

ТЕЗИ

VI Міжнародної науково-технічної конференції «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2017», присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.

Головний редактор - к.т.н., доцент Бондаренко Ю.Ю.

Відповідальний за випуск - к.т.н., доцент Куницька Л.Г.

Редакційна колегія:

Алпатов А.П. – д.т.н., професор, ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпро
Антонюк В.С. – д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ
Беглиця В.П. - д.держ.упр., доцент, ЧНУ ім.П.Могили, Миколаїв
Бень А.П. – к.т.н., доцент, ХДМА, Херсон
Гальченко В.Я. – д.т.н., професор, ЧДТУ, Черкаси
Гогунський В.Д. – д.т.н., професор, ОНПУ, Одеса
Гордієнко В.І. – д.т.н., с.н.с., НВК «Фотоприлад», Черкаси
Збруцький О.В. – д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ
Квасніков В.П. – д.т.н., професор (НАУ, Київ)
Кветний Р.Н. – д.т.н., професор (ВНТУ, Вінниця)
Клименко Л.П. - д.т.н., професор, ЧНУ ім.П.Могили, Миколаїв
Кошовий М.Д. – д.т.н., професор, НАКУ «ХАІ», Харків
Мусієнко М.П. – д.т.н., професор, ЧНУ ім.П.Могили, Миколаїв
Становський О.Л. – д.т.н., професор (ОНПУ, Одеса)
Тимчик Г.С. – д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ
Чижик С.А. – д.т.н., професор, НАНБ, Мінськ
Ходаковський В.Ф. - к.і.н., професор, ХДМА

У НОМЕРІ:

- ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**
- КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ**
- ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕМЕНТИ МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ**
- ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ.**
- ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТА ІННОВАЦІЇ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ ТА ПРИЛАДІВ**
- ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРИТЕРІЇВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ**

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

Україна, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460,
ЧДТУ, кафедра КІТП
оргкомітет
МНТК «Датчики, прилади та системи - 2017»

Збірка тез доповідей за матеріалами МНТК «Датчики, прилади та системи – 2017», Черкаси – Миколаїв – Херсон – Лазурне, вересень 2017.

Мета конференції: зустріч спеціалістів в області приладобудування, проектування та конструювання датчиків, приладів та систем для обміну ідеями, обговорення тенденцій розвитку даної області науки, встановлення контактів.

Статті друкуються в авторській редакції.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір та точність наведених фактів і цитат, економіко-статистичних та технічних даних, власних імен та інших поданих відомостей.

Редколегія не несе відповідальності за достовірність поданого матеріалу, проте залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали з метою кращого подання читачам.

При повному або частковому передрукуванні матеріалів посилання на тези конференції є обов'язковим.

Зміст

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ	5
Гальченко В.Я. Оптимальный синтез структур электромагнитных измерительных преобразователей.....	7
Катрук О.В. Математичні методи визначення оптимальних параметрів процесу механічної обробки.....	11
Кошовий М.Д., Кошова І.І., Костенко О. М. Методи оптимізації по вартісним (часовим) витратам планів багатofакторних експериментів.....	13
Лычак Н.Г. Измерение геометрических параметров элементов сложнопрофильных конструкций.....	15
Нестеренко А.О., Вислоух С.П. Имитационное моделирование производственных процессов в приборостроении.....	18
Петрищев О.М., Базіло К.В. Визначення електричних потенціалів у вторинних електричних колах багатосекційного дискового п'єзоелектричного трансформатора.....	20
КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ	24
Белозьоров Ж. О. Взаємодія командира механізованого відділення та безпілотного літального апарата.....	24
Журавська І. М. Забезпечення функціонування суб-роїв безпілотних літальних апаратів за допомогою бортових датчиків.....	27
Кветний Р.Н., Кириленко О.М. Аналіз методів відстеження облич у відеопослідовностях..	33
Крайник Я.М. Інтеграція набору взаємодіючих WI-FI - пристроїв у користувацьке середовище.....	35
Никольский В.В., Бережной К.Ю. Компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей.....	37
Ухина А.В., Ситников В.С., Ситникова В.А. Применение компонентов специализированных компьютерных систем при проведении экспериментальных медико-биологических исследований.....	39
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕМЕНТИ МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ	42
Барандич К.С., Вислоух С.П. Технологічне забезпечення циклічної довговічності відповідальних деталей приладів.....	42
Бондаренко М.А., Базіло К.В., Бондаренко Ю.Ю., Медяник В.В. Изучение микроэлектромеханических пьезоэлектрических структур методом атомно-силовой микроскопии.....	45
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ	49
Корецька О.О. Выбор беспроводных технологий для информационно-измерительных систем.....	49
Тичков В.В., Требовецька Р.В., Тичкова Н.Б., Базарний А.Г. Оцінка невизначеності пробовідбірної і вимірювального модулів комп'ютеризованої системи автоматичного контролю технологічної води.....	52

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТА ІННОВАЦІЇ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ ТА ПРИЛАДІВ

56

Базіло К.В., Заїка В.М., Бондаренко Ю.Ю. Особливості застосування ультразвуку для інтенсифікації біохімічних процесів у фармацевтиці.....	56
Бондаренко Ю.Ю., Базіло К.В., Куницька Л.Г. Підвищення ефективності електроакустичних перетворювачів шляхом зміни енергосилової структури п'єзоелемента.....	58
Kisil T.Yu., Tuz V.V., Popova N.V. revisiting the selection of the optimal form for immersion probes in piezoelectric fluidimeters.....	61
Минаев И.Г., Шарапов В.М., Самойленко В.В., Шмыткин В.С. Пьезоэлектрическое устройство для зажигания натриевых ламп высокого давления.....	64
Новаковский А.Г., Антонюк В.С., Петренко С.Ф. Применение пьезоэлектрических актуаторов в дельта-роботах.....	67
Осадчук О.В., Осадчук В.С., Осадчук Я.О. Радіовимірювальний перетворювач тиску на основі тензочутливих двостокових МДН-транзисторів.....	70
Топтун А.В., Бондаренко Ю.Ю. Огляд та вибір оптимального п'єзоперетворювача для неруйнівного контролю дефектів в дереві.....	73
Трембовецька Р.В., Петрушко Ю.А., Чепурна О.М. Дослідження впливу випромінювання на біологічні об'єкти та розробка світлодіодної системи із вибором довжини хвилі для медико-біологічних доклінічних випробувань.....	75
Tuz V.V., Kisil T.Yu. On the extention of the operating frequency range of bimorph piezoelectric transducers for dynamic pressure.....	78

ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРИТЕРІЇВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ

81

Бондаренко Ю.Ю., Бондаренко М.А. Опыт Черкасского государственного технологического университета в разработке и реализации программ подготовки докторов философии.....	81
Збруцький О.В., Бобков Ю.В. Внедрение программы подготовки докторов философии в КПИ им. Игоря Сикорского и проект NETCENG.....	87
Кісіль Т.Ю., Скрипник В.В. Розкриття теоретичних основ організації процесу навчання бакалаврів на прикладі дисципліни «Технічна механіка мікросистем».....	90
Таланчук П.М., Струтинський В.Б., Кірюхін М.М. Спільна діяльність Академії інженерних наук України та спілки наукових і інженерних об'єднань України по включенню кафедр українських технічних університетів в реєстр FEANI (EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL ENGINEERING ASSOCIATIONS).....	93
Trembovetskaya R.W., Tychkov V.V. Preparation of PhD in the field of metrological support of optical electronic devices and systems.....	97
Шмельова Т.Ф. Розроблення стандартизованих навчальних курсів підготовки докторів філософії в мережі NETCENG.....	100
АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК.....	105

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.91.01:681.3.01:004.4

Волошко О.В., асистент, Вислоух С.П., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Україна, 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37, E-mail: voloshko_o@ukr.net

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

***Abstract.** The task of creating a method of mathematical modeling of parameters that requires little time and money due to the study of the technological characteristics of structural materials considered and solved in this article.*

***Key words:** mathematical modeling, structural materials, technological parameters of processing*

Використання ЕОМ для вирішення задач технологічного проектування висуває на перший план проблему розробки відповідних математичних моделей. Важливе значення має математичне моделювання параметрів обробки конструкційних матеріалів в зв'язку з сучасними тенденціями оптимізації технологічних процесів на стадії їх проектування. Тому виникає необхідність створення методики отримання математичних моделей окремих параметрів механічної обробки, які максимально враховують реальні умови виробництва і були б придатні для використання в САПР ТП. Однією із основних підсистем САПР ТП являється підсистема розрахунків режимів різання та нормування. Результати роботи цієї системи суттєво залежить від математичних моделей, що використовуються при розв'язанні технологічних задач.

Математичне моделювання параметрів порівняно з фізичним є більш універсальним, дешевим та зручним у застосуванні. Дослідження технологічних процесів на основі математичних моделей доцільно виконувати на ЕОМ. Тому математичні моделі є більш прогресивними в порівнянні з фізичними моделями і все частіше використовуються при розробці та проектуванні технологічних процесів та виробництв. Методи дослідження, узагальнення та багато інших досягнень фізичного моделювання широко використовуються і у математичному моделюванні. Математичні моделі що побудовані на принципах математичної подібності, не виключають використання в них критеріальних залежностей та інших положень теорії подібності та теорії розмірностей.

Тому поставлена задача створення методики математичного моделювання параметрів, яка потребує незначних затрат часу та коштів завдяки дослідженню технологічних характеристик конструкційних матеріалів [1].

Застосування в приладобудуванні нових матеріалів, впровадження сучасних технологій виготовлення деталей і вдосконалення існуючих видів обробки матеріалів різанням вимагає оцінки їх оброблюваності. Ця технологічна властивість матеріалу деталі визначає можливість досягнення заданих технічних і технологічних вимог при мінімальній вартості і необхідній продуктивності його обробки.

З точки зору умов і методів обробки матеріалу, варто розрізняти абсолютну та відносну його оброблюваність. Знати абсолютну оброблюваність матеріалу необхідно при створенні керуючих рекомендацій з призначення режимів різання та технічного нормування робіт. Абсолютна оброблюваність визначає умови обробки конструкційного матеріалу (режими різання, параметри та геометрію різального інструменту, умови охолодження тощо) для відповідних процесів різання. Для отримання даних про відносну оброблюваність необхідно виконати обробку досліджуваного матеріалу в визначених умовах різання, що прийняті у якості стандартних. Відношення значення величини параметра порівняння досліджуваного матеріалу до відповідної характеристики матеріалу, що взятий за еталон, дає представлення про відносну оброблюваність матеріалу і може бути прийняте за основу при оцінці його оброблюваності.

Аналогічно можна визначити відносні характеристики властивостей обробки відповідним інструментальним матеріалом.

Визначення відносної оброблюваності вимагає створення однакових умов різання для порівнюваних матеріалів і проведення нових дослідів для кожної пари матеріалів – досліджуваного та еталонного. Цей процес займає досить багато часу та витрат. Крім того в результаті таких досліджень можна отримати лише частковий показник оброблюваності за окремим параметром порівняння.

Ефективного прискореного методу, що в повній мірі задовольняє вимогам зручного і якісного визначення оброблюваності, на сьогодні не має. Альтернативним вирішенням питання визначення відносної й абсолютної оброблюваності пропонується відмовитися від „класичного” підходу. Для цього необхідно поставити у відповідність процесу різання його математичну модель, що цілком відтворює його з технологічної точки зору. Для одержання такої моделі достатньо провести короткочасні експерименти і потім використовувати їх результати для отримання математичних моделей вихідних параметрів процесу різання як основу для визначення оброблюваності.

Пропонується використовувати отримані математичні моделі параметрів обробки конструкційного матеріалу відповідним інструментом при визначенні відносної оброблюваності конструкційного матеріалу в порівнянні з вибраним еталонном за окремими показниками процесу різання та за комплексним показником з врахуванням експертних їх оцінок і реальних умов обробки [2].

Абсолютна оброблюваність конструкційного матеріалу передбачає розв’язання задачі оптимізації, де в якості математичної моделі використовують моделі окремих часткових показників оброблюваності. Були розроблені алгоритми та програми, що реалізують запропоновану методику математичного моделювання параметрів обробки конструкційних матеріалів [3].

Створені програми об’єднані в автоматизовану систему, що включає функції визначення відносної та абсолютної оброблюваності конструкційних матеріалів.

Запропонована методика математичного моделювання та дослідження технологічних параметрів обробки конструкційних матеріалів та автоматизована система дозволяє:

- скоротити терміни технологічної підготовки виробництва;
- підвищити техніко-економічну ефективність і рентабельність приладобудівного виробництва за рахунок зниження собівартості різних процесів механічної обробки конструкційних матеріалів і підвищення продуктивності праці в ході виконання цих процесів;
- підвищити точність обробки і характеристики якості поверхневого шару виготовленої продукції;
- скоротити витрати дорогих різальних інструментів та витрати конструкційних матеріалів на експериментальні дослідження тощо.

Алгоритми та програми визначення раціональних режимів обробки конструкційних матеріалів можна використовувати автономно та в якості модуля підсистеми розрахунку режимів різання та нормування робіт в системі автоматизованого проектування технологічних процесів

Список літератури

1. Вислоух С.П., Волошко О.В. Математичне моделювання параметрів технологічних процесів механічної обробки деталей приладів /Вісник НТУУ „КПІ”. Серія приладобудування. Випуск 29, 2005. – С. 63–67.
2. Вислоух С.П., Волошко О.В. Методика моделювання та оптимізації параметрів процесу різання. / Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Випуск 70. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2006. – С. 90–99
3. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.

Гальченко В. Я., д.т.н., профессор,
Черкасский государственный технологический университет
Украина, 18006, Черкассы, б-р Шевченко, 460
E-mail: halchvl@gmail.com

ОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Abstract. *Electromagnetic measuring transducers necessarily contain in their structure the field-setting elements of the structure, including coils with direct or alternating current, permanent magnets, ferromagnetic or current-carrying non-magnetic elements intended for the formation of electromagnetic flow. The design of new transducers is most effective in the case of its implementation based on the solution of the inverse problem, when the desired characteristic is given as the initial data, and the result is the design realizing this characteristic. Methods are considered as parametric synthesis in linear and nonlinear formulation, and structurally-parametrical synthesis of various converters. Examples include the synthesis of a linear displacement transducer, eddy current converters, coercimeters, standards of magnetic units, magnetic induction measures, sources of a constant and alternating magnetic field used in magnetization-demagnetization devices.*

Key words: *electromagnetic transducers, optimal synthesis, inverse problem, parametric synthesis, structural synthesis, metaheuristics, one-criterion optimization, multi-criteria optimization.*

Электромагнитные измерительные преобразователи (ЭИП) нашли широкое применение в промышленности. Непрерывно растущая потребность в новых ЭИП, характеризующихся улучшенными техническими и метрологическими характеристиками, предопределяет необходимость проектирования все новых их образцов.

Для решения этой проблемы приходится проводить многовариантные проектные расчеты, результатом которых является выбор одного из вариантов, обеспечивающего приемлемые характеристики. Процесс проектирования образцов ЭИП может быть более совершенным в результате его реализации на основе решения так называемой обратной задачи. В этом случае формулировка задачи состоит в задании в качестве исходных данных желаемых характеристик ЭИП, а результатом служит реализующая эти характеристики структура.

Обратные задачи характеризуются значительными трудностями при их решении, что обусловлено существенной неустойчивостью их решения, и относятся к классу некорректно поставленных задач. Эта особенность предполагает использование специальных математических методов их решения, в основе которых лежит идея регуляризации. Особенно сложно поддаются решению нелинейные обратные задачи.

При моделировании ЭИП достаточно редко удается избежать нелинейной постановки задачи. Это оказывается возможным только лишь в редких случаях, когда в состав структуры ЭИП не входят ферромагнитные элементы конструкции или в случае незначительных по величине магнитных полей, что позволяет не учитывать нелинейный характер зависимости индукции поля от напряженности и делает возможным решение задачи в линейном приближении. Если же приходится решать нелинейную задачу, то вычислительные затраты многократно возрастают и к сложностям решения некорректных задач еще дополнительно добавляются проблемы решения нелинейных задач электродинамики, в общем случае, в трехмерном пространстве, что само по себе не является тривиальным. Чаще всего задачи электродинамики решаются численно с применением методов конечных элементов, граничных и пространственных интегральных уравнений, что обусловлено современными требованиями к точности решения таких задач.

Цель данной работы – обобщение опыта проектирования новых образцов ЭИП с усовершенствованными техническими и метрологическими характеристиками как задачи оптимального синтеза структур на основе решения обратных задач электродинамики и демонстрация на примерах преимуществ данного подхода.

Первоначально рассмотрим задачу в *линейной постановке*. При проектировании ряда измерительных приборов для получения первичной информации широкое применение находят магнитные датчики линейных перемещений (ДЛП). На основе ДЛП может строиться ряд других датчиков, таких как датчики давления, уровня, положения и т.д., что обуславливает повышенный интерес к их проектированию.

При конструировании ДЛП в обязательном порядке решается задача синтеза СИМП, которые обеспечивают требуемое распределение магнитного поля на оси и располагаются в экране из ферромагнитного материала с диаметром D_e и длиной l_e , причем метрологические характеристики и чувствительность ДЛП зависят от точности синтеза и конфигурации аксиальной составляющей напряженности магнитного поля в рабочей зоне, а габариты датчика – от эффективности использования длины СИМП в качестве рабочей зоны.

Задача синтеза СИМП с заданным распределением напряженности поля на оси источника решается путем разбиения искомого источника на секции w_j на отрезке оси (a, b) и отысканию таких величин токов Iw_j в секциях, при которых среднеквадратичное отклонение действительного распределения поля в рабочей зоне от требуемого было бы минимальным. Дискретные источники поля могут включаться последовательно, встречно и/или согласно. Желательным представляется именно последовательное включение дискретных источников поля, так как в таком случае возможно питание СИМП от одного источника тока. Расстояние между секциями обмотки выбирается одинаковым, радиус секций обмоток также является постоянной величиной, что позволяет рассматривать линейную постановку задачи. Таким образом, задача сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода.

Рассмотрим подобную задачу, но уже в *нелинейной постановке*. Интерес представляет поиск оптимальной конфигурации информационной катушки ДЛП в пространстве геометрических параметров катушки. Решением задачи параметрического синтеза СИМП является такая совокупность геометрических размеров, координат, определяющих взаимное расположение секций, величин тока и количества витков в секциях, т.е. интенсивности дискретных источников магнитного поля и их расположения в пространстве, при которых обеспечивается требуемое распределение напряженности магнитного поля в заданной области.

Точность решения задачи синтеза СИМП характеризуется величиной максимального относительного отклонения действительной величины напряженности магнитного поля в рабочей зоне от требуемой. В частном случае нелинейная задача синтеза СИМП с непрерывной круговой обмоткой, которая решается относительно, например, радиусов, описывается нелинейным интегральным уравнением 1-го рода с оператором Урысона:

$$\int_{\Omega} K[x, s, y(s)] ds = f(x), \quad x \in Q$$

где $K(x, s, y(s))$ - ядро ИУ;

$f(x)$ - правая часть уравнения с областью определения Q ;

$y(s)$ - искомая функция с областью определения Ω .

Функция $K(x, s, y(s))$ представляет собой зависимость, по которой может быть рассчитана напряженность магнитного поля одной секции в заданной контрольной точке, $f(x)$ - требуемое значение напряженности магнитного поля в контрольной точке, $y(s)$ ассоциируется с искомыми параметрами СИМП, который обеспечивает заданную конфигурацию магнитного поля.

Проблему синтеза СИМП предлагается рассматривать как задачу минимизации интегрального отклонения действительного распределения напряженности магнитного поля в контрольных точках от требуемого путем варьирования параметрами СИМП:

$$F = \sum_{i=1}^m |H(Q_i) - H(Q_i)_T|^{\nu} \rightarrow \min,$$

где $H(Q_i)$ – действительное значение напряженности магнитного поля в i -й контрольной точке, $H(Q_i)_T$ – требуемое значение напряженности магнитного поля в i -й контрольной точке,

m - число контрольных точек, в которых требуется обеспечение заданной напряженности поля, $\gamma = 8,9\dots$

В вихретоковой дефектоскопии СИМП с рабочей зоной, расположенной в плоскости, перпендикулярной оси источника находят применение в составе вихретоковых преобразователей (ВТП) с заданной конфигурацией зондирующего поля. Предлагается подход к синтезу СИМП, позволяющий решать задачу синтеза ВТП как в линейной постановке (варьированием параметрами I, ω), так и в нелинейной постановке (в пространстве переменных определяющих геометрию генераторной катушки). Кроме того, предусмотрена возможность комбинирования указанных способов, т.е. выполнение поиска оптимального решения одновременным выбором геометрических параметров секций и их м.д.с. Выбор Z -координат секций может происходить как без ограничений, так и с условием, что некоторые секции сгруппированы и в обязательном порядке должны располагаться в одной плоскости.

Для решения задачи нелинейного параметрического синтеза СИМП с заданным распределением магнитного поля в области предложены специальные алгоритмы поиска оптимума в многомерной овражной ситуации. Основной идеей алгоритмов является организация покоординатного спуска вдоль ортогональных осей, соответствующих собственным векторам матрицы Гессе оптимизируемого функционала. Рассмотрена проблема учета ограничений на варьируемые параметры СИМП, вызванная необходимостью учета как простых ограничений для обеспечения требований к габаритам СИМП, так и специфических ограничений на взаимное расположение дискретных источников поля для выполнения условия их непересечения. Предложен модифицированный алгоритм покоординатного спуска с учетом ограничений на взаимное расположение секций СИМП с конечным поперечным сечением.

Концептуальная модель задачи оптимального структурного синтеза СИМП может быть сформулирована следующим образом. Необходимо найти оптимальную по сложности структуру магнитной системы, которая обеспечивала бы в пределах заранее обусловленной погрешности заданные пространственные свойства и физические параметры магнитного поля, создаваемого в рабочей области системы, а также соответствовала многочисленным конструктивным и иным требованиям: достижения особых размеров рабочей области; ограничений габаритных размеров системы; уменьшения потребляемой мощности и длины обмоточного провода и др.

Описанная задача оптимального структурного синтеза СИМП включает в себя несколько связанных между собой задач об определении: числа источников поля, их интенсивностей и геометрических форм, а также задачу нерегулярного размещения разнотипных источников. Таким образом, задача оптимального структурного синтеза является задачей глобальной векторной оптимизации, причем критерии отклонения поля и минимизации числа секций являются обязательными критериями, отражающими качество генерируемого в рабочей области СИМП поля и сложность системы.

С математической точки зрения рассматриваемая задача является многопараметрической многоэкстремальной задачей с ярко выраженной многосвязной невыпуклой областью поиска переменной размерности. Учитывая вышесказанное, становится очевидной целесообразность применения генетических алгоритмов для решения поставленной задачи.

Наряду с безарматурными источниками магнитного поля (ИМП) в составе ЭИП широкое применение нашли также источники, содержащие ферромагнитные элементы конструкции. Значительную долю таких устройств составляют устройства с аксиально-симметричными магнитными системами (АСМС).

При проектировании источников поля, содержащих ферромагнитные элементы (ФЭ), необходимо определить значения их конструктивных параметров, которые бы обеспечили требуемое распределение магнитного поля с учетом их намагничивания. В силу сложного характера зависимости между значениями искомых параметров и топографией создаваемого поля, задача поиска их оптимальных значений обычно формулируется и решается как задача параметрического синтеза. Также к проектируемым АСМС предъявляется ряд дополнительных требований, связанных с минимизацией объема их ФЭ, потребляемой мощности, ограничениями на допустимые геометрические размеры их конструктивных элементов и др., т.е. данная задача формулируется как многокритериальная. Проектирование ИМП с использованием метода

оптимального параметрического синтеза предполагает построение параметризованных моделей источников.

В основе метода синтеза применяется бионический алгоритм оптимизации, обеспечивающий возможность поиска глобального оптимума многоэкстремальных, многомерных овражных функций и функций, имеющих области типа «плато», являющихся характерными при решении задач данного типа, т.е. обратных задач в оптимизационной постановке. Значения целевых функций в рамках предложенного метода синтеза определяются алгоритмически, т.е. в результате численного расчета поля.

