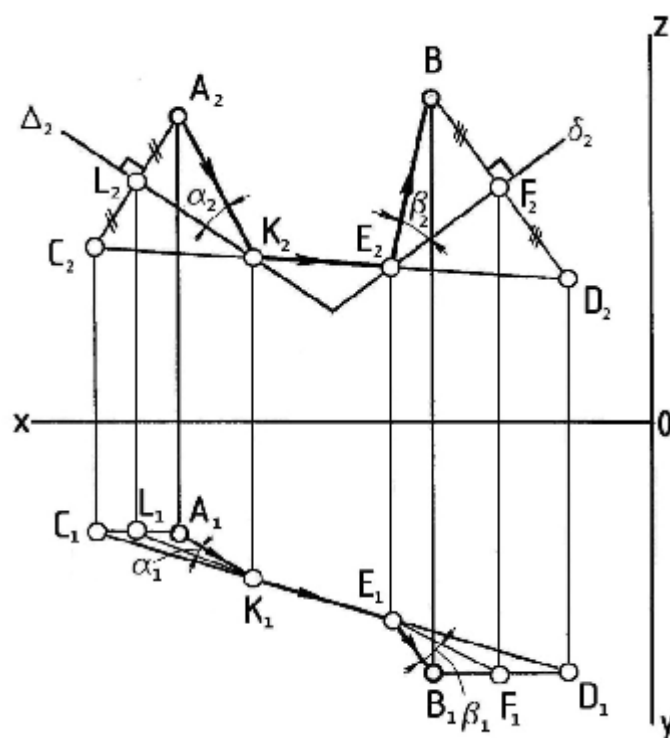


Рис.6. Розв'язування задачі, наведеної на рис. 4, епюрі

Студенти під час розв'язування подібних задач, які мають прикладний характер, не тільки засвоюють теоретичні положення нарисної геометрії, а вчаться їх застосовувати для вирішення конкретних технічних завдань. Тому, на наш погляд, доцільно на лекційних та практичних заняттях пропонувати студентам задачі, максимально наближені до їх майбутньої професійної діяльності.

ЗДІБНІСТЬ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ – ОДИН ІЗ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І ЯКОСТІ НАВЧАННЯ ФІЗИЦІ

Манькусь І.В., Недбаєвська Л.С.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Як відомо, освіта має продукувати індивідів, здатних забезпечити прискорене економічне зростання і культурний розвиток країни, свідомих, суспільно активних громадян, конкурентоспроможних на європейському і світових ринках праці.

Вирішення завдань, які наразі постали перед освітянами, потребує перегляду ряду фундаментальних понять, принципів, теорій і технологій навчання.

Однією з таких категорій є прогностична діяльність у процесі навчання – складний за структурою утвір, що відображає різновид людської діяльності.

Викладачу сьогодні необхідно не тільки володіти рівнем загальної

культури, психолого-педагогічною компетентністю, вмінням працювати із сучасним об'ємом інформації, нетрадиційно підходити до розв'язання різноманітних ситуацій, але і організувати професійну діяльність на прогностичній основі. Володіння прогнозуванням дозволить моделювати можливі зміни в організації, структурі і змісті навчального процесу, реалізувати особистісний підхід у навчанні, планувати свою професійно-педагогічну діяльність.

Як показують роботи Н.Ф. Гоноболіна, В.А. Кан-Калика, С.В. Кондратьєвої, Н.В. Кузьміної, присвячені вивченню професійних функцій викладача, крім інформаційної, комунікативної, організаційної, виховної, конструктивної і ін., викладач повинен мати прогностичні уміння і здібності для реалізації будь-якої із наведених функцій.

В численних роботах з методології наукового пізнання філософи досить чітко з'ясували, що основною і ведучою формою знання є наукова теорія (роботи І.Д. Андрєєва, Г.І. Рузавіна, Д.І. Уварова, А.Ф. Зотова). А серед всіх природничих теорій фізична теорія виділяється високим рівнем систематизації знань, логічною досконалістю, глибоким проникненням в неї математики, безпосереднім зв'язком з експериментом. Але однією із найважливіших характеристик теорії в науці вважається з'ясування тих функцій, які реалізує теорія у процесі наукового пізнання. Як з'ясувалось, у процесі пізнання фізична теорія виконує три функції: описову, пояснювальну і прогностичну (роботи Л. де Бройля, В. Гейзенберга, Л.І. Мандельштама, Р. Фейнмана, С.О. Шапорінського).

Таким чином, навчальний процес із курсу загальної фізики має можливість реалізації прогнозування як спеціально організованої викладачем пізнавальної діяльності студентів, яка дасть можливість підвищити ефективність і якість засвоєння навчального матеріалу, а також своєї праці.

Майбутня професійна діяльність неможлива без здібностей до прогнозування, розвиток яких відбувається в результаті формування у студентів відповідних вмінь. У роботах з психології мислення (А.Г. Нікітіна, Б.Ф. Ломов, А. Бауер, В.Г. Виноградов, А.І. Раєв, Л.О. Регуш), зокрема, що розкривають особливості прогнозування як мислительного процесу, ці уміння отримали назву прогностичних. До таких вмінь відносяться:

1) вміння висловлювати, розвивати і обґрунтовувати гіпотези, що забезпечують вираження майбутнього, яке пізнають в адекватній формі, яка враховувала б його ймовірнісний характер;

2) вміння встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, завдяки яким стає можливим розкривати зв'язки минулого-нинішнього-майбутнього;

3) вміння планувати, через яке знання про майбутнє включається в організацію діяльності.

Прогностична природа причинно-наслідкових зв'язків добре відома, вона визначається генетичним законом причинності: ніщо не виникає із нічого і не перетворюється у ніщо – який у термінах прогностики може бути сформульований через співвідношення минулого і причини, майбутнього і

наслідків. Розкриття причинно-наслідкових зв'язків – це завжди конкретна прогностична задача. Наприклад, нехай треба відповісти на питання: "Як буде вести себе стрілка електрометра, зарядженого негативним зарядом, якщо до нього повільно підносити позитивно заряджену паличку?" Відповіді на це запитання, означає встановити причинно-наслідкові зв'язки, що лежать в основі даного явища. Причина явища (дія електричного поля позитивно зарядженої палички) із умови відома, а ось наслідок (поведінка стрілки) необхідно передбачити, спрогнозувати, обґрунтувати і перевірити дослідом.

Пізнавальна прогностична діяльність студентів немислима без висунення, розвитку і перевірки гіпотез. Чи буде гіпотеза частинною, описовою чи пояснювальною – у будь-якому випадку вона служить для пізнання тих явищ, які ще не пізнані, для передбачення фактів, зв'язків, процесів, які ще доведеться встановити і обґрунтувати їх цінність. Використання гіпотези у пізнавальній діяльності відіграє першочергову роль у реалізації прогностичної функції фізичної теорії у навчанні.

Як показує практика, висунення і доведення гіпотез складає певні труднощі на заняттях, позаяк вони вимагають вмінь логічно правильно оперувати гіпотезами та інтуїтивного мислення. Тому викладач повинен показувати не лише значення гіпотези у розвитку теорії (гіпотеза Галілея, Ньютона, Ампера, Максвелла, Планка і ін.), але й навчати прийомам висунення, обґрунтування і доведення гіпотез.

Прогностична суть планування проявляється, в основному, під час самостійної постановки експерименту і отриманні на його основі нових знань. Постановці експерименту передують умовивід у вигляді гіпотези про те, що повинно відбутися за певних дій. Потім виконується планування експерименту, яке відповідає на питання: а) які умови необхідні для проведення досліду; б) яке спостереження треба провести; в) які величини необхідно виміряти; г) у якій послідовності будуть виконуватись всі необхідні дії.

Проблема формування прогностичної компетентності у майбутніх викладачів фізики виступає головною метою у підготовці кваліфікованих працівників, конкурентоспроможних на ринку праці, відповідальних, професіональних, таких, що орієнтуються в суміжних галузях знань, здатних до ефективної діяльності на рівні світових стандартів, готових до постійного професійного росту.

ПІДГОТОВКА ВИКЛАДАЧА ФІЗИКИ: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

Манькусь І.В., Недбаєвська Л.С.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Протягом усього періоду існування незалежної України в освітньому секторі країни накопичились численні проблеми, серед них особливо гострими для системи вищої освіти є: зниження якості освіти та падіння рівня знань і вмінь студентів; моральне старіння методів і методик навчання; повільне і

безсистемне оновлення змісту освіти; зниження якості педагогічних кадрів і криза педагогічної освіти; зниження якості навчальної літератури; критичний брак передових технологій в освітньому просторі.

Інноваційні технології, на відміну від традиційних навчальних технологій, є більш цілеспрямованими та інтенсифікованими процесами, які забезпечують формування кращих за своїми якостями і властивостями знань та умінь завдяки практичному використанню нових ідей. Педагогічна технологія відображає тактику реалізації освітнього процесу в певних умовах навчання незалежно від навчального предмета, а технологія навчання – «шлях освоєння конкретного навчального матеріалу в межах визначеного предмета».

Відмова від авторитарного стилю викладання, орієнтація на демократизацію та гуманізацію освіти, зокрема, загальної фізичної у більшості високорозвинених країнах світу відзначалися багатьма дослідниками (С.У. Гончаренко, В.Г. Разумовський, Л.В. Тарасов). Результати численних досліджень учених-методистів (С.П. Величка, В.П. Вовкотруба, О.І. Іваницького, М.І. Садового, В.Д. Шарко) свідчать, що використання у навчальному процесі інноваційних технологій є передумовою переходу від знаннево-просвітительської парадигми фізичної освіти до парадигми продуктивного навчання, коли студенти засвоюють не готовий досвід досліджень в галузі фізики, а беруть активну участь у самостійному вивченні та дослідженні навколишнього світу методами фізичної науки.

Контекстний підхід, що спирається на теорію та технології знаково-контекстного (контекстного) навчання, є одним з найбільш перспективних для підвищення якості професійної підготовки майбутніх викладачів фізики.

У педагогіці існує ціла низка робіт, присвячених різним моделям навчання, як у межах вітчизняного культурного контексту, так і у межах контексту інтернаціонального. Це роботи А.О.Вербицького, І.О.Зимньої, В.В.Серікова, І.С.Якиманської, Н.І.Геза, Г.А.Китайгородської, А.А.Леонтьєва, Є.І.Пассова, Г.В.Рогової та інших.

Навчання, в якому за допомогою системи дидактичних форм, методів та засобів послідовно моделюється зміст майбутньої професійної діяльності фахівця, задаються її предметний та соціальний контексти, названо А.О.Вербицьким контекстним. Як зазначає дослідник, «знаково-контекстне навчання – форма активного навчання, призначена для застосування у вищій школі, орієнтована на професійну підготовку студентів і реалізована за допомогою системного використання професійного контексту, поступового насичення навчального процесу елементами професійної діяльності».

Засвоєні в процесі такого навчання знання постають не як самоціль, а як засіб регулювання студентом базових форм діяльності, а саме: навчальної, навчально-професійної, професійної, що послідовно змінюють одна одну.

Проектуючи та реалізуючи модель контекстного навчання при викладанні методики навчання фізики, ми виходимо з того, що методична та технологічна підготовка майбутніх викладачів фізики є органічним елементом загальної системи професійної підготовки студентів, має міцні зв'язки зі змістом інших

дисциплін, крім цього, необхідно також створювати дидактичні умови, які сприяють формуванню та розвитку пізнавальної мотивації та її трансформації в професійну.

Розроблена нами контекстна модель професійно спрямованої підготовки майбутніх викладачів фізики з метою формування їх технологічної культури базується на таких загальних принципах:

- забезпечення особистісного включення студента у процес навчання;
- моделювання змісту та умов професійної діяльності у процесі формування професійної компетенції;
- проблемності змісту навчання та його розгортання в освітньому процесі;
- адекватності форм навчальної діяльності студентів цілям та змісту освіти;
- ведучої ролі спільної діяльності, міжособистісної взаємодії та діалогічного спілкування суб'єктів освітнього процесу;
- обґрунтованого впровадження нових та традиційних педагогічних технологій;
- єдності навчання та виховання особистості фахівця.

Найбільші можливості у розвитку пізнавального інтересу студентів до методики навчання фізики та продуктивності її засвоєння мають технології контекстного навчання, такі як рольова та ділова гра, які проводяться нами у формі конкурсу, обираються залежно від етапу, мети та змісту навчання. У конкурсі є імітаційна модель майбутньої професійної діяльності; конкурс націлено як на розвиток фахової та соціально-комунікативної компетенцій майбутніх викладачів фізики, так і на формування їх технологічної культури. Дослідження, пов'язані з розробкою і впровадженням нових технологій навчання, в основу яких покладено застосування конкурсів, свідчать про наявність у них значних можливостей щодо підвищення ефективності підготовки спеціалістів.

Конкурс – це практичне заняття, яке моделює різні аспекти професійної діяльності майбутнього викладача фізики та забезпечує умови комплексного використання знань предмета професійної діяльності, а також вдосконалює їх практичні та технологічні вміння щодо використання фізичного експерименту.

Конкурс з фізичного експерименту проходить в одній із сфер професійної діяльності майбутнього викладача фізики, а саме: техніка та методика постановки шкільного фізичного експерименту. При цьому моделювання умов професійної діяльності є обов'язковим. Основна мета – формування та підвищення професійної компетенції студентів.

Конкурс з фізичного експерименту – це спосіб навчання, коли студенту надається можливість творчо проявити себе у створенні матеріалу. Кожен студент, майбутній викладач фізики, обирає одну з трьох особливо актуальних тем щодо методики і техніки постановки демонстраційного фізичного експерименту:

- розробка, створення та застосування саморобного фізичного обладнання для постановки демонстраційного фізичного експерименту;
- особливості впровадження сучасних комп'ютерних технологій в

фізичному експерименті;

- використання фізичного експерименту в позакласній роботі.

Спостереження за роботою студентів на основі моделі контекстного навчання показують, що навчальна діяльність щодо засвоєння змісту програми вже на першому етапі роботи приймає якісно інший характер у порівнянні із традиційною моделлю. Здійснюється особистісне включення в освітній процес, навчання набуває творчого характеру, що підвищує рівень пізнавальної мотивації та зацікавленість у оволодінні технікою і методикою постановки шкільного фізичного експерименту; формуються не тільки пізнавальні, а й професійні мотиви та інтереси; починає складатися уявлення про можливості використання фізичного експерименту як одного із важливих засобів здійснення майбутньої професійної діяльності.

ВИХОВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ УЧНІВ: РОЛЬ ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ

Н.М. Михалко, Л.С. Недбаєвська

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

1. Насьогодні першочергового значення для людей набули проблеми екології. Вони зумовлені їх виробничою діяльністю і згубно впливають на здоров'я і життя майбутніх поколінь, тому захист природи нашої планети – справа всього людства і в тому числі учнів, у яких треба формувати екологічну культуру і свідомість.

2. У становленні екологічної культури велика роль вчителя фізики. Він повинен виховати в учнів почуття співпричетності з природою, відчуття її краси, тобто дати елементарну екологічну освіту.

3. Під екологічною освітою розуміють процес навчання, виховання і розвитку особистості, спрямований на формування системи наукових і практичних знань та вмінь, ціннісних орієнтацій, поведінки і діяльності, які б забезпечували відповідальне відношення до оточуючого соціально-природного середовища.

4. Основними передумовами, які повинен забезпечити вчитель для успішного формування екологічної культури учнів, є.

- вчитель повинен сам бути «переконаним у необхідності бережливого відношення до природи, розглядати виховання в учнів екологічних переконань як свій громадський обов'язок»;

- екологічне виховання учнів необхідно проводити на позитивних, а не на негативних прикладах, хоча деградація природи відбувається швидше, ніж реалізація заходів по її захисту. Такі позитивні приклади вчитель може знайти, познайомившись з новітніми досягненнями нанотехнологій.

- в основу екологічного виховання необхідно покласти принцип гуманізації. Цей принцип передбачає розкриття оптимальних шляхів взаємодії

суспільства і природи, розкриття гуманних рис особистості – доброти, чуйності, співчуття, а також виховання в учнів почуття прекрасного, Учні особливо чутливі до естетичного сприйняття краси природи.

5. З метою підвищення інтересу учнів до екологічних проблем вчителю необхідно познайомити їх з ідеями В.І. Вернадського, видатного вченого, мислителя, першого президента Української академії наук. Саме В.І. Вернадський зробив особливий внесок у новий підхід до дослідження природи і ролі людини в ній. В.І. Вернадський набагато випередив свій час, створивши вчення про ноосферу – сферу Розуму. Ноосфера – це біосфера, розвиток якої цілеспрямовано керується людиною.

Тому дуже важливим є застереження В.І. Вернадського про те, що для заміни антропосфери ноосферою необхідне ще «панування в самій людині сил розуму над низькими інстинктами». Перехід до ноосфери як глобальної моделі майбутньої цивілізації виключає будь-яке силове рішення земних проблем, він можливий лише при управлінні земними процесами розумом всього людства.

6. Однією із головних умов успішної екологічної освіти є використання вчителем сучасних форм і методів навчання. Серед цих форм і методів виділимо роботу над навчальними проектами, запровадження елективних курсів і проведення конкурсів малюнків і фото сесій на екологічну тематику.

Практично у кожному розділі шкільної програми з фізики можна запропонувати учням навчальний проект на екологічну тему.

Не менше важливим для формування екологічної компетентності є і елективні курси. Так, наприклад, для 9 класу корисним буде елективний курс «Людина в електромагнітному павутинні». При здійсненні цих форм навчання ефективним є застосування методичного прийому цілеспрямованого розгляду екологічних ситуацій, коли описується конкретна загроза природі, викликана фізико-технічними причинами, а учням пропонується віднайти рішення: знайти природоохоронний вихід із екологічної несприятливої ситуації, який був би обґрунтованим з наукової точки зору, економічно доцільним і моральним.

7. За останні десятиріччя змінилась сама парадигма екологічної освіти. Якщо раніше зусилля людини були спрямовані на пізнання оточуючого світу з метою його перебудови і адаптації до себе, то наразі зусилля суспільства переносяться на пізнання людини; її фізичної і духовної природи з метою все більш повної адаптації її до оточуючого світу. Зараз необхідно добиватися не чергової «перемоги над природою», як це було ще зовсім недавно, а взаємодіяти з нею, враховувати її закони розвитку. І цю сучасну тенденцію вчитель фізики повинен враховувати, формуючи екологічну свідомість учнів.

ТЕХНОЛОГІЇ ПОЗАКЛАСНОЇ РОБОТИ З ФІЗИКИ. ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПОЗАКЛАСНІЙ РОБОТІ З ФІЗИКИ СТАРШОЇ ШКОЛИ (10-11 КЛАСИ)

Мішура Ю.В., Манькусь І.В.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

З найважливіших завдань загальноосвітньої школи є стабільного підвищення ефективності навчально-виховної роботи у школах, а саме активне впровадження сучасних методів навчання з метою забезпечення всебічного формування особистості учня, розвитку його творчих здібностей та наукового світогляду.

Забезпечення свідомого, систематичного і міцного засвоєння школярами курсу фізики є основним освітнім завданням методики фізики.

Набуття учнями знань залежить від трьох факторів:

- характеру навчального матеріалу з фізики, його змісту й системи, за якою він вивчається, методичної майстерності і досвіду учителя, його особистих якостей, від методики викладання кожної окремої теми курсу в залежності від віку учнів;

- від особливостей самого учня - індивідуальних характеристик його психічного розвитку (розумового, емоційного, вольового), від ставлення до навчання, від його нахилів та інтересів. Інакше кажучи, процес вивчення фізики опосередковується індивідуально-психологічними особливостями учнів, а не є простим наслідком того, чого і як навчають учнів.

Використання інноваційних та традиційних технологій навчання дозволяє інтерактивне інформаційно-комунікаційне середовище відоме як “інтерактивна дошка” - це високоефективний засіб навчання являє собою інтерактивний програмно-технологічний навчальний комплекс на основі Microsoft Office Power Point 2007 та Smart Board, що забезпечують універсальну технологічну роботу з різними видами інформації, дає можливість керування різноманітним прикладним забезпеченням, а основне і найцікавіше те, що вчитель може самостійно створювати і використовувати під час уроків власні навчальні програми або ж їх фрагменти. Завдяки розмаїттю матеріалів, що дозволяє використовувати Microsoft Office Power Point 2007 та Smart Board, школярі значно швидше схоплюють нові ідеї, більше зацікавлюють тим, що відбувається на заняттях, активно обговорюють нові теми, ґрунтовно запам'ятовують матеріал.

Концептуальні засади програм практикумів доцільно виділити:

- ефективне використання ІКТ у позакласній роботі;
- проектну методику на основі самостійної (індивідуальної чи групової) дослідницько-пошукової діяльності учнів;

- розвиток учнів - формування в учнів навичок мислення високого рівня (аналіз, синтез, оцінювання), навичок

критичного мислення за допомогою формулювання ключових та тематичних питань для учнів;

- формулювання в учнів цілісної картини світу;
- практичну спрямованість знань та навичок учнів;
- розвиток навичок, які сприяють підвищенню конкурентоздатності учнів на ринку праці за умов розвитку економіки, яка ґрунтується на новітніх технологіях та знаннях;
- орієнтування при плануванні навчального проекту на вимоги державних освітніх стандартів та зміст державних навчальних програм з фізики;
- циклічна побудова навчання щодо використання інформаційно-комунікаційних технологій;
- система оцінювання та само оцінювання всіх видів діяльності учнів щодо використання ІКТ на базі розробки власних критеріїв та форм оцінювання;
- система навичок щодо ефективного впровадження ІКТ, форуми та обговорення в режимі он-лайн, конкурси для учасників, а також експертна оцінка ефективності впровадження програми.

До можливостей використання ІКТ як в позаурочній діяльності, так і на уроках; технології починають сприйматися як засоби підтримки та організації навчального процесу, а не як «річ у собі»; учасники отримують практичний методичний досвід створення навчальних матеріалів та засобів оцінювання.

Стандартні офісні додатки використовуються для самостійних методичних розробок, з'являються нові форми контролю знань та навичок учнів, зростають мотивація учнів, інтеграція предметів, практична спрямованість навичок та знань учнів.

Викликати інтерес до навчання – є саме тим завданням, яке лежить в основі вчителя фізики. Не дають можливості обмеженість часу і зарегламентованість форм організації навчання врахувати всі індивідуальні особливості учнів. Тому учитель для себе формулює план завдань і розв'язує всі їх поза межами школи, класу, уроку. Вся робота вчителя над усіма проблемами одержала назву позаурочної або позакласної.

Позакласна робота направлена на досягнення загальної мети навчання і виховання, а також на засвоєння дитиною необхідного для життя в суспільстві соціального досвіду і формування системи цінностей, що приймається суспільством.

ФОРМУВАННЯ ВМІНЬ АКТИВІЗАЦІЇ ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИ ВИВЧЕНІ ФІЗИКИ У СУЧАСНІЙ ШКОЛІ

Ольшановський В., Недбаєвська Л.С

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

1. Як відомо, головна мета навчання фізики в середній школі полягає в розвитку особистості учнів засобами фізики, зокрема завдяки формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, розвитку експериментальних умінь і дослідницьких навичок.

2. Суспільний процес неможливий без фундаментальних наукових досліджень в області природничих наук, зокрема, фізики. Тому новітня школа повинна формувати в учнів сучасне фізичне мислення, необхідне для ефективної реалізації своїх знань у науці і практиці. Розв'язання цього завдання можливе лише за умови активізації пізнавальної діяльності.

3. Одним із визначних факторів формування інтересу до навчання є зміст навчального предмету і відповідної науки, їх відповідність потреба сучасності, впливу на рівень життя. Особливо це актуальне для фізики як навчального предмета, що найяскравіше відображає зв'язок науки і суспільного виробництва. Аналіз програми з фізики показує, що шкільний курс фізики постійно поповнюється відповідними новими відомостями в області електродинаміки, фізики твердого тіла, атомної і ядерної фізики, квантової фізики.

Наприклад, провідним напрямком сучасних технологій стало впровадження у виробництва так званих нанотехнологій, які за прогнозами фахівців дозволять впровадити у виробництво чисті технології, ліквідують голод, викоріняють хвороби, захистять від хвороботворних мікробів і вірусів, відтак збільшать якісного життя людини і т. ін..

4. Серед головних досягнень сучасних нанотехнологій помітні такі: відкриття скануючої зондової мікроскопії, нових вуглецевих наноматеріалів, наноелектроніки. Поки що у навчальних підручниках відповідних матеріалів немає, але залучення учнів до навчальної діяльності з ознайомлення із фізичною суттю цих відкриттів сприятиме народженню знань, якими володіє не лише вчитель, а й учень. При цьому знання стають особисто значущими, їх застосування активним і творчим, а урок - більш цікавим і сучасним.

5. Розглянемо приклад ознайомлення учнів з новим поняттям «квантова точка» при вивченні теми «Випромінювання та поглинання світла атомами. Атомні спектри.» в XI класі. Пояснюючи учням на уроці механіки утворення лінійчастих спектрів випромінювання і поглинання світла на основі квантових переходів між рівнями енергії в атомах, вчитель може розповісти учням про квантові точки, властивості яких схожі з властивостями звичайних атомів. Використання прийому порівняння оптичних властивостей атома і квантової точки буде сприяти кращому засвоєнню учнями основного матеріалу, разом з тим вони познайомляться з одним із сучасних наноматеріалів, якому вчені пророкують велике майбутнє.

Квантова точка – це досить невеличкий (не більше 10 нм) шматочок напівпровідника, який обмежений по всім трьом просторовим вимірам і містить електрони провідності. Електрон в такій наночастинці має багато стаціонарних рівнів енергії. Під зовнішньою дією електрон може переходити (як і в атомі) на більш високий енергетичний рівень, який не зайнятий іншими електронами. Це приводить квантову точку до збудженого стану. На тому місці, де був електрон, виникає дірка. Завдяки зарядовій взаємодії електрон залишається зв'язаним з діркою. Виникає квазічастинка «електрон – дірка», яку називають «ексітон», що означає «збуджений». Потім електрон може перейти на більш низький

енергетичний рівень i , аналогічно збудженому атому, випромінювати фотон. Таким чином, електрони в квантовій точці ведуть себе таким же чином, як і в атомі, тому квантова точка і одержала назву «штучний атом». Але «штучний атом» на відміну від звичайного атома не має ядра.

6. Людське око розрізняє фотони за частотою (довжиною хвилі), ми сприймаємо частоту фотона як колір. Квантова точка завжди світиться тільки одним кольором, який залежить від її розмірів. Квантові точки забезпечують у нанопристроях перетворення енергії електрона в енергію фотона, або навпаки, енергію фотона в енергію електрона. Кількість атомів в квантових точках – $10^3 \div 10^6$ штук. Квантові точки вже мають широке застосування. Вони є зручним інструментом для біологів, які намагаються розгледіти різні структури всередині живих клітин. На основі квантових точок створені перші прототипи дисплеїв, світлодіодні лампи.

7. Велику роботу по дослідженню властивостей квантових точок провів колектив російських вчених під керівництвом Ж.І. Алфьорова (Нобелівська премія, 2000 р.). В 1995 році він вперше в світі продемонстрував інжекційний гетеролазер на квантових точках, яких працює у певному режимі при кімнатній температурі. Дослідження Ж.І. Алфьорова започаткувало принципово нову електроніку на основі гетеро структур з дуже широким діапазоном застосування відомої сьогодні як «зонна інженерія».

8. Таким чином, осучаснення шкільного курсу фізики (в тому числі і політехнічного) активізує їх пізнавальну діяльність та сприяє підвищенню інтересу до вивчення фізики.

КУРС ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ЯК СКЛАДОВА ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ІНФОРМАТИКИ

Погромська Г.С., Махровська Н.А.

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Формування у студента усвідомлення соціальної значущості майбутньої професії, мотивації до отримання професійних знань, розуміння та освоєння основних концепцій і змісту програмної інженерії як методології індустріального проектування прикладних програмних продуктів є одними із завдань дисципліни «Інженерія програмного забезпечення». Зазначене є невід'ємною умовою при підготовці сучасних спеціалістів у ВНЗ для кар'єри у промисловості і науці з акцентом на здатності проаналізувати, спроектувати, перевіряти, впроваджувати, застосовувати, і підтримувати системи програмного забезпечення.

Дидактичні та педагогічні питання викладання інженерії ПЗ висвітлюються у науково-дослідницьких роботах авторів Раккуна Л.-Б., Шоу М., Херислеба Д., Лю С., Такахаші К., Хаясі Т., Блік В., Морозової Т.Ю., Сейдаметова З.С., Темненко В.А., Сидорова М.О., Орехова О.А.,

Мендзевровського І.Б. та ін. Авторами Келлі А., Річмондом Е., Робертсом Е., Влітом Х., Лі Д., Чен Ю., Шоу М., Луцьким М., Сидоровим М. та ін. підіймаються положення методики та підходи, що використовуються у системі викладання інженерії ПЗ.

Досвід викладання програмної інженерії до теперішнього часу акумульовано у вигляді двох міжнародних стандартів:

1. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK), – Сукупність Знань з Програмної Інженерії, надалі просто SWEBOK [1].

2. Software Engineering. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering – Рекомендації з викладання програмної інженерії та інформатики в університетах [2].

До ключових проблемних питань викладання дисципліни «Інженерія програмного забезпечення» для спеціальності «Інформатика» нами віднесено:

1. Необхідність будувати методику викладання дисципліни «Інженерія ПЗ» на базі промислового проекту. Останнє призводить до зайвого навантаження на студентів та призводить до доцільності концентрувати увагу максимум на декількох проблемах в кожному спеціально підібраному середовищі, але загалом розкривати всі необхідні теми курсу, при тому, що навчальний проект охоплює лише декілька ключових проблем.

2. Подібність курсу «Інженерія ПЗ» з іншими інженерними дисциплінами. Загальна ідея полягає в тому, що подібності превалюють, але, звичайно, існують і суттєві відмінності

3. Планування в програмній інженерії здійснюється гірше, ніж в інших областях.

4. Інтегрування адекватних методів проектування користувацького інтерфейсу в процесі розробки ПЗ.

5. Відставання або ж випередження SWEBOK і SE 2004 в окремих галузях від практики.

6. Виникаюча неоднорідність інженерії програмного забезпечення і відповідне ускладнення галузевої практики.

Теоретичні заняття у вигляді лекцій є традиційними для університетської освіти. Лекційний курс побудований на базі останнього стандарту в області програмної інженерії – SWEBOK 2004. Тематика лекцій відповідає назвам базових галузей знань програмної інженерії відповідно до проекту SWEBOK: 1) Software Requirements (Програмні вимоги); 2) Software Design (Проектування ПЗ); 3) Software Construction (Конструювання ПЗ); 4) Software Testing (Тестування ПЗ); 5) Software Maintenance (Супровід ПЗ); 6) Software Configuration Management (Конфігураційне управління ПЗ); 7) Software Engineering Management (Управління ПІ); 8) Software Engineering Process (Процеси ПІ); 9) Software Engineering Models and Methods (Моделі і методи програмної інженерії); 10) Software Quality (Якість ПЗ).

Виклад кожної лекційної теми ведеться на такому рівні, щоб забезпечити студенту розуміння природи загальноприйнятих тем курсу «Інженерія ПЗ» і подальше успішне знаходження необхідних довідкових матеріалів. Необхідні

студентам знання містяться в довідкових матеріалах, а не в керівництві SWEBOOK. Проблему малого обсягу лекційних годин і великого обсягу теоретичного матеріалу долаємо наступним чином: краще щось не встигнути, ніж щось не зрозуміти. Тому ми при необхідності зменшуємо обсяг теоретичних знань в курсі, які не піддаються практичному освоєнню, і більш поглиблено опрацьовуємо матеріал, що залишився. Використовуємо велику кількість «живих» прикладів у лекціях, застосовуючи відеоролики, комп'ютерні презентації. Під час проведення лекцій доцільним є застосування інтерактивної форми навчання: Розбір конкретних ситуацій, що передбачає розбір конкретної ситуації на прикладах під час вивчення та закріплення візуального моделювання та проектування.

Основний акцент в освоєнні курсу «Інженерія ПЗ» зроблений на лабораторні заняття. Методика проведення лабораторних занять добре відпрацьована і проходить відповідно з практикумом з програмної інженерії, які оформлені у вигляді методичних рекомендацій до курсу.

Дисципліна та її зв'язок із практичними потребами замовників володіє високою динамічністю, обумовленої специфікою предметної області, заснованої на сучасних інформаційних системах і технологіях їх побудови. Як наслідок, для більш повного задоволення потреби особистості у здобутті освіти, адекватної потребам сучасного суспільства, тематика лабораторних робіт передбачає за вибором студента використання різних інструментальних засобів для розробки, а так само припустимі і вітаються особисті ініціативи студентів у запропонованні тематики розробки програмного забезпечення.

Виділимо узагальнені етапи для покращення системи викладання зазначеної дисципліни:

- Викладання дисципліни з використанням новітніх методик навчання і додаванням більшого об'єму практичних проектів.
- Систематична інтеграція прикладних та експериментальних досліджень з галузі інженерії програмного забезпечення у навчальний процес.
- Укріплення та посилення взаємодії освітніх закладів та професійних організацій для проведення практичних занять та досліджень.
- Залучення студентів до міждисциплінарних досліджень та розробок.
- Популяризація постійного та плідного самонавчання та вдосконалення власних знань студентів;
- Постійне оновлення учбового плану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Knowledge (SWEBOOK), IEEE Computer Society 2004 Version [SWEBOOK, 2004].
2. Software Engineering 2004. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering. A Volume of the Computing Curricula Series IEEE Computer Society, Association for Computing Machinery, 2004 [SE, 2004].

ДЕЯКІ ШЛЯХИ ПОРЯТUNKУ ШКІЛЬНОЇ АСТРОНОМІЇ

І.М.Хейфець

Миколаївський національний університет ім. В.О.Сухомлинського

Сьогодні Україна є однією з не багатьох країн світу, де астрономія викладається в середній школі як обов'язковий предмет. Ця дисципліна входить до державного стандарту базової і повної загальної середньої освіти, який затверджено відповідною постановою Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 р. №1392, розділ VI освітня галузь «Природознавство» [1].

Астрономія, в переважній більшості, викладається в другому півріччі 11-го класу в загальному обсязі 17 годин, в той саме час коли всі зусилля учнів спрямованні на успішне складання ЗНО. Відверто кажучи в учнів в цей достатньо складний період на інші предмети теж не вистачає часу, але вони продовжуються, а астрономія тільки розпочинається і тут же закінчується. Інколи не розпочавшись. Бо нема коли.

Таким чином, де-юре астрономія в школі є, а де-факто начебто і немає. Які можуть бути шляхи з цієї, на перший погляд, безвихідної ситуації. Деякі пропозиції з цього приводу були запропоновані автором у попередніх публікаціях [2]. Одразу попереджаю, що простих шляхів немає і поодиноці вирішити цю проблему майже неможливо. Тут треба втручання в систему, причому втручання потрібно на рівні Міністерства освіти і науки, без якого вирішити цю проблему буде дуже важко або неможливо.

Якщо заглянути в історичне минуле, то найближчий до сьогодення досвід викладання астрономії в нашій країні – це досвід викладання її в радянській школі. Досвід неоднозначний. Багато років астрономія в школі викладалася на досить високому рівні як, до речі, і інші дисципліни, а потім все почало руйнуватися. Чому? Остаточної відповіді на це питання досі немає. Але зрозуміле, що механічне повернення старої радянської системи викладання астрономії в школі неможливо з багатьох причин [3]. Ті ж хто цього бажають, скоріше бажають повернення Радянського Союзу, а не астрономії.

Якщо зробити більш далеку ретроспективу цього питання, то уваги заслуговують наступні факти. У квітні 1915 року «Особлива нарада при реформі школи» розробила навчальну програму з космографії, згідно з якою курс складався з двох частин. До першої - входили відомості з сферичної астрономії, до другої – елементи астрофізики і теоретичної астрономії. На викладання космографії в новогуманітарних гімназіях відводилося 2 години на тиждень, в гуманітарних гімназіях – 1 година на тиждень в VII класі [4]. Ось це мабуть трохи ближче до нас. Якщо додати більш конструктивізму, то слід зазначити, наступне. По перше, з випускного класу астрономію треба прибирати і перенести її до IX чи X класу, в якості окремого предмету. Обсяг навчальної дисципліни 34 години на рік, тобто 1 година на тиждень.

Другий, можливо майже фантастичний шлях порятунку шкільної астрономії – це розділення її на дві частини, інакше кажучи викладання її в два етапи. Перший етап назвемо його «Елементарна астрономія» на зразок

«Космографії» вивчається в загальноосвітній школі II ступеня (5-9 кл.). Другий – назвемо його «Сучасна картина будови Всесвіту», в школі III ступеня (10-11 кл.). Причому в школі III ступеня при реалізації принципу диференціації освіти, курс можуть вивчати учні, які вибрали саме фізико-математичний або природничий напрям.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Державного стандарту базової і повної загальної середньої освіти. Офіційний вісник України від 17.02.2012 р., № 11, с. 51, стаття 400.
2. І.Хейфець. Викладання астрономії в середніх загальноосвітніх навчальних закладах України: проблеми, завдання, перспективи. Фізика та астрономія в школі, №5-6, 2008, с.40.
3. І.Хейфець. О необходимости создания современной системы средств обучения астрономии. Матеріали проблемного науково-методичного семінару «Питання удосконалення змісту викладання фізики у середній і вищій школі». Вип..13, Миколаїв, 2007, с.70-73.
4. Особое совещание по реформе в средней школе. Материалы по реформе средней школы. Подкомиссия по космографии. - Петроград, 1915.

TOPICAL SECTION 6

**GEOMETRICAL, MATHEMATICAL AND
COMPUTER MODELING OF THE PHENOMENAS,
SYSTEMS AND PROCESSES**

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КРИВИХ БЕЗЬЄ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБВОДІВ ПОВЕРХОНЬ ТЕХНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

О.Г.Бідніченко

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

При геометричному моделюванні кривих складної форми широко використовуються поліноми Бернштейна, які покладені в основу метода, що запропонував Безьє. Наявність низки переваг кривих Безьє в порівнянні з іншими математичними кривими сприяло їх застосуванню для автоматизованого подання форми обводів елементів технічних конструкцій, зокрема елементів проточних частин відцентрових компресорів. Метод Безьє відрізняється гнучкістю, простотою математичного опису, можливістю локально змінювати форму кривої, що дозволяє працювати у діалоговому режимі із множиною змодельованих кривих.

Особливості геометричного моделювання розглянемо на прикладі меридіонального перерізу робочого колеса відцентрового компресора (рис.1). Плоска крива, що описує обводи може бути представлена параметричними співвідношеннями виду

$$x(t) = \sum_{k=0}^n x_k \Phi_{k,n}(t); \quad y(t) = \sum_{k=0}^n y_k \Phi_{k,n}(t), \quad \text{де } n -$$

ступінь апроксимуючого полінома, x_k, y_k - коефіцієнти полінома, який уявляє собою координати вершин характеристичної ламаної лінії, $\Phi_{k,n}(t)$ - система базисних функцій Бернштейна, яка визначається залежністю

$$\Phi_{k,n}(t) = \frac{n!}{k!(n-k)!} t^k (1-t)^{n-k}, \quad k \in [0, n].$$

Змінюючи координати вершин характеристичної ламаної лінії можна варіювати довільним образом форму кривої обводів, що моделюється. В розробленому алгоритмі запропоновано визначити п'ять вершин характеристичної ламаної, положення яких визначає форму кривої, координати точок якої розраховуються за наведеними вище параметричними рівняннями.

Розроблено алгоритм визначення координат вершин ламаної Безьє та раціонального розміщення точок на кривих обводів, яке обумовлено вимогами практики дослідження ефективності робочих коліс відцентрових компресорів та їх виготовлення.

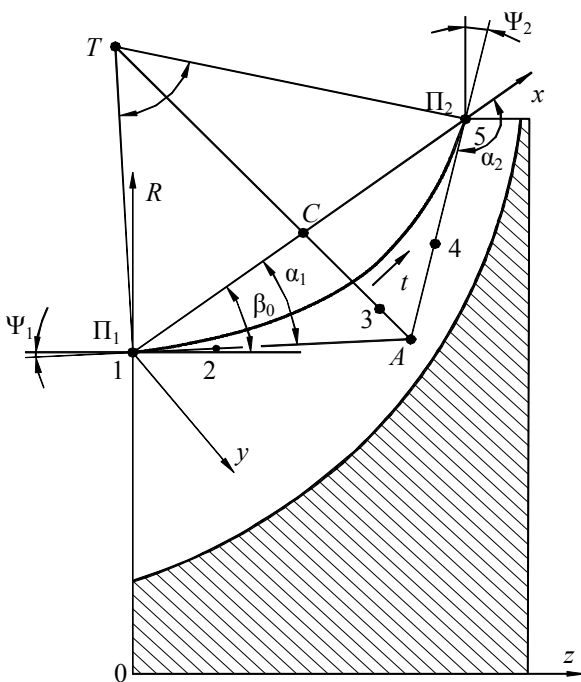


Рис.1. Побудова зовнішньої границі меридіонального перерізу робочого колеса

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ
ВИМІРЮВАНЬ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І РЕЖИМНИХ
ПАРАМЕТРІВ ПРИ ОДЕРЖАННІ РЕАКТОПЛАСТИЧНИХ
ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Колосов О.Є.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

У світі протягом декількох останніх десятиріч сучасні композити все впевненіше витісняють «класичні» матеріали. Нові волокна, тканини і попередньо просочені волокнисті напівфабрикати на їх основі отримали поширення в авіаційній, космічній, атомній промисловості, у трубопровідному транспорті тощо.

Незважаючи на існування величезної кількості реактопластичних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), які розрізняються між собою не тільки складами і властивостями, але й технологією одержання, проблема оптимізації базових процесів та конструктивно-технологічних параметрів обладнання для формування, переробки, а також створення ПКМ з певним, заздалегідь заданим комплексом властивостей, включаючи здійснення направленої фізико-хімічної модифікації існуючих ПКМ з метою покращання їх експлуатаційних властивостей, залишається актуальною задачею і до теперішнього часу [1 – 4].

Виготовлення виробів з ПКМ – порівняно складний технологічний процес, що базується на використанні певних фізико-хімічних закономірностей. В залежності від умов формування ПКМ змінюються його фізико-механічні властивості. Тому вибір і обґрунтування режимних параметрів формування, а також параметрів формуючого обладнання, із застосуванням широкого спектру методів моделювання (геометричного, математичного, фізичного, експериментально-статистичного, комп'ютерного) мають принципове значення.

При оптимізації режимних параметрів виготовлення реактопластичних ПКМ доцільним є застосування «класичного» підходу експериментально-статистичного моделювання [2], що передбачає використання наступної послідовності процедур.

По результатам експериментальних досліджень визначали середнє значення \bar{x} досліджуваної дискретної випадкової величини x за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{N^s} \sum_{i=1}^N x_i,$$

де N^s – число випробувань;

x_i – значення досліджуваної випадкової величини при i -му випробуванні.

Середньоквадратичне відхилення $\bar{S}_\sigma(x)$ дискретної випадкової величини x характеризує розсіювання експериментальних даних і визначається за формулою:

$$\bar{S}_\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 - Nx_i}{N^{\hat{a}} - 1}}.$$

Коефіцієнт варіації k_v визначають за величиною середньоквадратичного відхилення по формулі:

$$k_v = \frac{\bar{S}_\sigma(x)}{\bar{x}} \cdot 100, [\%]$$

Точність середнього арифметичного $\tilde{\varepsilon}$ визначають так:

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{\bar{x}}{\frac{\sqrt{N^{\hat{a}}}}{\tilde{f}}},$$

де \tilde{f} – критерій точності, що залежить від числа вимірів N^o і обраної ймовірності знаходження розрахованих величин середньоарифметичного всередині довірчого інтервалу ($\bar{x} - \tilde{\varepsilon}$, $\bar{x} + \tilde{\varepsilon}$).

Що стосується вибору математичних методів планування експерименту, які застосовуються для оптимізації параметрів фізичної і хімічної модифікації ЕК, то згідно [5–6], при детальному вивченні локальної області факторного простору (тобто простору, який утворюють вже раніше досліджувані вхідні технологічні параметри), до цього вже приблизно вивченої, слід обирати саме D -оптимальний план реалізації експерименту.

Останній, як правило, і застосовується для вирішення задач такого типу, так як дозволяє отримувати план реалізації експерименту з меншою кількістю точок, на відміну від повнофакторного експерименту. Такий вибір значно зменшує сировинні, часові й енергетичні витрати на реалізацію D -оптимального плану.

Тому, скориставшись цим, можна синтезувати D -оптимальний план з мінімально можливою для більш-менш достовірної інформації кількістю експериментів, величина яких, звичайно, є більшою за кількість факторів, і в результаті регресивного аналізу знайти коефіцієнти шуканої математичної моделі.

Синтез D -оптимального плану та статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили за допомогою програмного продукту STAT-SENS [6].

Відповідно до використовуваної методики обробки експериментальних даних [6], проводили також перевірку однорідності дисперсій та оцінку значимості коефіцієнтів для математичних моделей, отриманих для досліджуваних процесів фізико-хімічної модифікації ПКМ.

Для перевірки гіпотези про адекватність отриманої математичної (експериментально-статистичної) моделі необхідно співставити досягнуту точність моделі з величиною, яка характеризує точність спостережень. Якщо похибки, що характеризують точність моделі, перевищують похибки спостережень, то гіпотеза про адекватність моделі відхиляється.

Так як перевірка адекватності отриманих моделей досліджуваних процесів фізичної і хімічної модифікації проводилась за допомогою статистичного критерію Фішера F , то вважали, що рівняння регресії адекватно описує досліджуваний процес виготовлення ЕК, якщо остаточно дисперсія (дисперсія адекватності) s_{ocm}^2 вихідної величини $Y_i^p(X) = Y_{розр}$, розрахованої по рівнянню регресії відносно експериментальних даних Y_i , не перебільшує в статистичному сенсі похибку експериментальних досліджень [7].

Слід зазначити, що для визначення шуканої похибки експериментальних досліджень необхідно мати декілька значень вихідної змінної $Y_{розр}$, вимірної при однакових умовах. У зв'язку з цим необхідно проводити паралельні експерименти. При цьому вважають, що отримане рівняння регресії адекватно описує досліджуваний процес, якщо виконується така нерівність:

$$F_p = s_{ocm}^2 / s_o^2 < F_T,$$

де s_o^2 – дисперсія відносно середнього \bar{Y} ;

s_{ocm}^2 – остаточно дисперсія;

F_T і F_p – відповідно теоретичне (табличне) і розраховане значення критерію Фішера.

Дисперсія відносно середнього s_o^2 дорівнює:

$$s_o^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{N_{II} - 1},$$

де N_{II} – число паралельних вимірювань показника.

Остаточна дисперсія s_{ocm}^2 дорівнює:

$$s_{ocm}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (Y_{розр} - Y_i)^2}{m - n},$$

де різниця $m - n = \varphi_1$ – число ступенів свободи, що є різницею між числом експериментальних точок (m) і числом коефіцієнтів у рівнянні, включаючи вільний член (n);

Але якщо паралельні експерименти не проводять (у зв'язку з необхідністю витратити у цьому випадку багато енергетичних та сировинних ресурсів), то розрахувати дисперсію (похибку) експериментів у цьому випадку неможливо. Тоді замість перевірки адекватності складеного рівняння регресії виконували оцінку якості апроксимації дослідних (експериментальних) точок прийнятним рівнянням регресії.

Таку перевірку здійснювали порівнянням остаточної дисперсії s_{ocm}^2 та дисперсії s_o^2 відносно середнього \bar{y} по всім дослідом. При цьому вимога, за якої рівняння регресії має сенс, виражається нерівністю $F_p > F_T$.

Що стосується іншого аспекту оптимізації технологічних параметрів фізичної та хімічної модифікації, то відомо [6], одним із найвдаліших методів розв'язання задачі оптимізації технологічних процесів з будь-якою кількістю відгуків (Y_i) є використання узагальненого критерію оптимізації Харінгтона і так званої функції бажаності D , на базі яких і побудований математичний апарат STAT-SENS [6].

При її побудові вимірювані значення відгуків перетворюють у безрозмірну шкалу бажаності d з інтервалами її зміни від 0 до 1. При цьому значення $d(D) = 0$ відповідає абсолютно неприпустимому значенню відгуку, а $d(D) = 1$ – найбажанішому значенню відгуку. Тому при знаходженні оптимальних значень проводили багатокритеріальну оптимізацію із залученням функції бажаності Харінгтона.

Крім того, при здійсненні пошуку компромісної точки, тобто точки, яка б задовольняла значення всіх технологічних чи експлуатаційних характеристик ПКМ, значення змінних розігрували згідно з нормальним законом розподілу. При цьому найкращі та найгірші значення вихідної змінної Y були вибрані відповідно до апріорної інформації про особливості технологічного процесу фізико-хімічного формування ПКМ та про бажані результати експерименту, які можна отримати за даних умов.

Крім того, для досліджуваних математичних моделей визначали такі статистичні характеристики, як SSE , SSR , $r_{x,y}$ та R^2 , де:

SSE – сума квадратів помилок, що дорівнює:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

де y_i – експериментальні дані;

\hat{y}_i – розраховані за допомогою апроксимуючого поліному значення вихідної величини;

SSR – сума квадратів, що пояснює регресію, і яка обчислюється як квадрат різниці між середнім значенням вихідної змінної \bar{y} та розрахованим значенням \hat{y}_i :

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2;$$

де $r_{x,y}$ – коефіцієнт кореляції, що дорівнює:

$$r_{x,y} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x) \cdot \text{var}(y)}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

При цьому чисельник виразу для $r_{x,y}$ обчислюється так:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}),$$

де x_i, y_i – експериментальні значення відповідно незалежної та залежної змінної;

\bar{x}, \bar{y} – середнє експериментальне значення відповідно незалежної та залежної змінної.

У свою чергу, множники знаменника виразу для $r_{x,y}$ обчислюються так:

$$\text{var}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ; \quad \text{var}(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2,$$

а R^2 – коефіцієнт детермінації, що є квадратом коефіцієнта кореляції $r_{x,y}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов О.Є. Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький, Є. М. Панов. – К: НТУУ КПІ, 2010. – 220 с.
2. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. – 268 с.
3. Колосов О.Є. Одержання високоякісних традиційних та наномодифікованих реактопластичних полімерних композиційних матеріалів [текст] : монографія / О.Є. Колосов. – К.: ВП ВПК «Політехніка», 2015. – 227 с.
4. Колосов О.Є. Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку: монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – К.: ВПК «Політехніка», 2015. – 295 с.
5. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов / Рузинов Л.П. — М.: Химия, 1972. — 200 с.
6. Статюха Г.О. Розробка комп'ютерної системи підготовки та обробки даних у межах застосування експериментально-статистичної методології для хіміко-технологічних систем / Г.О. Статюха, А.Г. Петрань // Наукові вісті НТУУ "КПІ". — 2000. — №1. — С. 100—106.
7. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии / Бондарь А.Г. — К.: Вища школа, 1973. — 280 с.

ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАНОВУГЛЕЦЕВОГО МОДИФІКУВАННЯ РЕАКТОПЛАСТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНИХ ОЛІГОМЕРІВ

Колосов О.Є.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

У даний час інноваційні світові технології створення нових полімерних композиційних матеріалів – ПКМ (тобто композитів нового покоління) виходять на наномасштабний молекулярний рівень складаючих їх полімерів. У зв'язку з цим одним з перспективних напрямів у сучасній науці є одержання композитів на основі полімерів, наповнених вуглецевими наноматеріалами (ВНМ), такими як вуглецеві нанотрубки (ВНТ), фібрили, нанопластики, нановолокна й ін. [1].