В силу многоэкстремальности возникающих на практике оптимизируемых функций, предложено в качестве основы такого алгоритма использовать мультиагентные оптимизационные техники, обладающие глобальными поисковыми свойствами. Разработан гибридный бионический алгоритм оптимизации роем частиц с эволюционным формированием состава роя, позволяющий находить глобальное решение задачи параметрического синтеза. Гибридный алгоритм адаптирован для поиска Парето-оптимальных решений путем использования рангов доминирования для каждого решения роя совместно с учетом приоритета каждого из частных критериев.

Список литературы

1. Galchenko V.Ya. Structural Synthesis of Attachable Eddy-Current Probes with a Given Distribution of the Probing Field in the Test Zone / V.Ya. Galchenko, M. A. Vorob'ev // Russian Journal of Nondestructive Testing. - 2005. - Vol. 41. - No. 1. - Pp. 29–33.
2. Galchenko V.Ya. Solution of the Inverse Problem of Creating a Uniform Magnetic Field in Coercimeters with Partially Closed Magnetic Systems / V.Ya. Galchenko, A.N. Yakimov, D.L. Ostapushchenko // Russian Journal of Nondestructive Testing. - 2011. - Vol. 47. - No. 5. - Pp. 295–307.
3. Galchenko V.Ya. Pareto Optimal Parametric Synthesis of Axisymmetric Magnetic Systems with Allowance for Nonlinear Properties of the Ferromagnet / V.Ya. Galchenko, A.N. Yakimov, D.L. Ostapushchenko // Technical Physics. - 2012. - Vol. 57. - No. 7. - Pp. 893–899.
4. Galchenko V.Ya. A Turmitobionic Method for the Solution of Magnetic Defectometry Problems in Structural–Parametric Optimization Formulation / V.Ya. Galchenko, A.N. Yakimov // Russian Journal of Nondestructive Testing. - 2014 - Vol. 50. - No. 2. - Pp. 59–71.
5. Galchenko V.Ya. Creating Uniform Magnetization in Short Cylindrical Ferromagnetic Samples / V.Ya. Galchenko, A.N. Yakimov // Russian Journal of Nondestructive Testing. - 2014 - Vol. 50. - No. 4. - Pp. 198–204.
6. Яковенко В.В. Синтез катушки в магнитной системе датчика линейных перемещений. / В.В. Яковенко, В.Я. Гальченко, Л.В. Донская // Электромеханика. - 1990. - № 6. - С.75-78.
7. Гальченко В.Я. Использование генетических алгоритмов в структурном синтезе источников магнитных полей с заданными свойствами / В.Я. Гальченко, М.А.Воробьев // Информационные технологии. – 2003. – № 7. – С. 7-12.
8. Гальченко В.Я. Поиск глобального оптимума функций с использованием гибрида мультиагентной роевой оптимизации с эволюционным формированием состава популяции. / В.Я. Гальченко, А.Н. Якимов, Д.Л. Остапущенко // Информационные технологии. – 2010. – № 10. – С. 9-16.
9. Гальченко В.Я. Популяционные метаэвристические алгоритмы оптимизации роем частиц: Учебное пособие / В.Я. Гальченко, А.Н. Якимов. - Черкассы: ФЛП Третяков А.Н., 2015. – 160 с.

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Abstract. *The use of the fuzzy method of group-based consideration of arguments in the mechanical processing system for finding optimum parameters and adjusting the control program of mechanical processing depending on the output quality parameters discussed in this article*

Key words: *control, mechanical processing, optimal parameters, methods of heuristic self-organization*

Застосування математичних методів при моделюванні процесів виготовлення деталей та розв'язанні задач прогнозування технологічних параметрів є досить розповсюдженим оскільки має значну економію матеріальних затрат і непогану достовірність результатів.

На сьогодні застосовуються багато методів, зокрема: методи планування експериментів, регресійного аналізу, дисперсійного аналізу, численні методи в вигляді апроксимації і інтерполяції функцій і тощо. Проте кожний метод має свої особливості і вимоги до затрат часу та коштів для проведення експериментальних досліджень, також різну адекватність отриманої математичної моделі.

Методи евристичної самоорганізації не вимагають великої кількості досліджень і є одними із ефективних методів математичного моделювання.

Одним із таких методів є нечіткий метод групового врахування аргументів (НМГВА), що має ряд переваг перед класичним методом групового врахування аргументів. Він дозволяє отримати результат моделювання в вигляді інтервалу з верхньою і нижньою границю прогнозованого значення, що дозволить оцінити розсіювання вихідного значення та адаптованість моделі при використанні її в якості керуючої програми механічної обробки.

Використовуючи НМГВА запропоновано модель знаходження оптимальних параметрів та корегування керуючої програми механічної обробки в залежності від вихідних параметрів якості.

Схема реалізації запропонованого способу наведена на рис. 1.

Вхідна інформація про режими та умови обробки через блок 6 подається в блок обробки технологічної інформації 4 і одночасно через систему керування 2 на верстат 1, на якому здійснюється вимірювання вихідних параметрів, які потім через блок реєстрації поточної інформації 5 надходять в блок обробки технологічної інформації 4.

За відповідним запитом із бази технологічних знань 3 математичні моделі параметрів процесу поступають в блок обробки технологічної інформації 4 і на основі всієї інформації формують загальну математичну модель технологічного процесу обробки та визначають оптимальні режими різання, на основі яких забезпечуються необхідні параметри якості оброблювальної поверхні.

В загальному математичні залежності верхньої і нижньої межі відхилення мають наступний вигляд:

$$Y^-(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) = F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$$

$$Y^+(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) = F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$$

Визначені на основі математичних моделях результати з встановленими діапазонами варіювання режимів різання поступають через систему керування 2 на металорізальний верстат 1.

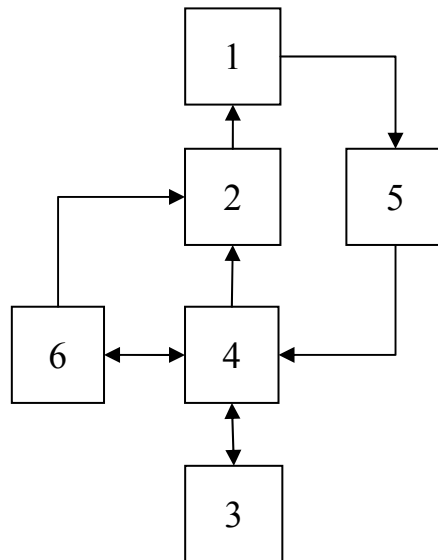


Рис. 1. Структурна схема визначення оптимальних параметрів:
1 – верстат; 2 – система керування верстатом; 3 – база технологічних знань; 4 – блок обробки технологічної інформації; 5 – блок реєстрації поточної інформації; 6 – пристрій введення початкової інформації та виведення результатів роботи

Поточні значення режимів обробки та отримані значення вихідних параметрів якості передають в вигляді зворотного зв'язку через блок реєстрації 5 в блок 4. В процесі обробки на основі вихідних параметрів, що наближаються до границі допустимих значень, згідно з виконаними розрахунками в блоці 4 здійснюють корегування відповідних режимів різання в програмі обробки системи керування верстатом 2.

Такий спосіб дозволяє зменшити кількість керуючих дій для забезпечення необхідних вихідних параметрів процесу різання та спростити алгоритми керування.

Висновки. Використання нечіткого методу групового врахування аргументів в системі керування механічною обробкою дає можливість здійснювати корегування вхідних режимів при наближенні параметрів якості до їх граничних значень, що дозволяє забезпечити задані параметри якості обробленої поверхні, підвищити продуктивність процесу різання.

Кошовий М.Д., д.т.н., професор,
Кошова І.І., аспірант
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Україна, 61070, м. Харків, вул. Чкалова 17
e-mail: kafedraapi@ukr.net, тел. 8-057-788-43-03,
Костенко О. М., д.т.н., доцент,
Полтавська державна аграрна академія
Україна, 36000, м. Полтава, вул. Сковороди 1/3
e-mail: kostenko@pdaa.com.ua

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПО ВАРТІСНИМ (ЧАСОВИМ) ВИТРАТАМ ПЛАНІВ БАГАТОФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

***Abstract.** The flaws and advantages of the developed and modified methods for the synthesis of optimal plans of multi-factor experiments on price (time) expenses were presented. Recommendations on the use of these methods for the study of real objects were made.*

***Key words:** methods of optimization, time expenditures, multi-factor experiment.*

При вирішенні задач оптимізації і управління різноманітними об'єктами виникає проблема створення їх математичних моделей. При цьому оправдано бажання експериментаторів отримувати такі моделі за мінімальні вартісні і часові витрати, що особливо актуально для дослідження дорогоцінних і довгострокових процесів.

З цією метою необхідно оптимізувати по вартісним і часовим витратах плани багатофакторних експериментів (БФЕ).

Відомі приклади застосування методів оптимізації по вартісним (часовим) витратах планів багатофакторних експериментів [1-3]. Для цих досліджень характерний не повний порівняльний аналіз методів оптимізації планів експериментів.

Мета роботи. Виконати порівняльний аналіз методів оптимізації по вартісним (часовим) витратах планів багатофакторних експериментів і видати рекомендації по їх застосуванню.

Основні матеріали дослідження.

За результатами досліджень [1-3] можна зробити наступні рекомендації.

1. До методів, які дозволяють одержати оптимальні по вартісним (часовим) витратах плани багатофакторних експериментів, можна віднести: повний перебір, метод символічних послідовностей, комбінаторно-графовий метод. При цьому повний перебір для будь-яких видів експерименту дозволяє одержати оптимальне рішення, однак його доцільно застосовувати для планів з кількістю факторів $k \leq 3$, тому що при більшому k значно збільшується число перестановок і часові витрати на пошук, а при сучасному рівні обчислювальної техніки це завдання не завжди можна вирішити.

Метод символічних послідовностей дає точне рішення при оптимізації тільки планів ПФЕ з кількістю факторів $k \leq 3$.

Комбінаторно-графовий метод дозволяє синтезувати оптимальні по вартісним (часовим) витратах плани тільки повного факторного експерименту з кількістю факторів $k \leq 4$.

Методи, засновані на застосуванні коду Грея, дозволяють будувати оптимальні за кількістю переходів рівнів факторів плани дробових і повних факторних експериментів.

2. До методів, які дозволяють одержати оптимальні або близькі до оптимальних плани багатофакторних експериментів, варто віднести: аналіз перестановок (обмежений перебір), випадковий пошук, методи гілок і меж, послідовного наближення, комбінований метод, імітації відпалу, вкладених розбивок, симплекс-метод, мурашині алгоритми, жадібний алгоритм, найближчого сусіда, генетичні алгоритми, табу-пошук, алгоритм роя часток.

Характерними рисами цих методів є наступні: застосування для будь-яких видів експерименту; кількість факторів, для яких можливе застосування методу, обмежено тільки

обчислювальними можливостями ЕОМ; при одержанні кращого з розглянутих варіантів (близьке до мінімального за вартістю (часом) реалізації) ступінь «близькості» оцінити не можна; не можливе створення каталогів типових рішень.

3. У результаті проведених досліджень [1], в яких для оптимізації по вартісним (часовим) витратах планів багатофакторних експериментів використовувалися такі методи, як аналіз перестановок (обмежений перебір), випадковий пошук, методи послідовного наближення й гілок і меж, найбільші вигоди у вартості (часу) реалізації одержували в основному при застосуванні методу гілок і меж.

При застосуванні обмеженого перебору й випадкового пошуку найчастіше кращі результати давав випадковий пошук, що дозволяє уникнути локальних оптимумів.

4. Методи, що дозволяють одержувати оптимальні або близькі до оптимальних плани будь-яких багатофакторних експериментів, варто застосовувати для об'єктів з кількістю факторів $k > 3$. При цьому за результатами досліджень можна зробити наступні висновки:

- при дослідженні об'єктів з кількістю факторів $k = 3$ результати оптимізації планів БФЕ наближеними алгоритмами, як правило, збігаються з оптимальним рішенням, отриманим методом повного перебору. Це, у свою чергу, підтверджує правильність розроблених алгоритмів і програм. Іноді виключення становлять методи випадкового пошуку, гілок і меж, симплекс - метод, жадібний і комірчастий генетичний алгоритми;

- при дослідженні об'єктів з кількістю факторів $k \geq 4$ перевагу необхідно віддавати мурашиним і генетичним алгоритмам, іноді гарні результати дає алгоритм найближчого сусіда;

- при оптимізації композиційних планів БФЕ доцільно використовувати комбінований метод, заснований на застосуванні жадібного алгоритму й методу імітації відпалу. Непогані результати виходять і при застосуванні генетичних алгоритмів і симплекс-методу;

- при оптимізації трьохрівневих планів 3^k гарні результати виходять при використанні генетичних алгоритмів, симплекс-методу й табу-пошуку.

- по швидкодії рішення завдання оптимізації планів БФЕ методи можна розташувати в такий спосіб: симплекс-метод, алгоритм роя часток, табу-пошук, найближчого сусіда, жадібний алгоритм, імітації відпалу, метод вкладених розбивок, генетичні алгоритми.

Висновки. Наведені недоліки і переваги методів оптимізації по вартісним (часовим) витратах планів багатофакторних експериментів. Видані рекомендації по застосуванню розглянутих методів оптимізації для дослідження реальних об'єктів. В подальшому будуть досліджені інші методи дискретної оптимізації для синтезу оптимальних планів багатофакторних експериментів.

Список літератури

1. Кошевой Н.Д. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирования эксперимента: монография / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко. – Полтава: издатель Шевченко Р.В., 2013. – 317 с.

2. Кошевой Н.Д. Методология оптимального по стоимостным и временным затратам планирования эксперимента: монография / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко, А.В. Павлик, Н.В. Доценко. – Полтава: Полтавская государственная аграрная академия, 2017. – 232 с.

3. Кошевой Н.Д. Сравнительный анализ методов синтеза оптимальных по стоимостным (временным) затратам планов многофакторного эксперимента / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко, И.И. Кошева // Зб. наук. пр. військ.ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – Вип. №54. – К., 2016. – С. 33-39.

Лычак Н. Г.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Украина, 03056, г. Киев, проспект Победы, 37
E-mail: vp@kpi.ua

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

***Abstract.** This work devoted to technique control of accuracy of complex profile details geometric parameters of the aircraft mechanisms with use of laser technology and laser technologies in combination with three-dimensional modeling computer programs.*

Proposed used high-tech measuring device – a laser tracker for control the accumulator knife switches for detecting deviations general assembly of the wing.

The using laser tracers efficiency is shown if laid at the design stage as well as preparation production and reflected in the design and technological documentation, which leads to reduction in the number or total rejection of the templates manufacture, standards and other controls when assembly devices assembling.

Key words: control, laser tracker, complicated parts, assembly.

Развитие авиационной промышленности сопровождается значительным повышением требований к надежности функционирования механизмов и соблюдением высокой точности и быстродействия при их измерении. Неточность изготовления сложнопрофильных деталей влияет на эксплуатационные показатели механизмов летательных аппаратов, и зависят от правильности выбора допусков формы и расположения поверхности.

Это требует повышения точности измерительных операций, оптимального выбора средств измерения геометрических параметров деталей и узлов, которые в сочетании с компьютерными программами трехмерного моделирования обеспечивают необходимую точность [1].

Успешное развитие квантовой электроники, создание лазеров и лазерной техники и лазерных технологий существенно влияют на дальнейшее усовершенствование технологических процессов изготовления авиационной продукции [2].

Возможность широкого применения лазеров в самолетостроении объясняется особенностями этих приборов, позволяющих встраивать лазеры в измерительные системы как высокоточные датчики контроля, удобно и эффективно передавать световую энергию к объекту контроля или в зону технологической обработки, автоматически управлять процессом [3, 4].

Для этих целей используют лазерный трекер — высокотехнологичный измерительный прибор, основанный на принципе слежения за специальным уголкового отражателем с помощью лазерного луча. Испускаемый прибором лазерный луч, попадая в центр уголкового отражателя, возвращается обратно в объектив прибора, а далее – на приёмный датчик дальномера. С учётом двух углов и расстояния вычисляются текущие пространственные координаты отражателя (например, X, Y, Z). Координаты можно получать как в статическом режиме, так и в динамике. Главной особенностью трекеров является то, что вращающийся по вертикальному углу измерительный блок включает все основные сенсоры: лазерный интерферометр и абсолютный дальномер, которые расположены непосредственно на оси визирования [3, 4].

Трекер посылает лазерный луч к световозвращающему отражателю, который приводится в соприкосновение с поверхностью измеряемого объекта. Луч, отражённый от цели, возвращается по тому же пути и принимается трекером в той самой точке, откуда он был испущен. Часть отражённого световозвращателем света поступает в измеритель расстояний, который вычисляет расстояние от трекера до рефлектора. Измеритель расстояний может быть двух типов: интерферометр (laser interferometers, IFM) или измеритель абсолютных расстояний (absolute distance meter, ADM) [4].

Лазерный трекер содержит два датчика угла поворота головки (энкодера). Эти устройства измеряют угловую ориентацию двух механических осей трекера: оси азимута и оси высоты. Углов, полученных от энкодеров, и расстояния от измерителя расстояний достаточно для точного определения положения центра ретрорефлектора.

Поскольку центр ретрорефлектора находится всегда на фиксированном расстоянии от измеряемой поверхности, координаты измеряемых точек или поверхностей легко вычисляются.

Одним из отличительных признаков трекера является автоматическое управление угловыми координатами испускаемого луча. Трекер направляет луч в нужном направлении посредством поворота механических осей и должен удерживать луч в центре передвигающегося ретрорефлектора.

Трекеры позволяют с высокой точностью измерять геометрические примитивы (точки, окружности, плоскости, конусы, цилиндры и т.д.), расстояние и углы между ними, отклонение формы и взаимного расположения. Также возможно контролировать сложные криволинейные поверхности методом сравнения с САД моделью [4].

Для объективного анализа использования лазерных систем в различных видах производства авиационной техники (заготовительно-штамповочное, механосборочное, агрегатно-сборочное), ниже приведены результаты практического использования лазерного трекера в условиях реального производства.

В результате экспериментальных исследований получена диаграмма результатов контроля лазерным трекером фирмы «Фаго» обводообразующих рубильников стапеля общей сборки крыла пассажирского самолёта Ан-158, задающих аэродинамический контур несущей поверхности агрегата, из которой можно наблюдать отклонения контрольных точек контура (с точностью до микрон) от необходимого теоретического значения.

Лазерный трекер фирмы «Фаго», обеспечивает точность измерений до 0,015 мм. при частоте измерений до 10 000 точек/сек, устанавливаемого в рабочем диапазоне установки на расстоянии 10...15 метров от измеряемого объекта, что имеет значительное преимущество по сравнению с традиционными известными средствами контроля.

Результаты контроля обводообразующих рубильников стапеля общей сборки крыла лазерным трекером при обнаружении отклонений показаны на рисунке 1.

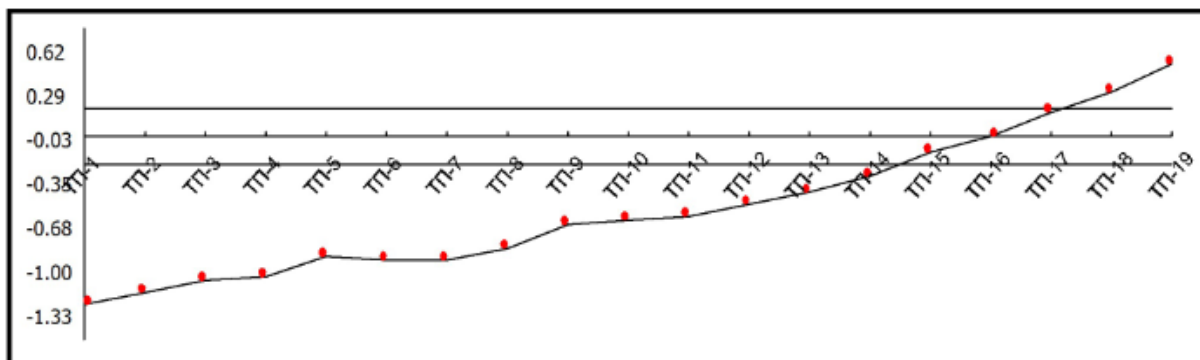


Рис. 1. Результаты контроля обводообразующих рубильников стапеля сборки крыла лазерным трекером при обнаружении отклонений

После этого производили устранение обнаруженных отклонений контуров рубильников, которые выполняли с использованием плаз-кондуктора (стенд для изготовления обводообразующих рубильников) путем координирования положения крепежных (базовых) отверстий и отверстий под фиксаторы.

На рисунке 2 показаны результаты контроля обводообразующих рубильников стапеля сборки крыла лазерным трекером после устранения обнаруженных отклонений.

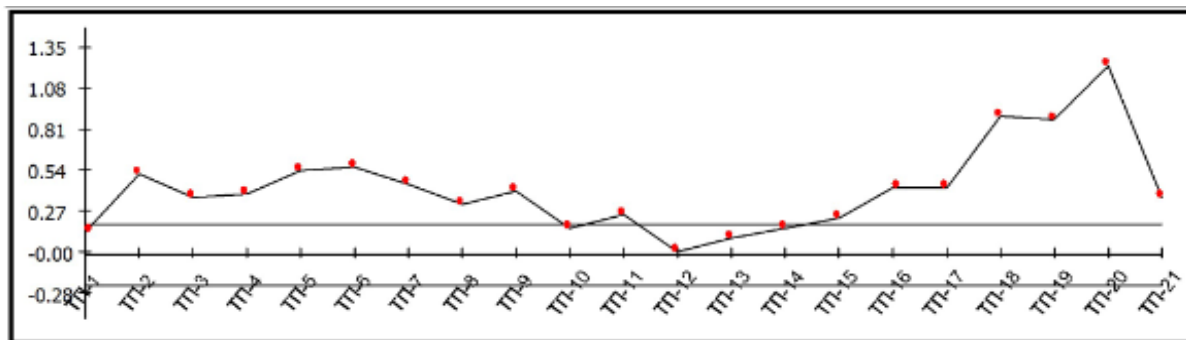


Рис. 2. Результаты контроля обводообразующих рубильников стапеля сборки крыла лазерным трекером после устранения обнаруженных отклонений

Как показали проведенные экспериментальные исследования при использовании дистанционных бесконтактных методов измерений, основанных на взаимодействии электромагнитного излучения с поверхностью измеряемого изделия, необходимо принимать во внимание как кривизну и наклон поверхности к падающему лучу, так и ее оптические свойства, учитывая современные тенденции в работе непосредственно по эксплуатационным поверхностям контролируемых изделий без применения специальных и сложных навесных оптических элементов.

Выводы: В результате проведенных экспериментальных исследований показана эффективность применения лазерной измерительной техники, неотъемлемыми компонентами которой являются формирователи цифровых изображений структурированных лазерных пучков, а измеряемые геометрические параметры изделий получаются в результате их обработки с учетом противоречий методологического, метрологического и технического характера.

Эффективность применения лазерных трекеров возрастает, если они закладываются на стадии проектирования потенциального объекта измерений и отражаются в конструкторской и технологической документации. Это приводит к уменьшению количества или полного отказа от изготовления шаблонов, эталонов и других средств контроля при монтаже сборочных приспособлений с помощью лазеров, что является экономически эффективнее чем монтаж с помощью инструментальных стендов.

Список литературы

1. Бойцов В.В. Сборка агрегатов самолета: учебник / В.В. Бойцов, Ш.В. Ганиханов, В.Н. Крысин. - М. : Машиностроение, 1988. - 148 с.
2. Вагнер, Е. Т. Лазеры в самолетостроении / Е. Т. Вагнер. - М.: Машиностроение, 1982. - 184 с.
3. Дёмкин, В. Н. Лазерные технологии при измерении геометрии поверхности сложной формы / В. Н. Дёмкин, В. Е. Привалов. // Вестн. СПбО АИН. Вып. 5. - СПб.: СПбГПУ, 2008. - С. 138 - 187.
4. Ткачев К.Н. Лазерная координатно-измерительная система FAROLaserTracker.// ГЕОПРОФИ – № 4'2006 – С.31–33.

Нестеренко А.О., магистрант

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
Киев, пр-т Победы 37.
E-mail: nesterenko48@ukr.net

Вислоух С.П., к.т.н., доцент

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
Киев, пр-т Победы 37.
E-mail: vsp1@ukr.net

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

***Abstract.** The possibility of using the multifunctional simulation environment AnyLogic for the construction of mathematical models of sections manufacturing parts and assembly lines of complex products with the aim of simulating all elements of technological processes before the start of their actual production is considered in this article.*

***Key words:** instrument making, imitation modeling, production process*

В приборостроении весьма важным является качественная подготовка и налаживание процесса изготовления необходимого продукта. Некачественное выполнение указанных работ приведет к значительным затратам финансовых ресурсов и времени, является фактором, который негативно повлияет в дальнейшем на долю всего производственного процесса.

На сегодня актуальной является задача изготовления сложных приборов различного назначения. Современные технологии производства постоянно совершенствуются, что является движущей силой, которая дает возможность создавать новейшие изделия для решения множества сложных задач экономики и промышленности. Существует потребность ускорения сроков проектирования и изготовления изделий, которые остро нуждается промышленность страны.

Важным является увеличение объемов производства этих изделий, уменьшения их себестоимости и повышения качества, что позволит успешно выполнить поставленные задачи по поддержке промышленного развития в Украине.

Поэтому для решения указанных задач при разработке и производстве новых сложных изделий предлагается использовать методы имитационного моделирования.

Анализ современных средств имитационного моделирования показал, что для этого целесообразно применять многофункциональная среда имитационного моделирования AnyLogic. С помощью данной системы является возможность построить математические модели участков изготовления деталей и линий сборки сложных изделий путем имитации всех элементов технологических процессов еще до начала запуска их реального производства.

Преимуществами программного средства AnyLogic является то, что эта среда моделирования поддерживает проектирование, разработку и документирование модели, позволяет выполнять компьютерные эксперименты с моделью, включая различные виды анализа - от определения чувствительности параметров модели к их оптимизации по выбранному критерию.

После создания имитационных моделей участков изготовления и сборки изделия начинается фаза проектирования, которая связана с проведением экспериментов. Таким образом, есть возможность тестирования многих параметров производственного процесса с целью определения оптимальных решений.

При этом программа AnyLogic использует все выходные данные (значения параметров, конфигурации планирование и т.д.) и имитирует работу участка изготовления деталей и сборки изделия в реальном масштабе времени.

Проведение эксперимента с использованием имитационной модели производственного процесса позволит определить лучший тип производственной линии в целом с получением оптимальных показателей изделия.

Также есть возможность выполнить тестирование множества параметров производства, включая пропускную способность потока и количество необходимого оборудования, для определения того типа производства, будет наиболее эффективным для изготовления изделия, а также определить факторы, которые влияют на конечные показатели качества создаваемого продукта.

Результатом имитационного моделирования и проведения экспериментов с применением полученной модели является повышение эффективности использования оборудования, оптимизация производства, сокращение времени производственного цикла, увеличение объемов производства и улучшение качества готового изделия.

Моделирование производственного процесса сборки волнового редуктора с помощью программной среды AnyLogic показала эффективность ее применения в приборостроительном производстве.

Петрищев О.М., д.т.н., професор,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37
Базіло К.В., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
Україна, 18006, Черкаси, вул. Шевченка, 460

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ У ВТОРИННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ БАГАТОСЕКЦІЙНОГО ДИСКОВОГО П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

***Abstract.** Within power electronic electromagnetic transformers have been the dominating component for converting and transforming of electrical power. The trend of power converters goes in the direction of higher efficiency and smaller volume. Research has shown that piezoelectric transformers can compete with traditional electromagnetic transformers on both efficiency and power density.*

Currently, there are no reliable and valid methods of constructing of mathematical models of piezoelectric transformers, which could be used as a theoretical basis for characteristics and parameters calculating of this class of functional elements of modern piezoelectronics. The final goal of mathematical modelling of the vibrating piezoelectric elements physical condition is a qualitative and quantitative description of characteristics and parameters of existing electrical and elastic fields.

The main provisions of this article can be fixed as follows. For the first time the scheme of mathematical model constructing of the four sectional disk piezoelectric transformer, which does not contain internal contradictions, is proposed. Proposed scheme maintains its logical structure in the wide range of the number of sections.

***Key words:** piezoelectric transformer, radial oscillations, physical processes, mathematical model.*

Актуальність застосування різних функціональних елементів п'єзоелектроніки в силових і інформаційних системах пояснюється, перш за все, їх високою надійністю [1]. Одним із основних елементів таких систем є п'єзокерамічний трансформатор [2].

Кінцевою метою математичного моделювання фізичного стану коливальних п'єзокерамічних елементів є якісний і кількісний опис характеристик і параметрів існуючих в них електричних і пружних полів. В даний час відсутня цілісна методика побудови математичних моделей п'єзоелектричних трансформаторів, які могли б використовуватися в якості теоретичних основ розрахунку їх характеристик і параметрів [3].

Метою даної статті є показати особливості обчислення коефіцієнтів трансформації в трансформаторі з декількома вторинними електричними колами, які виникають через акустичний зв'язок радіальних коливань в різних областях п'єзокерамічного диску.

Розглянемо дисковий п'єзоелектричний трансформатор, який має два і більше вторинних електричних кола. Такі трансформатори надалі будемо називати багатосекційними.

На рис. 1 схематично зображено дисковий трансформатор з трьома кільцевими електродами у вторинних електричних колах. Електрод первинного електричного ланцюга має форму кола радіусом $R_1^{(2)}$. До нього підключено джерело різниці електричних потенціалів $U_0 e^{i\omega t}$ (U_0 – амплітуда різниці електричних потенціалів; $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; ω – колова частота; t – час). Вихідний опір джерела електричних потенціалів позначено на рис. 1 символом Z_1 . Символами Z_3, \dots, Z_7 позначені електричні імпеданс навантажень у вторинних електричних колах трансформатора. Диск виконаний з поляризованої по товщині п'єзокераміки типа ЦТС. Нижня поверхня ($z = 0$) диска повністю електродована та заземлена.

Будемо вважати, що амплітудне значення U_0 вхідного електричного впливу невелике, тобто мінімум на три порядки менше різниці потенціалів, яка була використана в процесі електричної поляризації диска. При цьому п'єзоелектричний трансформатор можна розглядати як лінійну фізичну систему, тобто електричні потенціали у вторинних електричних колах змінюються в часі також за гармонічним законом $e^{i\omega t}$.

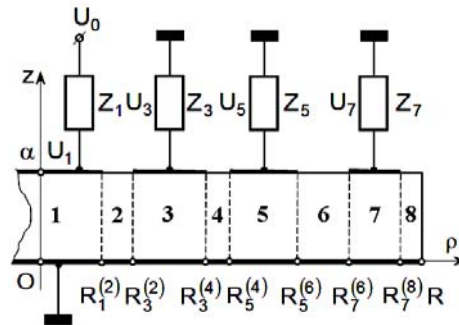


Рис. 1. Розрахункова схема п'єзоелектричного трансформатора з трьома вторинними електричними колами

Очевидно, що математичною моделлю показаного на рис. 1 п'єзокерамічного трансформатора буде набір з трьох функцій

$$K_{2n+1}(\omega) = \frac{U_{2n+1}(\omega)}{U_0}, n = 1, 2, 3, \quad (1)$$

де $K_{2n+1}(\omega)$ – коефіцієнт трансформації в n -ому вторинному електричному колі; $U_{2n+1}(\omega)$ – падіння електричної напруги на електричному навантаженні Z_{2n+1} в n -ому вторинному електричному колі.

Побудуємо вираз для розрахунку електричних потенціалів $U_{2n+1}(\omega)$.

Будемо вважати, що колова частота належить частотному діапазону, в межах якого п'єзокерамічний диск можна вважати тонким, і стверджувати, що його напружено-деформований стан визначається в основному радіальними зміщеннями матеріальних частинок. В цьому випадку фізичний стан п'єзоелектрика в областях під електродами на поверхні $z = \alpha$ визначається узагальненим законом Гука і законом електричної поляризації діелектрика з п'єзоелектричними властивостями, які записуються наступними співвідношеннями [4]

$$\sigma_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) = c_{11}\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) + c_{12}\varepsilon_{\varphi\varphi}^{(2n+1)}(\rho) - e_{31}^*E_z^{(2n+1)},$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{(2n+1)}(\rho) = c_{12}\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) + c_{11}\varepsilon_{\varphi\varphi}^{(2n+1)}(\rho) - e_{31}^*E_z^{(2n+1)}, n = 0, 1, 2, 3, \quad (2)$$

$$D_z^{(2n+1)}(\rho) = e_{31}^*[\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) + \varepsilon_{\varphi\varphi}^{(2n+1)}(\rho)] + \chi_{33}^*E_z^{(2n+1)}, \quad (3)$$

де $\sigma_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho)$ і $\sigma_{\varphi\varphi}^{(2n+1)}(\rho)$ – механічні напруги стиснення-розтягування в області $2n + 1$ вздовж радіальної і окружної осей циліндричної системи координат ρ, φ, z (рис. 1) відповідно;

$c_{11} = c_{11}^E - (c_{12}^E)^2/c_{33}^E$ і $c_{12} = c_{12}^E(1 - c_{12}^E/c_{33}^E)$ – модулі пружності для режиму планарних (радіальних) коливань тонкого п'єзокерамічного диска;

$\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) = \partial u_\rho^{(2n+1)}(\rho)/\partial \rho$ і $\varepsilon_{\varphi\varphi}^{(2n+1)}(\rho) = u_\rho^{(2n+1)}(\rho)/\rho$ – деформації стиснення-розтягування уздовж радіальної і окружної осей;

$u_\rho^{(2n+1)}(\rho)$ – радіальний зсув матеріальних частинок п'єзокерамічного диска.

Символами $e_{31}^* = e_{31} - e_{33}c_{12}^E/c_{33}^E$ і $\chi_{33}^* = \chi_{33} + e_{33}^2/c_{33}^E$ позначені п'єзоелектричний модуль і діелектрична проникність для режиму планарних коливань.

Символом $E_z^{(2n+1)}$ у співвідношеннях (2) і (3) позначена напруженість електричного поля під $2n + 1$ -им електродом;

$D_z^{(2n+1)}(\rho)$ – аксіальний компонент вектора електричної індукції.

Матриці матеріальних констант $c_{\beta\lambda}^E$, $e_{\kappa\beta}$ і χ_{ij}^E в напрямку координатної Oz вісі п'єзокераміки наведені в роботі [4]. Там же показано, що $E_z^{(2n+1)} = -U_{2n+1}(\omega)/\alpha$.

Для кільцевих областей з парними номерами $m = 2, 4, 6, 8$, поверхні $z = \alpha$ не покриті шаром металу, електрична індукція $D_z^{(m)}(\rho) = 0$, а механічні напруги $\sigma_{\rho\rho}^{(m)}(\rho)$ і $\sigma_{\phi\phi}^{(m)}(\rho)$ визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned}\sigma_{\rho\rho}^{(m)}(\rho) &= c_{11}^D \frac{\partial u_\rho^{(m)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{12}^D \frac{u_\rho^{(m)}(\rho)}{\rho}, \\ \sigma_{\phi\phi}^{(m)}(\rho) &= c_{12}^D \frac{\partial u_\rho^{(m)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{11}^D \frac{u_\rho^{(m)}(\rho)}{\rho},\end{aligned}\quad (4)$$

де $c_{11}^D = c_{11} + (e_{31}^*)^2 / \chi_{33}^*$, $c_{12}^D = c_{12} + (e_{31}^*)^2 / \chi_{33}^*$ – модулі пружності тонкого п'єзокерамічного диска в режимі сталості (рівності нулю) електричної індукції.

Амплітуди електричних струмів $I_{2n+1}(\omega)$ у вторинних електричних колах п'єзoeлектричного трансформатора визначаються швидкістю зміни електричного заряду $Q_{2n+1}(\omega)$ на $(2n + 1)$ -ому кільцевому електроді, причому

$$I_{2n+1}(\omega) = -i\omega Q_{2n+1}(\omega), \quad n = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Амплітудні значення електричних зарядів

$$Q_{2n+1}(\omega) = 2\pi \int_{R_{2n+1}^{(2n)}}^{R_{2n+1}^{(2n+2)}} \rho D_z^{(2n+1)}(\rho) d\rho, \quad n = 1, 2, 3,$$

де $R_{2n+1}^{(2n)}$ і $R_{2n+1}^{(2n+2)}$ – ліва і права границі кільцевої області під електродом номера $2n + 1$ (рис. 1).

Оскільки

$$D_z^{(2n+1)}(\rho) = e_{31}^* \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} [\rho u_\rho^{(2n+1)}(\rho)] - \chi_{33}^* \frac{U_{2n+1}(\omega)}{\alpha},$$

то

$$Q_{2n+1}(\omega) = 2\pi e_{31}^* \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_\rho^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} u_\rho^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n)}) \right] - C_{2n+1}^* U_{2n+1}(\omega),$$

де $C_{2n+1}^* = \pi \left[(R_{2n+1}^{(2n+2)})^2 - (R_{2n+1}^{(2n)})^2 \right] \chi_{33}^* / \alpha$ – електрична ємність $(2n + 1)$ -го кільцевого електроду.

Вираз для розрахунку електричного заряду на $(2n + 1)$ -ому електроді можна записати в наступному вигляді

$$\begin{aligned}Q_{2n+1}(\omega) &= \frac{2\pi e_{31}^* C_{2n+1}^*}{\chi_{33}^* \left[(R_{2n+1}^{(2n+2)})^2 - (R_{2n+1}^{(2n)})^2 \right]} \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_\rho^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} u_\rho^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n)}) \right] - \\ &\quad - C_{2n+1}^* U_{2n+1}(\omega).\end{aligned}\quad (6)$$

Так як $U_{2n+1}(\omega) = I_{2n+1} Z_{2n+1}$ ($n = 1, 2, 3$), то, після підстановки виразу (6) у визначення (5) електричного струму I_{2n+1} , можна записати

$$U_{2n+1}(\omega) = \frac{2\pi e_{31}^* f_{2n+1}(\omega)}{\chi_{33}^* \left[\left(R_{2n+1}^{(2n+2)} \right)^2 - \left(R_{2n+1}^{(2n)} \right)^2 \right]} \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_p^{(2n+1)} \left(R_{2n+1}^{(2n+2)} \right) - R_{2n+1}^{(2n)} u_p^{(2n+1)} \left(R_{2n+1}^{(2n)} \right) \right], \quad (7)$$

де $f_{2n+1}(\omega) = -i\omega C_{2n+1}^* Z_{2n+1} / [1 - i\omega C_{2n+1}^* Z_{2n+1}]$ – функція включення $(2n + 1)$ -го кільцевого електрода у вторинне електричне коло.

Висновки. Основні положення цієї статті можна зафіксувати наступним чином.

1. Вперше пропонується така схема побудови математичної моделі чотирьох секційного дискового п'єзоелектричного трансформатора, що не містить внутрішніх протиріч.

2. Запропонована схема зберігає свою логічну конструкцію в широкому діапазоні значень числа секцій. Якщо позначити число секцій символом M , то можна стверджувати, що запропонована схема працюватиме на нескінченному інтервалі $M \geq 2$.

Список літератури

1. Джагунов Р.Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления / Р.Г. Джагунов, А.А. Ерофеев. – СПб.: Политехника, 1994. – 608 с.
2. Богдан А.В. Исследование характеристик пьезоэлектрического трансформатора на основе радиальных колебаний в тонких пьезокерамических дисках / А.В. Богдан, О.Н. Петрищев, Ю.И. Якименко, Ю.Ю. Яновская // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2009. – Ч. 1. – С. 269–274.
3. Петрищев О.Н. Принципы и методы расчета передаточных характеристик дисковых пьезоэлектрических трансформаторов. Часть 2. Методика расчета параметров и характеристик простейшего дискового пьезоэлектрического трансформатора / О.Н. Петрищев, К.В. Базило // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2015. – № 4. – С. 10–23.
4. Петрищев О.Н. Принципы математического моделирования трансформаторов, работающих на планарных осесимметричных колебаниях пьезокерамических дисков / О.Н. Петрищев, К.В. Базило // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2015. – № 3. – С. 10–20.

Белозьоров Ж. О.,
викладач кафедри комп'ютерної інженерії,
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили,
Україна, 54003, Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10,
E-mail: gan@mksat.net

ВЗАЄМОДІЯ КОМАНДИРА МЕХАНІЗОВАНОГО ВІДДІЛЕННЯ ТА БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

***Abstract:** In the wars of the 20th century, strategical superiority over the enemy has been achieved by the size of the contingent in combination with high professional qualities of the commanders, however starting from the middle of the previous century armored forces have also started to play an important role. The major disadvantage of this approach was and still is a huge human toll on all sides of the conflict. At the same time, modern society demands for much stricter rules protecting human life and health, but also their rights and freedoms. In this article we present one of the methods solving this problem using modern computer technologies.*

***Keywords:** drones, UAV, unit battle plan, acoustic sensor, weapon emplacement.*

У війнах 20-го сторіччя, стратегічна перевага над супротивником досягалася чисельною перевагою в особовому складі в поєднанні з високими професійними якостями полководців, а з середини минулого століття на перший план вийшла і перевага в бронетанковій компоненті. Основним недоліком такого підходу була і залишається передбачувано-велика кількість людських жертв з усіх боків протистояння. Натомість, сьогодення вимагає від людства інших, більш жорстких, ніж 100 років тому стандартів в питаннях збереження не тільки життя і здоров'я людини, але і її прав та свобод [1].

Метою роботи є аналіз існуючих систем та опис запропонованого підходу в рішенні проблем взаємодії людини та БПЛА в умовах бойових дій.

В умовах сучасного бою кількість особового складу і бронетехніки, як правило, не тільки не є вирішальним чинником перемоги, але і часто, може мати негативний вплив на результат бою. Фактор численних втрат у живій силі і техніці здатний не тільки істотно подавити бойовий дух військ, а й призводить до масового неприйняття таких з боку активної частини суспільства. Особливо гостро ця тенденція проявляється в сучасних демократичних країнах, де життя солдата значно зросло в «ціні».

Для вирішення даної проблеми, уряди передових країн світу в останні кілька десятиліть виділяють значні фінансові та інші ресурси з метою залучити сучасні технології та досягнення науки, створюючи наприклад всілякі бойові, інноваційні комплекти піхотинця тощо [2].

В даний час цілий ряд таких систем вже розроблено і випробовується як під час проведення військових навчань, так і в умовах реальних бойових дій [3].

Так, одним з найперспективніших напрямів у подальшому розвитку вищезазначених тенденцій в область військового мистецтва, є впровадження цифрових технологій. Тут можна відзначити суттєве зростання активності в напрямку розвитку автономних, безпілотних систем. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) на сучасному етапі свого розвитку здатні не тільки полегшити ведення бойових дій, а й могли б вступити у взаємодію з солдатом на полі бою, значно підвищивши його живучість і ефективність ведення бою [4].

Одним з таких прикладів взаємодії солдата і БПЛА могло б стати створення електронної картки вогню відділення, яка відображалася б на екрані переносного персонального комп'ютера або на крайній випадок особистого смартфона військовослужбовця. Командир відділення при підготовці до дій в обороні оформляє картку вогню відділення та наносить на неї інформацію про своїх підлеглих з прив'язкою до сторін світу. Він так само визначає завдання кожному

бійцю, особливості місцевості навколо позиції відділення, місцеві орієнтири, ділянки зосередженого вогню відділення та вищого командування, інформацію про противника і т. д.

Під час бою картка є основним документом, що дозволяє командувати відділенням та його підлеглим вести бойові дії злагоджено і ефективно. В сучасних умовах війни події зазвичай розгортаються настільки стрімко, щоб без допомоги цифрових технологій командир відділення не в змозгу будувати реактивну мінливу умовина передовій, а значить, існує ризик втратити ініціативу в управлінні, і як наслідок цього, втратити злагодженість удіях особового складу.

Електронна картка вогню відділення відображається не на папері, а на екрані монітору.



Рис. 1. Електронна картка вогню відділення

Тому вона може багаторазово змінюватися в лічені частки секунди. Якщо до того ж припустити, що цю інформацію надає, не стільки людина, скільки комп'ютер під керівництвом користувача, а сама інформація (в першу чергу розвідувального характеру) надходить від різних електронних «помічників», таких як БПЛА, то на виході ми можемо отримати інформаційне забезпечення абсолютно нового рівня.

Візьмемо конкретний приклад. Припустимо, що противник веде вогонь з декількох видів зброї, і завдання командира відділення полягає в тому, щоб проаналізувати всі вогневі точки, їх місце розташування на місцевості і зосередженим вогнем відділення встигнути придушити їх до того як противник знищить наші. Очевидно, що на перше місце виходить фактор швидкості в оцінці обстановки та прийнятті рішення а за ним і вміле керівництво. А що, якщо розвідувальна інформація з координатами вогневих точок противника буде надходити на монітор від БПЛА, та ще і в режимі реального часу, із зазначенням типу ворожої зброї.

В таких умовах командир відділення зможе швидко прийняти рішення і віддати команди на застосування зброї, в тому числі і високоточної, для точкового придушення джерела вогню. Дана інформація, безумовно, могла б допомогти і снайперу для «засічки» пострілу ворожого снайпера і для ведення вогню артилерії по цілях противника і для ураження повітряних цілей. Для отримання координат вогневої точки супротивника на декількох БПЛА необхідно встановити сенсори звуку (датчики). Як тільки противник відкриває вогонь (видаючи своє місце розташування), датчики фіксують звукові коливання, і за рахунок різниці в показаннях отриманих з усіх БПЛА можна обчислити необхідні координати. У свою чергу, програма наносить отриману інформацію на електронну картку вогню відділення. Для того, що б отримати не тільки координати цілі, але і тактико-технічні характеристики даного типу зброї, система виявлення оснащується базою даних ймовірного озброєння противника в формі аудіо шаблонів і після отримання звукового сигналу, його обробки, очистки від шумів та порівняльного аналізу, видає необхідну інформацію про ймовірний об'єкт [5]. Даний підхід можна умовно назвати методом розпізнавання аудіо-образів.

В цій роботі запропонований один з шляхів вирішення задачі збереження життя, здоров'я і прав та свобод людини з урахуванням розвитку сучасних інформаційних технологій. Перевага розроблюваної системи в тому, що вона не тільки порівняно недорога, а й за рахунок того, що

встановлена на БПЛА, є маневреною, живучою і дозволяє зчитувати дані на різних висотах. Цей факт надає можливість отримувати інформацію, оминаючи природний рельєф місцевості та інші перепони, такі як дерева, будівлі й т. п. При цьому, самі БПЛА можуть перебуває на безпечній відстані, висоті і навіть в тилу, як поза зоною ураження, так і над ворожими позиціями.

Список літератури

1. Бойовий статут Сухопутних військ ЗС України. Ч. III (взвод, відділення, танк) / Командування Сухопутних військ Збройних Сил України. – Київ, 2010.
2. Pappalardo J. The Day the Marines Met Their Robotic Mule // Popular Mechanics. –2013. – № 12. – URL : <http://www.popularmechanics.com/military/g1345/the-day-the-marines-met-their-robotic-mule/> (accessed Sep. 04, 2017).
3. Endeavor robotics has received an order to deliver 32 man portable small unmanned ground vehicles (sugvs) to the United States armed forces / Ndeavor Robotics // ARMY-GUIDE– 2017. – № 8. – URL : http://www.army-guide.com/eng/article/article_3095.html(accessed Sep. 04, 2017).
4. Enge IJ., Sturm J., Cremers D. Camera-Based Navigation of aLow-Cost Quadrocopter / Department of Computer Science // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – Munich, Germany : Technical University, 2012. Available at : <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.ieee-000006363628> (accessed Sep. 04, 2017).
5. Metropolis N., Ulam S. The Monte Carlo Method // Journal of the American Statistical Association. – 1949. – Is. 44, № 247. – P. 335–341.