Тому не дивно, що багато економічно розвинутих західних країн в найближчі 20-30 років пов'язують подальше економічне зростання своїх країн з орієнтуванням промислових галузей на виробництво і використання саме наноструктурованих (наномодифікованих – НМ) матеріалів і нанокомпозитів.

Аналізуючи особливості процесу нановуглецевого модифікування реактопластичних композиційних матеріалів на основі епоксидних олігомерів (ЕО), перш за все необхідно відзначити роботу [2], метою якої було розробка методів підвищення фізико-механічних характеристик реактопластичних полімерних композиційних зв'язуючих шляхом їх модифікування структурованим нановуглецем, включаючи розроблення відповідних технологічних процесів та їх апаратурного оформлення.

Актуальність теоретичного обґрунтування впливу нанодисперсних частинок на фізико-механічні властивості полімерних матриць базувалася на постулаті, згідно з яким прогнозування властивостей дисперсно-наповнених ПКМ є досить складним завданням, оскільки останні характеризуються комплексом фізико-механічних властивостей, пов'язаних з конкретним напружено-деформованим станом. Це обумовлено наявністю різних видів включень і дефектів, які власне і зумовлюють різні механізми руйнування затверділої полімерної матриці при конкретних видах руйнування полімеризованих ПКМ.

У свою чергу, прогнозування властивостей кінцевих композитів з наповнювачами нанометрового діапазону, у порівнянні з мікрометровим діапазоном, є ще більш складним завданням, оскільки при цьому необхідно враховувати цілий ряд інших факторів, обумовлених, зокрема, механізмами адгезії і когезії, а також особливостями руйнування.

Торкаючись першого аспекту, було розглянуто механізм руйнування дисперсно-наповненої полімерної матриці, який найбільш часто зустрічається в конструкційних ПКМ [2]. При цьому виходили з припущення, що дисперсні включення являють фактичну перешкоду для рухомого фронту утворюваної

тріщини при напруженому стані. У міру того, як цей фронт прогинається між кожною парою сусідніх дисперсних частинок, його довжина збільшується.

Відповідно до використовуваної моделі Ленга [2], збільшена довжина фронту тріщини може вносити істотний вклад в енергію руйнування крихкого композитного матеріалу з дисперсними частинками, яким є епоксиполімер. Причому для спрощення розгляду механізму руйнування вищевказана модель була застосована на нанорівні.

На рис. 1 схематично показана частина фронту тріщини, що взаємодіє з рядом розташованих на однакових відстанях неоднорідностей (тобто при їх рівномірному диспергуванні в полімерній матриці) та за їх відсутності.

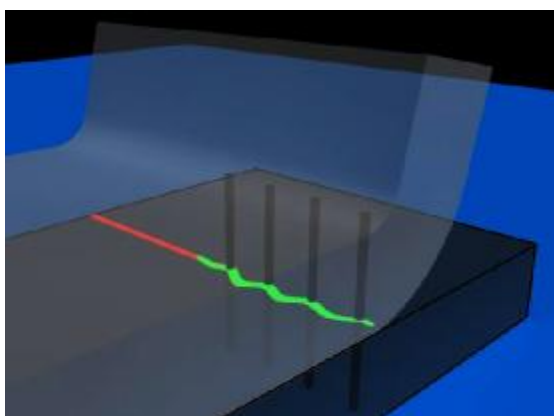


Рис. 1. Схема взаємодії фронту тріщини з неоднорідностями, лінійно розташованими на рівній відстані одна від одної [1]

Викривлена лінія відповідає стану, що передував прориву фронту тріщини і подальшому руйнуванню полімерної матриці. Після прикладення (значного) напруження фронт тріщини починає переміщатися між кожною наступною парою дисперсних включень, утворюючи нові площі поверхонь руйнування, що призводить до збільшення кумулятивної довжини фронту тріщини. Щоб це відбувалося, прикладені до композиту сили повинні здійснити роботу на утворення нової поверхні руйнування, а також на збільшення кумулятивної довжини фронту тріщини.

На основі припущень про те, що місця затримки представляють собою в перерізі тріщини безрозмірні точки, а також про те, що стан прориву наступає, коли фронт тріщини між місцями (точками) затримки має напівкруглу форму, цю умову можна описати у вигляді такої залежності (1) [2]:

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{L_\phi}{d_c}, \quad (1)$$

де γ – енергія руйнування системи;

γ_0 – енергія руйнування матеріалу матриці;

L_ϕ – довжина фронту тріщини;

d_c – середня відстань між дисперсними частинками.

Теоретично можна припустити, що зменшення відстані між дисперсними частинками (тобто підвищення їх концентрації в полімерній матриці) має

сприяти зростанню енергії руйнування затверділої наповненої матриці. При максимальному зближенні дисперсних частинок матеріал являє собою суцільну систему, внаслідок чого фронт тріщини перестає взаємодіяти з окремими частинками, і тому енергія руйнування зменшується.

Значний вплив на поширення тріщин здійснює розмір дисперсних включень. З одного боку, великі частинки ефективніше затримують просування тріщин, з іншого – частинки дисперсного наповнювача можна розглядати як дефекти всередині матриці і, отже, ініціатори тріщин і концентрацій напружень, що виникають в процесі виготовлення або навантаження НМПКМ.

З вищезазначеного можна зробити висновок про те, що чим більше розмір частинки, тим більшою є напружена зона: як усередині частинок, так і навколо неї, і, таким чином, більше накопичена енергія деформації руйнування, пов'язана з дисперсною частинкою [2]. Такий підхід означає, що за даних умов розтріскування відбуватиметься тільки в тому випадку, коли розмір частинок більше деякого критичного розміру $d_{кр}$.

Шуканий критичний розмір $d_{кр}$ визначається з умови (2) його рівності критичній енергії утворення нової поверхні [2]:

$$d_{кр} = \frac{\gamma \cdot E}{(q \cdot k_{\sigma})^2}, \quad (2)$$

де γ – питома поверхнева енергія;

E – модуль пружності елемента об'єму, в якому виділяється енергія;

q – прикладені напруження;

k_{σ} – коефіцієнт концентрації напружень на включенні.

Зовнішні напруження, які можуть бути прикладені до матеріалу, не повинні перевищувати межу міцності для крихких матеріалів і межі текучості для пластичних матеріалів. Виходячи з цієї умови, можуть бути оцінені критичні розміри включень ($d_{кр}$), при яких у матеріалі можуть з'явитися відшарування по кордонах розподілу фаз «матриця – наповнювач». Так, у разі необроблених апретуючими складами дисперсних наповнювачів для склоподібного епоксидного полімеру (ЕП) критичний розмір включень становить $d_{кр} \approx 3 \cdot 10^{-7}$ мкм.

Слід зазначити, що вищенаведене значення еквівалентного діаметра $d_{кр}$ носить суто оціночний характер, так як в кожному конкретному випадку він залежить від стану кордону розподілу, локального напруженого стану, механізму утворення відриву і ряду інших чинників. Однак розрахунки показують, що для ініціювання відшарування в низькомодульних матрицях потрібні відносно «великі» розміри дисперсних включень.

Також важливе значення має ефект *орієнтуючого впливу* дисперсного наповнювача на полімерне зв'язуюче (ПЗ). Причому орієнтування здійснюється не тільки в адсорбованих молекулах, але і в молекулах, які безпосередньо з ними (тобто з адсорбованими молекулами) пов'язані, і в яких орієнтування відбувається як відгук на ближню взаємодію. У свою чергу, дальнодія не обмежується впливом поверхневих силових полів. Встановлено, що

мікроусадкові явища, що спостерігаються в процесі формування ПКМ, також викликають об'ємне орієнтування (див. рис. 2).

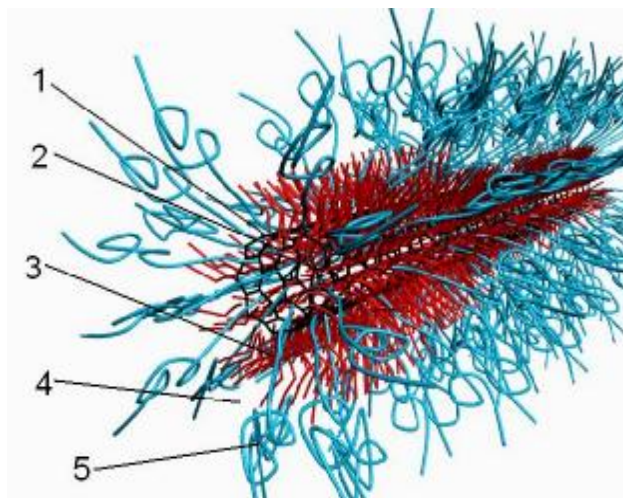


Рис. 2. Схематичне зображення морфології граничного шару полімеру біля поверхні ВНТ [2]:

- 1 – ВНТ; 2 – адсорбований мікрошар полімеру;
3 – орієнтований шар полімеру; 4 – перехідний шар полімеру;
5 – полімер в об'ємній фазі

При цьому в граничному шарі відбувається збільшення ступеня кристалічності за рахунок зменшення частки міжглобулярних аморфних прошарків полімеру. Тому щільність полімеру в граничному шарі підвищується в порівнянні з об'ємною фазою. В граничному шарі також спостерігається впорядкування структури полімеру, в результаті чого проявляється ефект орієнтації.

Не менш значущим фактором є наявність в об'ємі НМПКМ просторового каркаса, сформованого з частинок дисперсного наповнювача, які чергуються з структурованою фазою полімерної матриці.

Власне каркас утворюється з граничних шарів матриці, а частинки дисперсного наповнювача слугують їх (тобто граничних шарів) носіями. При цьому структура такого каркаса з посиленою матрицею здійснює істотний вплив на фізико-механічні характеристики нанокompозиту.

Важливе значення має *рівномірність розподілу* дисперсного наповнювача в НМПКМ, що характеризує формування безперервного підсилюючого просторового каркаса з частинок наповнювача, пов'язаних із структурованими прошарками реактопластичного полімеру. Таким чином, відповідно до вищезазначених факторів, для отримання позитивного ефекту при наповненні густосітчастих терморективних полімерних матриць жорсткими дисперсними частинками бажано дотримуватися таких умов:

- ступінь наповнення повинна знаходитися в оптимальних (ефективних) межах, обумовлених розміром використовуваних дисперсних частинок;
- бажано використовувати дисперсні частинки нанометрового діапазону;

- дисперсний наповнювач повинен мати гарну адгезію до матеріалу полімерної матриці, переважно з хімічним зв'язком між наповнювачем і матрицею.

Найбільш повно пред'явленим вимогам задовольняють ВНТ. Істотний внесок у фізико-хімічні властивості НМПКМ вносять поверхневі атоми багаточарових ВНТ (БВНТ), відносна кількість яких при таких розмірах частинок значно збільшується. Таким чином, необхідно досліджувати вплив параметрів наповнення, природи дисперсних частинок на структурні зміни в полімерному матеріалі з урахуванням всіх гіпотез «посилення», а також на фізико-механічні характеристики епоксидної матриці і полімеризованих пластиків на її основі.

На основі викладених вище передумов уявляється доцільним виконання такої послідовності робіт: проведення дослідження процесів розподілу дисперсних частинок у рідкому епоксидному зв'язуючому (ЕЗ); експериментальне дослідження впливу модифікування матриці вуглецевими наночастинками; розробка дослідної технології введення наночастинок в рідке ЕЗ із застосуванням широкого спектру методів моделювання (геометричного, математичного, фізичного, експериментально-статистичного, комп'ютерного) [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов О.Є. Одержання високоякісних традиційних та наномодифікованих реактопластичних полімерних композиційних матеріалів [текст] : монографія / О.Є. Колосов. – К.: ВП ВПК «Політехніка», 2015. – 227 с.
2. Блохин А.Н. Разработка процесса нанокремнеземного модифицирования композиционных материалов на основе эпоксидных смол и его аппаратурного оформления: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.06, 05.17.08 / Блохин Александр Николаевич. – Тамбов, 2012. – 15 с.
3. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. – 268 с.

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ОДНОВОЛНОВЫХ СОСТАВНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВИБРАТОРОВ НА БАЗЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Колосова Е.П.

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

В последние годы активно развивается научное направление, включающее методологию структурно-параметрического геометрического

моделирования (СПГМ) на базе применения средств компьютерной техники, который является важным элементом прикладной геометрии и инженерной графики [6]. Это обусловлено тем, что использование этой методологии позволяет при относительно небольших временных затратах получать достаточно точные математические зависимости, описывающие варианты взаимосвязи между параметрами и характеристиками проектируемых технических объектов.

В свою очередь, в рамках структурно-параметрической методологии геометрического моделирования преимущественным является применение системного подхода, который предусматривает представление любого объекта или процесса его формообразования как определенной упорядоченной совокупности некоторых отдельных составляющих компонентов, которые, в свою очередь, могут включать другие элементы.

При этом при практическом использовании рассматриваемой методологии широко применяются принципы комплексного подхода, вариативности, оптимальности, а также принцип открытости и развития, который предусматривает возможность легкого обновления и расширения составляющих компонентов СПГМ [1].

Так, например, одноволновые составные ультразвуковые (УЗ) вибраторы на базе пьезоэлектрических преобразователей широко используются в различных технологических процессах, в частности, в технологии формования композиционно-волокнистых полимерных композитов на этапе осуществления дозированного наноса [2-6]. Поэтому представляет интерес моделирование геометрических параметров ультразвукового технологического оборудования на базе структурно-параметрического моделирования.

После выхода из пропиточной ванны обеспечивается предварительный неконтролируемый нанос полимерного связующего на армирующий длинномерный волокнистый материал. Данный материал в зоне дозирования обрабатывают с обеих сторон УЗ-инструментами в виде пары излучающих УЗ прямоугольных пластин, имеющих индивидуальные приводы от УЗ-генератора.

Источником УЗ-колебаний (УЗК) являлся составной пьезоэлектрический преобразователь, собранный из двух установленных последовательно пьезоколец 6, подключенных параллельно к УЗ-генератору 7 (см. рис.1). Необходимое значение резонансной частоты колебаний пьезоэлектрического преобразователя достигается выбором акустических размеров и свойств материала демпфера 10 и трансформатора скорости 11.

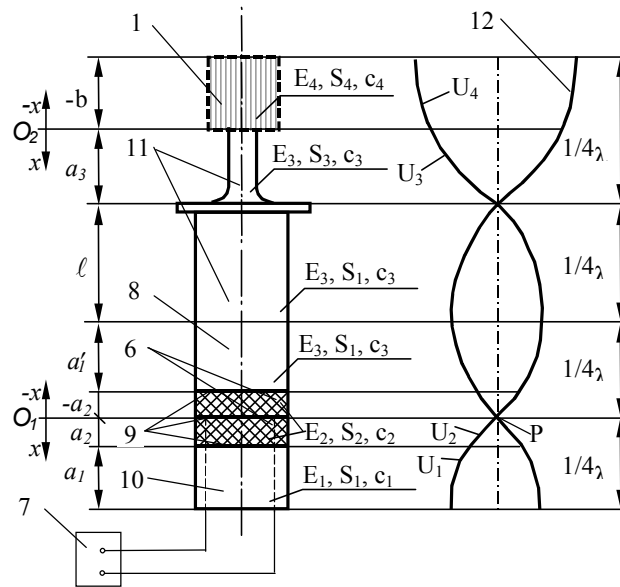


Рис.1. Расчетная схема одноволнового УЗ-диспергатора с симметричным пьезоэлектрическим пакетным преобразователем: 1 — излучающий цилиндр эквивалентного сечения; 6 — пьезокерамические преобразователи; 7 — УЗ-генератор; 8, 10 — понижающие частоту накладки; 9 — электроды толщиной 0,2—0,3 мм; 11 — концентратор УЗК (трансформатор скорости); 12 — волна продольных колебаний длиной λ .

На рис. 1 и в расчетах приняты следующие обозначения:

f — частота УЗК;

U — продольное перемещение колебаний пьезоэлектрического преобразователя;

c — скорость звука в материале пьезоэлектрического преобразователя;

c_1 и c_2 — скорость звука в материале понижающей частоту накладки 10 и пьезокерамической шайбы 6 соответственно;

c_4 — скорость звука в материале цилиндра 1, эквивалентного по массе элементу с поверхностью излучающей пластины 1;

S — площадь поперечного сечения пьезоэлектрического преобразователя;

S_1 и S_3 — площади поперечного сечения первой (большого диаметра) и второй (меньшего диаметра) ступеней составного УЗ-концентратора;

S_4 — площадь поперечного сечения эквивалентного цилиндра 1;

b — высота эквивалентного цилиндра, т.е. цилиндра, эквивалентного по массе секции излучающей пластины 1;

E — модуль упругости материала стержня при растяжении;

E_4 — модуль упругости на растяжение материала излучающей пластины 1;

a_3 — длина ступени концентратора 11 меньшего диаметра;

a_1, E_1, S_1 и a_2, E_2, S_2 — толщина, модуль упругости на растяжение и площадь торцевой поверхности понижающей частоту накладки 10 и пьезокерамической шайбы 6 соответственно.

Расчет геометрических параметров одноволнового составного УЗ-диспергатора с излучающей пластиной

Детерминирование параметров одноволнового составного УЗ-диспергатора с излучающей пластиной сводится к расчету трех размеров составного одноволнового УЗ-излучателя, а именно: a_1 , a_3 , ℓ . При этом:

1. Задаются желаемой *резонансной частотой* УЗК f_{cm} , характерной для конкретного технологического процесса, и определяющей интенсивность УЗ-кавитации (например, это может быть частота УЗК УЗ-генератора).

16000 Гц (16 кГц), 18000 Гц (18 кГц), 20000 Гц (20 кГц), 22000 Гц (22 кГц), 24000 Гц (24 кГц).

2. Выбирают *материал* (скорость звука $c_{nl} = c_4$, модуль упругости $E_{nl} = E_4$) и *толщину* H_{nl} *излучающей пластины*, исходя из конструктивно-технологических особенностей реализации конкретного технологического процесса. Для расчетов, например, принимают:

H_{nl} излучающей пластины = 8 - 12 мм (с шагом 1 мм);

скорость звука в излучающей пластине $c_{пл} = c_4 = 5,2 \cdot 10^3$ м/с;

модуль упругости при растяжении излучающей пластины $E_4 = 20,5 \cdot 10^4$ МПа.

3. Для выбранной резонансной частоты УЗК $f_{ст}$ определяют по формуле *длину волны* $\ell_{ст}$ *изгибных колебаний излучающей пластины* с учетом желаемой моды колебаний n_k (или порядка частоты $\lambda_{ст}$):

$$\ell_{cm} = \frac{\lambda_{cm}}{2} \sqrt{\frac{c_{cm} \cdot H_{cm}}{\pi \cdot \sqrt{3} \cdot f_{cm}}}, \quad (1)$$

где $\lambda_{ст}$ – так называемый порядок частоты является безразмерной величиной, и который для случая УЗК низкочастотного диапазона выбирается в зависимости от порядка колебаний (моды колебаний) n_k из следующего ряда:

$\lambda_{ст} = \{4,750 (n_k = 1); 7,853 (n_k = 2); 10,996 (n_k = 3); 14,137 (n_k = 4); 17,279 (n_k = 5)\}$.

4. Общие размеры излучающей пластины, т.е. ее длину L_{nl} и ширину B_{nl} выбирают кратными величине длины волны $\ell_{ст}$, т.е. $L_{nl} = N_L \ell_{ст}$, $B_{nl} = M_B \ell_{ст}$.

5. В зависимости от полученного количества пучностей, образующихся при изгибных колебаниях с длиной волны $\ell_{ст}$, по длине и ширине излучающей пластины, определяют количество УЗ-излучателей, устанавливаемых по длине и ширине пластины. При этом количество УЗ-излучателей, устанавливаемых по длине пластины L_{nl} для получения равномерной интенсивности излучающей поверхности равно: $N = 2N_L - 1$, а количество УЗ-излучателей, устанавливаемых по ширине излучающей пластины B_{nl} , равно: $M = 2M_B - 1$.

6. Рассчитывают массу элементов крепления УЗ-излучателя с учетом присоединенной массы отдельного участка (секции) излучающей пластины, т.е. характеристики эквивалентного цилиндра.

7. Под резонансную частоту $f_{ст} = f_{пл}$ излучающей пластины 1 рассчитывают по формулам (2 – 4) *акустические размеры элементов*

составного УЗ-излучателя (a_1, a_3, ℓ) [7]:

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} \operatorname{arctg} \frac{E_2 S_2 c_1 \operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 + E_1 S_1 c_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} a_2}{E_1 S_1 c_2 - E_2 S_2 c_1 \operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} a_2} - a_2, \quad ((2))$$

$$a_3 = \frac{c_3}{\omega} \operatorname{arctg} \frac{E_3 S_3 c_4}{E_4 S_4 c_3 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_4} b}, \quad ((3))$$

$$\ell = \frac{c_3}{\omega} \frac{\pi}{2} = \frac{c_3}{4f}, \quad ((4))$$

$$\omega = 2\pi f, \quad ((5))$$

где a_1, a_3, ℓ – соответственно толщина понижающей частоту накладки составного пьезоэлектрического преобразователя, длина ступени участка концентратора меньшего диаметра и длина ступени участка концентратора большего диаметра.

Причем исходными данными для расчета акустических размеров УЗ-излучателя являются геометрические размеры и физические параметры применяемого пьезоматериала (a_2, c_2, E_2, S_2), трансформатора скорости (c_3, E_3, S_3), частотопонижающих накладок (c_1, E_1, S_1), а также удельная акустическая мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванін В.В. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.
2. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. – 268 с.
3. Колосов О.Є. Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку: монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – К.: ВПК «Політехніка», 2015. – 295 с.
4. Колосов О.Є. «Технічні засоби для одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку (з ілюстраціями)» / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №54862 від 20.05.2014; заявка №55207 від 14.03.2014р.

5. Колосов А.Е. Технология формования изделий из полимерных композиционных материалов с применением интенсифицирующих методов / А.Е.Колосов, В.И. Сивецкий, Е.П.Колосова и др. - Свидетельство о депонировании произведения в БД РАО «Копирус» (г. Москва); № 014-003246 от 10.04.2014. - ISBN 978-5-4472-3199-6.
6. Колосов А.Е. Моделирование технологических процессов и оборудования для формования изделий из полимерных композиционных материалов / А.Е.Колосов, В.И. Сивецкий, Е.П. Колосова и др. - Свидетельство о депонировании произведения в БД РАО «Копирус» (г. Москва) ; № 014-003247 дата 10.04.2014. - ISBN 978-5-4472-3200-9.
7. Kolosov A.E. Procedure for analysis of ultrasonic cavitator with radiative plate / A.E. Kolosov, V.I. Sivetskii, E.P. Kolosova, E.A. Lugovskaya // Chemical and Petroleum Engineering. – 2013. – Vol. 48, Issue 11-12. – P. 662-672.

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОЗВУЧУВАННЯ РІДКИХ ПОЛІМЕРНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ НА БАЗІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Колосова О.П.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

Виготовлення реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів (КВМ) чи полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) і подальше виготовлення виробів із них – це порівняно складний технологічний цикл, що заснований на необхідності апріорного визначення режимних параметрів процесів одержання КВМ (ПКМ). Саме тому вибір та обґрунтування ефективних режимних параметрів процесів виробництва КВМ, а також конструкторсько-технологічних параметрів застосовуваного при цьому технологічного обладнання та інструменту мають важливе значення [1-5].

Як рідке реактопластичне ЕЗ у складі ПКМ використовували епоксидну композицію (ЕК) у складі епоксидного олігомеру (ЕО) марки ЕД-20, що затверджували аміним твердником — діетилентриаміном ДЕТА. Вимірювали крайовий кут змочування Θ , змочувальну здатність $\sigma \cos \Theta$, динамічну вязкість η ЕО, а також температуру склування T_c затверділого полімеру на основі ЕД-20.

Рідкою композицією на базі ЕД-20 надалі просочували джгут на основі скловолокна і органоволокна, в результаті чого будували кінетичні криві просочування (залежність висоти підйому h ЕО по волокну у залежності від часу просочення).

При цьому як інтенсифікуючий метод використовували ультразвук (УЗ). УЗ-дію (або УЗ-коливання —УЗК) здійснювали при частоті $f = 17—44$ кГц, амплітуді $A = 20—100$ мкм, інтенсивності $I = 5—15$ Вт/см² і температурі $T = 50—70$ °С протягом часу $\tau = 25—35$ хв. При цьому для озвучування рідкого

ЕЗ використовували конічний УЗ-концентратор з оптимальними геометричними параметрами, знайденими в результаті структурно-параметричного моделювання.

У зв'язку з великою кількістю факторів для полегшення розрахунків була вибрана структура експериментально-статистичної моделі 1-го порядку для кожної змінної [2], яка має такий вигляд:

$$Y(X) = c_0 + c_1 \cdot X_1 + c_2 \cdot X_2 + c_3 \cdot X_3 + c_4 \cdot X_4 + c_5 \cdot X_5, \quad (1)$$

де X_i – вхідні параметри (фактори), що означають відповідно:

$f_{УЗ}$ – частота УЗК, кГц (X_1); A – амплітуда УЗК, мкм (X_2);

I – інтенсивність УЗК, Вт/см² (X_3);

T – температура УЗ-обробки, °С (X_4);

τ – час УЗ-обробки, хв (X_5);

Y_i – вихідні параметри, що уособлюють такі технологічні і експлуатаційні властивості:

η – динамічна в'язкість, Па·с (Y_1);

Θ_{min} – мінімальне значення крайового кута змочування ЕО по матеріалу наповнювача (скляної основи), ° (Y_2);

h_{max} – максимальна висота підйому ЕО по скловолоконистому наповнювачу, мм (Y_3);

T_c – температура склування затверділого полімеру, °С (Y_4);

$c_0, c_1, c_2, \dots, c_5$ – константи рівняння (1), що підлягають визначенню.

Інтервали варіювання вхідних факторів УЗ-модифікації вибирали згідно із вимірювально-експлуатаційними можливостями УЗ-технологічного обладнання та попередніми результатами досліджень.

Отримані статистичним методом адекватні експериментально-статистичні математичні моделі для кожної змінної при здійсненні фізичної (ультразвукової) модифікації ЕО і ЕК на їх основі мають такий вигляд:

$$Y_1(X) = -8,835 - 0,000163X_1 + 0,14015X_2 - 1,3883X_3 - 0,00035X_4 + 0,5536X_5; \quad (1.1)$$

$$Y_2(X) = 3,62683 - 0,001 \cdot X_1 + 0,04375 X_2 - 1,4462 \cdot X_3 + 0,01399 X_4 + 0,78039 X_5; \quad (1.2)$$

$$Y_3(X) = -7,5833 - 0,0384 \cdot X_1 + 0,11818 \cdot X_2 - 1,4262 \cdot X_3 + 0,01713 \cdot X_4 + 0,57288 \cdot X_5; \quad (1.3)$$

$$Y_4(X) = 77,284 - 0,0035 \cdot X_1 - 0,5634 \cdot X_2 - 1,8848 \cdot X_3 + 0,04167 \cdot X_4 + 2,11015 \cdot X_5. \quad (1.4)$$

Також було встановлено, що попередня УЗ-обробка ЕО за ефективних режимних параметрів поліпшує їх технологічні характеристики. Ефективними режимними параметрами озвучування досліджуваних ЕО можуть, зокрема, вважатися наступні: частота $f = 16-24$ кГц; амплітуда $A = 10-30$ мкм; температура $T = 0-80$ °С; час $\tau = 25-35$ хв.

Крім того, отримані математичні залежності (1.1) – (1.4) дозволяють прогнозувати технологічні параметри процесу приготування просочувальних композицій і процесу просочування ними орієнтовних волокнистих наповнювачів, тобто оптимізувати відповідні технологічні режими формування реактопластичних ПКМ на базі відповідних типів УЗ-концентраторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. – 268 с.
2. Колосов О.Є. Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку: монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – К.: ВПК «Політехніка», 2015. – 295 с.
3. Колосов О.Є. «Технічні засоби для одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку (з ілюстраціями)» / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №54862 від 20.05.2014; заявка №55207 від 14.03.2014р.
4. Колосов А.Е. Технология формования изделий из полимерных композиционных материалов с применением интенсифицирующих методов / А.Е. Колосов, В.И. Сивецкий, Е.П. Колосова и др. - Свидетельство о депонировании произведения в БД РАО «Копирус» (г. Москва); № 014-003246 от 10.04.2014. - ISBN 978-5-4472-3199-6.
5. Колосов А.Е. Моделирование технологических процессов и оборудования для формования изделий из полимерных композиционных материалов / А.Е. Колосов, В.И. Сивецкий, Е.П. Колосова и др. - Свидетельство о депонировании произведения в БД РАО «Копирус» (г. Москва); № 014-003247 дата 10.04.2014. - ISBN 978-5-4472-3200-9.

ОЦІНКА КУТОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ СИСТЕМ З ПОВЕРХНЯМИ КІНЦЕВИХ РОЗМІРІВ

В.О. Самарін

Національний університет цивільного захисту України

При аналізі кутових коефіцієнтів випромінювання (ККВ) різних випромінюючих систем можна відзначити, що багато з них мають властивості інваріантності, тобто ці кутові коефіцієнти мають однакову аналітичну форму подання.

Проведемо аналіз інтегральних ККВ для дискретного випадку. Коефіцієнти випромінювання, з одного торця циліндра, що падає на інший $\varphi_{2,3}$, і на бічні стінки $\varphi_{2,1}$ пов'язані співвідношенням, що характеризує властивість замкнутості:

$$\varphi_{2,1} + \varphi_{2,3} = 1. \quad (1)$$

Розбивши поверхню F_1 на n рівних частин $F_n = F_1/n$, розташованих між твірними і основами циліндра, уявімо рівність (1) у вигляді

$$\varphi_{2,3} + \sum_n \varphi_{2,n} = 1 \quad \text{або} \quad \varphi_{2,n} = (1 - \varphi_{2,3})/n, \quad (2)$$

що очевидно в силу вісьосиметричності випромінюючої системи. Використовуючи співвідношення властивості взаємності $F_n \varphi_{n,2} = F_2 \varphi_{2,n}$ з (2), отримуємо коефіцієнт випромінювання, що падає з F_n на F_2 :

$$\varphi_{n,2} = (1 - \varphi_{2,3})F_2 / (nF_n) \quad \text{або} \quad \varphi_{n,2} = (1 - \varphi_{2,3})F_2 / F_1, \quad (3)$$

який не залежить від числа розбиттів n і переходить в локальний ККВ $d\varphi(dF_1, F_2)$ для даної конфігурації системи при $n \rightarrow \infty$.

Для аналізу ККВ елементарної смуги dF_1 уздовж всієї твірної стінки циліндра F_1 на основу циліндра F_2 слід спочатку записати рівність, справедливу для взаємних поверхонь $H_{1,2}$ і $H_{2,1}$ випромінюючої системи «основа циліндра - його стінка»: $H_{2,1} + H_{2,3} = F_2$, або, так як $H_{2,1} = H_{1,2} = \int_{F_1} d\varphi(dF_1, F_2)dF_1$, то

$$\int_{F_1} d\varphi(dF_1, F_2)dF_1 + H_{2,3} = F_2. \quad (4)$$

Оскільки $H_{2,3} = \varphi_{2,3}F_2$, то (4) запишеться у вигляді

$$\int_{F_1} d\varphi(dF_1, F_2)dF_1 = F_2(1 - \varphi_{2,3}). \quad (5)$$

Підставивши в рівняння (5) $H_{1,2} = \int_{F_1} d\varphi(dF_1, F_2)F_1$ запишемо його у вигляді $H_{1,2} = F_1(1 - \varphi_{2,3})$ або $F_1\varphi_{1,2} = F_2(1 - \varphi_{2,3})$, звідки отримуємо значення інтегрального ККВ від стінки циліндра на його основу

$$\varphi_{1,2} = (1 - \varphi_{2,3})F_2 / F_1. \quad (6)$$

Локальний ККВ $d\varphi(dF_1, F_2)$ від елементарної смуги dF_1 , що лежить на твірній циліндра F_1 , за визначенням залежить від площі F_2 і від орієнтації dF_1 відносно F_2 . З постійності і вісьосиметричності випромінюючої системи випливає, що $d\varphi(dF_1, F_2) = \text{const}$ і

$$d\varphi(dF_1, F_2) = (1 - \varphi_{2,3})F_2 / F_1. \quad (7)$$

З метою отримання інваріантної формули ККВ для зазначених систем (рис. 1) можна, скористатися формулою для ККВ між двома дисками рівного діаметра [1]:

$$\varphi_{2,3} = \varphi_{3,2} = 0,5 \left[\frac{2r^2 + h^2}{r^2} - \sqrt{\frac{(2r^2 + h^2)^2}{r^2} - 4} \right].$$

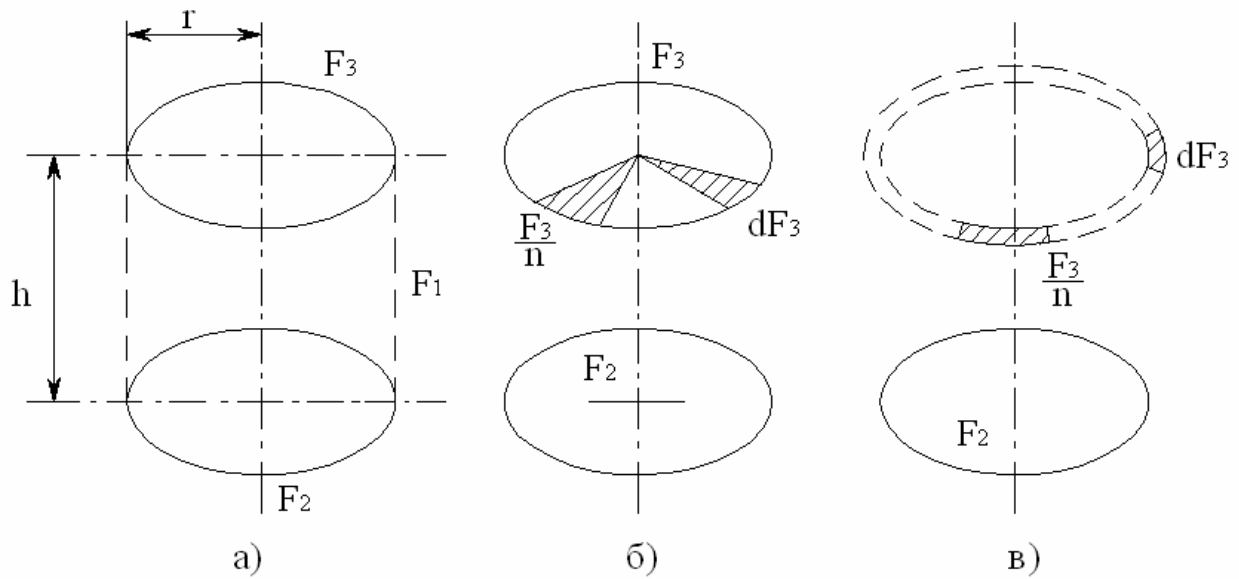


Рис. 1.

звідки легко отримуємо

$$\varphi_{n,2} = \varphi_{1,2} = d\varphi(dF_1, F_2) = (\sqrt{4r^2 + h^2} - h) / 4r.$$

З наведених вище міркувань слідує інваріантність ККВ трьох наступних співвісних випромінюючих систем - «Секторний елемент круглого диска dF_3 диск в паралельній площині F_2 », «Два круглих диска в паралельних площинах F_3 і F_2 », «Сектор диска F_3/n і диск F_2 в паралельних площинах» (рис. 1а), або інваріантність ККВ для інших трьох систем: «Частина кільця елементарної ширини F_3/n - паралельний диск», «Кільце елементарної ширини F_3 - паралельний диск», «Елемент площини dF_3 - паралельний диск F_2 » (рис. 1б).

Розглянемо наступні системи, протяжні в одному напрямку:

1) елемент або елементарна смуга плоскій поверхні будь-якої довжини - площина кінцевої ширини і нескінченної довжини (рис. 2а);

2) нескінченно довга елементарна смуга або будь-яка її частина - нескінченно довгий напівциліндр (рис. 2б);

3) елемент площині або елементарна смуга будь-якої довжини - нескінченно довгий циліндр (рис. 2в);

4) елемент або елементарна смуга будь-якої довжини на плоскій поверхні - нескінченно довга смуга, утворена лінією довільної форми (рис. 2г).

В [2] дан ККВ для системи рис. 2г. З рисунка видно, що цей ККВ справедливий для всіх чотирьох систем:

$$d\varphi(dF_1, F_2) = (\sin \Phi_2 - \sin \Phi_1) / 2.$$

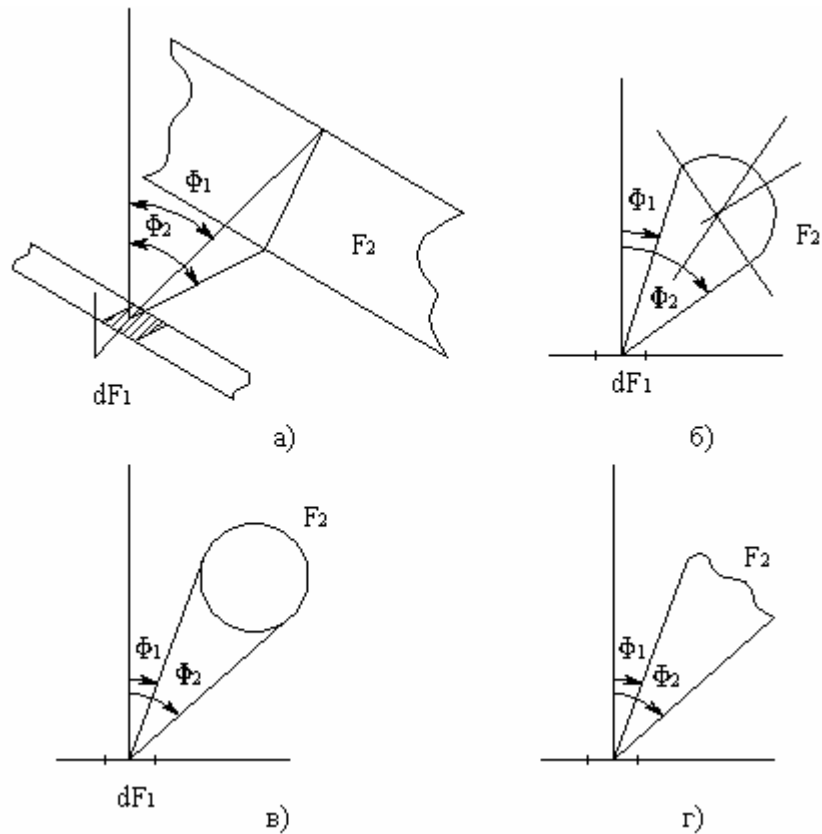


Рис. 2.

Таким чином, ряд прикладів, який можна продовжити, свідчить про те, що в багатьох випадках для визначення ККВ в випромінюючих системах деяких змін немає необхідності в обчисленнях або в пошуку опублікованих даних. Зокрема, наведені вище кутові коефіцієнти випромінювання характеризують всі випромінюючі системи, зображені на рис. 1-2.

Отримані результати є актуальними при проведенні наближених розрахунків радіаційного теплообміну в випромінюючих системах довільних конфігурацій з діатермічним (прозорим) середовищем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рубцов И.А., Лебедев В.А. Геометрические инварианты излучения. Академия наук СССР, Сибирское отделение, Институт Теплофизики. Новосибирск, 1989.
2. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975. 934 с.
3. Оцисик М.Н. Сложный теплообмен. М.: Мир, 1976. 616 с.

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА ГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ

О.М.Семків

Національний університет цивільного захисту України

Дослідження механічних коливань на якісному рівні зручно здійснювати методом фазових траєкторій. Фазові портрети зображуються на площині в прямокутних координатах, по осях яких відкладаються значення «переміщення» і «швидкості» [1]. У описах коливань маятника може існувати керуючий параметр, який впливатиме на характер коливань, і зміна значення якого розмежує «якість» коливань. Тому таке значення параметра назване критичним.

Нехай коливання математичного маятника описується диференціальним рівнянням вигляду $\ddot{x} + 0,2\dot{x} + 9,8\sin x = 0$ з початковими умовами $[x(0) = 0; x'(0) = p]$, коли керуючий параметр p змінюється, наприклад, у межах $6 < p < 8$. На рис. 1 зображено фазовий портрет, з якого видно,

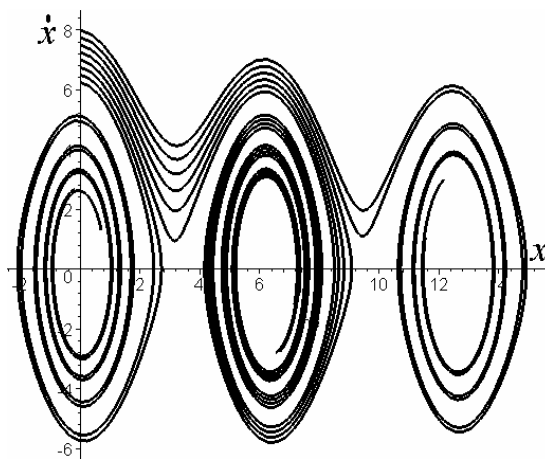


Рис. 1. Фазовий портрет

що залежно від значення параметра p коливання маятника можуть бути або загасаючими, або загасаючими з одним чи двома обертами навколо точки кріплення. Ці якісно різні коливання будуть розмежовані двома критичними значеннями параметра p . Ці значення параметра p можна визначити за формулами [2]. Але у випадку коливань більш складної природи не завжди відомі формули для їх обчислень. У подібних випадках у інженерній практиці обчислення базуються, як правило, на графоаналітичних методах досліджень, підкріплених комп'ютерною технікою.

Традиційний аналіз коливань складається [1,2] із визначення особливих точок, що відповідають положенням рівноваги коливальної системи, побудови фазових портретів системи зі значеннями керуючого параметра у межах особливих точок, а також визначення сепаратрис (які проходять через особливі точки) за допомогою рівняння інтеграла енергії системи за умови, що кінетична енергія дорівнює нулю. «Інженерні» способи дослідження коливань спираються переважно на метод ізоклін, звідки можна зробити висновок про недостатній розвиток графоаналітичних способів пошуку критичних значень параметрів коливань. Графічні способи доцільно було б доповнити й такими, які базуються на геометричному характері викривленості фазової траєкторії, і які визначаються сукупністю значень її кривини уздовж цієї траєкторії.

Припустимо, що рух точки по фазовій траєкторії на фазовій площині здійснюється у межах границь зміни параметра часу t , а «повороти» при русі вправо чи вліво відбуваються завдяки різним знакам при значеннях кривини у точках цієї траєкторії. У результаті приходимо до поняття викривленості – як

характеристики лінії, обумовленої послідовністю чисел, кожне з яких (з урахуванням знака) є значенням її кривини.

При чисельному розв'язанні диференціальних рівнянь коливань вдається обчислити лише значення функції і її похідної. А для визначення кривини

(наприклад, лінії $x=x(t)$, $y=y(t)$ за формулою $k = \pm \frac{y''x' - x''y'}{(x'^2 + y'^2)^{3/2}}$) необхідно

знати ще і другі похідні.

Досліджуємо коливання маятника, описаного системою рівнянь

$$\frac{d}{dt}x(t) = y(t); \quad \frac{d}{dt}y(t) = -0,2y(t) - 9.8\sin(x(t)). \quad (1)$$

Тут $x(t)$ - переміщення, а $y(t)$ – швидкість маятника.

Нехай розв'язок системи рівнянь (1) при $a < t < b$ отримано чисельним методом Рунге-Кутта для початкових значень $x(0)=0$ і $y(0)=p$. На рис. 2 наведені кадри комп'ютерної анімації зміни фазового портрета залежно від значення керуючого параметра p . Спостерігаючи за «трансформуванням» фазової кривої можна визначити наближені критичні значення початкової швидкості $y_1(0) = 6,65$ і $y_2(0) = 7,6$. На рисунках кружком позначена точка, що відповідає початковим умовам. Далі покажемо, як ці значення можна визначити на формальному рівні без застосування комп'ютерної анімації.

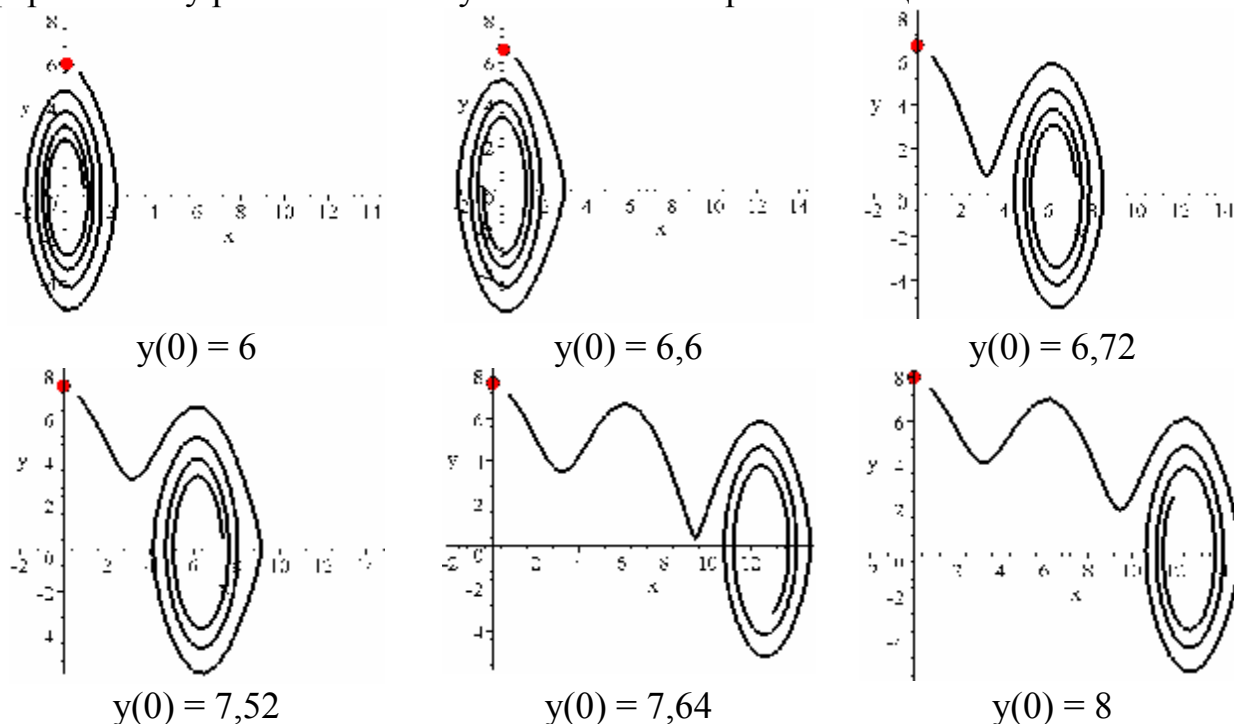


Рис. 2. Анімаційні кадри зміни фазового портрета залежно від значення $y(0)$

Чисельний розв'язок системи (2) для початкових значень $x(0)=0$ і $y(0)=p$ має вигляд послідовності N точок. З'єднуючи ці точки відрізками приходимо до графічного образу G_0 фазової кривої. Для кожної з кутових точок приблизно визначимо кривину за допомогою радіуса кола, проведеного через три сусідні

точки (x_{i-1}, y_{i-1}) , (x_i, y_i) й (x_{i+1}, y_{i+1}) . Для обчислення кривини в середній точці (x_i, y_i) знайдемо радіус кола r_i , що проходить через дані три точки:

$$r_i = \frac{\sqrt{B^2 + C^2 - AD}}{A}, \quad (2)$$

де

$$A = x_{i-1}y_i + x_iy_{i+1} + x_{i+1}y_{i-1} - x_{i+1}y_i - x_iy_{i-1} - x_{i-1}y_{i+1};$$

$$B = (y_{i+1}^2y_i - x_{i+1}^2y_{i-1} + x_{i+1}^2y_i - y_{i+1}^2y_{i-1} - y_i^2y_{i+1} + y_i^2y_{i-1} + x_i^2y_{i-1} - x_i^2y_{i+1} - y_{i-1}^2y_i + y_{i-1}^2y_{i+1} - x_{i-1}^2y_i + x_{i-1}^2y_{i+1})/2;$$

$$C = (y_{i+1}^2x_{i-1} - y_{i+1}^2x_i + x_{i+1}^2x_{i-1} - x_{i+1}^2x_i + y_i^2x_{i+1} - y_i^2x_{i-1} + x_i^2x_{i+1} - x_i^2x_{i-1} + y_{i-1}^2x_i - y_{i-1}^2x_{i+1} + x_{i-1}^2x_i - x_{i-1}^2x_{i+1})/2;$$

$$D = y_{i+1}^2x_iy_{i-1} - y_{i+1}^2x_{i-1}y_i - x_{i+1}^2x_{i-1}y_i + x_{i+1}^2x_iy_{i-1} + y_i^2x_{i-1}y_{i+1} - y_i^2x_{i+1}y_{i-1} - x_i^2x_{i+1}y_{i-1} + x_i^2x_{i-1}y_{i+1} - y_{i-1}^2x_{i+1}y_i - y_{i-1}^2x_iy_{i+1} - x_{i-1}^2x_iy_{i+1} + x_{i-1}^2x_{i+1}y_i.$$

Тоді значення кривини в точці (x_i, y_i) буде $k=1/r_i$. Умова $A = 0$ означає нульову кривину (тобто точки розташовані на одній прямій).

Розглянемо аксонометричне зображення ламаної G_0 на координатній площині Oxy . З кутових точок G_0 відкладемо уздовж осі абсцис відрізки, довжина яких дорівнює наближеному значенню кривини лінії в поточній точці. З'єднуючи кінці відрізків, одержуємо кусково-лінійний графік G . Для обраного значення параметра p обчислимо площу S між лініями G і G_0 . Тут необхідно враховувати «знаки» частин площі залежно від розташування точок на G щодо координатної площини Oxy .

Виконуючи зазначені дії в циклі для інших значень параметра p , одержимо наближений графік функції $S(p)$ зміни площі. Критичні значення параметра p будуть

визначатися точками перетину осі Op з вертикальними складовими кусково-лінійного графіка функції $S(p)$. На рис. 3 наведено графік функції $S(p)$.

Висновок. На формальному рівні критичні значення параметра p визначаються точками перетину (на рис. 3 позначено кружечками) осі Op з вертикальними складовими побудованого графіка $S(p)$.

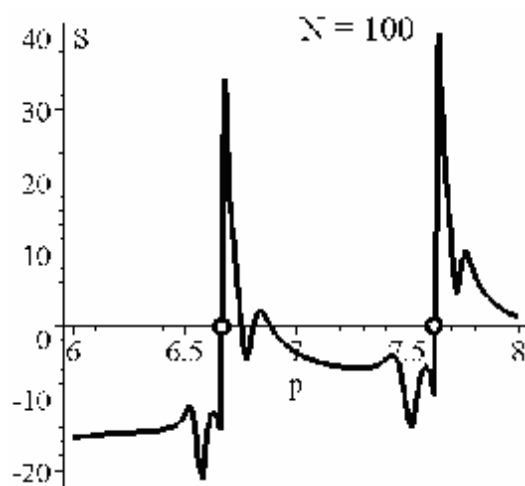


Рис. 3. Графік функції $S(p)$

ЛІТЕРАТУРА

1. Андронов А.А. Теория колебаний / А.А.Андронов, А.А.Витт, С.Э.Хайкин - М., Наука, 1981.- 916 с.

2. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т.2. Динамика. / М.И.Бать, Г.Ю.Джанелидзе, А.С. Кельзон - М.: Физматлит, 1961. — 616 с.

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРА СІМ'Ї КРИВИХ НА ПЛОЩИНІ

О.І. Сухарькова

Український державний університет залізничного транспорту

Для дослідження механічних коливань існує кілька методів, серед яких найпоширенішим є метод фазових траєкторій [1]. Він являє собою графоаналітичний спосіб дослідження нелінійних систем на якісному рівні. Сутність методу полягає у описі поведінки системи за допомогою наочних геометричних зображень - фазових портретів. В роботі [2] наведено огляд різноманітних способів дослідження фазових траєкторій на якісному рівні. Серед них є лише декілька суто графічних, які спираються на графічні інтерпретації ізоклін як розв'язків диференціальних рівнянь. До них доцільно було б долучити і способи, що базуються на характері викривленості фазової траєкторії, і визначаються сукупністю значень її кривини вздовж неї. При цьому вважається, що рух по траєкторії здійснюється в зазначених межах (що визначається границями зміни параметра часу), а «поворот» вправо або вліво відображається різними знаками при значеннях кривини цієї траєкторії. Це вказує на актуальність теми досліджень, пов'язаної з розробкою графічного методу аналізу у часі фазових траєкторій диференціальних рівнянь, який би базувався на понятті їх викривленості.

На першому етапі досліджень замість фазових траєкторій доцільно розглянути сім'ю кривих залежно від «керуючого» параметра p , що, по суті, не звужує задачу дослідження кривих на якісному рівні. Необхідно визначити критичні значення параметра p , при якому елементи сім'ї кривих мають якісно змінити свою викривленість - тобто змінитися на якісному рівні.

Сутність способу пояснимо на прикладі сім'ї кривих

$$x = \sin(pt) + a \cos(t) / 2; \quad y = -t \sin(t), \quad (1)$$

де параметр t змінюється у межах $t_{MIN} = -0,2\pi < t < t_{MAX} = 2,1\pi$, а керуючий (у даному випадку викривленістю) параметр p змінюється у межах $p_{MIN} = 1,5 < p < p_{MAX} = 2,3$.

За допомогою складеної програми було побудовано ряд послідовних зображень, які відповідають певним значенням параметра p (рис. 1). Аналізуючи рисунки (бажано в режимі анімації) легко помітити, що сім'ю

параметричних кривих можна розділити за трьома характеристиками викривленості її елементів, які розмежовані двома кривими, що відповідають значенням параметрів $p=1,7$ і $p=2,15$.

В основу досліджень покладено дві тези. *Теза 1.* Критичні значення керуючих параметрів сім'ї кривих відповідають моментам зміни зображень їх елементів на якісному рівні. *Теза 2.* Якісні зміни елементів сім'ї кривих можна відслідковувати за допомогою функцій кривини ліній.

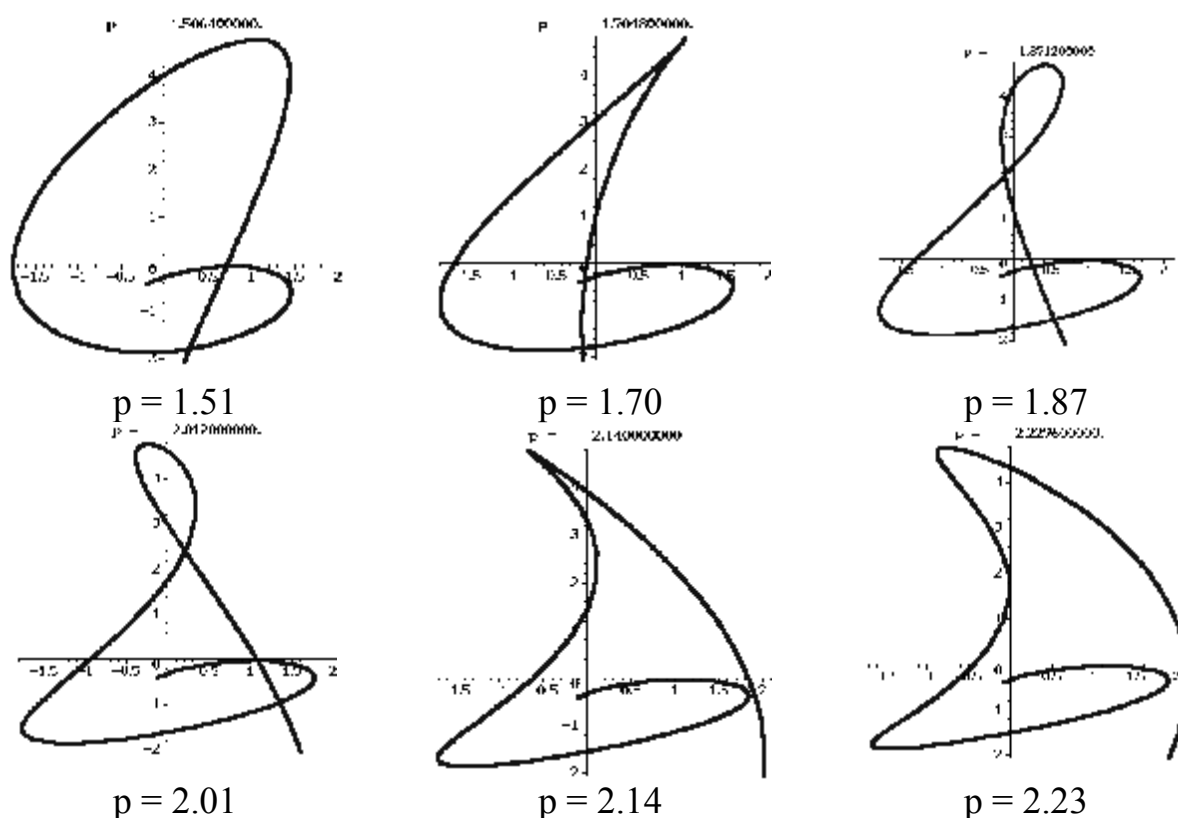


Рис. 1. Зображення, що відповідають певним значенням параметра p

Посилаючись на [3], обчислимо функцію кривини для (1):

$$k(p) = \frac{u(-2 \cos(t) + t \sin(t)) - v(-p^2 \sin(pt) - p \cos(t)/2)}{(u^2 + v^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (2)$$

де $u = p \cos(pt) - p \sin(t)/2$ і $v = -\sin(t) - t \cos(t)$.

На рис. 2 наведено елемент сім'ї кривих і відповідний графік функції $k(t)$ кривини для значення параметра $t=1,9992$ (тут графік кривини $k(t)$ обмежено прямою $k = 6$):

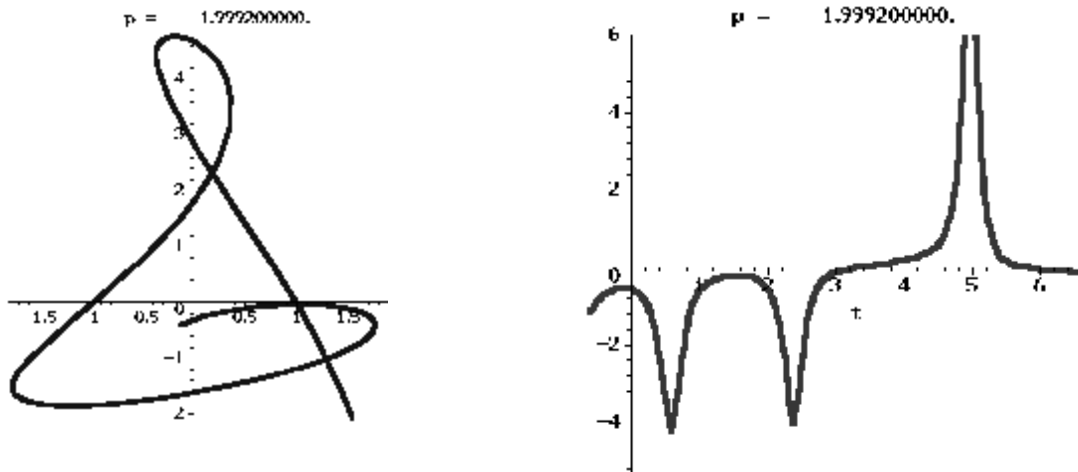


Рис. 2. Елемент сім'ї кривих і графік кривини $k(t)$ для значення $p=1,9992$

Далі вивчимо зміну графіка функції $k(t)$ залежно від параметра p . Для цього розглянемо графік невід'ємної частини функції $k = k(t)$ на відрізку $[1,5; 2,3]$. Криволінійна трапеція, обмежена графіком і трьома відрізками прямих (відрізок $[1,5; 2,3]$ осі p і два відрізки прямих $p = 1,5$ і $p = 2,3$), називається *підграфіком функції $k(p)$* . Площа підграфіка є деяке постійне число. Однак можна розглянути змінну величину – підграфік функції $k(t)$ залежно від параметра p . Тоді площа підграфіка буде не постійною, а функцією від p : $S = S(p)$. Обчислювати площу підграфіка будемо за формулою

$$S(p) = \int_{t_1}^{t_2} F(t, p) dt, \quad (3)$$

де $F(t, p) = (k(t, p) \vee 0) \wedge k_{\max}$. Тут $k_{\max} = 6$ - деяке значення, що обмежує графік функції $k(t)$, \vee і \wedge - знаки R- диз'юнкції і R-кон'юнкції.

В результаті одержимо графік функції зміни площі підграфіка $S(p)$ (рис. 3а). Його особливість полягає у тому, що у випадку зміни елементів сім'ї на якісному рівні до його складу мають залучатися лінійні елементи, розташовані паралельно осі ординат (рис. 3б).

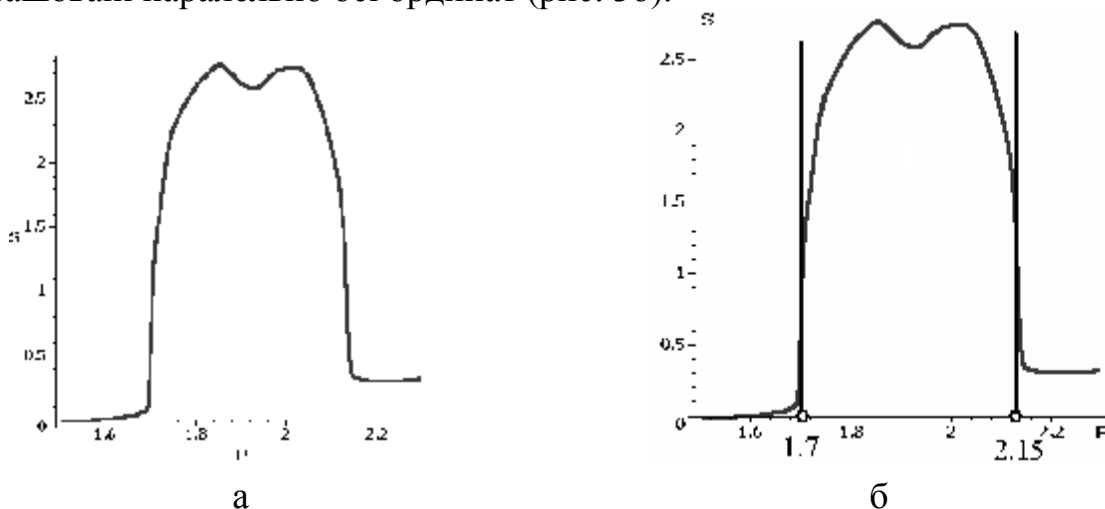


Рис. 3. Графік функції зміни площі підграфіка $S(p)$ та його особливості

І що характерно, координати на осі абсциси $0p$ цих відрізків матимуть значення, які відповідатимуть критичним значенням керуючого параметра p . У даному випадку $p=1,7$ і $p=2,15$, що збігається з критичними значеннями параметра, одержаними «в режимі» спостережень за анімаційними зображеннями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. / Л.С.Понтрягин.- М.: Наука, 1974. — 331 с.
2. Китаев Д.Б. Развитие качественной теории дифференциальных уравнений в XIX столетии. Д.Б. Китаев.- Дис. канд. техн. наук: 07.00.10 – История науки и техники (по физико-математическим наукам). Д.Б. Китаев - М: Институт истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН. – 2011. – 140 с.
3. Мищенко А.С. Сборник задач по дифференциальной геометрии и топологии. - А.С.Мищенко, Ю.П.Соловьев , А.Т.Фоменко – М: Изд. ФМЛ, 2001. – 352 с.

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА СЕРЕД ПЕРЕШКОД

І.С.Табакова

Харківський національний університет радіоелектроніки

Однією із ключових проблем розвитку мобільних робото-технічних комплексів є забезпечення їх автономного функціонування у середовищах з перешкодами. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано ряд модифікацій алгоритму трасування шляху робото-технічного комплексу, які дозволяють йому переміщатися по площині або у просторі зі складними перешкодами [1].

Варіантом зазначеного впровадження є алгоритмічне забезпечення систем ухилення безпілотних апаратів від потрапляння на конфліктні території. Ці території звичайно обмежені колами певного радіуса, величини яких залежать від відстані вражаючої дії зброї, розташованої у центрі відповідного кола. В англійській літературі цей клас задач одержав назву «Path Planning in the Threat Environment», розв'язання яких спрямовано на забезпечення керування рухомими об'єктами у конфліктному середовищі [2]. З огляду літературних джерел слідує, що для складання ексклюзивного алгоритму необхідно використовувати особливі математичні засоби, які дозволяють істотно спростити реалізацію необхідних сервісних «навантажень» на алгоритм. Як такий засіб увагу привертає математичний апарат геодезичних ліній [3], використання якого дозволяє будувати траєкторії, оптимальні по відношенню до заздалегідь обраного критерію – наприклад, мінімуму довжини траєкторії.

Мета статті полягає у розробці методу визначення шляху руху мобільного об'єкта по площині між циліндричними перешкодами, заснованого

на побудові геодезичних ліній на допоміжній поверхні, пов'язаної з формами та розташуванням перешкод.

Нехай в декартовій системі координат $0uv$ протилежні кути прямокутника в умовних одиницях мають координати $A(0;0)$ і $B(6;4)$. У межах прямокутника нехай задана множина кіл певного радіуса. Необхідно сполучити точки A і B такою лінією, яка б не перетинала жодного із зазначених кіл. Тоді ця лінія і визначатиме шукану траєкторію переміщення рухомого об'єкта з точки A до точки B серед циліндричних перешкод.

Зазначимо, що для практики «ідеальною» була б траєкторія, побудована за принципом «натягнутої нитки», яка б з'єднала стартову A й фінішну B точки й проходила між циліндрами (при цьому радіуси циліндрів треба обрати більше вихідних принаймні на півширини «проходу» робота). Але при алгоритмічній реалізації ідеї «натягнутої нитки» прогнозовано зросте складність алгоритму, пов'язана з розгалуженнями обчислювального процесу. Дійсно, у випадку зміни кількості та/або взаємного розташування циліндрів відновлювальний алгоритм потребує істотного редагування, порівняного зі складанням нового алгоритму.

Оскільки рухомий об'єкт є автономним, то шлях робото-технічного комплексу має бути найкоротшим з огляду на обмежені ресурси енергії акумулятора. Мінімальність довжини шляху виправдує застосування геодезичних як математичної бази досліджень. Адже за визначенням, геодезична лінія - це така крива, яка має мінімальну довжину серед всіх ліній, що з'єднують дві задані точки даної поверхні (якщо така існує) [3].

Запропонований алгоритм складається з таких кроків. Для пояснення кроки проілюструємо прикладом з використанням операторів мови Maple.

Крок 1. На площині $0uv$ у межах прямокутника $0 \leq u \leq 6$ і $0 \leq v \leq 4$ задаємо кола як проекції циліндрів (для спрощення вважатимемо, що циліндри розташовано регулярно вздовж осей; всі розміри в умовних одиницях):

```
display([seq(seq(cylinder([i,j,0],r,1),i=2..5),j=1..3),
cuboid([0,0,0],[6,4,-0.1],color=white)],color=red,
orientation=[-90,0],axes=BOXED):
```

Радіуси кіл нехай дорівнюють $r = 0,2$ умовних одиниць (рис.1).

Крок 2. Задаємо рівняння допоміжної поверхні, пов'язаної з розташуванням циліндричних перешкод:

$$z(u, v) = \sum_{i=2}^5 \left(\sum_{j=1}^3 f(i, j) \right), \quad (1)$$

де $f(a, b) = 2 \exp(-(u-a)^2 - (v-b)^2)$.

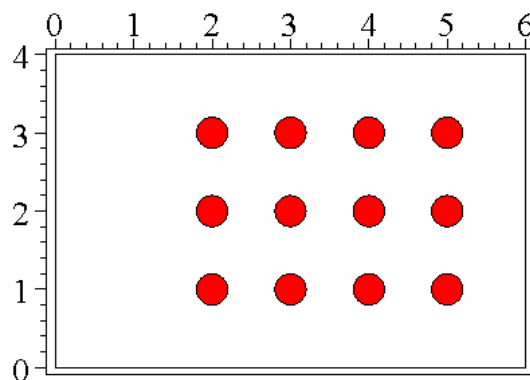


Рис. 1. Система кіл на площині

Крок 3. За описом допоміжної поверхні

(1) у координатних кривих $(u(t), v(t))$ формуємо систему диференціальних рівнянь її геодезичних, яка має єдиний розв'язок з урахуванням початкових умов $u(0)=u_0, v(0)=v_0, u'(0)=du_0, v'(0)=dv_0$.

Крок 4. Задаємо напрямок із точки $(0, 0, z(0,0))$ шляхом вибору параметра u' (тобто тангенса кута нахилу вектора «виходу» геодезичної із точки старту). Другу умову обираємо у вигляді $v'=0,5$.

Крок 5. Застосовуємо чисельне інтегрування системи рівнянь геодезичних при заданих початкових умовах:

**desys := dsolve({sys, u(0)=u0, v(0)=v0, D(u)(0)=Du0, D(v)(0)=Dv0},
{u(t),v(t)}, type=numeric, output=listprocedure).**

Тут через `sys` позначена система диференціальних рівнянь. Завдяки опціям мови Maple розв'язання системи диференціальних рівнянь здійснюються чисельно, і результати виводяться у вигляді процедур:

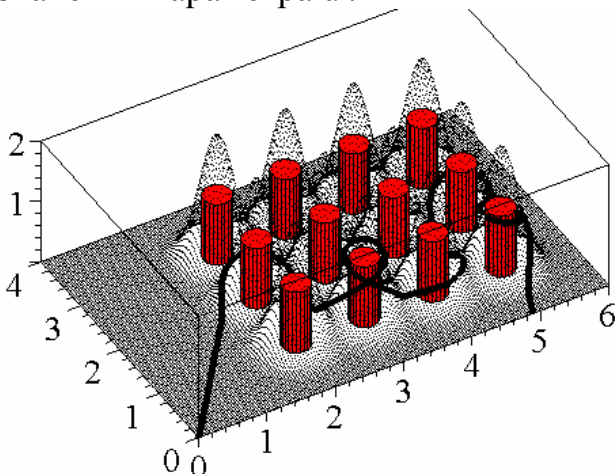
$$desys := \left[\begin{array}{l} t = (\text{proc}(t) \dots \text{end proc}), u(t) = (\text{proc}(t) \dots \text{end proc}), \frac{d}{dt} u(t) = (\text{proc}(t) \dots \text{end proc}), \\ v(t) = (\text{proc}(t) \dots \text{end proc}), \frac{d}{dt} v(t) = (\text{proc}(t) \dots \text{end proc}) \end{array} \right]$$

Вилучити шукані функції $u(t)$ і $v(t)$ із процедури можна за допомогою Maple-операторів підстановок:

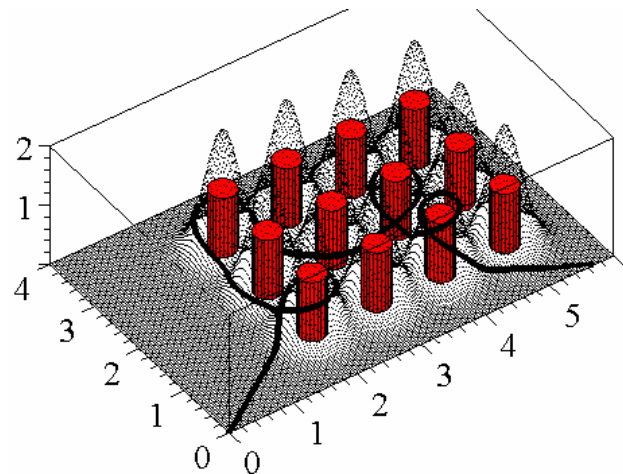
U(t) := subs(desys, u(t)); V(t) := subs(desys, v(t));

При $t=t_p$ маємо координати конкретної точки на допоміжній поверхні $\{U(t_p), V(t_p), z(U(t_p), V(t_p))\}$.

Крок 6. Визначаємо наближений опис геодезичної у вигляді послідовності точок на допоміжній поверхні. Кількість точок $N=550$. На рис.2 наведені приклади геодезичних ліній на допоміжній поверхні залежно від значення параметра u' .



Варіант 1, коли $u'=0,28$

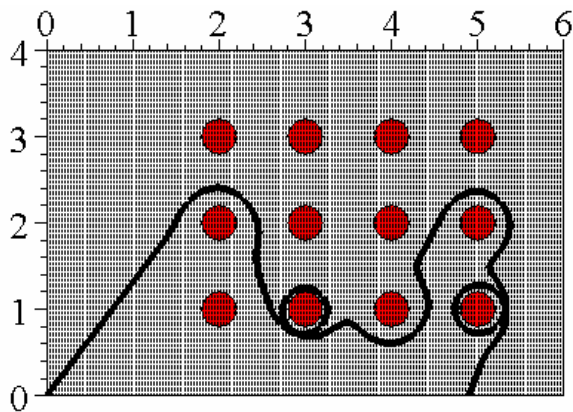


Варіант 2, коли $u'=0,731$

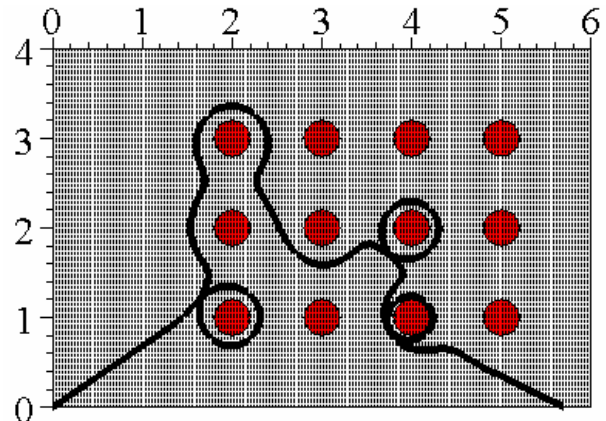
Рис 2. Приклади геодезичних на допоміжній поверхні залежно від параметра u' .

Крок 7. Будуємо проєкції геодезичної на координатну площину. На рис. 3 наведені приклади проєкцій геодезичних ліній залежно від значення параметра

u' . Вони визначають траєкторію руху робота із точки з координатами $(0, 0)$ та з початковим напрямком виходу, що визначається вектором $\{u'; v'\}$.



Варіант 1, коли $u'=0,28$

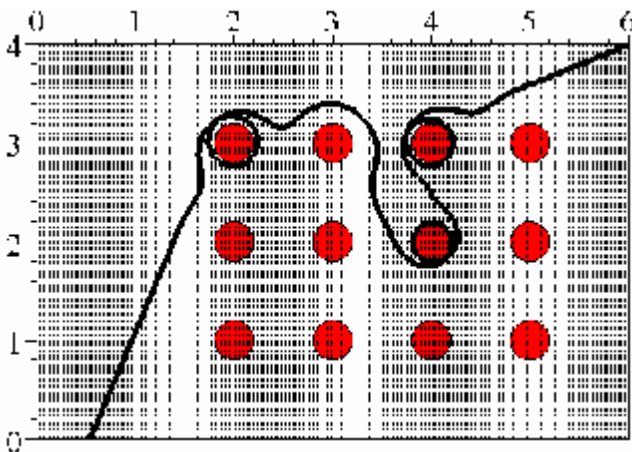


Варіант 2, коли $u'=0,731$

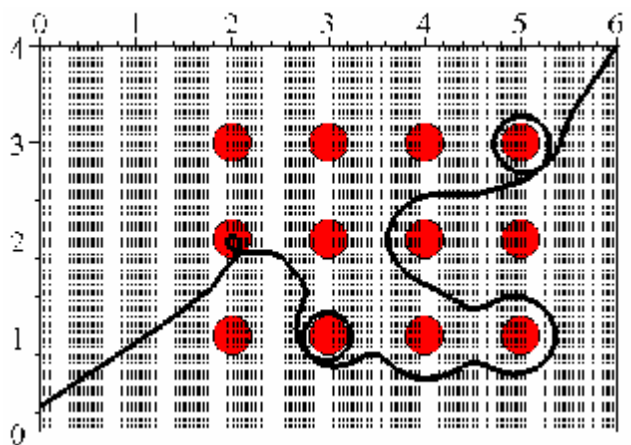
Рис. 3. Проекції геодезичних на площину Ouv залежно від параметра u' .

Крок 8. Далі оператор-експерт аналізує зображення проекції геодезичної, і додає її до бібліотеки траєкторій. Зрозуміло, що малою є ймовірність того, що побудована траєкторія пройде через точку $B(6;4)$.

Крок 9. Шукану геодезичну між точками A і B пропонується визначати як складену з двох частин – тієї, що виходить з точки A (побудовано вище), і з тієї, що виходить з точки B . На рис.4 наведено побудовані геодезичні зі стартовою точкою B залежно від параметра u' . Другу умову обираємо у вигляді $v'=-0,5$.