Журавська І. М. ,

к.т.н., доцент, докторант кафедри комп'ютерної інженерії,
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили,
Україна, 54003, Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10
E-mail: irina.zhuravska@chmnu.edu.ua

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУБ-РОЇВ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БОРТОВИХ ДАТЧИКІВ

***Abstract:** The possibility of autonomous uncontrolled operation of unmanned aerial vehicle (UAV or drone) flocks in the absence of radio communication through the means of electronic warfare (EW) is considered. The possibility of obtaining and exchanging information between the UAVs for Data fusion and making collective decisions based on the received data from Stereo Vision, Monocular Vision, Ultrasonic, Infrared, Time-of-Flight and Lidar and other UAV embedded sensors has been analyzed. It is proposed to use densification of UAV flock's area for compact passage through zones of GPS-denied environment.*

***Keywords:** drones, UAV, embedded sensors, electronic warfare, flock density, GPS-denied environment.*

Багато задач військово-цивільного призначення у сучасному світі виконуються за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), поєднаних у групи. Так, протягом 2017 р. були створені зграя з 103 дронів Perdix (Міністерство оборони США), зграя з 119 дронів (китайська компанія China Electronics Technology Group) та ін. [1, 2]. Слід зазначити, що у військових цілях різних країн більшістю використовуються дрони власного виробництва. Для цивільної безпілотної техніки найбільш перспективним вважається ринок, націлений на сільськогосподарський напрямок. Відповідно до нормативних документів Євросоюзу, розподіл споживчого попиту на цивільні БПЛА в період з 2015 по 2020 рр. виглядатиме в такий спосіб: 25 % – пожежні безпілотники, 13 % – дрони у сільському господарстві й лісництві, 10 % – енергетика, 6 % – контроль земної поверхні, 1 % – зв'язок [3]. В бізнес-секторі використовуються БПЛА промислового виробництва, більшістю різні моделі лінійок Parrot Bebop та DJI Phantom [4].

Найчастіше такі зграї використовуються на досить чітко визначених гранично малих висотах, та завдяки цьому можуть бути використані як засіб моніторингу (розвідки). Для різних завдань (або для різних територій) зграї можуть розподілятися на суб-рої, кожен з яких може бути керованим або автономним за унікальними алгоритмами.

При формуванні зграй необхідно прийняти генеральну лінію їх поведінки: є або ні лідер у зграї, яку територію охоплює зграя, чи може вона прийняти нових членів, чи легко мириться з втратами й т. п. Крім того, потрібно враховувати, що в умовах високої напруженості електромагнітного поля, зумовленою випромінюванням промисловими об'єктами та/або засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ), радіозв'язок (Wi-Fi, XBee, GPS тощо) не може бути використаний для отримання інформації членами рою про дії інших членів рою і для прийняття колективних рішень [5].

Але, навіть в недосконалих умовах БПЛА повинні мати можливість взаємодії один з одним, утворюючи інформаційну мережу. При цьому БПЛА повинні бути відносно дешевими і складатися з максимально доступних компонентів.

В таких умовах найбільш корисними можуть бути датчики, вбудовані в бортові системи БПЛА ще під час виробництва останніх.

Метою роботи є проаналізувати, які саме бортові датчики сучасних БПЛА можуть бути використані для забезпечення автономного функціонування зграї, та визначити умови виконання завдання зграєю при відсутності централізованого управління.

Такий підхід здатний зменшити обсяг обчислювальної потужності, засобів зв'язку і втручання людини, необхідних для виконання БПЛА завдань в переважаному перешкодами

навколишньому середовищу. Робота орієнтована на розробку нового класу алгоритмів, який дозволяє БПЛА працювати при відсутності GPS або в недоступних для GPS середовищах, наприклад, в приміщенні, під землею або без оператора. Такі алгоритми повинні працювати на високій швидкості в режимі реального часу на відносно малопотужних одноплатних комп'ютерах (що є вбудованими обчислювачами у БПЛА) і забезпечувати функціонування БПЛА протягом 20-30 хвилин. За такий час зграя зможе виконати моніторингові завдання над близько 30-40 км обстежуваної території.

У більшості випадків моніторинг відбувається на певній визначеній висоті. Уміння утримувати висоту БПЛА забезпечується шляхом аналізу тиску, який вимірюють спеціальним барометричним датчиком. Таким датчиком обладнано більшість сучасних польотних контролерів БПЛА. Однак, дані барометричного датчика не завжди точні, наприклад, на малих висотах, в приміщенні або в разі зміни погоди, коли змінюється тиск. Для того, щоб підвищити точність вимірювання на невеликих висотах (до 10 метрів), використовуються інші типи датчиків, наприклад, ультразвуковий датчик або сонар.

Безаварійне маневрування дрона в складі зграї (рою) може бути забезпечено за допомогою навігаційної системи з трьома комплектами вбудованих датчиків подвійного зору (фронтального, заднього та нижнього огляду) та двома інфрачервоними датчиками (рис. 1). Така система постійно працює, щоб розрахувати відносну швидкість і відстань між декількома БПЛА у зграї або між БПЛА та іншим об'єктом.

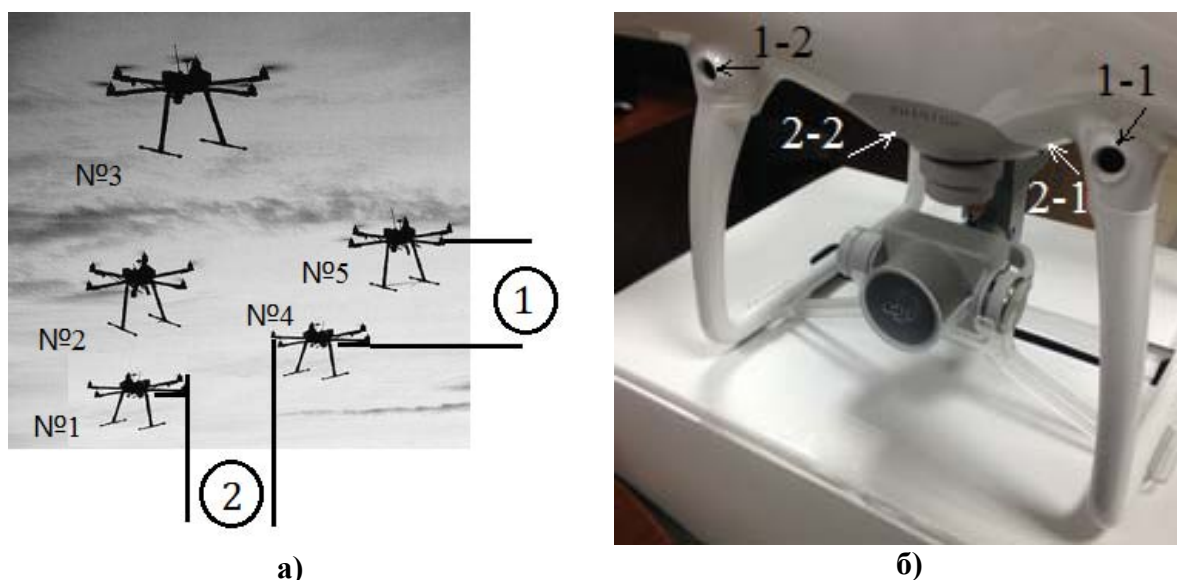


Рис. 1. Відстань, що визначається між БПЛА за допомогою:
1 – фронтальних датчиків (візуальних), 2 – бічних датчиків (інфрачервоних)

Інфрачервоні датчики-дальноміри забезпечують кут огляду біля 150 град., найчастіше базуються на двох чипах Sharp GP2Y0A02YK0F з вихідною аналоговою напругою або аналогічних (рис. 2). Інфрачервоний (ІЧ) датчик працює відповідно до принципу інфрачервоного відображення та здатний до виявлення перешкод. ІЧ-датчик складається з ІЧ-передавача, ІЧ-приймача і потенціометра. Якщо немає перешкод, інфрачервоний промінь від ІЧ-передавача БПЛА буде слабшати з відстанню, на яку він поширюється і, нарешті, зникне. Якщо є перешкода, то коли інфрачервоний промінь зустрічається з нею, промінь буде відбитий назад в ІЧ-приймач. Потім ІЧ-приймач виявляє цей сигнал і підтверджує наявність іншого об'єкта (перешкоди) на певній відстані (для коптерів компанії DJI від 0,3 м до 7 м).

Для запобігання пуску інфрачервоного датчика видимим світлом ІЧ-сповіщувачі працюють з певною частотою ІЧ-випромінювання, що генерується випромінювачем, відбивається об'єктом, а потім повертається до приймача на БПЛА. Коли об'єкта немає, ІЧ-приймач не отримує ніяких сигналів. Коли об'єкт є (для коптерів компанії DJI – по боках, для інших моделей – попереду), він заблокує ІЧ-світло і потім відіб'є його назад на приймач.

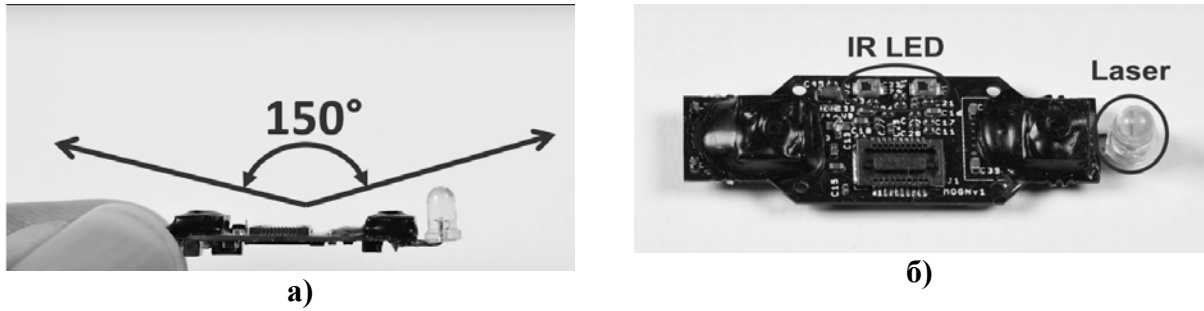


Рис. 2. Кут огляду (а) та конструкція (б) інфрачервоного датчику на бічній поверхні БПЛА

Внесення гетерогенності в управління зграєю і певної синергії між системами, заснованими на GPS, і новими алгоритмічними можливостями дозволить істотно подовжити тривалість життя зграї і підвищити ефективність її функціонування. Система GPS використовує до 24 супутників для підтримки стабільності польоту та забезпечення інших можливостей. Система GPS використовує до 24 супутників для підтримки стабільності польоту і забезпечення інших можливостей.

При наявності радіозв'язку площа обстеженої місцевості з 9 квадратів може бути визначена з рис. 3, а з урахуванням дальності Wi-Fi модуля відповідної моделі коптера (наприклад, для DJI Phantom 4 це 45 км x 45 км з урахуванням досяжної відстані радіосигналу 5 км).

При наявності радіозв'язку площа обстеженої місцевості з 9 квадратів може бути визначена з рис. 3, а з урахуванням дальності Wi-Fi модуля відповідної моделі коптера [6]. Наприклад, для DJI Phantom 4 така площа становить 45 км x 45 км з урахуванням досяжної відстані радіосигналу 5 км.

На рис. 3, б наведена обстежувана територія з поділом на прямокутники, а не квадрати (див. рис. 2, а). У такому представленні території враховані різні діапазони інфрачервоних та візуальних датчиків БПЛА [4].

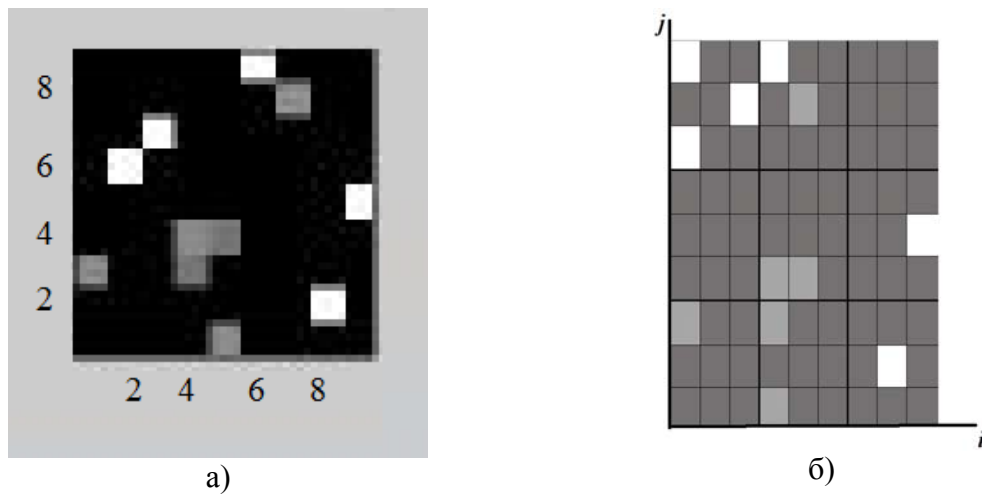


Рис. 3. Обстеження території (а – за принципом sudoku, б – з урахуванням дальності датчиків) двома суб-роями БПЛА: 1-й суб-рій – білі клітинки; 2-й суб-рій – сірі клітинки

Можливість використання вбудованих датчиків у модельний ряд БПЛА DJI Phantom для формування та забезпечення працездатності зграї наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Відстань дії датчиків БПЛА DJI Phantom 4

Датчик	Придатний для використання	Не працює
Бародатчик	на висотах більше 1-2 метрів	– на малих висотах – при поганій погоді
GPS	на відкритому повітрі	у приміщенні, де пошук супутників утруднений
Ультразвуковий датчик (сонар)	– на малих висотах (до 10 метрів) – у приміщенні	– на великих висотах; – при польотах над звукопоглинаючими поверхнями; – при польотів над нахиленими поверхнями (які відбивають сигнал у бік від дрона)
Датчик візуального позиціонування (на нижній поверхні корпусу БПЛА)	у приміщенні та на відкритому повітрі (на висоті від 0,3 до 10 метрів)	– на великій висоті (більше 10 метрів); – при польоті над водою або прозорими середовищами; – при польоті над вкрай темними або вкрай яскравими поверхнями; – при польоті над одноколірної поверхнею (наприклад, сніг); – при польоті над поверхнями, що не мають чітких контурів або текстури
Датчик візуального позиціонування (на фронтальній поверхні корпусу БПЛА)	у приміщенні та на відкритому повітрі (на відстані від 0,7 до 30 метрів)	– при польоті серед вкрай темними або вкрай яскравими поверхнями; – при польоті серед об'єктів, що не мають чітких контурів або текстури
Інфрачервоний датчик	у приміщенні та на відкритому повітрі (на відстані від 0,3 до 7 метрів)	– погано виміряє малі відстані (через різко падіння вихідної напруги при зменшенні відстані)

У разі неможливості використання GPS-координат вищезазначена площа зграї з БПЛА повинна стягнутися у бічному напрямі (по ширині або англ. otherwise) до позитивного потенціалу a_{pot}^i на відстані між бічними поверхнями сусідніх коптерів, щоб уникнути зіткнень:

$$\vec{a}_{pot}^i = \begin{cases} -d \sum_{j \neq i} \min(r_1, r_0 - |\vec{x}^{ij}|) \frac{\vec{x}^{ij}}{|\vec{x}^{ij}|}, & \text{if } |\vec{x}^{ij}| < r_0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

де d – константа горизонтальної «відштовхувальної пружини», що визначається різницею координат i і j для x -го БПЛА;

r_0 – рівноважна відстань, тобто відстань, за межами якою відсутнє відштовхування між БПЛА, для DJI Phantom 4 $r_0 = 0,3$ м;

r_1 - використовується для визначення верхнього порогу відштовхування, щоб уникнути надмірного збудження БПЛА, для DJI Phantom 4 $r_1=7$ м.

Відповідно між фронтальними та задніми поверхнями x -го БПЛА:

$$\vec{A}_{pot}^i = \begin{cases} -D \sum_{j \neq i} \min(R_1, R_0 - |\vec{x}^{ij}|) \frac{\vec{x}^{ij}}{|\vec{x}^{ij}|}, \\ \text{if } |\vec{x}^{ij}| < R_0, \\ 0 \text{ vertical} \end{cases} \quad (2)$$

де D – константа вертикальної «відштовхувальної пружини», що визначається різницею координат i і j для x -го БПЛА;

R_0 – рівноважна відстань, тобто відстань, за межами якою відсутнє відштовхування між БПЛА, для DJI Phantom 4 $R_0=0,7$ м;

R_1 використовується для визначення верхнього порогу відштовхування, щоб уникнути надмірного збудження БПЛА, для DJI Phantom 4 $R_1=30$ м.

Таким чином, враховуючи фізичні розміри DJI Phantom 4, при критичному застосування (відсутності центрального керування, відсутності GPS-координат тощо) зграя пересувається до виходу з такого «критичного пухиря» у стягнутому вигляді (рис. 4).

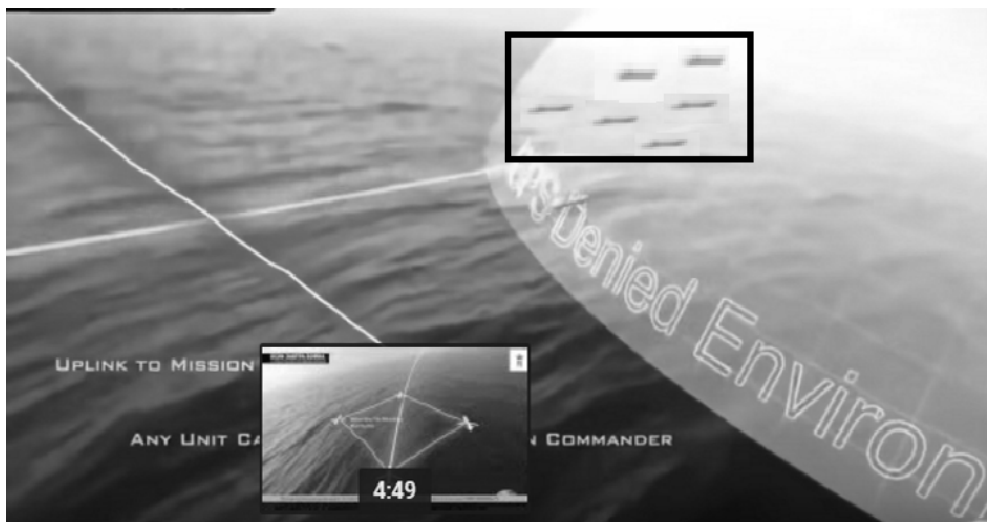


Рис. 4. Проходження зграєю БПЛА з ущільненим строєм через зону РЕБ (GPS-denied environments)

Таким чином, мінімальний розмір ущільненої зграї, яка здатна у розгорнутому виді обстежити територію лінійного розміру 45 км, (з урахуванням фізичного розміру БПЛА 35 см по діагоналі без пропелерів для модельного ряду DJI Phantom 4) становить не більше $(63+3)$ м х $(270+3)$ м, але не менше ніж $(3+3)$ м х $(7+3)$ м.

Зниження навантаження на оператора завдяки автономним можливостям зграй БПЛА, забезпечених необхідним комплектом відповідних датчиків, дозволить людям зосередитися на більш високому рівні контролю – вже за кількома роями БПЛА, що функціонують в рамках єдиної системи (зграї).

Використання розглянутого підходу, заснованого на фізичних характеристиках рою, дозволяє створювати моніторингові системи, які одночасно ефективні в задачах покриття та передбачувані в поведінці. Перевага розроблюваної системи в тому, що також не спричиняє додаткових видатків за рахунок того, що використовує злиття даних (Data fusion) від датчиків, встановлених на БПЛА. Система є маневреною, живучою і дозволяє зчитувати дані на різних висотах.

У перспективі може бути запропонована модифікація алгоритму, яка дозволить успішно виконати завдання переслідування мети з можливим її поділом на декілька окремих цілей. В такому разі необхідно передбачити подальше розділення зграї на суб-рої.

В рамках моделювання також доцільно врахувати неточності реальної системи: похибки вимірювання координат та швидкості, загальний адитивний білий гаусів шум, відповідні екологічні ефекти, низьку швидкість оновлення GPS, обмежений діапазон зв'язку тощо. Для компенсації завад та підвищення точності відпрацювання маршруту зграї БПЛА може виникнути необхідність встановлення додаткових датчиків на борт БПЛА, але з жорстким контролем їх енергоспоживання та ваги, з метою незначного зменшення часу функціонування зграї.

Список літератури

1. Department of Defense announces successful micro-drone demonstration : press operations – 2017, Jan. 9. – Release No: NR-008-17. – Available at : <https://www.defense.gov/News/News-Releases/News-Release-View/Article/1044811/departement-of-defense-announces-successful-micro-drone-demonstration> (Last accessed Sep. 04, 2017).
2. Китай запустил в воздух рекордную стаю беспилотников для тестов интеллекта роя // Страна.ua : интернет-газета. 2017, 12 июня. – URL : <https://strana.ua/news/75611-kitaj-zapustil-v-vozduh-rekordnoe-kolichestvo-bespilotnikov.html> (дата обращения : 04.09.2017).
3. Мереф'янський Г. Агрокоптер, або Дрон польовий / Г. Мереф'янський, І. Петренко // Агробізнес Сьогодні. – 2014. – №24(295).
4. Phantom 4 Pro. Specs. – Available at : <http://www.dji.com/products/drones> (Last accessed Sep. 04, 2017).
5. И грянет дрон. Роевой интеллект может обесценить эффективность самого современного оружия / В. Буренок // ВПК – Военно-промышленный курьер : еженед. газета. – 2016, 31 октября. – URL : [2016http://vpk-news.ru/articles/33312](http://vpk-news.ru/articles/33312) (дата обращения : 04.09.2017).
6. Мусієнко М. П., Журавська І. М. Алгоритми прокладання маршруту безпілотних літальних апаратів на основі застосування нейронних мереж Хопфілда / М. П. Мусієнко, І. М. Журавська // Вісник Черкаського держ. технол. ун-ту. Серія : Технічні науки : зб. наук. праць. – 2016. – № 1. – С. 20–27.

Квєтний Р.Н., д.т.н., профєсор,
Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосє, 95

Кириленко О. М., аспірант,
Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосє, 95, e-mail: sasha.kyrylenko@gmail.com

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІДСТЕЖЕННЯ ОБЛИЧ У ВІДЕОПОСЛІДОВНОСТЯХ

***Abstract.** The research of methods of face tracking done with the view to using it for implementation of informational technology of detecting and tracking faces in complicated conditions.*

***Keywords:** face detection, face tracking, identification, feature extraction, classification.*

Завдання розпізнавання людських облич на зображеннях – це одне з перших практичних завдань, яке стимулювало розвиток теорії розпізнавання образів. Незважаючи на безліч досліджень в цій області, які проводяться по усьому світу протягом декількох останніх десятиліть, так і не було розроблено методів, що дозволяють надійно виявляти й розпізнавати обличчя людини за будь-яких умов.

Завдання розпізнавання облич складається із двох підзадач: автоматичного виділення обличчя на зображенні (face detection) і за необхідністю ідентифікації персони за обличчям (identification).

Метою роботи є огляд та аналіз існуючих методів виявлення та відстеження облич, їх класифікація, аналіз переваг і недоліків, а також виділення напрямку подальших досліджень у даній області.

Відеозображення не швидко змінюються від одного кадру до наступного. Це приводить до великої надлишковості інформації про об'єкт відстеження протягом оброблення послідовності відеозображень за певний проміжок часу. Ця надлишковість може бути використана для усунення неоднозначного представлення візуальних об'єктів і відстеження окремих об'єктів.

Існує велика кількість підходів до відстеження об'єктів у відеопослідовностях. Загалом усі методи відстеження об'єктів можна поділити на дві категорії: детектування руху та пошук за шаблоном. В першій категорії методів об'єкти ототожнюються з рухомими областями у відеопослідовності. В другій категорії методів зовнішній вигляд об'єкту відомий, необхідно його локалізувати у кожному кадрі відеопослідовності. Здійснимо огляд та аналіз представлених у літературі методів відстеження об'єктів другої категорії, у яких об'єктом є обличчя людини.

Детерміністичні методи виконують відстеження як правило шляхом пошуку локального екстремуму шуканої функції, який вимірює близькість між областю шаблоном і областю кандидатом. Найбільш відомі міри що використовуються для порівняння є:

- сума різниць квадратів (SSD);
- дивергенція Кульбака-Лейблера;
- відстань перетину гістограм (histogram intersect on distance);
- нормалізований крос-кореляційний коефіцієнт;
- коефіцієнт Бхатачаря.