Варіант 3, коли $u'=-1,206$



Варіант 4, коли $u'=-0,337$

Рис. 4. Деякі траєкторії мобільного робота із точкою старту $B(6, 4)$.

На рис. 5 наведено приклад поєднання частин двох геодезичних, які виходять з протилежних вершин прямокутника. Знайдену геодезичну слід вважати однією з можливих траєкторій руху мобільного робото-технічного комплексу між точками А і В за умови обходу перешкод циліндричної форми. Форми траєкторій руху робота зручно аналізувати за допомогою створеного анімаційного фільму.

Висновок. Наведений метод розрахунку маршруту руху робота за умови обходу перешкод є певним компромісом між «якістю» отриманої геометричної форми траєкторії й універсальністю алгоритму. А велика кількість можливих варіантів одержання траєкторій спричиняє невизначеність реалізованого поточного шляху переміщення об'єкта, що ускладнює несанкціонований доступ сторонніх осіб до рухомого робото-технічного комплексу.

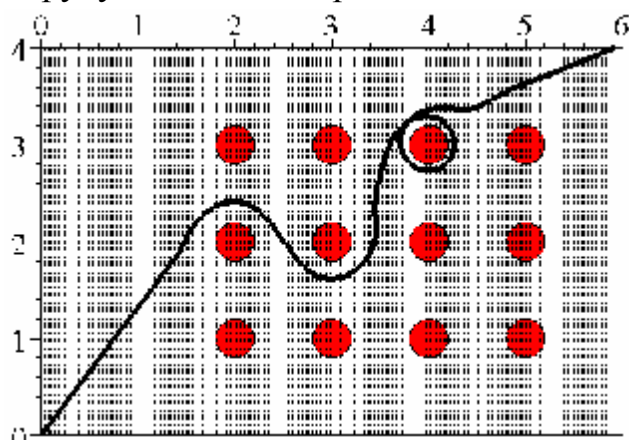


Рис. 5. Знайдена геодезична як траєкторія руху робота

ЛІТЕРАТУРА

1. Гузик В.Ф. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / В.Ф.Гузик, Е.Ю. Косенко - М.: Физматлит. 2014. – 350 с.
2. Воронин А.Н. Синтез компромиссно-оптимальных траекторий мобильных роботов в конфликтной среде / А.Н.Воронин, А.Г.Ясинский, С.А.Шворов // Проблемы управления и информатики. 2002. № 2. С. 12-18.
3. Жукова, Н. И. Геодезические линии на поверхностях / Н.И.Жукова, А.У.Багаев. - Н. Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета, - 2008. - 54 с.

ГЕОМЕТРИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ҐРУНТУ В ШНЕКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНАХ

Тимкович¹ Г.І., Півень¹ Н.В., Надкернична¹ Т.М., Маркова² О.В.

¹Національний технічний університет України “КПІ”

²Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми. Транспортування ґрунту в шнекових робочих органах представляє собою складний процес, що й обумовлює складність його геометричного та, як слідство, математичного опису. Результати досліджень руху матеріальної частинки по шнековій поверхні наведені у багатьох наукових працях відомих вчених.

Основним недоліком існуючих фізичних моделей і відповідних геометричних та математичних описів є відсутність урахування стиснутого стану руху частинок в обмеженому просторі шнека, їхньої взаємодії й нехтування наявністю підпору з боку “вихідного” отвору шнекового робочого органу і, як наслідок, виникаючого тиску в напрямку руху матеріалу. У цьому зв'язку з'являється невідповідність між фізичним змістом коефіцієнтів заповнення та продуктивністю.

Аналіз останніх досліджень. Питаннями математичного опису роботи шнеків займалися українські та закордонні вчені: А.І.Кукібний, І.І.Мер, М.В.Мурашов, А.М.Григор'єв та ін.

Присутня невідповідність між фізичним змістом коефіцієнтів заповнення та продуктивністю [1,2] пов'язана з тим, що рух частинок у шнеку буде відбуватися, коли сила тертя, викликана діючою на частинку відцентровою силою $\frac{(P_1 + G)g_a^2}{gr}$, виявиться настільки великою, що пригальмовує частинку в спільному обертанні зі шнеком, тобто змушує її прослизнути по шнеку, переборюючи силу тертя об шнек $\mu_s(G + P_1)\cos(\alpha + \gamma)$ і складову сили тяжіння та „сили положення”, спрямовані уздовж шнекової поверхні донизу. Натомість, складова сили положення враховує обертальний рух та ефект підпору. Наочніше це можна показати на розгортці шнекової поверхні.

Основна частина. Прийmemo для спрощення подальших пояснень масу m частинки ґрунту рівній одиниці, тобто $m = G/g = 1$ і, відповідно, сила тяжіння частинки $G = g$. Тоді, якщо $(\alpha + \gamma)$ - кут підйому частинки на радіусі r точки дотику частинки із шнековою поверхнею й μ_s - коефіцієнт тертя ковзання між частинкою й шнеком, то будемо мати на шнековій поверхні, дві незалежні від величини швидкості шнека сили $(G + P_1)\sin(\alpha + \gamma)$ і $\mu_s(G + P_1)\cos(\alpha + \gamma)$. Першою є сила, „що поєднує сили тяжіння та положення, а другою - сила тертя, утворена складовою сили тяжіння й положення. Так як обидві сили перешкоджають руху частинки, то вони мають однаковий напрям.

У загальному виді за аналогією для описаної вище фізичної моделі силової картини руху частинки ґрунту, яка спирається на шнекову поверхню і є притиснутою до стінки не розробленого ґрунту у випадку похилого розташування осі шнека рівняння руху можна записати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} N_1 \cos\alpha - \mu_s N_1 \sin\alpha - m\alpha \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) - (G + P_1)\cos\gamma - f_2 N_2 \sin\beta &= 0; \\ (G + P_1)\cos\gamma \sin\varepsilon + f_2 N_2 \cos\beta - \mu_1 N_1 \cos\alpha - N_1 \sin\alpha - mr \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) &= 0; \\ (G + P_1)\sin\gamma \cos\varepsilon + mr\omega_0^2 + mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_2 - 2mr\omega_0 \frac{d\varphi}{dt} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

У випадку стійкого квазістаціонарного режиму руху транспортування

$(\frac{d\varphi}{dt} = const, \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0); \mathbf{m} = \mathbf{1}; \mathbf{G} = \mathbf{mg} = \mathbf{1g} = \mathbf{g}; P_2 = \frac{P_1}{g}$), маємо:

$$\left. \begin{aligned} N_1 \cos\alpha + \mu_s N_1 \sin\alpha - f_1 N_2 \sin\beta - (g + P_2) \cos\gamma &= 0; \\ (g + P_2) \sin\gamma \sin\varepsilon + f_2 N_2 \cos\beta - \mu_s N_1 \cos\alpha - N_1 \sin\alpha &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$N_1 = \frac{(g + P_2) \sin\gamma \sin\varepsilon \sin\beta - (g + P_2) \cos\gamma \cos\beta}{\mu_s \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)}; \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{\left[\begin{aligned} &(g + P_2) \sin\gamma \sin\varepsilon \sin\beta - \\ &-(g + P_2) \cos\gamma \cos\beta \end{aligned} \right] \cos\alpha \mu_s \sin\alpha}{f_2 \sin\beta [\mu_s \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)]} - \frac{(g + P_2) \cos\gamma}{f_2 \sin\beta}. \quad (4)$$

Використовуємо кутові параметри виду:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v \sin\beta}{\alpha} = \frac{\omega_0 \cos\alpha \sin\beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (5)$$

Із третього рівняння системи (1), можна одержати характерну умову для руху частинки з кутовими параметрами для будь-якого шнекового робочого органу:

$$\frac{f_2 \left[\begin{aligned} &\omega_0^2 r \sin^2 \alpha \cos^2 \beta + \\ &+(g + P_2) \sin\gamma \cos\varepsilon \sin^2(\alpha + \beta) \end{aligned} \right] [\cos\beta - \sin\beta t g(\alpha + \varphi_1)]}{(g + P_2) \sin^2(\alpha + \beta) [\cos\gamma t g(\alpha + \varphi_2) - \sin\gamma \sin\varepsilon]} \quad (6)$$

У виразах (1) - (6) прийняті наступні позначення: N_1 - нормальна реакція шнекової поверхні; G - сила тяжіння частинки ґрунту; P_1 - сила положення; N_2 - нормальна реакція корпусу; β - кутовий параметр; ε - кут, що визначає положення частинки ґрунту, по відношенню до вертикальної площини; f_2 - коефіцієнт тертя матеріалу що транспортується об стінку не розробленого ґрунту; γ - кут нахилу, шнекового пристрою ($\gamma = 90^\circ$ і $\gamma = 0$ відповідно для горизонтального та вертикального шнекових робочих органів); φ_1 - кут тертя ґрунту по шнеку; φ_2 - кут тертя ґрунту по ґрунту; \mathcal{G}_r - відносна швидкість частинки; \mathcal{G}_s - переносна швидкість частинки; \mathcal{G}_a - абсолютна швидкість частинки; ω_0 - кутова швидкість частинки ґрунту у випадку стійкого квазістаціонарного режиму руху.

Шнек, який обертається, подібний до безперервної похилої площини, по якій під дією сил поля матеріал рухається вперед до вихідного отвору. При цьому матеріал переміщується, а кожна ділянка поверхні шнека пересуває його перед собою у вигляді клинчастої суцільної форми, який називається «тілом волочіння», геометричні параметри якого залежать від заповнення шнека, фізико-механічних властивостей матеріалу, параметрів шнека і режиму його роботи. Клин є обмеженим циліндричною поверхнею кожуха шнека, поверхнею шнека і вільною поверхнею матеріалу.

Існує так звана „пасивна” зона [3] поверхні шнека, за рахунок якої транспортування матеріалу вперед зменшується і відбувається обертання матеріалу навколо вала, тобто його перемішування (рис. 1).

На рис.1. D – це діаметр шнека, d – діаметр вала.

При збільшенні кута нахилу шнека можна спостерігати, як по одній стороні шнека матеріал піднімається і переміщується вперед, а по іншій стороні - переміщується донизу.

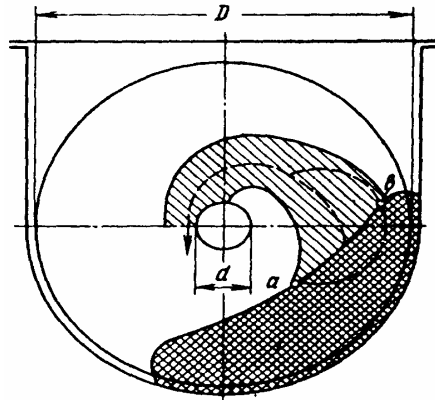


Рис.1. Схема розміщення матеріалу що транспортується в пасивній поверхні шнеку

В результаті між точками a і b перетину границь пасивної області з вільною поверхнею „клина” матеріалу, що транспортується створюється потік. Матеріал, захоплений потоком, перекидається з об’єму переднього клина в задній, який слідує за першим. Таким чином, частина матеріалу рухається вперед, а відстає на один крок за повний оберт шнека.

За пропозицією М.В. Мурашова [3] встановлена різниця між коефіцієнтом продуктивності k та коефіцієнтом наповнення k_n .

Коефіцієнт продуктивності залежить від: властивостей матеріалу, який транспортується, форми частинок середовища, коефіцієнта тертя матеріалу по поверхні шнека і кожуха, кута природного укусу і від параметрів шнека (кроку, діаметра, кута нахилу до горизонту, швидкості обертання), тобто є складною функцією кількох параметрів: $k = \Phi(D, S, \delta, f_1, f_2, \omega)$.

Де D – діаметр шнека; S – крок шнека; δ – кут нахилу осі шнека до горизонту; f_1 – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні гвинта; f_2 – коефіцієнт тертя матеріалу по стінці кожуха; ω – кутова швидкість шнека.

Залежність коефіцієнта продуктивності від величини пасивної області можна описати наступним рівнянням: $k = P \left(1 - \frac{f}{F} \right)$.

Де f – площа, яку займає пасивна область на поверхні одного витка шнека; F – повна робоча поверхня одного витка; P – коефіцієнт коригування.

На рис.2. показана залежність коефіцієнта продуктивності від швидкості обертання.

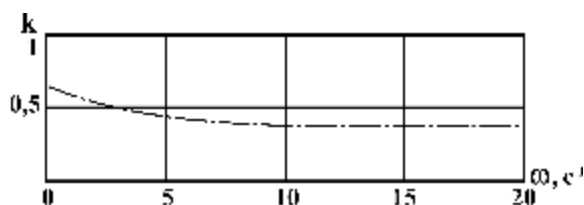


Рис. 2. Вплив швидкості обертання шнека на коефіцієнт продуктивності

Висновки. Кутова швидкість обертання мало впливає на величину пасивної зони, тобто збільшення швидкості практично не призводить до збільшення продуктивності.

Тому приходимо до висновку обмежитися найменшою з оптимальних швидкостей $\omega = \omega_0 = 2,5 \text{ с}^{-1}$.

Має значення також кут нахилу шнека до горизонту та його вплив на коефіцієнт продуктивності (рис. 3).

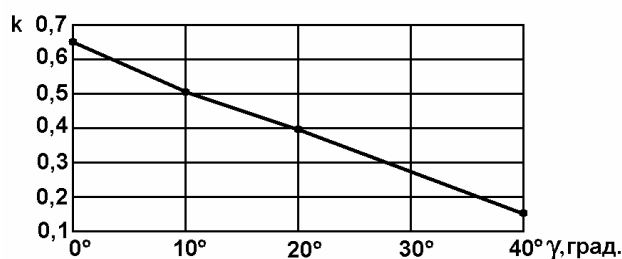


Рис. 3. Вплив кута нахилу шнека на коефіцієнт продуктивності

З рисунку видно, що при $\omega_0 = 2,5 \text{ с}^{-1}$ краще використовувати шнеки з $\gamma = 0^\circ$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ветров Ю.А. Резания грунтов землеройными машинами/Ю.А.Ветров – М.: Машиностроение, 1972. – 359 с.
2. Зеленин А.Н. Машины для земляных работ/Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керров И.П.– М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
3. Мурашов В. О производительности транспортирующих шнеков /Мурашов В, Григорьев А. //Строительные и дорожные машины. - М.: 1970. –Вып.6.- С. 13-15.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ З НАПЕРЕД ОБУМОВЛЕНИМИ ЗАЛЕЖНОСТЯМИ РОЗПОДІЛУ КРИВИНИ ВЗДОВЖ ГОЛОВНИХ ЇХ НАПРЯМІВ

Устенко І.В., Агарков О.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

У багатьох практичних застосуваннях існує потреба описувати зовнішні й внутрішні обводи виробів зі складною геометричною формою. Незважаючи на те, що в літературі можна знайти достатньо методів геометричного моделювання різноманітних поверхонь, все ж таки і на цей час розробка нових підходів до їх моделювання є питанням актуальним.

Метою цієї роботи є розробка і реалізація на ПЕОМ підходу до геометричного моделювання поверхонь, кривина яких вздовж головних напрямів підпорядковується наперед обумовленим залежностям від довжини дуги. Невідомі коефіцієнти цих залежностей мають визначатися за умови забезпечення проходження ділянок поверхонь, що моделюються, через задані точки простору та мати визначені кути нахилу дотичних до головних напрямів.

Розглянемо фрагмент деякої поверхні (рис. 1). На цьому рисунку під du і dv розуміються диференціали криволінійних координат поверхні, які відповідають нескінченно малому переміщенню по поверхні; кути $\varphi(u, v)$, $\theta(u, v)$ є кутами нахилу дотичних до головних напрямів поверхні в точці, яку назовемо початковою; u і v – криволінійні координати поверхні.

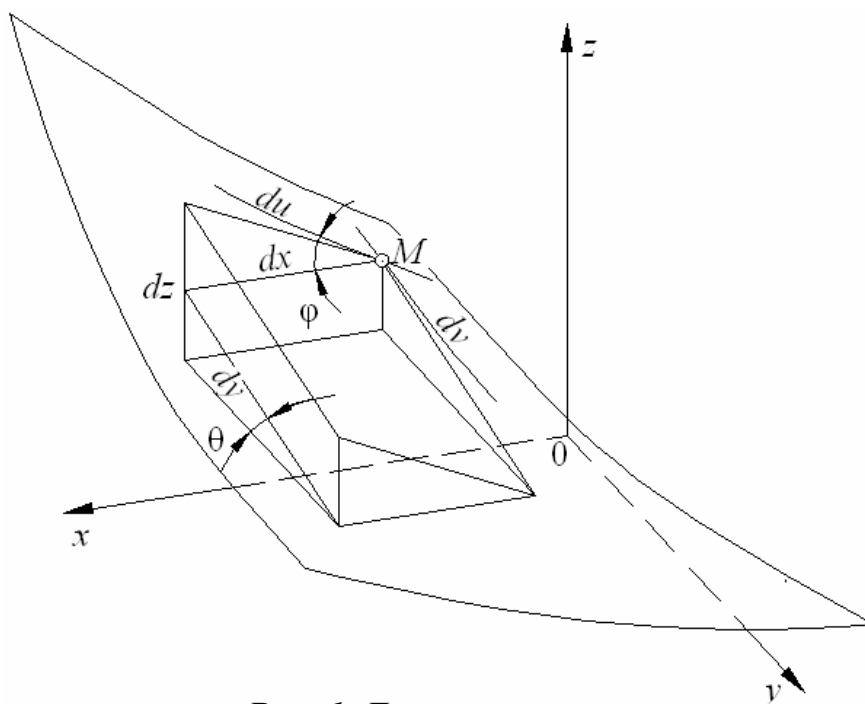


Рис. 1. Ділянка поверхні

Декартові координати x , y і z довільної точки поверхні функціонально залежать від криволінійних координат u і v , тобто:

$$\begin{cases} x = x(u, v), \\ y = y(u, v), \\ z = z(u, v). \end{cases}$$

З розгляду рис. 1 випливають наступні співвідношення:

$$dx = \cos \varphi(u, v) du;$$

$$dy = \cos \theta(u, v) dv;$$

$$dz = \sin \varphi(u, v) du + \sin \theta(u, v) dv.$$

Ділянці поверхні, зображеній на рис. 1, відповідають певні розподіли кривини $K_1(u, v)$ і $K_2(u, v)$, які залежать від криволінійних координат u і v .

З диференціальної геометрії відомо, що кривина поверхні дорівнює швидкості зміни кутів нахилу дотичних φ та θ до головних її напрямів, тобто:

$$\frac{d\varphi}{du} = k_1(u, v); \quad \frac{d\theta}{dv} = k_2(u, v).$$

Інтегруючи ці вирази, визначають залежності кутів нахилу дотичних до головних напрямів поверхні в довільній її точці:

$$\varphi(u, v) = \varphi_0 + \int_0^u k_1(u, v) du; \quad \theta(u, v) = \theta_0 + \int_0^v k_2(u, v) dv,$$

де φ_0 і θ_0 – кути нахилу дотичних до головних напрямів поверхні в початковій її точці, тобто при нульових значеннях криволінійних координат u і v , відповідно.

Параметричне рівняння поверхні матиме вигляд:

$$x(u, v) = x_0 + \int_0^u \cos \varphi(u, v) du; \quad y(u, v) = y_0 + \int_0^v \cos \theta(u, v) dv;$$

$$z(u, v) = z_0 + \int_0^u \sin \varphi(u, v) du + \int_0^v \sin \theta(u, v) dv.$$

У роботі розглядається моделювання ділянок поверхонь з лінійними

$$k_1(u, v) = a_1 u + b_1 v + c_1; \quad k_2(u, v) = a_2 u + b_2 v + c_2,$$

та алгебраїчною (другого порядку) і лінійною

$$k_1(u, v) = a_1 u + b_1 v + c_1 uv + d_1; \quad k_2(u, v) = a_2 u + b_2 v + c_2$$

залежностями кривини від криволінійних координат. Невідомі коефіцієнти a_i і b_i в цих залежностях визначаються в процесі моделювання ділянок поверхні за умови забезпечення проходження через задані опорні точки простору (рис. 2), мати задані кути нахилу дотичних до поверхні в нульовій точці.

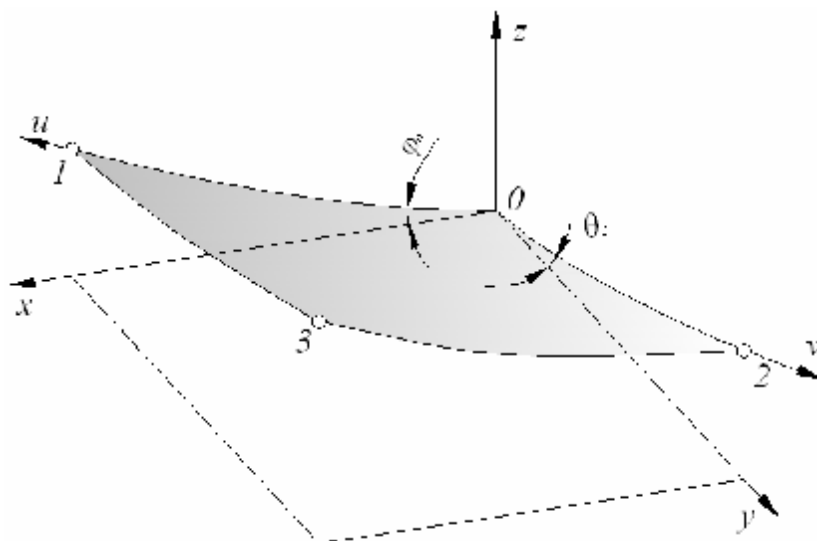


Рис. 2. Опорні точки ділянки поверхні

Нижче наведені приклади отриманих на базі запропонованого підходу моделювання ділянок поверхонь. Візуалізація цих поверхонь виконувалася в середовищі Wolfram Mathematica. Вихідні дані для візуалізації готувалися в спеціально розроблених програмах, в яких нараховувалися координати проміжних точок поверхні, що моделюється.

На рис. 3 – 5 ділянки поверхонь побудовані із застосуванням тільки лінійних залежностей розподілу кривини. Поверхні, показані на рис. 3 будувалися з нульовими значеннями кутів φ_0 і θ_0 . На цьому рисунку нижня поверхня є площиною, оскільки точки 1 і 2 знаходилися на відповідних осьових лініях. Це додатково підтверджує можливості запропонованого підходу до моделювання поверхонь. Дві інші поверхні змодельовані з

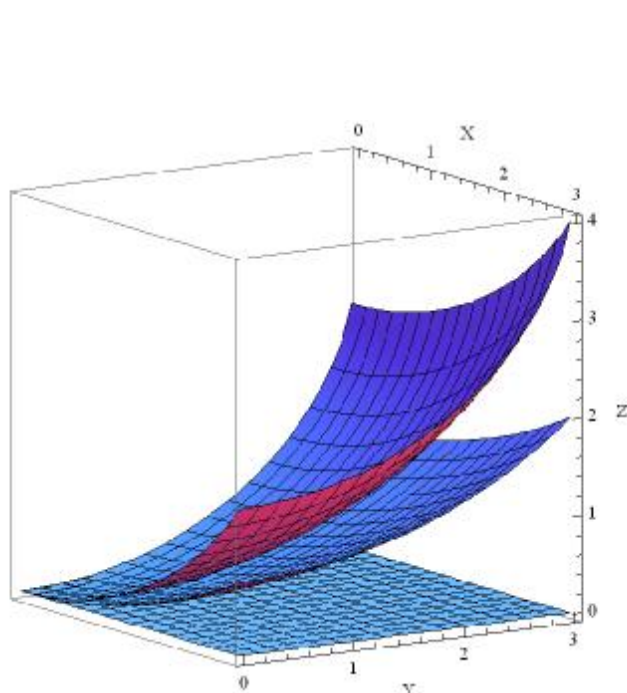


Рис. 3. Ділянки поверхонь з нульовими кутами φ_0 і θ_0

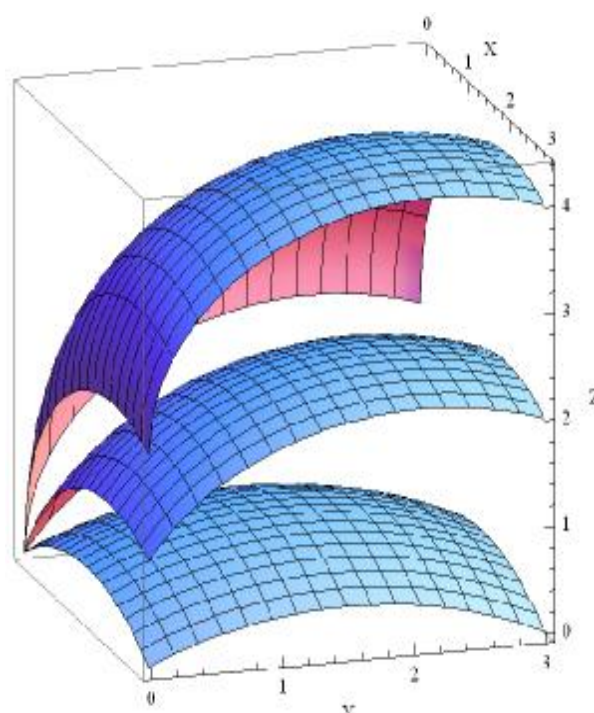


Рис. 4. Ділянки поверхонь з довільними кутами φ_0 і θ_0

поступовим збільшенням координат z точок 1 і 2. На поверхнях для більшої наочності нанесені сітки, лінії яких відповідають постійним значенням криволінійних координат.

Приклад моделювання ділянок поверхонь з додатними значеннями кутів нахилу дотичних до головних напрямів в нульовій точці та поступовому збільшенні координати z точок 1 і 2 показано на рис. 4. Кути φ_0 і θ_0 збільшувалися від 30° до 90° з кроком 30° .

Куполоподібні поверхні показані на рис. 5. Вони отримані при варіюванні кутів φ_0 і θ_0 в інтервалі $30^\circ - 80^\circ$ з кроком 25° .

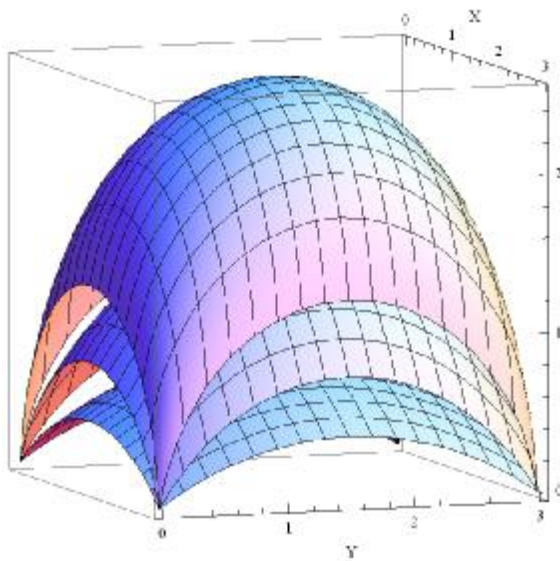


Рис. 5. Куполоподібні поверхні

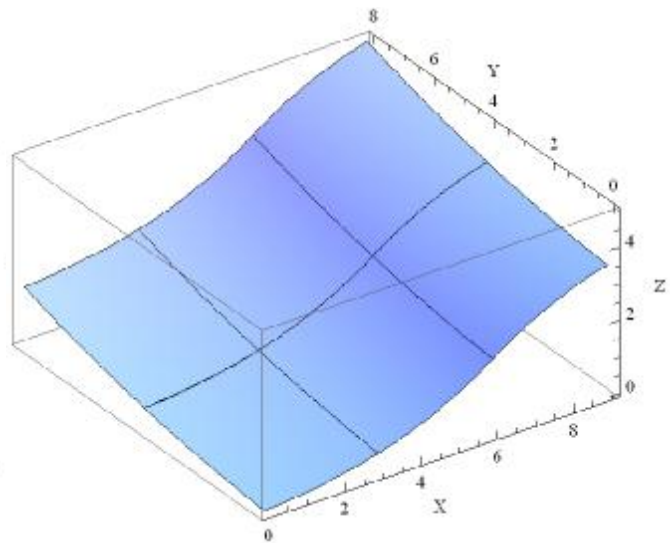


Рис.6. Складена поверхня

Запропонований підхід дозволяє будувати складені поверхні. Приклад подібної поверхні, яка складається з шести ділянок показано на рис. 6.

Треба відзначити, що відхилення точок цих ділянок на лінії їх стикування не перевищувало $8,56 \times 10^{-5}$ мм, кутів $\varphi - 1,15 \times 10^{-2}$ градусів і кутів $\theta - 8,56 \times 10^{-3}$ градусів, що є свідченням достатньо високого рівня узгодження двох цих ділянок на лінії їх стикування.

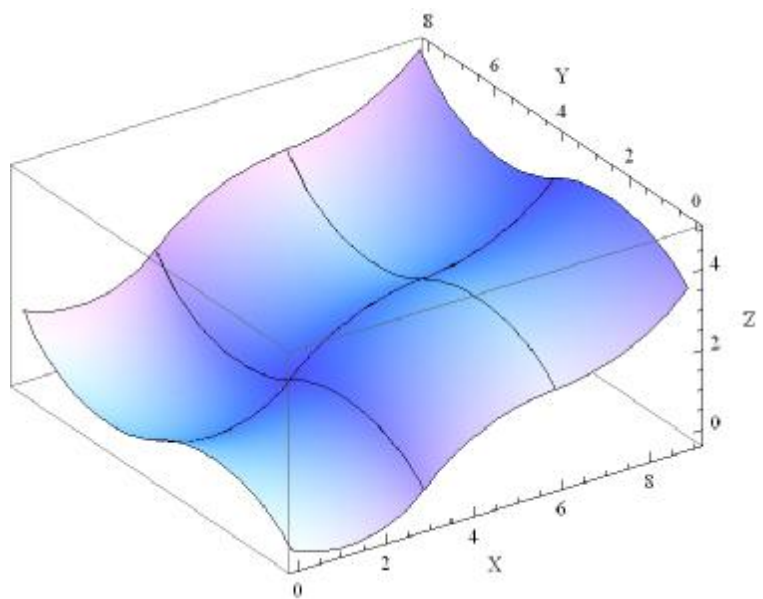


Рис. 7. Складена "бугриста" поверхня

В залежності від заданих кутів нахилу дотичних в нульовій точці можна отримати більш цікаві за формою поверхні. Приклад подібної "цікавої" поверхні наведено на рис. 7. Поверхню умовно названо "бугристою".

Застосування алгебраїчної (другого порядку) і лінійної залежностей розподілу кривини дозволяє отримати поверхні більш складної форми ніж це дозволяють зробити чисто лінійні залежності кривини. Приклади поверхонь з алгебраїчною і лінійною залежностями розподілу кривини показані на рис. 8 і 9.

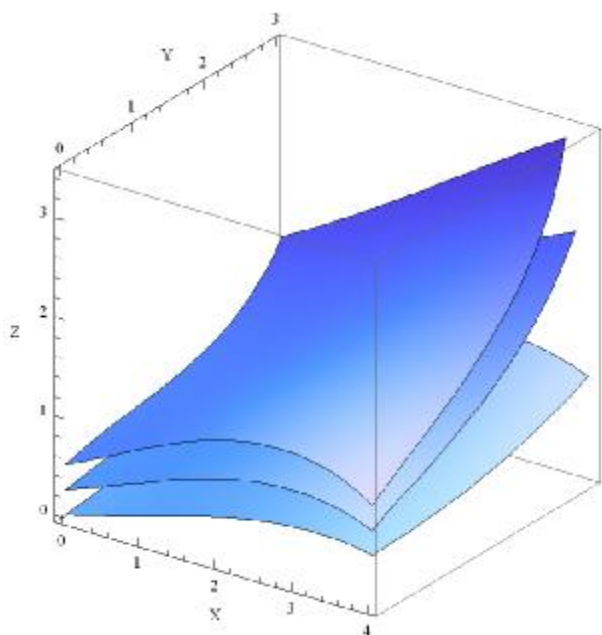


Рис. 8. Опуклі ділянки поверхонь

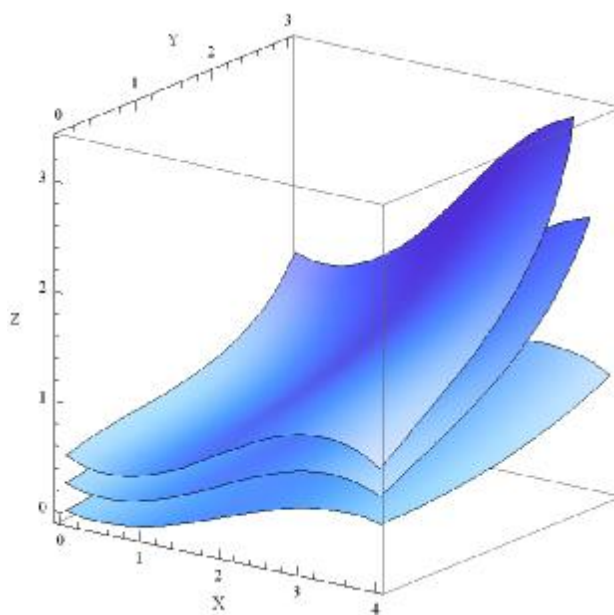


Рис. 9. Поверхні з від'ємними кутами φ_0

Таким чином, виконані теоретичні й розрахункові дослідження підтвердили можливість геометричного моделювання різноманітних поверхонь з наперед обумовленими законами розподілу кривини вздовж головних напрямів.

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНО-ІНТЕРПОЛЯЦІЙНОГО ПІДХОДУ

Холковський Ю.Р.

Національний авіаційний університет

Математичне моделювання та розвиток на його основі технологій проектування та виготовлення складних технічних форм, розробка методик прогнозування різноманітного стану систем та середовищ потребує суттєвого

підвищення рівня вимог щодо достовірності та якості результатів моделювання і подальшого проектування таких систем. У переважній більшості задач проектування складних технічних форм йдеться про їх моделювання у вигляді певних поверхонь, переважно незакономірних, тому такі складні криволінійні форми не піддаються аналітичному опису, тобто не можливо отримати аналітичну континуальну модель поверхні. Очевидно, що у таких випадках математична модель поверхонь подібних технічних форм повинна бути дискретною. Зазначимо, що дискретний спосіб представлення, зокрема, геометричної інформації про об'єкт, що моделюється, є універсальним і одним з раціональних, а дискретний підхід можна вважати більш загальним, тому що від неперервно-аналітичної моделі практично завжди можна перейти до дискретної, а в нашому випадку до дискретно-інтерполяційної в подальшому розгляді. Отже, питання розробки методів та на їх основі раціональних алгоритмів моделювання складних криволінійних поверхонь, багатопараметричних систем та середовищ, а ще й з наперед заданими умовами, є актуальними.

У напрямку моделювання складних поверхонь, багатопараметричних систем та середовищ існує чимало робіт, у яких їх автори розглядали різноманітні підходи та способи моделювання, проте, наприклад, такий чинник, як моделювання складної просторової форми за наперед заданими умовами щодо форми є доволі складним і розглянутий недостатньо. Також це стосується й задачі прогнозування стану певної багатопараметричної системи чи середовища, наприклад екологічного.

У даній роботі розглядається підхід, який є нетрадиційним, щодо моделювання складних криволінійних форм, багатопараметричних систем та середовищ на основі дискретно-інтерполяційного підходу, сутність якого полягає у використанні різних інтерполяційних схем на основі інтерполяційних поліномів Лагранжа для отримання дискретних геометричних моделей різних криволінійних поверхонь, систем та середовищ із врахуванням наперед заданих умов щодо форми, стану тощо.

Дискретно-інтерполяційні схеми дозволяють отримати, по-перше, однопараметричну множину певних об'єктів, зокрема поверхонь чи, навіть, систем. По-друге, оптимальність вибору інтерполяційних поліномів Лагранжа пов'язана, на наш розсуд, з тим, що має місце відносна простота у використанні, гарна алгоритмізація і, що найбільш важливо, відсутність вимоги щодо обов'язкової рівномірності розташування вузлів інтерполяції, можливість представлення по кожній змінній своєї кількості вузлів інтерполяції.

Найбільш суттєвим та оригінальним є нетрадиційність підходу, що розглядається, яка полягає у тому, що під вузлами інтерполяції розуміються не точки (у традиційному розумінні процесу інтерполяції), а більш складні математичні об'єкти, наприклад, лінії, матриці, тензори, поверхні, або ж навіть цілі системи, що представлені моделями у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей та параметрів. Надалі під схемою інтерполяції будемо розуміти схему розташування саме таких вузлів.

Функції, що однозначно не можуть бути спроекційовані на жодну з координатних осей чи площин, задаються, як правило, неявно чи параметрично. Їх інтерполювання тоді зводиться до розміщення у вузлах інтерполяції певних базових функцій, наприклад, дискретних масивів. Це дає можливість отримати деякий функціонал $\Phi(\mathbf{p}_{i,j})$, з вектором параметрів, що включає в себе інтерполяційний параметр, координатні змінні, параметри, що характеризують форму та положення об'єктів, певні параметричні характеристики об'єктів, процесів, систем чи середовищ. Однопараметричні множини, що можуть бути отримані таким чином, є дискретними математичними моделями багатопараметричних об'єктів, процесів, систем та середовищ. А елементом таких множин є деяка дискретна функція, або ж функціонал $\Phi(\mathbf{p}_{i,j})$, що у загальному випадку може бути представлений, як дискретний чисельний масив, розмірність якого може варіюватись. Наприклад, для моделювання поверхонь це лінії, як прямі, так і криві, а для моделювання систем та середовищ певна матриця параметрів

Нехай $F(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \dots, \mathbf{p}_k, \dots, \mathbf{p}_m)$ – неявно задана вузлова функція. Сформуємо її у вигляді деякого функціонала $\Phi(\mathbf{p}_{i,j})$, що заданий матрицею $M[i, j]$.

$$F(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \dots, \mathbf{p}_k, \dots, \mathbf{p}_m) = M[i, j] \quad (1)$$

Розглядаючи (1) у якості певного вузла інтерполяції, використаємо інтерполяційний поліном Лагранжа. Відповідно, у випадку одномірної інтерполяції отримаємо $M[i, j]$ як

$$M_n[i, j] = \sum_{i=0}^{n-1} M_i(i, j) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j} \quad (2)$$

де n - кількість вузлів інтерполяції, u - параметр $M_i[i, j]$, відповідний проміжному перерізу поверхні аба стану певної системи чи середовища.

Формування вузлових функцій (ліній), як перша стадія процесу, здійснюється у відповідному програмному забезпеченні, що розроблено автором, і дає можливість отримати дискретні числові моделі вузлових функцій (ліній, станів тощо).

Наступний етап моделювання є дуже важливим і пов'язаний із визначенням схеми інтерполяції, а саме, кількості її вузлів та їх розташування. Особливість цього етапу полягає у тому, що приведені параметри суттєво впливають на форму поверхні чи стан системи, що моделюються, навіть, якщо використовуються одні й ті ж самі вузлові функції в схемі інтерполяції. Зазначимо, що вузлові функції можуть змінювати своє положення у просторі у відповідних площинах-носіях. У свою чергу, площини-носії також можуть змінювати своє положення у просторі, впливаючи таким чином безпосередньо на схему інтерполяції.

Надалі використовується така класифікація поверхонь або дискретних моделей систем та середовищ, що моделюються: одновузлові поверхні,

двовузлові, ..., n -вузлові поверхні чи системи. Вираз (2) є остаточною формулою дискретно-інтерполяційного підходу щодо моделювання складних просторових форм у вигляді поверхонь, різноманітних станів систем та середовищ із використанням різних вузлових функцій та схем інтерполяції.

Не менш важливим є той факт, що такий підхід дозволяє включити в однопараметричну множину об'єкти, що мають навіть різну структуру і властивості. Особливо актуальним це є для великої кількості різноманітних багатопараметричних процесів, систем та середовищ, параметри яких можуть змінюватися, як у просторі, так й у часі. Наприклад, це стосується екологічних систем, які, як відомо, є типовими багатопараметричними системами, що складаються з багатьох різноманітних компонентів. Побудова континуальної математичної моделі такої системи є доволі складною задачею, яка часто взагалі не може бути розв'язана аналітично. Окрім того, параметри таких систем є суттєво неоднорідними. Більш того, вони ще й суттєво залежать від певних зовнішніх факторів, які досить часто просто неможливо передбачити. Стає зрозумілим, що поєднати таку різноманітну компонентність у одній аналітичній (континуальній) математичній моделі просто неможливо. Таку ситуацію можна прослідкувати на прикладі роботи такого великого об'єкту, як, скажімо, аеропорт, де існує багато чинників, пов'язаних із забрудненням довкілля та негативним впливом на здоров'я людей.

Також важливим є той факт, що певні параметри, або ж компоненти фактично вимірюються в деякий час і в певних місцях. Тобто ця інформація, яка з часом змінюється, носить чітко виражений дискретний характер. Саме тому й є логічним дискретно-інтерполяційний підхід щодо моделювання багатопараметричних систем та середовищ, у якому передбачається побудова певних однопараметричних дискретних множин, що включають деяку сукупність параметрів таких систем та середовищ.

З геометричної точки зору це може бути поверхня, або гіперповерхня, як n -вимірний модель певного середовища, що задана аналітично, але найчастіше дискретно. Окремо зазначимо, що такий підхід щодо моделювання, наприклад, екологічних систем, процесів чи екологічних ситуацій у літературі відсутній.

Отже, однопараметричні множини, отримані таким чином, є дискретними математичними моделями об'єктів, багатопараметричних процесів та систем. Елементом таких множин є деяка дискретна функція, що у загальному випадку може бути представлена, як дискретний чисельний масив, розмірність якого може варіюватись. Такий підхід дозволяє включати в однопараметричну множину об'єкти, що мають різну структуру і навіть властивості, а до того ж, ще й анізотропність, що саме й притаманно, наприклад, екологічним системам.

Як вже було зазначено вище, екологічні та їм подібні системи та середовища – це досить складні багатоконпонентні системи, параметри яких змінюються у часі й можуть мати різну векторну направленість. Геометричною моделлю таких систем фактично є деяка гіперповерхня, тому побудова моделі такої системи на основі дискретно-інтерполяційного підходу потребує використання n -вимірної інтерполяції. Наприклад, у випадку двовимірної

інтерполяції можна знайти вид степеневого многочлена $\Phi_{m,n}(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ степеня \mathbf{m} по \mathbf{u} та \mathbf{n} по \mathbf{v} та визначити значення функціонала \mathbf{F} у довільній точці з параметрами (\mathbf{u}, \mathbf{v}) . Геометрично це означає, що при двовимірній інтерполяції через вузлові точки проходить деяка поверхня $\mathbf{z} = \Phi_{m,n}(\mathbf{u}, \mathbf{v})$. Тоді отримуємо таку формулу для двовимірної інтерполяції за Лагранжем:

$$\Phi_{m,n}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} F_{i,j}(p_1, p_2, \dots; p_t) \prod_{\substack{p=0 \\ p \neq i}}^{m-1} \prod_{\substack{q=0 \\ q \neq j}}^{n-1} \frac{(u-u_i)(v-v_j)}{(u_p - u_i)(v_q - v_j)} \quad (3)$$

Вираз (3) фактично являє собою відповідну дискретно-інтерполяційну модель певного багатопараметричного процесу або системи чи середовища. Вузлом інтерполяції для цієї моделі є дискретний чисельний масив із сукупністю (можливо, різноякісних та анізотропних) компонентів цієї системи.

Висновки: Підхід, що пропонується, дозволяє моделювати досить складні багатопараметричні системи та середовища, що характеризуються певною кількістю параметрів та властивостей, а останні можуть мати різноманітну структуру і певну анізотропність властивостей у часі й просторі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ю.Р. Холковський. Моделювання багатопараметричних процесів та систем на основі дискретно-інтерполяційного підходу в екології // Праці VIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. – С.204-208.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Хошаба А.М., Степанюк Д.С.

Винницький національний технічний університет

Производительность программно-технических комплексов (ПТК) представляет собой комплексную оценку параметров (показателей) функционирования вычислительной системы за определенный период времени t [1]. Производительность ПТК также выражается функцией $c_v(t)$, имеющая характеристику скорости изменения обобщенных оценок $c_i(t)$ за определенный отрезок времени в виде производной (1):

$$c_v(t) = dc_i(t)/dt; \quad (1)$$

Оценка производительности $c_i(t)$ принимает значения от 0 до 1 (рис. 1).

При исследовании производительности ПТК существует возможность получать оценку плотности временного процесса cp_t (2) и скорости его изменения cp_v (3) за определенный промежуток времени $t_2 - t_1$ (рис. 1):

$$cp_t = \int_{t_1}^{t_2} c_t(t) dt; \quad (2)$$

$$cp_v = \int_{t_1}^{t_2} c_v(t) dt; \quad (3)$$

Производительность ПТК условно делят на фазы [2] и выделяют границы G_I , G_{II} имеющие значения констант. К примеру, $G_I = 0.3$, $G_{II} = 0.6$ (рис. 1).

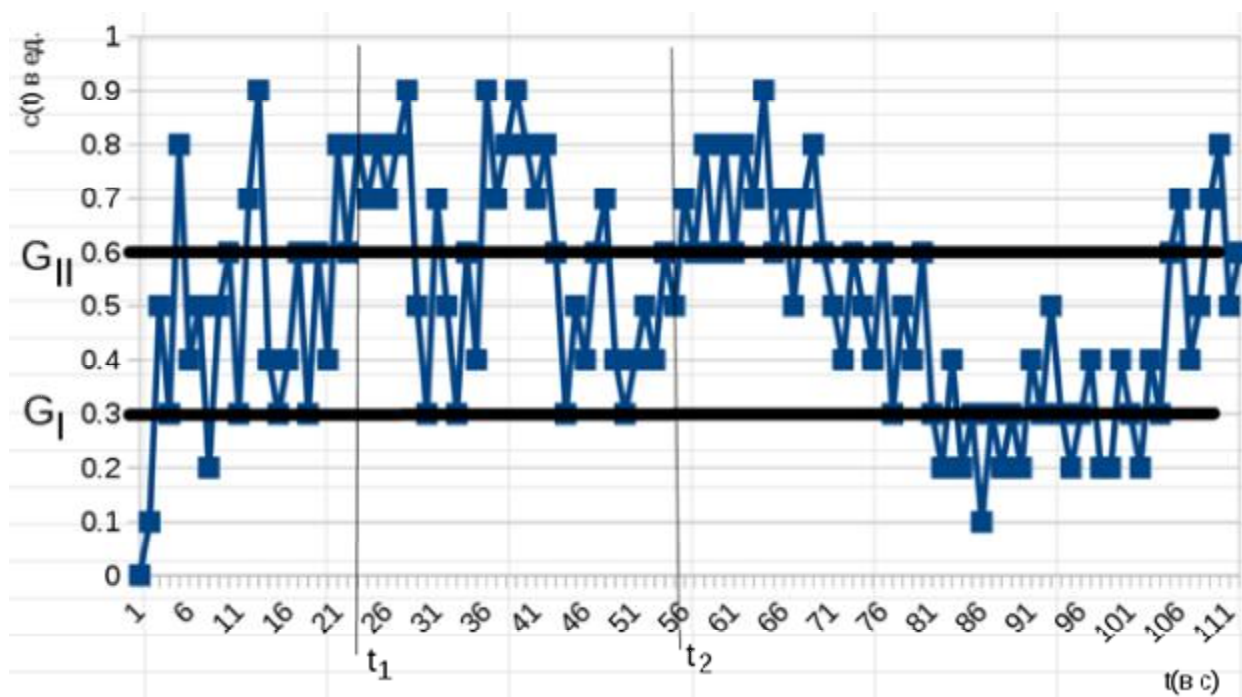


Рис. 1. Комплексные оценки производительности программно-технического комплекса за период времени $t_2 - t_1$

Производительность ПТК можно разделить на потенциальную и кинетическую составляющие. Потенциальная составляющая представляет собой совокупную оценку ресурсов ПТК (процессора, оперативной памяти, жесткого диска, сетевых интерфейсов и т.д.), находящихся в состоянии отсутствия рабочей внешней или внутренней нагрузки:

$$P_C = p(r_1, r_1', r_1'', r_2, r_2', r_2'' \dots, r_n, r_n', r_n'', t); \quad (4)$$

Под внешней нагрузкой понимают интерактивное выполнение пользовательских заданий или приложений, внутренней — системные задачи или пользовательские задание выполняемые в заданное время (к примеру, с помощью системных утилит at или cron).

Потенциальная составляющая описывается моделью производительности REQS:

$$\text{ПТК} = \langle R, E, Q, S \rangle, \quad (5)$$

где R (Resours) - ресурсы; E (Events, tasks) - события (задачи); Q (Queries) - запросы; S (Structure) - структура.

Кинетическая составляющая производительности ПТК представляет собой совокупную оценку потребления ресурсов ПТК во время совершения рабочей внешней или внутренней нагрузки за определенное время t :

$$K_N = k(r_1, r_1', r_1'', r_2, r_2', r_2'' \dots, r_n, r_n', r_n'', t); \quad (6)$$

Данная работа была посвящена изучению кинетической составляющей (6) модели производительности REQS (5) для ресурсов второго уровня (процессора, оперативной памяти, жесткого диска, сетевых интерфейсов). В качестве ПТК было выбрано устройство BeagleBone Black [3], операционная система Debian 7.

Математическое моделирование выполнялось на основе клеточных автоматов (КА) которые представляют собой это множество одинаковых простых вычислителей [4].

КА в исследуемых моделях находятся в виде пар (u, x) , называемыми клетками. Состояние клетки u принадлежит алфавиту A , т.е. $u \in A$. Имя клетки $x \in X$ задавалось вектором $x = (i, j, k)$ из конечного множества координат d -мерного дискретного пространства X .

В пространстве X определялись подмножества, называемые шаблонами:

$$T(x) = \{x, x+a_1, \dots, x+a_{n-1}\} \quad (7)$$

где a_j вектор смещения координат x , $n = |T(x)|$.

Клетки с именами из $T(x)$ образовывали локальную конфигурацию:

$$S(x) = \{(u_0, x), (u_1, x+a_1), \dots, (u_{n-1}, x+a_{n-1})\} \quad (8)$$

Множество клеток $\Omega = \{(u_i, x_i) | u_i \in A, x_i \in X, x_i = x_j\}$ образовывали клеточный массив, а перечень состояний клеток $\Omega_A = (u_1, u_2, \dots, u_{|X|})$ имели глобальное состояние КА.

Функционирование КА задавалось локальным оператором и режимом его применения к клеткам из Ω . Локальный оператор (9) являлся композицией более простых локальных операторов композицией подстановок $\theta(x)$ [4].

$$\Theta(x) = \Phi(\Theta_1(x), \dots, \Theta_n(x)) \quad (9)$$

Подстановки выражались через локальные конфигурации как выражение:

$$\theta(x) : S(x) \rightarrow S'(x) \quad (12)$$

где $|S(x)| \geq |S'(x)|$, т.е. $T'(x) \subset T(x)$ причем первые $m' = |T'(x)|$ клеток в локальной конфигурации составляли базу подстановки, а остальные $(m - m')$ клеток играли роль контекста.

Подстановка применялась к клетке $(u, x) \in \Omega$, если $S(x) \subset \Omega$. В случае если область значений u включена в алфавит A , то клетка с переменным состоянием (u, x) считается принадлежащей Ω [6].

Применение подстановки $\theta(x)$ сводилось к замене состояний всех базовых клеток $(u_j, x+a_j) \in S(x)$ на значения:

$$u_j = f_j(u_1, \dots, u_n), \quad n = |S(x)|, \quad j = 0, \dots, |S(x)|, \quad (13)$$

где $f_j(u_1, \dots, u_n)$ – функция перехода.