Недоліком детерміністичних методів є те, що функція пошуку бере до уваги лише об'єкт і не бере до уваги фон, тому це може спричинити помилки відстеження під час розрізнення об'єкту від фону. Серед детерміністичних методів відстеження об'єктів найбільш відомим є mean-shift. Mean-shift представляє собою оснований на градієнті ітеративний підхід, який використовує ядра, наприклад, Гаусове чи Епаченкова для представлення функції щільності ймовірності. Точність mean-shift алгоритму залежить від ядра, що вибирається та кількості ітерацій градієнтного процесу оцінювання.

Категорія методів відстеження на основі контурів передбачає, що об'єкт визначається контурами з відомими властивостями. Контур об'єкту не чутливий до змін освітлення, з застосуванням обмежень на гладкість кривизни контуру і руху об'єкту. Цей механізм

відстеження є більш загальним, ніж моделювання всіх об'єктів, а також більше стійкий до шумів, ніж методи відстеження, які базуються на обробці сигналів або подібного аналізу низького рівня, що застосовується до таких ознак, як кути і краї.

Останнім часом розвиток відстеження на основі контурів використовує підхід набору рівнів, який є неявним представленням контурів. Для сегментації форми використовують набори рівнів, ця техніка деформує початкове наближення до форми контуру, поки не досягне мінімуму функціоналу енергії на основі вхідного зображення.

Методи відстеження що використовують підхід онлайн-boosting здійснюють бінарну класифікацію, тобто роблять спробу відрізнити об'єкт від фону. На відміну від boosting методів виявлення, які навчаються до самого процесу класифікації тобто офлайн, онлайн-boosting методи здійснюють навчання класифікатора, підбір найбільш дискримінантних ознак під час відстеження. Це дозволяє враховувати зміни освітлення, повороти об'єкта, бути робастними до оклюзій тощо.

Висновки.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що існує велике розмаїття методів відстеження обличчя у складних умовах в системах відеоспостереження, але їх ефективність залежить від багатьох чинників, таких як умови: освітлення, роздільна здатність зображення, орієнтація обличчя відносно камери, вікові зміни та ін.

Отже, враховуючи всі чинники, доцільно комбінувати різноманітні методи для створення нових методів та інформаційних технологій, для збільшення якості та швидкодії роботи алгоритмів розпізнавання облич у складних умовах. Наприклад, використовувати на першому етапі спеціальні методи попередньої обробки зображень, на наступному – традиційні вейвлет - методи і оптимізувати результат за допомогою нейронно – мережевих методів.

Список літератури

1. Yang M.-H. Detecting faces in images: a survey / M.-H. Yang, D.J. Kriegman, N. Ahuja // *IEEE Trans. on PAMI*. – 2002. – № 24(1). – P. 34–58.
2. Turk M. Eigenfaces for recognition / M. Turk, A. Pentland // *Journal of Cognitive Neuroscience*. – 1991. – Vol. 13, No. 1. – P. 71–86.
3. Vaswani N. Principal components null space analysis for image and video classification / N. Vaswani, R. Chellappa // *IEEE Trans. Image Process*. – 2006. – Vol. 15, No. 7. – P. 1816–1830.
4. Suhas S. Face recognition using principal component analysis and linear discriminant analysis on holistic approach in facial images database / S. Suhas, A. Kurhe, Dr.P. Khanale // *IOSR Journal of Engineering*. – 2012. – Vol. 2, Is. 12. – P. 15-23.

Крайник Я.М., к.т.н.,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10,
e-mail: codebreaker7@ukr.net, yaroslav.krainyk@chmnu.edu.ua

ІНТЕГРАЦІЯ НАБОРУ ВЗАЄМОДІЮЧИХ WI-FI -ПРИСТРОЇВ У КОРИСТУВАЦЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ

***Abstract.** New approach to integration of inter-communicating set of Wi-Fi-devices into customer information environment has been considered in the work. It is based on usage of single device from the set that functions as a server and can accept configuration information and send it to other devices in the set.*

***Key words:** Wi-Fi, transfer of data, interaction model, information environment.*

Наразі технологія передачі даних Wi-Fi є однією з найпоширеніших бездротових технологій передачі даних. Вона слугує базовим середовищем для реалізації концепції «Інтернету речей» (англ. «Internet-of-Things»). У зв'язку з цим виробники нових пристроїв орієнтуються саме на те, що одним з інтерфейсів взаємодії є саме Wi-Fi. У тому випадку, якщо кінцевий продукт є одиничним пристроєм, то налаштування його підключення не викликає проблем, тим більше, якщо не передбачається його переміщення та робота з різними точками доступу. У той же час, якщо кінцевий продукт представлений набором пристроїв, кожен з яких може взаємодіяти з іншими пристроями, то індивідуальне налаштування кожного пристрою з набору займатиме доволі багато часу.

Відомі кілька підходів до вирішення даної проблеми, які реалізовані в кінцевих пристроях. В одному з них, бездротових іграшках Sifteo [1, 4], взаємодія між пристроями реалізована через окрему базову станцію. Відповідно, достатньо налаштувати цю базову станцію і весь набір пристроїв стає інтегрованим у користувацьку мережу. Тим не менш, недоліком такого підходу є те, що з'являється необхідність у додатковому пристрої – базовій станції, – що призводить до збільшення вартості кінцевого набору. Іншим варіантом вирішення даної проблеми є використання масової конфігурації Wi-Fi-пристроїв, яка має назву ProMe [2, 3]. Дана технологія дозволяє проводити одночасну конфігурацію навіть 1000 пристроїв одночасно. Тим не менш, підтримка такої технології вимагатиме використання більш дорогих пристроїв для реалізації, що є чутливим у тому випадку, якщо продукт орієнтований на бюджетний ціновий сегмент ринку. Крім того, не всі пристрої підтримують таку функціональність, а, значить, у тому випадку, якщо технологія не підтримується, необхідно проводити індивідуальну конфігурацію кожного пристрою з набору. Тому актуальною є проблема розробки моделі для інтеграції набору Wi-Fi-пристроїв у користувацьке інформаційне середовище.

Метою даної роботи є розробка моделі взаємодії між користувацьким інформаційним середовищем на основі бездротової технології Wi-Fi та набору бездротових пристроїв для їх інтеграції в задану мережу.

Дослідження проводиться в рамках роботи над стартапом Subomania (інтерактивні дитячі іграшки) та його результати використовуються в даному проекті.

Підхід, який пропонується у даній роботі, передбачає наявність серед набору пристроїв пристрою, який виконуватиме роль серверу за певних умов:

- відсутність підключення до мереж, з якими з'єднання попередньо встановлювалось;
- наявність інших мереж (список SSID доступних мереж не є порожнім, відповідно, є можливість підключення).

Відповідно, можна розрізняти два типи пристроїв у наборі:

1. Пристрій, що виконує роль серверу, коли відсутнє з'єднання; коли з'єднання наявне, то він нічим не відрізняється від інших клієнтів мережі та працює абсолютно так само, як і інші пристрої.

2. Пристрої-клієнти: коли мережа доступна, то вони очікують на появу керуючого пристрою (смартфон, планшет, комп'ютер тощо); коли з'єднання відсутнє, вони підключаються до пристрою-сервера, від якого отримують команди відносно подальшої конфігурації.

З цього зрозуміло, що ключовим у даному підході є те, що достатньо виділити лише один пристрій для конфігурування усього набору пристроїв.

Для того, щоб провести конфігурацію даних пристроїв (рис. 1), необхідно підключитись до мережі пристрою-серверу (параметри підключення надаються користувачеві разом з описом пристрою). Зазвичай, найбільш простим способом введення нових параметрів конфігурації є веб-інтерфейс. Після того, як інформація була введена, усі пристрої запам'ятовують її та перезавантажуються. При черговому запуску вони вже підключаються до заданої мережі автоматично.

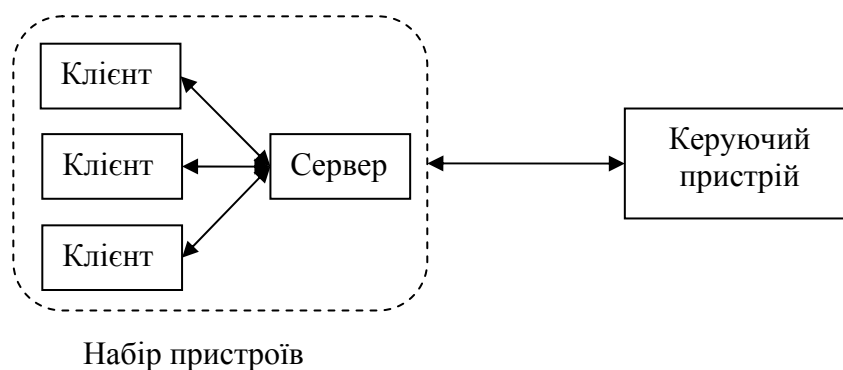


Рис. 1. Взаємодія пристроїв відповідно до запропонованого підходу під час конфігурування підключення до мережі

У результаті запропонована модель взаємодії та підхід дозволяє зменшити витрати на реалізацію необхідної функціональності, оскільки дана функція може бути реалізована на програмному рівні.

Список літератури

1. Manipulable Cubes Base Station [Electronic resource]: US20120270497 A1 US Patent. – Mode of access: WWW.URL: <https://www.google.com/patents/US20120270497>. – Title from screen.

2. ProbMe Simplifies Thing Wi-Fi Connection [Electronic resource]: Mode of access: WWW.URL: <http://www.eejournal.com/2014/09/16/probme-simplifies-thing-wifi-connection/>. – Title from screen.

3. Systems and methods of wi-fi enabled device configuration [Electronic resource]:US20130272164 US Patent. – Mode of access: WWW.URL: <https://www.google.com/patents/US20130272164>. – Title from screen.

4. Connecting devices to the Internet of Things with Wi-Fi [Electronic resource]: Mode of access: WWW.URL: <http://www.embedded-computing.com/embedded-computing-design/connecting-devices-to-the-internet-of-things-with-wi-fi>. – Title from screen.

Никольский В.В., д.т.н., профессор
Бережной К.Ю., аспирант

Национальный университет “Одесская морская академия”
Одесса, ул. Дидрихсона, 8, E-mail: prof.Nikolskyi@ukr.net, E-mail: 90demon777@ukr.net

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

***Abstract.** Ship technical fluids when operating in real conditions when located in the gaps of tribotechnical knots of diesel engines show themselves as "non-Newtonian" with the effect of thixotropy. When bunkering a ship, they are provided with a technical passport with a single value of kinematic viscosity and density for the nominal operating mode. However, diesels operate in maneuvering modes, when sharp variation of load characteristics is a sharp change in viscosity coefficients. Therefore, the rheological characteristic of the liquid becomes necessary. Not taking into account it increases the wear of fuel equipment and bearings. And this leads to increased accident rates and operating costs. We have developed a computer system for laboratory tests, which takes into account the conditions of real operation: support of the range of operating temperatures and speeds of the moving part of the measuring probe. Novelty is the possibility of using in the complex analysis of "non-Newtonian" fluid and studying the effect of thixotropy in the mode of permanent monitoring. Existing ship's fixed laboratories are deprived of these opportunities.*

***Key words:** "non-Newtonian" thixotropic fluid, tribotechnical unit, computer system, rheological characteristics, viscometer with piezoelectric drive.*

Судовые технические жидкости (цилиндровое и лубрикаторное масла, тяжелое моторное топливо) поступаая в узлы ЦПП и топливной аппаратуры, зазоры в которых составляют 10-25 мкм, испытывают деформации, приводящие к изменению их свойств [1, 2, 3], и ведут себя, как тиксотропные [3]. В тоже время, при бункеровке судна на масла и топливо выдается паспорт, в котором указываются целый ряд параметров и, в частности, одно значение кинематической вязкости, соответствующее номинальному режиму эксплуатации ДВС.

Однако, работа ДВС не ограничивается только номинальным режимом (переход по чистой воде). Значительную часть составляют маневровые режимы (швартовые операции, прохождение узкостей). В таких режимах реверсы перемежаются с пуском, разгоном и торможением ДВС. Изменение нагрузки на двигатель во время волнения также приводит к изменению сдвиговых деформаций, которые испытывают жидкости. Статистика отказов элементов и узлов ДВС свидетельствует, что большая часть отказов в работе происходит именно на маневровых режимах эксплуатации. Измерительные зонды судовых вискозиметров [4] не позволяют перекрыть весь диапазон сдвиговых деформаций.

Целью исследования является создание компьютерной системы, учитывающей особенности эксплуатации судовых технических жидкостей.

Нами разработана компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей в лабораторных условиях [6], которая включает в себя:

- измерительный зонд, работа которого основана на методе соосных цилиндров, с приводом на линейном пьезоэлектрическом двигателе (ЛПД) [7];
- два оптических датчика перемещения подвижной части ЛПД;
- электрический регулятор температуры испытываемой жидкости, который в свою очередь состоит из:

а) емкости с нагревательным элементом для создания условий испытания технической жидкости, приближенных к температурным режимам ДВС;

б) однофазный двухполупериодный тиристорный преобразователь напряжения для регулирования напряжения на нагревательном элементе с системой импульсно-фазового управления;

в) спаренный резистор, который, с одной стороны, задает угол управления тиристорным

преобразователем, а, с другой, выполняет функцию датчика угла поворота ротора ПЭД;

г) датчик температуры;

д) роторный пьезоэлектрический двигатель (ПЭД) [8], который вращает спаренный резистор;

- промышленный контроллер от компании Phoenix Contact серии PLC 151 [9] из состава TATU SmartLab [10], который выполняет две функции. Первая, задание скорости перемещения подвижной части измерительного зонда и измерение интервалов времени между двумя точками. Вторая, регулирование температуры испытываемой жидкости. Программа регулятора реализована на базе функциональных блоков из стандартной библиотеки интегрированной среды разработки проектов [9, 11].

Испытания компьютерной системы выявили недостатки использования комплектующих деталей, выполненных на 3-D принтере.

Кроме того, данная система может быть использована в учебном процессе для изучения дисциплин: электроника и микропроцессорная техника, теория автоматического управления, удаленное управления технологическими объектами и процессами.

Синхронизация с работой ДВС и подключение к регулятору вязкости, позволит использовать её для определения реологических свойств судовых технических жидкостей непосредственно перед топливным насосом высокого давления.

Список литературы

[1] Алтоиз Б. А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел / Б.А. Алтоиз, С.А. Ханмамедов // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. - 2003. - Вып. 9. - С. 80 - 86.

[2] Ханмамедов С.А. Совершенствование функциональных свойств систем смазывания судовых энергетических установок: Дис. ...докт. техн. наук: 05.08.05. – Николаев, 1990. – 382 с.

[3] Алтоиз Б. А. Ротационный вискозиметр для исследования микронных прослоек / Б.А. Алтоиз, С.К. Асланов, А.Ф. Бутенко // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://phys.onu.edu.ua/files/journals/fas/articles/42/fas42_altoiz.pdf (Дата звернення 09.03.2017).

[4] Никольский В.В. Основи створення пристроїв п'єзоактивної механіки для систем керування двигунами внутрішнього згорання: дис. док. техн. наук: 05.13.05. - Одесса, 2005. - 230 с.

[5] Никольский М. В. Пьезоэлектрический Вискозиметр / М.В. Никольский, К.Ю. Бережной // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 275. – Т. 287. – Миколаїв, 2016. – С. 60–63.

[6] Нікольський, В. В. Комп’ютерна система визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин / В. В. Нікольський, К. Ю. Бережний, М.В. Нікольський // Інформаційні технології та компютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – Івано-Франківськ: 2017 – С. 261 – 264.

[7] Нікольський В.В., Бережний К. Ю., Нікольський М.В. Позитивне рішення по Заяві на патент на корисну модель, Вискозиметр, U2017 03735, від 18.04.17.

[8] Лавриненко В.В., Коваль В.С., Петренко С.Ф., Лукін В.В., Франченко Р.В. Патент на винахід № 76759 України, МПК(2006) H02N 2/00 Пьезоелектричний двигун. - № 20040110441; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

[9] Горб С.И., Никольский В.В., Шапо В.Ф., Хнюнин С.Г. Программирование контроллеров в инструментальной среде: учебное пособие. – Харьков: Издатель ФЛП Панов А.Н., 2017. – 172 с.

[10] Trainings in Automation Technology for Ukraine: TATU Study Book /Collective of authors including Gorb S., Nikolskyi V., Shapo V., Khniunin S. Editors Christian Madritsch and Wolfgan Werth. June 9, 2017. – 211 p.

[11] Бурцев А.Г., Программное обеспечение систем управления. Выполнение семестровой (контрольной) работы. [Электронный ресурс]: методические указания / А.Г. Бурцев // Сборник «Методические указания» Выпуск 3. - Электрон. текстовые дан.(1файл:2,9Mb) – Волжский: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2016. – 15 с.

Ухина А.В.

Одесский национальный политехнический университет
проспект Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина
E-mail: anyuta.uhina@gmail.com

Ситников В.С., д.т.н., профессор,

Одесский национальный политехнический университет
проспект Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина
E-mail: sitnvs@gmail.com

Ситникова В.А., д.мед.н., профессор,

Одесский национальный медицинский университет
переулок Валиховский, 2, г. Одесса, 65082, Украина
E-mail: sitnva@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

***Abstract.** Using components of specialized computer systems in biomedical research, filtering data under uncertainty leads to the task of adapting and restructuring the work of experimental data preliminary processing according to specified criteria. Based on this task, the analysis of band-pass frequency-dependent components is performed. Dependences, ratios of their coefficients on the central frequency and bandwidth are obtained, which allows controlling the properties of the component. Also, expressions are found that make it possible to outrun the duration of the transient process, which greatly simplifies the possibility of adjustment and improves the quality of data processing. In this way, using components of a specialized computer system allows for the reconfiguration of processing algorithms and improving the quality of experimental data processing based on the randomized controlled trials technology.*

***Keywords:** a frequency-dependent component, transition process, stability, data filtering, rearrangement*

Интенсивное развитие специализированных компьютерных систем и их компонент, особенно с введением концепции интернета вещей, привело к активному внедрению этих компонент и систем в медико-биологическую сферу деятельности исследователей. При проведении медико-биологических исследований концепция доказательной медицины является базовой, а стандартом качества научных исследований эффективности лечения считается технология рандомизированных контролируемых испытаний[1].

Для этого обработка информации в специализированной компьютерной системе должна учитывать условия проведения исследования (клинические или лабораторные), снизить субъективный фактор исследователя и пациента, а также уменьшить систематическую ошибку, повысить объективность данных и т.п.

Один из путей решения этой задачи на этапе фильтрации экспериментальных данных состоит в устранении артефактов и шумов измерения. Однако применение известных алгоритмов фильтрации усложняет работу специализированной компьютерной системы и приводит к многократной обработке исходных данных.

Неопределенность условий фильтрации в таких системах приводит к задаче адаптации или перестройке работы предварительной обработки экспериментальных данных на основе заданных критериев. При этом используемые адаптивные алгоритмы в основном акцентируют внимание на подавлении сигнала без перестройки частотного диапазона.

Построение таких трактов базируется на перестраиваемых алгоритмах второго порядка общего вида

$$y[n] = a_0 \cdot x[n] + a_1 \cdot x[n-1] + \\ + a_2 \cdot x[n-2] - b_1 \cdot y[n-1] - \\ - b_2 \cdot y[n-2],$$

где a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 – действительные коэффициенты,
 $x[n]$ и $y[n]$ – соответственно входной и выходной набор данных.

Например, с технической точки зрения для фильтрации экспериментальных данных в основном используются полосовые частотно-зависимые алгоритмы. Особенность такого алгоритма состоит в необходимости перестройки его относительной центральной частоты фильтрации $\bar{\omega}_0$ а возможно и полосы пропускания $\Delta\bar{\omega}$, а не только коэффициента усиления.

Анализ полосовых частотно-зависимых алгоритмов такого обобщенного вида показал, что действительные коэффициенты при входных данных имеют следующие соотношения

$$a_0 > 0, a_1 = 0, a_2 < 0, a_0 = -a_2.$$

Однако, частотные свойства алгоритмов зависят от коэффициентов b_1, b_2 .

Проведенные исследования указывают на наличии зависимости коэффициентов b_1, b_2 и a_0 от параметров фильтрации: относительной центральной частоты $\bar{\omega}_0$ и ширины полосы пропускания $\Delta\bar{\omega}$.

Анализ таких алгоритмов дает возможность получить соотношения, которые позволяют описать эти зависимости и выполнить управление свойствами алгоритма

$$\begin{cases} b_2 = \frac{\cos(\Delta\bar{\omega}) - \sin(\Delta\bar{\omega})}{\cos(\Delta\bar{\omega}) + \sin(\Delta\bar{\omega})}; \\ b_1 = -2 \frac{\cos(\bar{\omega}_0)}{\cos(\Delta\bar{\omega}) - \sin(\Delta\bar{\omega})}; \\ a_0 = \frac{\sin(\Delta\bar{\omega})}{\cos(\Delta\bar{\omega}) + \sin(\Delta\bar{\omega})}. \end{cases}$$

Очень важным моментом при управлении свойствами алгоритма является вопрос обеспечения устойчивости алгоритма фильтрации. Устойчивость алгоритма второго порядка описывается треугольником устойчивости в координатах коэффициентов b_1 и b_2 .

Еще одним важным моментом при перестройке алгоритма является вопрос длительности переходного процесса.

Для перестройки важно, чтобы интервал квазистационарности был больше длительности переходного процесса [2, 3]. Поэтому при проведении медико-биологических исследованиях важно провести предварительный анализ длительности квазистационарности, например, на основе методов статистической линеаризации. Это значительно облегчает работу специализированной компьютерной системы и повышает качество обработки экспериментальных данных.

Исследования длительности переходного процесса при ненулевых начальных условиях показало, что оценить эту длительность в цифровых системах целесообразно на уровне тактов N периодов дискретизации Δt на основе соотношения

$$N = \frac{a}{2} \cdot \frac{1+\beta}{1-\beta} + b, \quad (1)$$

где a и b - действительные числа ($1 < a < 3, 2 < b < 4$),
 β – модуль комплексного корня или модуль вещественного корня, $0 < \beta < 1$.

Из анализа цифровых систем второго порядка модуль β определяется как

$$\beta = \sqrt{b_2}.$$

Тогда длительность переходного процесса при перестройке компонентов специализированной компьютерной системы ненулевых начальных условиях можно оценить из соотношения

$$N = \frac{a}{2} \cdot \frac{1 + \sqrt{b_2}}{1 - \sqrt{b_2}} + b,$$

Таким образом, применение компонент специализированной компьютерной системы в реальных условиях лабораторных или клинических исследованиях позволяет производить перенастройку алгоритмов обработки и повышать качество обработки экспериментальных данных на основе технологии рандомизированных контролируемых испытаний.

Для алгоритма фильтрации второго порядка получены простые соотношения, которые можно реализовать на микропроцессорном блоке обработки в составе специализированной компьютерной системы, а анализ устойчивости выявить критические области управления и выхода за пределы устойчивости. Кроме того получены простые соотношения для оценки длительности переходного процесса, что значительно упрощает возможности перестройки и повышения качества обработки экспериментальных данных.

Список литературы

1. Ключин Д.А. Доказательная медицина. Применение статистических методов/ Д.А. Ключин, Ю.И. Петунин //– М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 320 с.
2. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
3. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике – Под ред. Г.В. Обрезкова. – М.: Высш. шк., 1985. – 343 с.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕМЕНТИ МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ

УДК 621.7.015:539.43:621.941.025.7

Барандич К.С., асистент,

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, просп. Перемоги, 37, E-mail: Barandichk@ukr.net

Вислоух С.П., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, просп. Перемоги, 37

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ

***Abstract.** This article is devoted to the development of a methodology for providing the necessary values of cyclic durability of parts based on the consideration of the impact of turning on the state of the surface layer of details.*

***Key words:** cyclic durability, deformation, turning, cyclic loading, fail-safe operation*

Питання підвищення рівня якості продукції в приладо- та машинобудівній галузях гостро ставить задачу пошуку шляхів забезпечення її надійності. Дослідженнями таких вчених як Суслов А.Г., Маталин А.А., Писаренко В.Г., Берник П.С., Сивак Р.І., Афтаназін І.С., Кожина Т.Д., Сулима А.М., Рижов Є.В., Демкин Н.Б., Ключев В.В., Решетов Д.Н., R. M. Saoubi, P.V. Jadhav, D.S. Mankar та іншими доведено, що надійність виробів в значній мірі залежить від якості деталей, з яких вони виготовляються.

Найбільш розповсюдженою і небезпечною причиною виходу з ладу деталей приладів та машин є втомне руйнування, що нерідко призводить до тяжких наслідків, оскільки виникає раптово.

До деталей, які виходять з ладу від втомного руйнування, відносяться вали, шатуни, пальці, шестерні, ротори та їх кріпильні елементи, зубчаті колеса, підшипники, диски та інші, що працюють під дією навантажень змінних за величиною та напрямком.

Внаслідок цього в поверхневому шарі таких деталей виникають напруження змінні в часі і за величиною менші границі міцності. В цьому випадку в макрооб'ємі матеріал деформується пружно.

При пружному деформуванні достатньо великого об'єму в мікрооб'ємах відбувається локальне знакозмінне пластичне деформування, яке називають мікропластичним. Його багаторазове повторення призводить до зародження мікроскопічних тріщин.

Поступовий їх розвиток і об'єднання в магістральну тріщину призводить до послаблення перерізу і раптового долому деталей. А у валах та осях при роботі навіть при постійних зовнішніх навантаженнях виникають знакозмінні напруження згину симетричного циклу, що можуть призвести до їх втомного руйнування.

До деталей, які виходять з ладу від втомного руйнування, відносяться вали, шатуни, пальці, шестерні, ротори та їх кріпильні елементи, зубчаті колеса, підшипники, диски та інші, що працюють під дією навантажень змінних за величиною та напрямком.

При цьому у валах та осях при роботі навіть при постійних зовнішніх навантаженнях виникають знакозмінні напруження згину симетричного циклу, що можуть призвести до їх втомного руйнування.

Оскільки основним методом виготовлення деталей типу вал є токарне оброблення, а в даний час при обробленні відповідальних деталей спостерігається тенденція заміни шліфування фінішною обробкою поверхонь точінням, існує необхідність в розробці ефективних методик, які дозволяють забезпечити необхідний рівень якості поверхневого шару відповідальних деталей та надійність їх експлуатації.

У зв'язку з цим метою даної роботи є створення методики технологічного забезпечення необхідних значень циклічної довговічності деталей на основі врахування впливу токарного оброблення на стан поверхневого шару деталей.

Для її досягнення виконано експериментальні дослідження циклічної довговічності зразків зі сталі 40X ГОСТ 4543-71 [1]. фінішне токарне оброблення зразків виконували на токарному оброблюваному центрі HAAS ST20 (США) без охолодження різцями PVVNN 2525M-16Q з різальною пластиною VBGW 160404T00815SE фірми Kyocera (Японія) в діапазоні швидкостей різання V від 80 до 180 м/хв. та подач S – від 0,08 до 0,12 мм/об при глибині різання $t = 0,3$ мм. оброблення яких виконували на різних режимах.

Результати даних досліджень дали можливість розробити математичну модель, що представляє собою залежність циклічної довговічності від режимів токарного оброблення та напруження циклу деталей зі сталі 40X:

$$N(S, V, \sigma) = e^k, \quad (1)$$

де σ – експлуатаційне напруження деталі, МПа.

$$k = 14.437 + 0.0048V + 13.006S - 13.19\sigma + 0.002VS - 0.002V\sigma - 5.941S\sigma + 0.0000004V^2 + 2.929S^2 + 3.013\sigma^2,$$

При цьому для визначення експлуатаційних напруження деталі запропоновано підхід представлений в роботі [2], який базується на використанні методу скінченних елементів.

Це дало можливість на основі методики багатокритеріальної оптимізації [3] створити математичну модель процесу токарного оброблення, що включає комплексну цільову функцію (2) та множину обмежень на процес токарного оброблення.

$$C(S, V, \sigma) = \left(\alpha_1 \cdot K_g \cdot \left(\frac{N(S, V, \sigma) - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}} \right) + \alpha_2 \cdot \left(\frac{P(S, V) - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \right) \right) \quad (2)$$

де α_i , $i=1,2$ – коефіцієнти, що визначають важливість кожного часткового критерію, значення яких є оцінками експертів;

K_g – коефіцієнт узагальнених характеристик матеріалу групи конструкційних легованих хромистих сталей,

N_{\min} , N_{\max} – відповідно мінімальне і максимальне значення циклічної довговічності; ГПа;

$P(S, V)$ – продуктивність процесу чистового точіння, 1/хв;

P_{\min} , P_{\max} – відповідно мінімальне і максимальне значення продуктивності, 1/хв;

S – подача, мм/об;

V – швидкість різання, м/хв.;

σ – напруження циклу, ГПа.

Математична модель (2) була взята за основу при створенні методики технологічного забезпечення циклічної довговічності відповідальних деталей приладів, що включає наступні пункти:

- аналіз конструкції деталі та умов її експлуатації;
- визначення максимальних напружень в матеріалі деталі при її експлуатації шляхом виконання кінцево-елементного аналізу;
- завдання початкових даних процесу токарного оброблення;
- визначення оптимальних технологічних умов процесу токарного оброблення деталі за математичною моделлю, які забезпечують максимальне значення комплексного критерію (2), що включає циклічну довговічність матеріалу деталі при експлуатації та продуктивність її виготовлення.

Використання даної методики дозволяє на етапі технологічної підготовки виробництва встановити термін безвідмовної роботи деталі в умовах циклічних навантажень при визначеному режимі фінішного токарного оброблення або розв'язати звороту задачу –

визначити оптимальні режими оброблення деталі, що забезпечують необхідний термін її безвідмовної роботи.

Список літератури

1. Catherine Barandych, Sergey Vyslouh, Victor Antoniuk, Oleksandr Tymoshenko, Viktor Koval. Lathe Turning Mode Optimization for Parts Working under Conditions of Cyclic Loading. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. 2016. Vol. 2, No. 2. pp. 53–60.
2. Барандич К.С., Вислоух С.П. Створення кінцево-елементної моделі валу та вирішення крайової задачі напружено-деформованого стану Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: С.Ф. Пічугін (головний редактор) та ін. – Вип. 2 (41). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – с. 228-232.
3. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.

Бондаренко М.А., к.т.н., доцент,
Базіло К.В., к.т.н., доцент,
Бондаренко Ю.Ю., к.т.н., доцент,
Медяник В.В., аспірант

Черкаський державний технологічний університет
вул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

e-mail: maxxium23@gmail.com; b_constantine@ukr.net; julybo110976@gmail.com;
vovamedianik@rambler.ru

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

***Abstract.** Currently leading manufacturers of electronic components serially produced a rather extensive list of elements, in which various microelectromechanical structures are included, such as various accelerometers, which are produced by millions of copies, resonators and electrical signals filters implemented on the their basis, transformers and other microminiature electromechanical systems. The main advantage of using of elements made of piezoceramic materials in measuring devices is determined by their special structure, which allows to implement in one element fundamentally different elements, for example, for simultaneous measurement of temperature, pressure and humidity. The purpose of the work is the investigation of structures, which are formed in piezoelectric ceramics by the combined method of electron micromachining, by the method of atomic force microscopy.*

***Key words:** microelectromechanical structures, atomic force microscopy, combined electron*

В настоящее время ведущие изготовители радиоэлектронных компонентов серийно выпускают достаточно обширный перечень элементов, в состав которых включены различные микроэлектромеханические структуры (МЭМС), например, различные акселерометры, которые выпускаются многомиллионными тиражами, резонаторы и реализованные на их основе фильтры электрических сигналов, трансформаторы и другие микроминиатюрные электромеханические системы [1].

Пьезоэлектрические элементы, изготовленные с помощью микросистемных технологий, имеют много общего с обычными, т. е. не микроскопических размеров, пьезоэлектрическими элементами, которые изготавливаются из пьезокерамики. Отличительной чертой между МЭМС и обычными пьезоэлементами является способ электродирования рабочих поверхностей. В МЭМС, как правило, используется частичное электродирование рабочих поверхностей, когда только часть поверхности поляризованного сегнетоэлектрика покрывается металлической пленкой. Этот способ электродирования позволяет возбуждать в объеме МЭМС несколько типов упругих колебаний [2].

Основное преимущество использования в измерительных устройствах элементов из пьезокерамических материалов обуславливается их особенной структурой, которая позволяет реализовать в одном таком элементе принципиально разные схемы, например, для одновременного измерения температуры, давления и влажности.

В работах [3, 4] было показано, что термическим осаждением в вакууме можно получить упорядоченные наноструктуры на поверхностях пьезокерамических элементов. Дальнейшее воздействие на такие поверхности электронным потоком ленточной формы [5] приводит к формированию в пьезоэлектрической керамике зон с различными значениями пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи, что, в свою очередь, позволяет создавать пьезоэлектрическую схему, ограничиваясь объемом такой отдельно взятой зоны.

Среди существующих неразрушающих методов контроля, с помощью которых можно определить как состояние поверхности пьезоэлектрических элементов (ее микрогеометрию и пористость), так и размеры сформированных в ней структур, наиболее перспективным является метод атомно-силовой микроскопии, обладающий высокой точностью (до 1 нм),

чувствительностью (порядка 10^{-12} Н) и производительностью.

Целью данной работы является исследование микроэлектромеханических структур, в том числе изучение методом атомно-силовой микроскопии сформированных в пьезоэлектрической керамике упорядоченных структур комбинированным методом электронной микрообработки.

Теоретические основы расчета характеристик пьезоэлектрических элементов с частичным электродированием поверхности и микроэлектромеханических структур приведены в работе [2]. Математическая модель динамического напряженно-деформированного состояния пьезоэлектрического элемента с частичным электродированием поверхности является ключевым соотношением для количественных оценок передаточных характеристик пьезоэлемента при любых вариантах его функционального использования и может быть записана в следующем виде:

$$u_{\ell}(x_k) = \frac{e_{33}U_g}{c_{33}^E [1 - i\omega Z_g C^{\varepsilon}(\omega, \Pi)]} \tilde{u}_{\ell}(x_k, \omega, \Pi),$$

где $u_{\ell}(x_k)$ – смещение материальных частиц пьезоэлектрического элемента;

$i = \sqrt{-1}$;

e_{33} – пьезоэлектрический модуль;

U_g – амплитудное значение электрического потенциала на выходе генератора;

c_{33}^E – модуль упругости, который экспериментально определяется в режиме постоянства (равенства нулю) напряженности электрического поля (верхний символ E);

ω – круговая частота;

Z_g – выходной электрический импеданс генератора электрических сигналов;

$C^{\varepsilon}(\omega, \Pi)$ – динамическая электрическая емкость пьезокерамического элемента;

$\tilde{u}_{\ell}(x_k, \omega, \Pi)$ – безразмерные функции координат точки наблюдения и набора физико-механических и геометрических (символ Π в списке аргументов) параметров пьезоэлектрического элемента.

Экспериментальные исследования методом электронной микрообработки состояли из двух этапов. Первый этап заключался в формировании тонкого однородного металлического (Ag) покрытия толщиной до 1000 нм на поверхности элементов из пьезокерамики марки ЦТС-19 методом термического осаждения в вакууме порядка $(2...3) \cdot 10^{-3}$ Па. Второй этап заключался в формировании упорядоченных структур на полученных таким методом покрытиях, и осуществлялся электронным методом, когда поток низкоэнергетических электронов воздействовал на поверхность таких покрытий через съемную маску и приводил к частичному расплавлению и испарению материала покрытия. При этом управление мощностью электронного потока в процессе такой комбинированной микрообработки позволило, в то же время, отделять зоны с разным значением пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи и осуществлять поляризацию этих зон в заданном направлении вектора поляризации.

Комбинированная электронная микрообработка проводилась на модифицированной технологической электронной установке УВН-71 в одном технологическом цикле в два этапа. В качестве инструмента обработки выступал электронный поток ленточной формы с длиной и шириной электронного потока на поверхности материала, соответственно, 60 мм и 1,5 мм. Объектами исследования были образцы из пьезоэлектрической керамики марки ЦТС-19.

Исследования поверхности элементов из пьезоэлектрической керамики, а также изучение границ образованных структур после комбинированной электронной микрообработки проводились с применением растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6700F (Япония), а также с помощью атомно-силового микроскопа «NT-206». При этом использовались кремниевые зонды «Ultrasharp CSC12». Измерение микрорельефа поверхности образцов проводилось в статистическом режиме на участках поверхности, максимальным размером 13×13 мкм, согласно разработанным методикам и рекомендациям.

Проведенные исследования позволили установить, что воздействие низкоэнергетического электронного потока ленточной формы на металлизированную поверхность образца приводит к

равномерному распределению, как тепловой, так и электрической составляющей электронного потока. При этом материал пьезокерамики не испытывает значительных структурных и химических изменений в результате такого воздействия. Воздействие низкоэнергетического электронного потока ленточной формы непосредственно на поверхность пьезоэлектрической керамики приводит к формированию в объеме пьезокерамического материала зон повышенной плотности с уменьшенным значением свободных диполей. Это и обуславливает границы доменов с определенным направлением вектора поляризации (размеры таких доменов определяются, обычно, по размерам упорядоченной наноструктуры на поверхности керамики).

В результате проведенных исследований были установлены размеры сформированных структур (то есть, зон с различными значениями пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи), которые составляют 2,2...8,0 мкм, рис. 1.

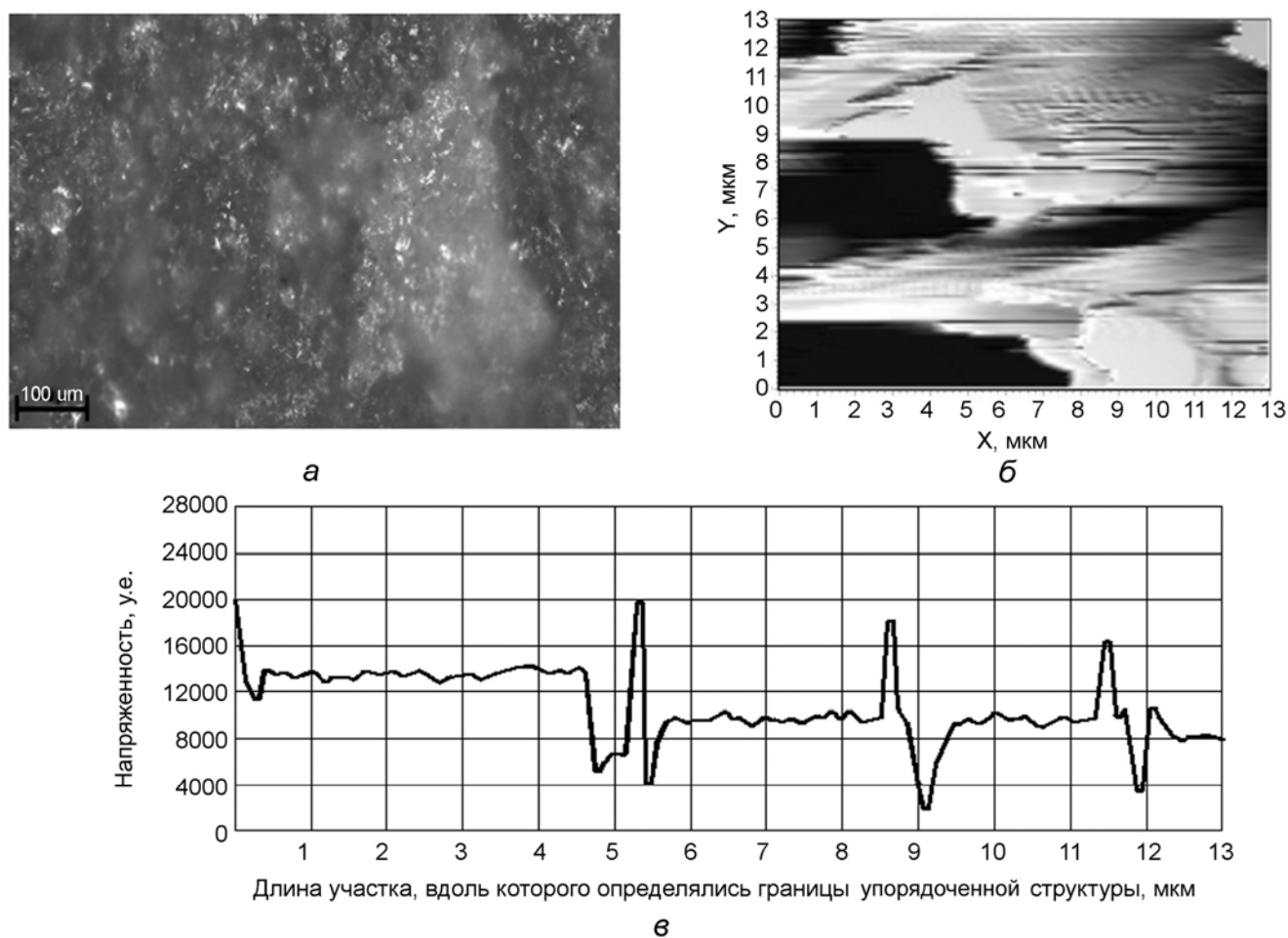


Рис. 1. Фрагмент поверхности образца из пьезокерамики ЦТС-19 со сформированными в нем упорядоченными структурами:
а) микроснимок шлифа поверхности. JEOL JSM-6700F;
б) карта распределения упорядоченных структур в поверхности образца;
в) форма границы упорядоченной структуры в поверхности образца.
NT - 206 (режим латеральных сил)

Выводы. Таким образом, методом атомно-силовой микроскопии проведено изучение упорядоченных структур, сформированных в пьезоэлектрической керамике комбинированным методом электронной микрообработки. При этом было установлено, что коэффициент электромеханической связи в зонах поляризации составлял 0,44...0,48, а пьезомодуль увеличивался незначительно, что является характерным для пьезокерамик системы ЦТС. Вместе с тем, действие электронного потока приводило к уменьшению пористости поверхности на 3...5%, а также к увеличению ее микротвердости на 0,5...0,8 МПа.

Основываясь на полученных результатах, в дальнейшем планируется изучать электродинамические и электромеханические характеристики упорядоченных структур,

сформированных методом комбинированной электронной микрообработки в пьезоэлектрической керамике марки ЦТС-19.

Список литературы

1. Varadan V., Vinoy K., Jose K. (2002). RF MEMS and their applications. *John Wiley & Sons Ltd*, 406 p.
2. Petrishchev O., Bazilo C., et al. (2014). Principles of calculation of piezoelectric elements with surfaces partial covering by electrodes //Вісник Черкаського державного технологічного університету. – № 3. –С. 47–55.
3. Бондаренко М.А. Формирование упорядоченных наноструктур на пьезоэлектрической керамике системы ЦТС термическим осаждением в вакууме / М. А. Бондаренко [и др.] // Материалы X Юбилейной международной промышленной конференции [«Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях»]. – сел. Славське, Львовской обл., 18-22 февраля 2010. - С. 159-160.
4. Шарапов В.М. Исследование характеристик токопроводящих электропроводных пьезокерамических элементов / В.М. Шарапов, А.М. Гуржий, М.А. Бондаренко и др. // Вестник Черкасского государственного технологического университета, Черкассы: ЧДТУ. – 2007 (спецвыпуск). – С. 258-260.
5. Бондаренко М.А. Формирование упорядоченных тонких структур на поверхностях пьезокерамических элементов комбинированным электронным методом / М.А. Бондаренко, Ю.Ю. Бондаренко // Вестник Черкасского государственного технологического университета, Черкассы: ЧДТУ. – 2008 (спецвыпуск). – С.122-123.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 004.93

Корецька О.О., аспірант
Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10

ВЫБОР БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Abstract. The features of application of different types of wireless technologies for data transmission to distances from ten meters to few kilometers are considered in the thesis.

Key words: wireless, energy efficient

Використання дротових комунікацій вкрай незручно і малоефективно: велика вартість, низька надійність, великий час для монтажу, відсутність гнучкості видозміни структури і т.д. Таким чином, перспективним рішенням є використання бездротової технології обміну даними.

Бурхливий розвиток технологій призводить до появи нових рішень, деякі з яких навіть не описані в роботах з цього напрямку. Більшість досліджень де приведені дані щодо основних технологій бездротового зв'язку вже мають застарілі дані. [1]

Метою доповіді є визначення найбільш зручної технології для виконання поставлених завдань: передачі даних на відстані від десятків метрів до декількох кілометрів.

Основними критеріями вибору типу зв'язку є дальність дії та низьке енерговикористання; кількість абонентів, які можуть перебувати в мережі; швидкість і обсяг переданої інформації і ін.

Бездротові технології є одним з швидко зростаючих сегментів ринку комунікацій. Вони знаходять своє застосування для вирішення завдань моніторингу, систем промислового контролю, автоматизації виробничих процесів, диспетчеризації комунальної енергетики, логістики, охоронних систем і т.д. Ці технології дозволяють з високим ступенем надійності і достовірності передавати дані від об'єктів контролю до інформаційно-диспетчерським системам і назад до елементів управління, організувати локальні мережі та ін.

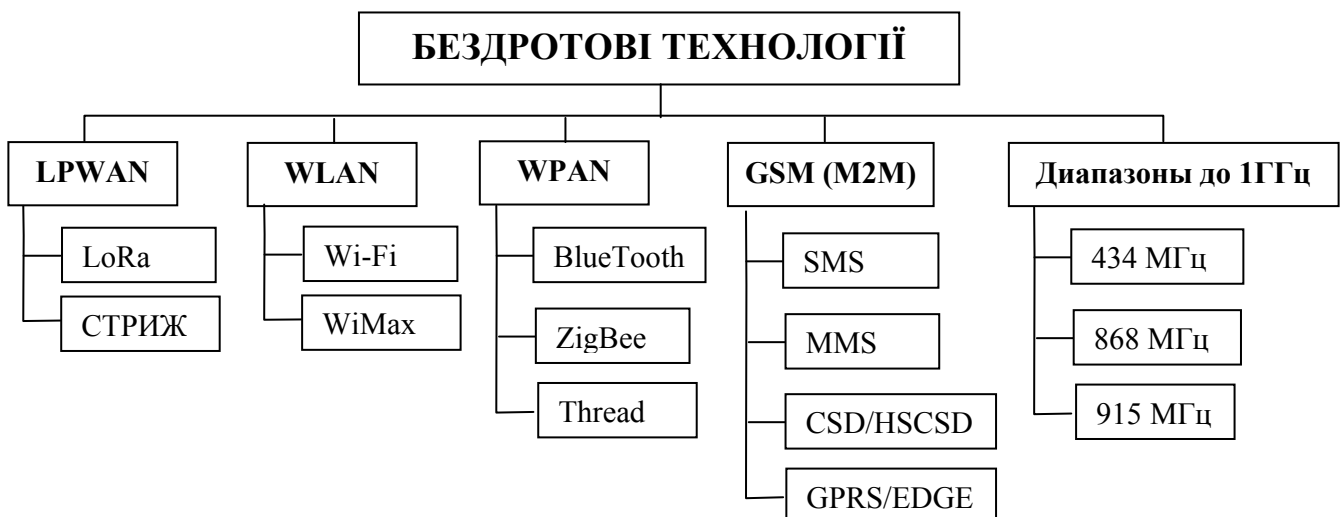


Рис. 1. Типи бездротових технологій

Серед основних груп представлені технології GSM (M2M-системи), WLAN, WPAN та радіодіапазони до 1 ГГц. [2]

WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротові локальні обчислювальні мережі. Основна характеристика: рухливість і незалежність від жорсткого підключення до мережі при можливості передачі інформації на великій швидкості (включаючи відео). Великий обсяг

інформації, що передається, низьке енергоспоживання. Найчастіше використовується для телефонії і високошвидкісного доступу в Інтернет.

WPAN (Wireless Personal Area Network) – бездротові персональні обчислювальні мережі. Основна характеристика: невеликий обсяг інформації, що передається, низьке енергоспоживання. Застосовується в основному для обміну даними між ПК, ноутбуками, кишеньковими пристроями, створення мереж збору даних з датчиків і ін.