В работе в качестве функций перехода использовались первые или вторые производные показателей функционирования ресурсов ПТК: процессора,

оперативной памяти, жесткого диска и сетевых интерфейсов используя синхронный режим, который заключался в следующем [6]:

1) для всех $(u, x) \in \Omega(t)$ вычислялись новые состояния $u(x)$ путем применения к ним функции перехода (12);

2) во всех клетках $(u, x) \in \Omega(t)$ производилась замена состояний $u(x)$ на новые $u(x)$;

3) $\Omega(t) \rightarrow \Omega(t + 1)$.

Реализация клеточных автоматов для математического моделирования производительности ПТК происходила на основе разработанного программного средства на языке высокого уровня С в среде Qt.

Таким образом, в работе было разработано кроссплатформенное программное средство для математического моделирования производительности ПТК второго уровня модели REQS на основе клеточных автоматов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хошаба А.М. Математическая модель фаз производительности вычислительных систем. // Вестник Херсонского национального технического университета №3(50), 2014.-Херсон.-С.-523-527.
2. Хошаба А.М. Анализ математических моделей производительности вычислительных систем. // Дев'ята Міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2014": Тези допов.-Київ-Жуков, 2014.-С. 240-243.
3. <http://beagleboard.org>
4. Frish U., Hasslacher B., Pomeau Y. Lattice-gas Automata for Navier-Stokes equation //Physical Review Letter, 1986. Vol. 56. P. 1505-1508.
5. Domain Specific Language and Translator for Cellular Automata Models of Physico-Chemical Processes //Proceedings of PaCT-2011, Lecture Notes in Computer Science 6873, 2011. Berlin: Springer, P. 172–177.
6. Бандман О.Л. Методы композиции клеточных автоматов для моделирования пространственной динамики. Вестник Томского государственного университета. No 9(1). С.183–193.

ЗАГАЛЬНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ПЛОСКИХ НЕОРІЄНТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ З КУСОЧНО-НЕЛІНІЙНИМИ ГРАНИЦЯМИ У БАГАТОЗВ'ЯЗНІЙ ОБЛАСТІ

Чапля Ю.С., Соболев О.М.

Національний університет цивільного захисту України

Задачі оптимальної упаковки та розкрою мають широкий спектр застосувань у різних галузях діяльності людини і характеризуються складністю математичних моделей та методів знаходження оптимального розв'язку.

Прикладом даного класу задач є задача оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями у багатозв'язних областях, яка на теперішній час є недостатньо дослідженою. Разом з тим, використання як об'єктів розміщення плоских неорієнтованих об'єктів з кусочно-нелінійними границями дозволить, по-перше, підвищити точність апроксимації границь реальних об'єктів і, по-друге, збільшити коефіцієнт заповнення матеріалу. Розгляд у якості області розміщення багатозв'язного об'єкта дозволить уникнути розміщення відповідних об'єктів в областях з наявністю дефектів або розв'язати задачу, в якій існує задана кількість об'єктів, що розміщуються на фіксованих місцях. Таким чином, враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що розробка моделей та методів оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями у багатозв'язних областях є актуальною науково-прикладною задачею. У даній роботі буде побудовано загальну модель указаної задачі, досліджено її особливості та визначено перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Розглянемо постановку задачі. Нехай у двовимірному просторі задано об'єкти розміщення $S_i(x_i, y_i, \theta_i)$, $i=1, 2, \dots, N$, з кусочно-нелінійними границями, де (x_i, y_i, θ_i) – параметри розміщення об'єкта в глобальній системі координат, причому θ_i – кут повороту локальної системи координат. Дані об'єкти є неорієнтованими і задаються послідовністю своїх вершин $\{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im_i}\}$, $v_{id} = (x_{id}, y_{id})$, $d=1, 2, \dots, m_i$, у локальній системі координат, причому нумерація вершин здійснюється проти годинникової стрілки. Сторона об'єкта, яка являє собою фрагмент кривої, може бути представленою, наприклад, за допомогою кубічного сплайну:

$$y_{i,z}(x_i) = a_{i,z,dd+1,1} + a_{i,z,dd+1,2}x_i + a_{i,z,dd+1,3}x_i^2 + a_{i,z,dd+1,4}x_i^3, \quad (1)$$

де $a_{i,z,dd+1,c}$, $c=1, \dots, 4$ – параметри кубічного сплайну, що описує сторону між вершинами v_{id} та v_{id+1} об'єкта $S_i(x_i, y_i, \theta_i)$, причому $z=1, 2, \dots, n_{i,dd+1}$, а $n_{i,dd+1}$ – кількість елементів, на які розбито дану сторону.

Область розміщення являє собою прямокутник $S_0(l, b)$ змінної довжини l . У даному прямокутнику задано області заборони $S_{0,r}(x_{0,r}, y_{0,r})$, $r=1, 2, \dots, N_R$ (дефекти матеріалу або об'єкти розміщення, що знаходяться на фіксованих місцях), які можуть бути задані аналогічно до об'єктів розміщення, але нумерація їх вершин здійснюється за годинниковою стрілкою. Також зауважимо, що об'єкти заборони є орієнтованими, тобто поворот їх локальних систем координат є неприпустимим.

Необхідно розмістити об'єкти $S_i(x_i, y_i, \theta_i)$, $i=1, \dots, N$, в області $S_0(l, b)$ таким чином, щоб довжина l була мінімальною і при цьому виконувались обмеження на:

– взаємний неперетин об'єктів $S_i(x_i, y_i, \theta_i)$ і $S_j(x_j, y_j, \theta_j)$, $i = 1, \dots, N-1$, $j = i+1, \dots, N$;

– неперетин об'єктів $S_i(x_i, y_i, \theta_i)$ та областей заборони $S_{0,r}(x_{0,r}, y_{0,r})$, $r = 1, 2, \dots, N_R$;

– належність об'єктів $S_i(x_i, y_i, \theta_i)$ області $S_0(l, b)$.

Введемо вектор параметрів $u = (u_1, u_2, \dots, u_N)$, $u_i = (x_i, y_i, \theta_i)$, $i = 1, \dots, N$, $u \in R^q$, $q = 3N$. Вектор всіх змінних задачі позначимо $Z = Z(u, l) \in R^{q+1}$. Тоді загальна модель оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями у багатозв'язній області має наступний вигляд:

$$l^* = \arg \min_{u \in W} Z(u, l), \quad (2)$$

де W :

$$\Phi_{ij}(x_i, y_i, \theta_i, x_j, y_j, \theta_j) \geq 0, \quad i = 1, \dots, N-1, \quad j = i+1, \dots, N; \quad (3)$$

$$\Phi_{kt}(x_k, y_k, \theta_k, x_{0,r}, y_{0,r}) \geq 0, \quad k = 1, \dots, N, \quad r = 1, \dots, N_R; \quad (4)$$

$$\Phi_{icS_0}(x_i, y_i, \theta_i, 0, 0) \geq 0, \quad i = 1, \dots, N. \quad (5)$$

В моделі (2)÷(5) вираз (2) являє собою цільову функцію задачі; вираз (3) – умову взаємного неперетину об'єктів розміщення; вираз (4) – умову неперетину об'єктів розміщення та областей заборони; вираз (5) – умову належності об'єктів області розміщення, причому cS_0 – доповнення S_0 до двовимірного простору. Усі обмеження аналітично подаються за допомогою Φ -функцій, властивості яких наведені у [1].

Дослідження загальної моделі (2)÷(5) дозволило зробити наступні висновки:

1. Оскільки обмеження задачі (3) та (4) у загальному випадку є нелінійними, то дана задача відноситься до задач нелінійного програмування.

2. Область припустимих розв'язків $W \subset R^{3N+1}$ визначається системою лінійних та нелінійних нерівностей, а також, у загальному випадку, є обмеженою і незв'язною.

3. Загальна кількість нерівностей виду (3)÷(5) дорівнює $C_N^2 + N(N_R + 1)$.

4. Задача (2)÷(5) є багатоекстремальною та NP складною.

5. Якщо область розміщення є однозв'язною, то із загальної моделі вилучаються обмеження виду (4), а загальна кількість нерівностей виду (3) та (5) дорівнює $C_N^2 + N$.

Для геометричного подання обмежень (3)÷(5) використовується метод, наведений в [2].

Таким чином, побудова загальної моделі оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями у

багатозв'язних областях та дослідження її особливостей дозволить розробити обґрунтовані методи знаходження оптимального розв'язку поставленої задачі.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методів оптимізації розміщення плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями у багатозв'язних областях, а також на створення алгоритмічного та програмного забезпечення, що дозволить здійснити комп'ютерне моделювання оптимізаційного розміщення зазначених об'єктів на прикладах важливих практичних задач, які характерні для різних галузей діяльності людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. – К.: Наукова думка, 1986. – 268 с.
2. Соболев О.М. Спосіб побудови 0-рівня Ф-функції для плоских неорієнтованих геометричних об'єктів з кусочно-нелінійними границями // О.М. Соболев, Ю.С. Чапля // Сучасні проблеми моделювання. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – Вип. 3. – С. 119-125.

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РІТЦА ДЛЯ АНАЛІЗУ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Човнюк Ю.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Відомо, що рух механічних систем з неперервними розподіленими параметрами (як, до речі, і напружено-деформований стан тіла, наприклад, балки) описується рівняннями у частинних похідних, для складання котрих використовується математичний формалізм методу Лагранжа. Введенням у розгляд питомого лагранжіану (лагранжіану одиниці об'єму) можна вивести лагранжеві рівняння руху для вказаних вище систем, якщо при цьому використати варіаційний принцип Гамільтона – Остроградського (для функціоналу дії J). Розв'язок отриманих таким чином лагранжевих рівнянь (у одновимірній постановці задач) може бути знайдений методом Рітца як функція просторової (x) та часової (t) координат й сукупності невизначених констант $C_i, i = \overline{(1, s)}$. При цьому такий розв'язок повинен задовольняти граничним та початковим умовам задачі, а функціонал дії J - необхідним умовам екстремуму, котрі зводяться до рівностей $\partial J / \partial C_i = 0, \forall i = \overline{(1, s)}$. Проблема полягає у отриманні та розв'язку таких рівнянь відносно C_i .

Використовуючи метод розділення змінних (метод Фур'є) й конкретні граничні умови задачі (вільні або закріплені, шарнірно чи пружно сперті кінці балки) у даному дослідженні визначена просторова (від x) залежність розв'язку (т.з. n -а форма просторових коливань), яка описується сукупністю чотирьох функцій А.Н. Крилова з невизначеними коефіцієнтами ($Y_n(x)$, $n = \overline{(1, \infty)}$). Останні можна визначити, користуючись умовою ортонормованості функцій А.Н. Крилова, граничними умовами задачі та можливістю подання всіх невизначених коефіцієнтів $Y_n(x)$ через один з них. Далі, помножуючи на $Y_n(x)$ та інтегруючи лагранжеве рівняння руху деформованого тіла по x у межах від 0 до l (де l – довжина об'єкту/балки вздовж вісі Ox) можна отримати звичайне диференціальне рівняння для функції $T_n(t)$, яка характеризує залежність розв'язку від t для n -ої форми просторових коливань і визначити її, використавши початкові умови задачі. Подаючи функціонал дії задачі у звичайному вигляді (для більшості випадків), отримуємо класичну варіаційну задачу й рівняння Ейлера (чи Ейлера-Пуассона) для знаходження екстремуму (мінімуму) цього функціоналу, тобто розв'язку задачі $\overline{X(t)}$, котрий повинен задовольняти існуючим початковим й граничним умовам. Якщо потім отриманий розв'язок $\overline{X(t)}$ подати у формі: $\overline{X(t)} = \sum_{i=1}^s C_i \cdot T_i(t)$, підставити у лагранжеве рівняння руху системи, домножити на $T_k(t)$ й про інтегрувати по t у межах існування у часі функціоналу дії J , тоді матимемо рівняння для визначення C_k , $k = \overline{(1, s)}$.

Отже, користуючись таким алгоритмом можна за схемою методу Рітца отримати наближений розв'язок вихідної задачі, який визначає його з надлишком для достатньо великого значення s .

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОЛИВАНЬ У ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Човнюк Ю.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Відомо, що рух змішаних (гібридних) дискретно-континуальних коливних механічних систем (ДККМС) зазвичай описується взаємно зв'язаними звичайними диференціальними рівняннями та у диференціальними рівняннями у частинних похідних. До рівнянь такого типу приводить велика кількість технічних задач, моделлю котрих слугує система зв'язаних твердих та пружних чи рідких тіл.

У роботі розглянута гібридна ДККМС, до складу якої входять: 1) балка (підсистема з розподіленими у просторі параметрами), що закріплена на пружних опорах і здійснює поперечні (вільні та вимушені) коливання; 2)

пружні опори (амортизатори), котрі належать до підсистеми зі зосередженими параметрами й спричинюють кутові коливання «квазітвердого» тіла (балки) як цілого відносно його центру мас. При цьому, зрозуміло, має місце перекачка енергії одних видів руху (кутових) у інші (поперечні коливання пружної частини балки) і навпаки. При такому трактуванні фізичних явищ у ДККМС кутові рухи «квазітвердого» тіла описуються системою звичайних диференціальних рівнянь (для кута повороту та координати центру мас балки) у формі Ейлера чи Лагранжа (у найбільш загальному випадку – рівнянь Ейлера-Пуассона для функції Лагранжа), а пружні поперечні коливання балки (у одновимірній постановці задачі) – лагранжевим рівнянням руху у частинних похідних (розглядаються згінні деформації тільки у одній площині - Oxy), яке виведене із використанням варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського для питомого лагранжіану (лагранжіану одиниці об'єму).

Дисипативні процеси, які мають місце при русі як підсистеми зі зосередженими параметрами, так і підсистеми ДККМС із розподіленими параметрами, враховані у відповідних рівняннях руху згідно з гіпотезою Фойгта.

Визначені амплітуди та власні частоти кутових коливань даної ДККМС. Використання методу функцій А.Н. Крилова та розділення змінних (методу Фур'є) дозволило встановити закон руху (у просторі та часі) балки (тобто ідентифікувати основні характеристики її поперечних коливань) як підсистеми з розподіленими параметрами.

Результати даного дослідження можуть бути використані при вдосконаленні інженерних методів розрахунку подібних ДККМС як на стадіях їх проектування (конструювання), так і у режимах реальної експлуатації, а також при балансуванні роторних ДККМС з метою зменшення у них небажаних нестационарних коливань, які виникають при їх функціонуванні у режимах пуску/гальмування (при проходженні через резонанс самої ДККМС) за змінної у часі частоти вимушеної зовнішньої сили і суттєво знижують надійність та довговічність експлуатації таких систем у цілому.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ АМОРТИЗАЦИИ ДЛЯ БЫСТРОХОДНОГО МАШИННО- ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Човнюк Ю.В., Похыленко Е.А., Хымыч И.П.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Известно, что математическое моделирование и оптимальное управление различными процессами, происходящими в механических системах со сосредоточенными параметрами, включая как одномерный, так и многомерный случаи, зиждется на ряде стандартных процедур синтеза линейных (одно-)

многомерных систем управления. Одним из основных методов проектирования таких систем управления являются подходы, средства и математический аппарат теории оптимального управления. На практике любая математическая модель содержит различного рода неточности и погрешности; поэтому обеспечить удовлетворительное качество управления можно только с помощью замкнутой системы, использующей измерения фактического состояния процесса (например, амплитуды, частоты, фазы возникающих колебаний, компоненты напряжённо-деформированного состояния и пр. объекта управления – механической системы). Структура соответствующего управляющего устройства выбирается проектировщиком (одним из наиболее распространённых является ПИД регулятор). В данной работе рассмотрена процедура проектирования замкнутой системы управления амортизацией для быстроходного машинно-тракторного агрегата (МТА). При этом для этой системы синтезирован оптимальный линейный регулятор, минимизирующий квадратичный критерий качества движения МТА (функционал, зависящий от квадратов: а) смещения (в вертикальном направлении) центра массы; б) его скорости; в) одномерного вектора управления (внешней вертикальной возмущающей силы, зависящей от времени, - с соответствующими весовыми множителями). Предполагается, что в отсутствие регулятора вертикальные (нежелательные) колебания МТА гасятся пружинной подвеской с коэффициентом упругости (k'). Для улучшения эксплуатационных характеристик системы и повышения запаса устойчивости необходимо осуществлять регулирование.

Установлены дифференциальные уравнения динамики рассматриваемой механической системы, в которых помимо внешней вертикальной силы учтены упругие силы амортизаторов и сила тяжести, действующие на массу МТА. Выведены соответствующие уравнения для установившегося состояния объекта управления. Введением новых переменных (относительное смещение по отношению к установившемуся состоянию и скорость этого смещения) получена стандартная система дифференциальных уравнений для задач управления колебательными процессами в механических системах со сосредоточенными параметрами. Следует заметить, что традиционно в таких системах используется противоударное регулирование по закону «чистого дифференцирования» (координаты вертикального смещения центра массы МТА). Проведено сравнение качества традиционного и оптимального регуляторов. Для последнего предложена аппаратная реализация с помощью средств и устройств мехатроники.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ З УРАХУВАННЯМ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ

Щепьоткіна А. Б., Сохацький А. В.

Університет митної справи та фінансів

Останні десятиліття відзначилися значним ростом кількості як легкових так і вантажних автомобілів. Це спричинило перевантаження наявних автомагістралей та викликало необхідність будівництва нових доріг. В великих містах, де щільність забудови не дозволяє прокласти нові чи розширювати існуючі дороги, проблема перевантаження та заторів стоїть доволі гостро.

Для розвантаження автошляхів необхідно здійснювати управління дорожнім рухом. Ефективне управління дорожнім рухом при перевантаженні автомагістралі повинно забезпечити завантаження транспортної мережі на межі її пропускної спроможності і підтримувати неперервний рівномірний рух транспортних засобів.

Прийняття ефективних рішень щодо розвантаження автомагістралей та управління транспортними потоками передбачає використання результатів попередніх розрахунків. В силу специфічних особливостей транспортного потоку та зважаючи на неможливість проведення масштабних натурних експериментів виникає необхідність в моделюванні транспортних потоків.

При моделюванні важливо забезпечити адекватність розробленої моделі дійсності та уникнути зайвої деталізації, яка призводить до істотного ускладнення моделі, особливо при моделюванні значних транспортних мереж. У цьому випадку раціональне сполучення точності і простоти розроблених моделей транспортних потоків досягається використанням математичних моделей на основі гідродинамічної аналогії. В результаті їх застосування транспортні потоки розглядаються як потоки стисливої рідини з мотивацією. Вони описуються системою диференціальних рівнянь гідродинаміки. Фізично ця система включає опис законів збереження кількості руху та маси транспортного потоку.

Оскільки пропускна спроможність, яка забезпечується на прямій дорозі без перетинів, більша, ніж пропускна спроможність перехрестя з насиченим рухом транспортних засобів, то саме перехрестя найчастіше стають джерелами виникнення заторів та перевантаження автошляхів. Внаслідок цього перехрестя потребують посиленої уваги при моделюванні транспортних потоків автомагістралі.

Розроблено математичну модель для розрахунку транспортного потоку з Ейлеровими змінними на основі виконання законів збереження маси потоку і кількості руху потоку. Модель розроблена для двохмірної системи координат. Початкові дані встановлені шляхом спостережень реальних транспортних потоків. Було проведено дослідження пропускної спроможності автомагістралі на перехресті двох вулиць міста Дніпропетровськ.

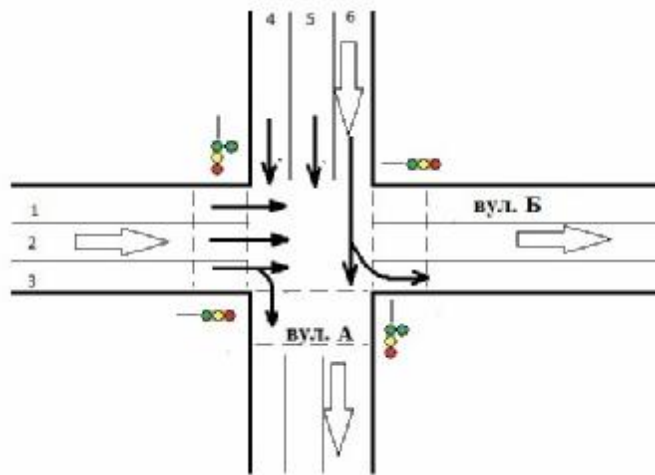


Рис. 1. Схематичне зображення розглянутого перехрестя

Пропускна спроможність автомагістралі на регульованому перехресті зменшується внаслідок того, що при під'їзді до нього автомобільні транспортні засоби, в загальному випадку, повинні зупинитися, а потім їхати на зелений сигнал світлофора. Окрім того пропускна спроможність регульованих перехресть залежить від тривалості циклу світлофорів, інтервалу часу між рухомими автомобілями, реакції водія при русенні з місця для в'їзду на перехрестя, швидкості руху і кількості смуг руху.

Розроблено алгоритм та програму розрахунку на основі побудованої математичної моделі. Розраховано зміну пропускної спроможності вулиць А і Б при збільшенні тривалості горіння зеленого сигналу світлофора для вулиці Б (див. рис.2). Пропускна спроможність автомобільних доріг з багатосмуговою проїзною частиною визначалася сумуванням пропускних спроможностей смуг.

Пропускна спроможність автомагістралі при зміні тривалості горіння зеленого сигналу світлофору

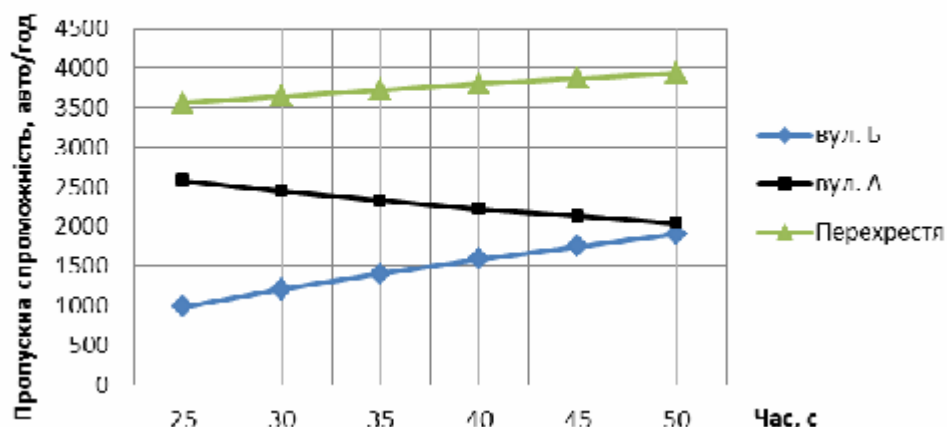


Рис. 2. Пропускна спроможність автомагістралей при зміні тривалості горіння зеленого сигналу світлофору

Було встановлено, що збільшення пропускної спроможності окремого перехрестя ще недостатньо для розвантаження автомагістралі, і, навпаки,

може призвести до виникнення заторів на наступному перехресті, якщо потік автотранспортних засобів залишиться сталим, а пропускна спроможність перехрестя буде значно меншою від попереднього. Це означає, що необхідно проводити моделювання цілої системи перехресть, щоб бачити як змінюється картина завантаженості автомагістралі в цілому (див. рис. 3).

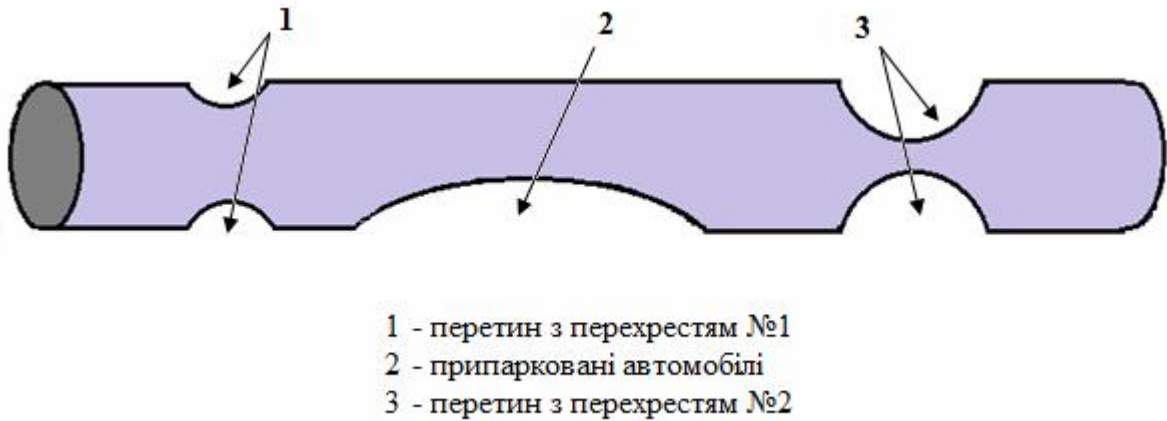


Рис. 3. Схематичне зображення обсягу пропускної спроможності автомагістралі для потоку автотранспортних засобів, що рухається нею

Розроблено алгоритми та внесено зміни в програму, які дозволяють розраховувати оптимально необхідну пропускну спроможність перехрестя, щоб забезпечити максимальну пропускну спроможність автомагістралі на виділеній ділянці шляху. Також програма дозволяє визначити обмежуючу пропускну спроможність автомагістралі. Для цього порівнюються максимально можливі за заданих умов значення пропускних спроможностей перехресть та інших вузьких місць, розташованих на вибраній ділянці автомагістралі. Серед них вибирається найменше значення, і, якщо, його не можна збільшити, то воно приймається за обмежуюче. Таким чином обмежуюче значення пропускної спроможності забезпечує неперервний рівномірний рух транспортних засобів на всій довжині автомагістралі.

Ведеться робота над випадками, коли обмежуюче значення може бути скориговане (збільшене) для деяких ділянок дороги, але при цьому не призведе до перевантаження та заторів на решті ділянок автомагістралі.