M2M (machine-to-machine або mobile-to-machine) – управління мобільними або віддаленими об'єктами. M2M об'єднує телекомунікаційні та інформаційні технології для автоматизації технологічних процесів.

Стандарт GSM (Global Systems for Mobile Communications) є основним для діяльності більшості мобільних операторів більше ніж в 200 країнах.

Іншою альтернативою є технології локальних і персональних мереж.[1]

Wi-Fi - технологія бездротової передачі даних заснована на стандарті IEEE 802.11. В основу стандарту покладена стільникова архітектура, причому мережа може складатися як з однієї, так і декількох осередків. Кожна сота управляється базовою станцією, яка разом з розташованими в межах радіусу її дії робочими станціями користувачів утворює базову зону обслуговування. Оскільки обладнання, що працює на максимальній швидкості, має менший радіус дії, ніж працює на більш низьких швидкостях, то стандартом 802.11 передбачено автоматичне зниження швидкості при погіршенні якості сигналу.

WiMax - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN. WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості «магістральних каналів», продовженням яких виступають традиційні DSL- і виділені лінії, а так само локальні мережі. В результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в масштабах цілих міст.[3]

ZigBee (IEEE 802.15.4) – це стандарт для низькошвидкісних персональних мереж бездротового зв'язку. Ця технологія орієнтована, головним чином, на використання в якості засобу зв'язку між автономними приладами та обладнанням. Основний сегмент використання: системи автоматизації життєзабезпечення будинків і будов, управління побутовою електронікою, автоматичного зняття показань з різних лічильників (газу, води, електрики і ін.), Безпеки, моніторингу навколишнього середовища, промислової автоматизації та ін.

Bluetooth (IEEE 802.15.1) – визначає функціонування компактних систем зв'язку на невеликих відстанях між мобільними персональними комп'ютерами, мобільними телефонами та іншими портативними пристроями. Bluetooth є недорогим радіоінтерфейсом з низьким енергоспоживанням для організації персональних мереж, забезпечуючим передачу в режимі реального часу як цифрових даних, так і звукових сигналів. За швидкістю передачі інформації і енергоспоживанню займає проміжне значення між ZigBee і технологіями WLAN. Радіоканал має повну пропускну спроможність в 1 Мбіт / с, а у версії 2.0 з підтримкою EDR (Enhanced Data Rate - розширена швидкість передачі даних) - до 3 Мбіт / с.

Thread - це новий відкритий стандарт, який підтримує IP адресацію кожного пристрою в мережі, тому пристрої можуть спілкуватися без необхідності використання шлюзу, що усуває єдину точку відмови.

Потік має три основні переваги:

- Масштабованість: в розумному будинку можуть бути підключені сотні пристроїв. Якщо вам здається, що багато, просто подумайте, що кожне вікно і двері матиме свій датчик, а для кожної кімнати буде здійснюватися моніторинг температури і вологості. В цьому випадку, складність і масштаб зростає в геометричній прогресії.

- Сумісність: з огляду на таку кількість пристроїв в одній комірчастій мережі необхідно що б всі вони спілкувалися між собою і з господарем будинку найбільш ефективно.

- Менш дороге і складне устаткування: відомо, що в міру зростання популярності технології вартість пристроїв зменшується. Технології на основі IP добре відомі і прості в налаштуванні.

LoRa – технологія, яка об'єднує в собі метод модуляції LoRa в бездротових мережах LPWAN і відкритий протокол LoRaWAN. Технологія LoRa забезпечує міжмашинну взаємодію (M2M) на відстані до 15 км при мінімальному споживанні електроенергії, що забезпечує кілька років автономної роботи на одному акумуляторі АА. Діапазон застосувань даної технології величезний: від домашньої автоматизації та інтернету речей (Internet of Things, IoT) до промисловості і Розумних Міст. Це технологія, яка підтримує абсолютно новий клас телематичних пристроїв. Її поява стала можливою завдяки розвитку компонентної бази: радіомодулів і приймально-передавального обладнання.

Перспективні галузі впровадження LoRa пристроїв:

- Енергетика. Побудова автоматизованих розумних мереж електропостачання для підвищення ефективності використання енергії в будівлях і на виробничих підприємствах, а також стабільності поставок електроенергії.

- Розумне місто. Популярна колись концепція "розумного будинку" змінилася ідеєю "розумного міста", коли всі пристрої міста з'єднуються між собою. Бездротові модулі здійснюють моніторинг механічних, електричних та електронних систем, що використовуються в сучасних будівлях, а також контроль доступу, при цьому вони абсолютно не залежать ні від системи електроживлення, ні від комунікацій.

- Охорона здоров'я. Спеціальні автономні багатофункціональні датчики можуть бути використані для дистанційного контролю здоров'я і в системах оповіщення про екстрені зміни стану організму людини, а також в продукції для фітнесу, що вимірює кроки, вага, кров'яний тиск і т.д.

- Транспорт. ЖКГ. Сільське господарство. Бізнес і т.д.

«СТРИЖ» - новий протокол радіозв'язку, розроблений виключно для пристроїв і великих розподілених бездротових мереж телеметрії. Працюючи в неліцензованому смугі радіочастотного спектру, пристрої «СТРИЖ» можуть передавати інформацію на відстань до 10 км в міських умовах і до 50 км на відкритій місцевості. При цьому термін автономної роботи від стандартної батареї АА становить понад 10 років, а вартість кінцевого пристрою в рази нижче, ніж GPRS / 3G / ZigBee. Технологія «СТРИЖ» дає безпрецедентну можливість швидкої побудови бездротової легко масштабується розподіленої телематической мережі. Висока автономність кінцевих пристроїв, велика дальність передачі даних, мінімальний набір обладнання та низька вартість впровадження - головні відмінності рішень на базі «СТРИЖ».

Таким чином вибір технологій в перш чергу залежить від вибору вирішуваних завдань. Проведений аналіз показав, що для наших цілей найбільш доречні технології, що потребують найменшого енергоспоживання, а саме ZigBee, LoRa та «СТРИЖ».

Список литературы

1. М.П. Мусиенко., В. И. Томенко. Выбор беспроводных технологий для энергоэффективных автономно-питаемых информационно-измерительных систем./ Вісник Черкаського державного технологічного університету - № 3-4. - 2007. – №2. – С. 164-169.
2. Байчаров С. Выбор технологии беспроводного обмена данными // Беспроводные технологии. 2007. – №2. – С. 59-61.
3. Агафонов Н. Технологии беспроводной передачи данных ZigBee, BlueTooth, Wi-Fi / Беспроводные технологии. – №1(02). – 2007. – С. 10-15.

Тичков В.В., старший викладач
Черкаський державний технологічний університет
бул. Шевченка 460, Черкаси, 18006, Україна
v.tychkov@chdtu.edu.ua

Требовецька Р.В., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
бул. Шевченка 460, Черкаси, 18006, Україна
r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Тичкова Н.Б., магістрант
Базарний А.Г., магістрант
Черкаський державний технологічний університет
бул. Шевченка 460, Черкаси, 18006, Україна

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРОБОВІДБІРНОГО І ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛІВ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВОДИ

***Abstract.** The uncertainty of the measurement result reflects the lack of accurate knowledge of the value of the measured value. The measurement result after making corrections to known systematic effects is still only an estimate of the measured value due to uncertainty, which arises due to random effects and inaccurate corrections of the result to systematic effects. As a result of the estimation of uncertainty of measurement with the help of computerized system of automatic quality control of technological water at the sampling, sampling and analysis stage, components of uncertainty of type B are identified and recommendations for reducing or eliminating influential indicators are presented.*

The procedure for estimating the uncertainty of the results of measurements of type B must be performed in stages on a case-by-case basis in accordance with the measurement methodology, namely: the measured value is determined; sources of uncertainty arise when conducting measurements that contribute to the value of the measured value for each case; quantitative assessment of the components of uncertainty; the total uncertainty of the found components of uncertainty is calculated; significant components are identified if needed to be re-evaluated. Calculation of uncertainty by type B is carried out by summing up various factors influencing uncertainty.

***Keywords:** modular equation, uncertainty of the measurement result, uncertainty of type B, uncertainty of the sampling module, uncertainty of the measuring module, computerized system of automatic control.*

Вступ. Необхідність розробки метрологічних аспектів оцінки невизначеності іонометричним методом вимірювання з використанням інжекційного способу на кожному етапі контролю параметрів екологічно небезпечних об'єктів являється актуальним. Особливу увагу необхідно приділити пробовідбору та подальшій пробопідготовці. Методики відбору проб завжди повинні передбачати принаймні кілька повторних проб і вимірювань, щоб можна було оцінити невизначеність результатів. З цієї причини особливу увагу слід звертати на мінімізацію потенційних джерел зміщення. До них відносяться можливе зміщення через нерівномірний відбір, обумовлений розміром, об'ємом частинок, щільністю або швидкістю потоку; зміщення у виборі точок відбору проби; вплив різного устаткування для відбору проби та ін. Щоб забезпечити належний контроль або повний опис цих факторів, можуть знадобитися рекомендації фахівців з конкретної методології відбору проб, фахівців по статистиці. Основні рекомендації: спостережувальний або очікуваний розподіл частотності не є нормальним; з достовірною оцінкою невизначеності пов'язані великі фінансові або соціальні наслідки; необхідно визначити довірчі інтервали для оцінок невизначеності або для результатів вимірювань; стратегія відбору проби є більш складною, ніж простий випадковий відбір проб з повторними вимірами [1-2].

Мета роботи - побудувати модельне рівняння і зробити оцінку невизначеності пробовідбірною та вимірювальною іонометричного модуля в комп'ютеризованій системі автоматичного контролю (КСАК) технологічної води.

Розроблені два основні підходи до оцінювання невизначеності, пов'язаної з відбором проб. При емпіричному підході [3] виконують багатократний відбір проб і аналіз в різних умовах, щоб кількісно оцінити вплив таких чинників як нерівномірність розподілу визначного елементу в досліджуваному матеріалі або відхилення в процесі застосування однієї або різних методик відбору проби і розрахувати невизначеність. Модельний підхід [4] використовує попередньо задану модель, згідно з якою виявляють всі складові невизначеності, оцінюють їх кількісно і об'єднують, щоб отримати сумарну оцінку. У цьому підході можна використовувати моделі з теорії відбору проб, які дозволяють оцінити деякі складові невизначеності по характеристикам дисперсних частинок. Внесок відбору проби іноді невеликий, але часто він переважно складає до 90% від загальної дисперсії вимірювання. Якщо в подібних випадках необхідно зменшити сумарну невизначеність і тим самим досягти відповідності поставленої мети вимірювання, потрібно збільшувати частку витрат на відбір проб, а не на хімічний аналіз.

Модельне рівняння вимірювального модуля КСАК активності іонів складових елементів технологічної води з іон-селективним вимірювальним перетворювачем проточного типу модернізовано з рівняння Нерста:

$$\Delta U = U_{\text{вим}} - U_{\text{пор}} = S \cdot \lg(C_{\text{вим}}) - S \cdot \lg(C_{\text{пор}}) \pm (I_0 \cdot R) / S_p,$$

де ΔU - різниця потенціалів між вимірювальним електродом і електродом порівняння, мВ; $U_{\text{вим}}$ і $U_{\text{пор}}$ - потенціал вимірювального електрода і електрода порівняння, відповідно, мВ; R - універсальна газова постійна, Дж / (моль·К); $S = 2,3RT / zF$ - Нернстовський кутовий коефіцієнт, дорівнює при 25 °С 59,16 мВ для однозарядних; 29,58 мВ для двозарядних; 19,72 мВ для трьохзарядних іонів; T - абсолютна температура, К; z - заряд іона з урахуванням його знака, (+) для катіона і (-) для аніону; F - постійна Фарадея, Кл / моль; $C_{\text{вим}}$ і $C_{\text{пор}}$ - концентрація потенціал-визначних іонів у вимірювальному і розчині порівняння (залежить від активності іонів в розчинах) відповідно, моль; I_0 - стандартна щільність струму обміну для різних оборотних реакцій у водних розчинах, дорівнює від 40 до $5 \cdot 10^{-13}$ А/(см²); R - опір іонометричного перетворювача, залежить від типу і технології виготовлення електродноактивного матеріалу ІСЕ, сольового містка, конструкції і геометричних параметрів проточних іонометричних перетворювачів (іноді досягає до 1000 МОм), Ом; S_p - площа контактуємої поверхні вимірювального електрода (залежить від геометрії проточного перетворювача), см².

На аналітичний сигнал ПІА впливають два фактори - фізична дисперсія зони зразка в потоці носія і хімічний процес утворення детектуючих частинок. Невизначеність об'єму КСАК по типу В визначається:

де r, l - параметри змішувача (трубопроводу); Δp - значення перепаду тиску на кінцях змішувача (трубопроводу); μ - значення в'язкості води; D - коефіцієнт дифузії речовини; V_c - об'єм проточного детектора; k - константа пропорційності; C - постійна часу підсилювача

У зв'язку з тим, що детектор являє собою тонкошільовий проточний перетворювач без внутрішніх розчинів, то стандартний постійний потенціал чутливого елемента (електрода порівняння) приведений до нуля.

Обидва електроди - вимірювальний і порівняння були виготовлені способом в однакових умовах, що знизило внесок невизначеності технології виготовлення в умовах вимірювання.

У розрахунках брали стандартну невизначеність, обумовленої джерелами невизначеності, що мають систематичний характер і вважали зазначений розподіл значень величин всередині

кордонів рівномірним. Складові невизначеності буферного розчину [5] були оцінені з урахуванням можливості впливу заважаючи іонів і впливу іонної сили технологічної води.

Пристрій інжекційного аналізу має функції, що дозволяють знизити невизначеності вимірювань типу В, визначає придатність електродів до вимірювань, запам'ятовує результати вимірювань, а також підтримує стандартні методики вимірювання.

До основних складових невизначеності вимірювання за типом В [5,6] можна віднести:

1) невизначеність вимірювання ЕРС, температури, термокомпенсації і невизначеності від впливових величин (кліматичних і механічних), вимірювальної схеми;

2) невизначеність градуювання, в яку входить невизначеність буферного розчину разом з невизначеністю приладу.

Невизначеність вимірювального модуля не обмежується тільки невизначеністю вимірювального приладу, також необхідно враховувати невизначеність вимірювального перетворювача з характеристиками вимірювального та порівняльного електродів і датчика температури. Крім інструментальної невизначеності існує невизначеність методики вимірювань, яку зазвичай не оцінюють, через різноманіття самих методик, однак необхідно досліджувати всі їх види типу В.

До невизначеності типу В при використанні буферних, градуювальних, повірочних розчинів можна віднести наступні її складові:

- $u_B(\text{tr})$ невизначеність терміну, умов зберігання та наявність домішок в еталонних порошках з яких будуть приготовлені розчини;

- $u_B(\text{mu})$ невизначеність використання мірного посуду;

- $u_B(\text{md})$ невизначеність використання вимірювальних ваг і дозування еталонних порошків в мірний посуд;

- $u_B(\text{dw})$ невизначеність складу та умов зберігання дистильованої води для приготування і розведення розчинів;

- $u_B(\text{ps})$ невизначеність дозування, змішування еталонних порошків і дистильованої води при приготуванні розчинів складної форми;

- $u_B(\text{sm})$ невизначеність розрахунків при приготуванні розчинів складної форми в мірний посуд різного об'єму;

- $u_B(\text{s})$ невизначеність терміну та умов зберігання самих розчинів;

- $u_B(\text{ds})$ невизначеність роботи дозувальної системи і її вплив на вимірювання при інжекції різних типів розчинів з різними концентраціями;

- $u_B(\text{d})$ невизначеність вимірювального перетворювача від впливу розчинів на поверхню потенціал-визначної мембрани електродів;

- $u_B(\text{T})$ невизначеність температурних умов виготовлення розчинів, градуювання, повірки та вимірювання;

- $u_B(\text{g})$ невизначеність частоти градуювання перетворювача в низьких концентраціях вимірювання або близьких до гранично-допустимих концентрацій;

- $u_B(\text{l})$ невизначеність лінійності градуювальної характеристики і внесення в пам'ять мікроконтролера поправок;

- $u_B(\text{ii})$ невизначеність впливу присутніх іонів, що заважають в розчинах на процес вимірювання і забруднення і розчинення поверхні потенціал-визначної мембрани електродів;

- $u_B(\text{ba})$ невизначеність від дії буферної добавки при маскуванні заважають іонів;

- $u_B(\text{c})$ невизначеність відповідності активності і концентрації і впливу іонної сили розчину на вимірювання.

З огляду на розраховані описані невизначеності типу В, невизначеності на кожному з етапів перетворення вимірювального сигналу, комбіновану невизначеність вимірювального каналу активності іонів і аналізуючи отримані результати, видно, що максимальна невизначеність має первинний іон-селективний вимірювальний перетворювач чи проточний щілинний детектор.

Невизначеність методик вимірювання, особливо важлива при вимірах в пристроях інжекційного аналізу. Пристрій інжекційного аналізу зазвичай має функції, які дозволяють перераховувати показання рХ в значеннях концентрації. Але показання рХ залежить від використовуваної методики вимірювань. Як правило, невизначеність не враховує факт

залежності рХ від методики вимірювань і тому нормує характеристики перерахунку рХ в значення концентрації в умовах заміни вимірювальних і порівняльних електродів імітаторами електродів.

Висновки

Невизначеність пробовідбірної модуля КСАК можна виключити або привести до 0 при багатократному та достатньому згідно стандартів по об'єму відбору з урахуванням місця, часу відбору та фізичних властивостей проби та використання емпіричного підходу до оцінки невизначеності. В подальшому при використанні ультразвукової пробопідготовки можна виділити потенціал-визначні елементи та звести поправки до 0 в розрахунку невизначеності.

Складові невизначеності типу В при використанні буферних, градувальних, повірочних розчинів можна виключити або привести до 0 при використанні стандартних методик вимірювання або розробки методик вимірювання з використанням проточних методів аналізу. При використанні свіжоприготовлених розчинів, дистильованої води, оптичних вимірювальних ваг можна привести до 0 невизначеності $u_B(rp)$, $u_B(mu)$, $u_B(md)$, $u_B(dw)$, $u_B(ps)$, $u_B(sm)$, $u_B(s)$, $u_B(ds)$.

Невизначеності $u_B(d)$, $u_B(T)$, $u_B(g)$, $u_B(l)$ можна зменшити за рахунок застосування більш досконалої вимірювальної техніки, підбору підсилювачів, АЦП, розробки метрологічного забезпечення умов градування, повірки та вимірювання для проточних методів, а також внесення поправок у виміри за допомогою допоміжного вимірювального пристрою.

Невизначеності $u_B(ii)$, $u_B(ba)$, $u_B(c)$ можна зменшити за рахунок оптимізації застосування буферних розчинів безпосередньо для кожного визначаємого компонента і конкретного об'єкта навколишнього середовища або технологічного процесу.

Список літератури

1. Ellison, S. L. R.; Rosslein, M.; Williams, A. 2011. Eurachem/CITAC Guide, Quantifying uncertainty in analytical measurement, 3-d edition. Eurachem.
2. Ramsey, M. H.; Ellison, S. L. R. 2007. Eurachem/EUROLAB/ CITAC/Nordtest/AMC Guide: Measurement uncertainty arising from sampling: a guide to methods and approaches Eurachem.
3. Tychkova, N. B.; Tychkov, V. V. 2016. The empirical approach to the planning and control of sampling uncertainty. Проблеми інформатизації: Тези доповідей четвертої міжнародної науково-технічної конференції. – Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: УТІГН; Полтава: ПНТУ: 78-79 с.
4. Bazanyi, A. G.; Tychkov, V. V.; Kisil, T. Yu. 2016. The application model approach to the planning and control of sampling uncertainty. Проблеми інформатизації: Тези доповідей четвертої міжнародної науково-технічної конференції. – Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: УТІГН; Полтава: ПНТУ: 77 с.
5. Tychkov, V. V.; Trembovetskaya, R. V. 2016. Metrological aspects of reference evaluation of uncertainty electrochemical method of measuring parameters of dangerous objects, in Materials of the All-Ukrainian scientific-practical internet Conference of Young Scientists “Metrological aspects of decision-making in terms of work on technologically dangerous objects”, 27–28 October, Kharkov, KNAHU, 115–117 [online], [cited 31 October 2016]. Available from Internet: http://dl.khadi.kharkov.ua/pluginfile.php/17929/mod_resource/content/1/el_sbornik_konf_2016.pdf
6. Tychkov, V. V.; Trembovetskaya, R. V. 2016b. Measurement uncertainty evaluation result ionometric information-measuring system, in Materials of the VI All-Ukrainian scientific conference teachers and Students “Technogenic and ecological safety of Ukraine: state and prospects of development”, 7–15 November, Irpen: UDFSU: 153–154 [online], [cited 20 November 2016]. Available from Internet: [\[PDF\] ldubgd.edu.ua](#)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТА ІННОВАЦІЇ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ ТА ПРИЛАДІВ

УДК 534.2:534.8

К.В. Базіло, к.т.н., доцент,

В.М. Заїка, к.т.н.,

Ю.Ю. Бондаренко, к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ФАРМАЦЕВТИЦІ

***Abstract.** One of the promising physical methods of influence on the substances to intensify technological processes is a method based on the use of mechanical vibrations of ultrasonic range. The purpose of this paper is to investigate the possibilities of ultrasound's using to intensify biotechnological processes. Some processes in biotechnology such as extraction, suspension, filtration and even the preparation of mixtures often take a long time to produce a quality product and can be intensified by ultrasound. Investigation of mechanisms of ultrasound's biological effect, development of new ultrasonic methods and equipment will bring tangible benefits to practical medicine, veterinary medicine, biotechnology and related fields of national economy, processing industry, as well as theoretical and experimental medicine.*

***Key words:** ultrasound, biotechnology, intensification of chemical processes, pharmaceuticals.*

Одним із перспективних фізичних методів впливу на речовини з метою інтенсифікації технологічних процесів є метод, заснований на використанні механічних коливань ультразвукового діапазону.

Найбільш успішно ультразвукові коливання використовуються в процесах, пов'язаних з рідкими станами реагентів, оскільки тільки в них виникає специфічний процес – ультразвукова кавітація, що забезпечує максимальний енергетичний вплив на різні речовини [1].

В основі всіх ультразвукових технологій лежать ефекти взаємодії ультразвуку з середовищем. Потужний ультразвук викликає в рідких середовищах ряд специфічних ефектів – кавітацію, інтенсивні мікро- і макропотоки, що призводять до швидкого і якісного перемішування компонентів середовища, утворення стійких емульсій, екстрагуванню розчинних компонентів з частинок, які знаходяться в рідині, набухання і руйнування цих частинок [2].

Метою даної роботи є дослідження можливостей використання ультразвуку для інтенсифікації біотехнологічних процесів.

Деякі процеси в біотехнології – екстрагування, суспендування, фільтрування і навіть приготування сумішей нерідко вимагають багато часу для отримання якісного продукту і можуть бути інтенсифіковані ультразвуком [2].

Вплив УЗ коливань на різні технологічні процеси дозволяє:

– не менше ніж в 10-1000 разів прискорити процеси, що протікають між двома або кількома неоднорідними середовищами (розчинення, очищення, знежирення, знегажування, фарбування, подрібнення, просочення, емульгування, екстрагування, кристалізацію, полімеризацію, запобігання утворенню накипу, гомогенізацію, ерозію, хімічні і електрохімічні реакції тощо);

– збільшити вихід корисних продуктів (наприклад, екстрактів) і надати їм додаткові властивості (наприклад, біологічну активність і стерильність);

– отримати нові речовини (наприклад, тонкодисперсні емульсії і суспензії) і реалізувати технологічні процеси, які не реалізовані традиційними методами [1].

Енергетична криза, збільшення попиту на продукцію з поліпшеними і екологічно безпечними якість викликали необхідність розвитку нових технологій вилучення екстрактивних речовин з рослинних (зокрема, олійних) матеріалів, які знаходять своє

застосування в харчовій промисловості (олійно-жирова галузь, харчові добавки), косметології (екстракти масла і різні комплексні препарати), хімічної промисловості (природні барвники тощо). Особливий інтерес представляють екстрактивні речовини (масла), які є безпечними для навколишнього середовища і не роблять шкідливого впливу на здоров'я людини, про що свідчать численні роботи, описані в [3].

Перспективні напрямки застосування ультразвуку для інтенсифікації біотехнологічних процесів приведені на рис. 1.

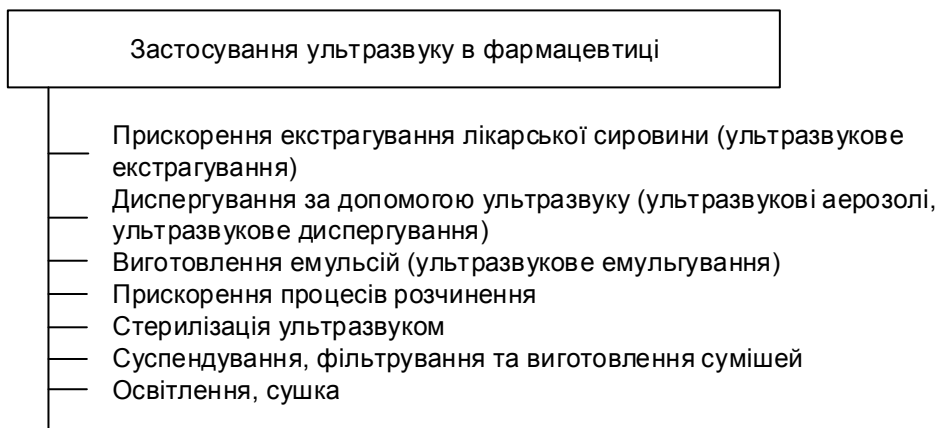


Рис. 1. Методи інтенсифікації біотехнологічних процесів за допомогою ультразвуку в фармацевтичній та хімічній промисловості

Як відомо, найбільше поширення в ультразвуковій медичній техніці отримали п'єзоелектричні перетворювачі. Дозволяючи отримувати акустичні коливання в діапазоні частот від декількох кГц до десятків і сотень МГц, вони використовуються в апаратах для ультразвукової терапії, в діагностичних приладах, що застосовуються у медицині та ветеринарії, в пристроях для ультразвукової стимуляції біотехнологічних процесів [2].

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані на створення мобільних малогабаритних ультразвукових систем для інтенсифікації хімічних процесів в фармацевтиці на основі п'єзоелектричних випромінювачів.

Висновки. Подальші дослідження механізмів біологічної дії ультразвуку, розробка нових ультразвукових методів і обладнання можуть принести відчутну користь практичній медицині, ветеринарії, біотехнології і пов'язаним з ними областям народного господарства, переробної промисловості, а також теоретичної та експериментальної медицини.

Список літератури

1. Исследование возможности применения ультразвука в фармации / «Центр ультразвуковых технологий».
<http://u-sonic.ru/upload/ultrasound%20in%20pharmacy.pdf>
2. Акопян Б.В. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами: Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии / Б.В. Акопян, Ю.А. Ершов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 224 с.
3. Шорсткий И.А. Совершенствование процесса экстрагирования масляных материалов на основе применения электрофизического воздействия : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / И.А. Шорсткий. – Краснодар, 2016. – 158 с.

Бондаренко Ю.Ю., к.т.н., доцент,
Базіло К.В., к.т.н., доцент,
Куницька Л.Г., к.т.н., старший викладач
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченко, 460, Черкаси, 18006, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ЕНЕРГОСИЛОВОЇ СТРУКТУРИ П'ЄЗОЕЛЕМЕНТА

***Abstract.** Piezoceramic electroacoustic transducers are the most efficient receivers and radiators of acoustic waves in electro- and hydroacoustics. They are an integral part of the ultrasonic measuring systems of various computer complexes in navigation, seismology, investigation of the world ocean, medicine and other industries. Therefore, the creation of fundamentally new approaches in the designing of transducers, as well as the creation of models, methods and means of synthesis of the new generation of transducers is relevant. The main results of this work are to increase the level of output sound pressure of electroacoustic transducers by changing the spatial energy-power structure of piezoelement.*

The method of designing piezoelectric transducers was used in this work, which takes into account the spatial-angular interaction of the electric field excited by the electric voltage and piezoelectric ions.

Piezoelectric elements in the form of a disk $\varnothing 50 \times 1.2$ mm from piezoceramic ЦТБС-3 and in the form of a cylinder $\varnothing 32 \times \varnothing 28 \times 20$ mm from piezoceramic ЦТС-19 and a generator of electric oscillations with a symmetric antiphase output with grounded midpoint were used for experiments.

As a result of research with using these piezoelements and circuits electrical connection, an increase of output sound pressure of electroacoustic transducers by 10 dB and 12 dB compared to prototypes was achieved.

***Keywords:** electroacoustic transducer, spatial angular interaction, disk piezoelement, cylindrical piezoelement, sound pressure.*

Електроакустичні перетворювачі можуть бути побудовані на різних фізичних принципах. В даний час найбільш широко використовуються п'єзоелектричні електроакустичні перетворювачі (ПЕАП) в ультразвуковій, медичній, вимірювальній техніці, неруйнівному контролі, в скануючих зондових наномікроскопах, п'єзодвигунах та в інших галузях науки і техніки. Параметри ПЕАП досягли деякого граничного значення і подальше їх вдосконалення неможливе без пошуку та дослідження нових підходів, ідей, гіпотез та нетрадиційних технічних рішень.

Одним з таких рішень є метод проектування п'єзоелектричних перетворювачів, який враховує просторово-кутову взаємодію електричного поля, що збуджується електричною напругою та іонами п'єзокераміки [1-4].

Метою даної роботи є підвищення ефективності електроакустичних перетворювачів на основі дискових та циліндричних п'єзоелементів за рахунок зміни просторової енергосилової структури п'єзоелемента.

Експериментальна частина

1. Для першого експерименту використовувався п'єзоелемент у вигляді диску $\varnothing 50 \times 1,2$ мм із п'єзокераміки ЦТБС-3 з двома системами електродів, що виконані у вигляді кілець та дисків і генератор електричних коливань з симетричним протифазним виходом з заземленою середньою точкою (рис. 1).

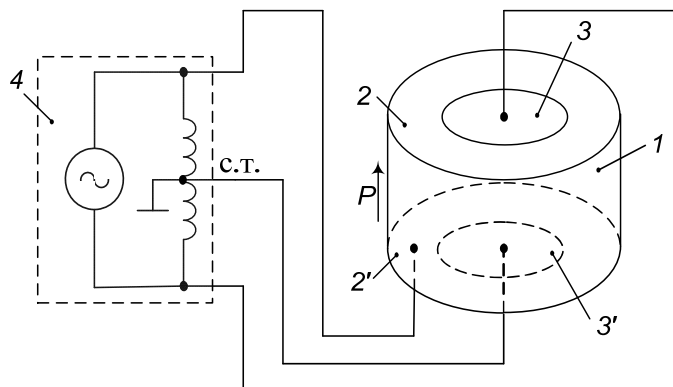


Рис. 1. Електроакустичний перетворювач з дисковим п'єзоелементом

Електроакустичний перетворювач містить дисковий п'єзоелемент 1 з двома системами електродів 2–2' та 3–3', які виконані у вигляді кілець та дисків, генератор електричних коливань 4. В якості генератора 4 використано генератор з симетричним протифазним виходом з заземленою середньою точкою. Електрод 2' першої системи електродів 2–2' та перший електрод 3 другої системи електродів 3–3' п'єзоелемента 1 підключені до протифазних виходів генератора 4. Електрод 3' другої системи електродів 3–3' п'єзоелемента 1 підключено до середньої точки симетричного протифазного виходу генератора 4. [5].

Використання даної схеми дозволило підвищити рівень вихідного звукового тиску перетворювача на 10 дБ порівняно з прототипом. При цьому рівень вихідного звукового тиску для запропонованого перетворювача при підключенні до генератора з симетричним протифазним виходом з напругою $U_{ген} = 2$ В склав 86 дБ. Для прототипу рівень вихідного звукового тиску при подачі однофазної напруги $U_{ген} = 4$ В склав 76 дБ.

2. Для другого експерименту використовувався п'єзоелемент у вигляді циліндру $\text{Ø}32 \times \text{Ø}28 \times 20$ мм із п'єзочермаміки ЦТС-19 з електродами на зовнішній та внутрішній поверхнях і генератор електричних коливань з симетричним протифазним виходом з заземленою середньою точкою (рис. 2).

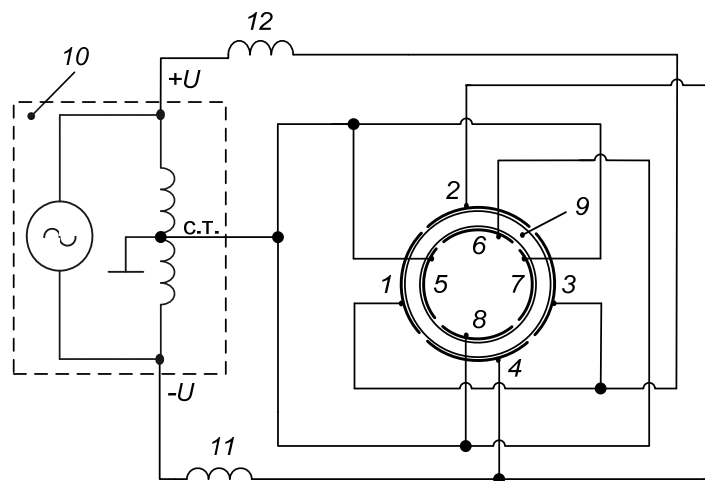


Рис. 2. Електроакустичний перетворювач з циліндричним п'єзоелементом

Електроакустичний перетворювач, містить циліндричний п'єзоелемент 9 з електродами 1-8 на зовнішній та внутрішній поверхнях п'єзоелемента, генератор електричних коливань 10 з симетричним протифазним виходом з заземленою середньою точкою, який містить дві котушки індуктивності 11 та 12. Електроди 1-8 виконані у вигляді сегментів циліндричної зовнішньої та внутрішньої поверхонь. Протифазні виходи генератора з'єднані відповідно з двома котушками індуктивності 11 та 12, перша з яких підключена до другого 2 та четвертого 4 електродів зовнішньої поверхні п'єзоелемента, а друга підключена до першого 1 й третього 3 електродів

зовнішньої поверхні п'єзоелемента. Всі електроди 5-8 внутрішньої поверхні п'єзоелемента підключено до середньої точки симетричного протифазного виходу генератора 10 [6].

Використання даної схеми дозволило підвищити рівень вихідного звукового тиску перетворювача на 12 дБ порівняно з прототипом.

Висновки:

1. В результаті експериментальних досліджень з використанням п'єзоелемента у вигляді диску $\varnothing 50 \times 1,2$ мм із п'єзокераміки ЦТБС-3 було досягнуто підвищення рівня вихідного звукового тиску перетворювача на 10 дБ порівняно з прототипом.

2. В результаті експериментальних досліджень з використанням п'єзоелемента у вигляді циліндру $\varnothing 32 \times \varnothing 28 \times 20$ мм із п'єзокераміки ЦТС-19 було досягнуто підвищення рівня звукового тиску перетворювача на 12 дБ порівняно з прототипом.

Список літератури

1. Sharapov V. Piezoceramic sensors. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2011, 498 p.
2. Sharapov V., Sotula Zh., Kunitskaya L. Piezoelectric electroacoustic transducers. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2013, 240 p.
3. Шарапов В.М. Электроакустические преобразователи / В.М. Шарапов, И.Г.Минаев, Ж.В.Сотула, Л.Г.Куницкая. – М.: Техносфера, 2013. – 280 с.
4. Шарапов В. М. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования/ В.М. Шарапов, Ж.В. Сотула // Научно-технич. журнал «Электроника». – 2012. – №5. – с. 96–102.
5. Базіло К.В., Петрищев О.М., Бондаренко Ю.Ю., Канашевич Г.В., Куницька Л.Г., Медяник В.В. Патент України 108923, МПК H04R 17/00 по заявці № 201512682 від 22.12.2015, опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
6. Базіло К.В., Петрищев О.М., Бондаренко Ю.Ю., Куницька Л.Г., Петрушко Ю.А. Патент України 107896, МПК H04R 17/00 за заявкою № 201512707 від 22.12.2015, опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

T. Yu. Kisil, *Ph.D., Associate professor*

kisiltetyana@ukr.net

V.V. Tuz, *Ph.D., Associate Professor,*

v.tuz@chdtu.edu.ua

N.V. Popova, *magister*

diz-papir@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvr, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

REVISITING THE SELECTION OF THE OPTIMAL FORM FOR IMMERSION PROBES IN PIEZOELECTRIC FLUIDIMETERS

Abstract. *The paper is devoted to the choice of the optimal form for the immersion probes in piezoelectric fluidimeters. It is known that viscosity provides the best understanding of liquids, of changing their states and can be considered as one of the main characteristics. To avoid errors of measurements conducted with the help of piezoelectric converters of the viscosity, which can occur as a result of ultrasonic radiation losses, the authors suggested to divide the converter into a vibrator and a probe that is moving in the liquid and connected with the vibrator using a rigid thrust. The vibrator should not be sunk into the liquid. The probe is the most effective in the form of a polished plate with sharpened edges.*

Key words: *viscosity, piezoelectric meter, immersion probe, Reagold number*

Liquid - a substance in a liquid aggregate state that occupies an intermediate position between solid and gaseous states. The main property of a liquid, which distinguishes it from substances in other aggregate states, is the ability to infinitely change the shape under the action of tangential mechanical stresses, even arbitrarily small, while its volume is practically retained. The liquid state is usually considered to be an intermediate between solids and gas: gas retains neither volume nor shape while solids retain both. In hydrodynamics, liquids are divided into Newtonian and not Newtonian. The flow of Newtonian fluid complies the Newton's law of viscosity, that is, the tangential stress and gradient of velocity are linearly dependent. The coefficient of proportionality between these quantities is known as viscosity. In a non-Newtonian fluid, the viscosity depends on the velocity gradient. Viscosity provides the best understanding of liquids, of changing their states and can be considered as one of the main characteristics. [1, 2, 3].

Viscosity is the property of the liquid to provide resistance to the relative shear displacement. The viscosity appears in the fact that with a relative displacement of fluid layers, the fluid layer that is moving slower "slows down" the layer that moves faster, and vice versa [4]. The viscosity is determined by the presence of the attraction forces between the individual particles (molecules) of the fluid, which restrain the movement of the layers when one part of the liquid is moved relatively to another one. It is obvious that all liquids must be viscous, since there are always forces of both attraction and repulsion between real molecules. Balance between these forces determines the balanced state of the fluid.

The purpose of the work is to select the most optimal form for the immersion probe in piezoelectric viscometers.

As it was already noted, the attenuation of a piezoelectric converter oscillations depends on internal friction in piezoceramics, radiation losses in the liquid and the viscosity of this liquid. It was previously defined [5] that the internal friction in piezoceramics is constant, while radiation losses depend on the depth of a vibrator immersion in a fluid (piezoelectric element or ultrasonic concentrator).

In addition, cavitation bubbles [6] may occur at the end of the vibrator during its motion in the liquid. It also causes errors in the measurements of viscosity.

The motion of solids in a liquid, which equals the flowing solids around by liquids, represents one of the most important problems of hydromechanics [7]. The main task here is to determine the forces that arise in the relative movement of a body and a fluid. The body moving in the liquid meets

resistance, and must apply some force to overcome it. This will be, for example, the resistance met by an airplane, car or train from the air when it's moving, or met by a ship or submarine from the water [8]. In the case when the body is motionless and the fluid flows it around, the body provides resistance for the movement of the liquid, and it takes some energy for the fluid to overcome it. An example of this is the pressure of wind on the building, the winding of a bridge with water, etc.

Let us consider the case of flowing a plate by a fluid, when a plate is set perpendicular to the flow velocity. The fluid jets, when meet with the plate, exert additional pressure due to the change in the direction of flow, to the surface of the plate, faced towards the flow. Resistance force equal to the magnitude of the additional force of pressure on the plate acts on the liquid from the side of the plate. Immediately behind the plate, as a result of tearing off the jet from the plate, a region of random eddy movement is formed. In this area, the pressure is lowered, resulting in an additional resistance force, also directed toward the flow. Since this force depends on the shape of the body, it is called the shape resistance.

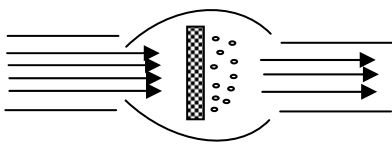


Fig.1. Flowing around a plate that is perpendicular to the direction of the flow

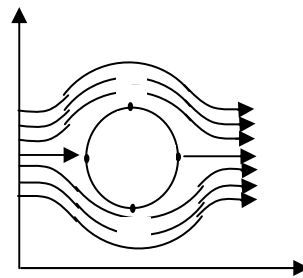


Fig.2. Flowing a cylinder around by a viscous fluid

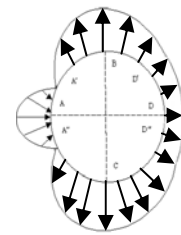


Fig.3. Pressure distribution during the flowing a cylinder around by a viscous fluid

If the plate is located along the flow, the resistance it produces is caused mainly by the tangential forces of friction that arise on the side surfaces of the plate (the so-called frictional resistance, proportional to the viscosity).

Let us consider the flowing of a circular cylinder by a stream of non-inhomogeneous fluid (without friction).

The pattern of the flow (Fig. 2) is symmetrical: on the lateral surfaces of the cylinder the flow is accelerated, and on the front and aft surfaces it is slowed down. At critical points, the flow velocity is zero, and the pressure has a maximum value that is the same for both points.

When the cylinder is flown around by a real (viscous) liquid, particles which are moving next to its surface lose part of the kinetic energy under the influence of frictional forces. As the velocity increases, the zone of return flow increases and a large vortex is developed from it. After, the vortex breaks away from the streamlined body and flows downstream. A new vortex arises in its place, which also breaks away, etc. The formation of vortices over the streamlined body leads to a decrease of the pressure in the foramen part of the cylinder in comparison with the pressure in the unperturbed flow [9]. The distribution of pressure across the surface of the cylinder flown through a viscous liquid is shown on Fig. 3.

In the front (nasal) part of the cylinder, the pressure is practically the same as the pressure which occurs when the perfect fluid moves.

As it approaches the stern, the pressure on the cylinder surface becomes smaller than in the corresponding places of the cylinder, streamlined by an ideal fluid.

Thus, forces in front of the cylinder and behind it do not compensate each other. The equivalent forces of pressure on a streamlined body directed toward the flow of fluid, cause pressure resistance.

A similar pattern is observed in the flow of liquid bodies of another form. In addition, the shape of the streamlined body significantly determines the nature of the pressure distribution, and, consequently, the value of the resistance of the pressure.

As it is known, the number of Reynolds is significantly affected by the nature of flow. For example, in the case of streaming a ball at very small numbers $Re < 1$ the resistance coefficient is determined by the Stokes theoretical formula [10].

Table 1. Coefficients of resistance to pressure of some bodies

Body shape	R_{pressure}	Re
Sphere	0,47	1000-300000
Round cylinder	0,22	>300000
Cube	1,2	<200000

Based on the material above, the probe should be made in the form of a thin polished plate with sharpened edges to reduce cavitation processes [11].

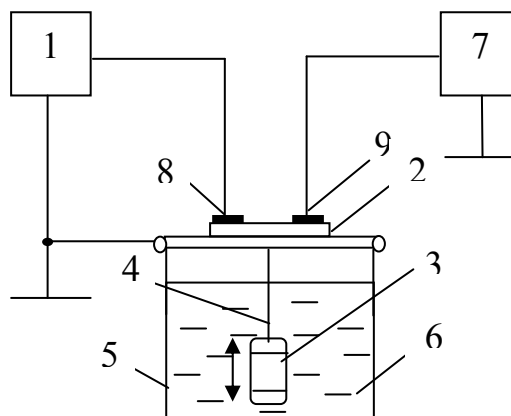


Fig. 4. Device for measuring the viscosity of a fluid with a probe:

1 - generator of electric oscillations; 2 - vibrator in the form of an asymmetric bimorphic piezoelectric element; 3 - probe; 4 - hard drive; 5 - vessel; 6 - liquid; 7 - counter; 8 - input system of electrodes; 9 - output system of electrodes

Conclusions Thus, in order to reduce the measurement errors caused by ultrasonic radiation losses, it is possible to divide the converter into a vibrator and a probe that is moving in the liquid and connected with the vibrator using a rigid thrust. The vibrator should not be sunk into the liquid. The probe is the most effective in the form of a polished plate with sharpened edges. The linear velocity of the probe motion (and hence the frequency and amplitude of the oscillations) must be chosen in such a way for the Reynolds number not to exceed the critical value ($Re < 2300$).

Bibliography

1. Vargaftik, N.V. Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey / N.V. Vargaftik. – M.: Nauka, 1972. – 720 s.
2. Rid, R. Svoystva gazov i zhidkostey: sprav. posobiye: per. s angl. / R. Rid, Dzh. Prausnits, T. Shervud; pod red. B.I. Sokolova. – 3-ye izd., pererab. i dop. – L.: Khimiya, 1982. – 592 s.
3. Teplofizicheskiye svoystva zhidkostey / otv. red. d.t.n. Z.I. Geller. – M.: Nedra, 1973. – 546 s.
4. Shterenlikht, D.V. Gidravlika: uchebnik dlya vuzov / D.V. Shterenlikht. – M.: Energoatomizdat, 1984. – 640 s.
5. Sharapov V.M. i dr. O vliyanií davleniya na vnutrenneye treniye p'yezokeramiki TSTS// Izvestiya VUZov SSSR – Fizika, 1976, №9
6. Roy I.A. Vozniknoveniye i razvitiye ul'trazvukovoy kavitatsii - Akust. zhur., №3, 1,3, 1957.
- 7 Aerogidromekhanika: Uchebnik dlya studentov vysshikh tekhnicheskikh uchebnykh zavedeniy/ Ye. N. Bondarev, V. T. Dubasov, YU. A. Ryzhov i dr. – M.: Mashinostroyeniye, 1993. – 608 s. 2
8. Prostakov A.L. Gidroakustika i korabl' – Leningrad – Sudostroyeniye, 1967.
9. Kisil' T. YU. Ul'trazvukovoy metod, p'yezoelektricheskkiye preobrazovateli i ustroystva kontrolya vyazkosti zhidkosti povyshennoy tochnosti dlya sistem upravleniya. Kand..dis., ONPU, 2003. – s.137
10. Konstantinov YU.M. Gidravlika // Vishcha shkola. – Kiyev, 1981. - 413 s.
11. Patent Ukraїni №61326A, G01N11/00, Byul. №11, 2003. Pristrıy dlya vimıryuvannya v'yazkostı rıdini // Sharapov V.M., Kısıl' T.YU.

И.Г. Минаев, *к.т.н., профессор*,

Ставропольский государственный аграрный университет, Российская Федерация,
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, e-mail: minaev_ig@mail.ru

В.М. Шарапов, *д.т.н., профессор*,

Черкасский государственный технологический университет, Украина,
г. Черкассы, бул. Шевченко, 460

В.В. Самойленко, *к.т.н., доцент*,

Ставропольский государственный аграрный университет, Российская Федерация,
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, e-mail: vvs_stv@mail.ru

В.С. Шмыткин, *аспирант*

Ставропольский государственный аграрный университет, Российская Федерация,
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, e-mail: waden1@mail.ru

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАЖИГАНИЯ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

***Abstract.** This paper examines method and equipment for the HID-lamps piezoelectric ignition. The equipment is allowed bring a HID-lamp assisted by piezoelectric effect. The piezoelectric equipment has been used on the laboratory investigations of the HID-lamps power modes on the DC-currents supply.*

***Key words:** HID lamp, piezoelectric effect, electronic control gear, high-pressure sodium lamp,*

На сегодняшний день в тепличных комплексах наиболее оптимальным считается применение в качестве источников оптического облучения натриевых ламп высокого давления (ДНаТ). В отличие от ламп ДРЛ запуск натриевых ламп производится с помощью высоковольтного зажигающего устройства. [1]

Предлагаемые рынком импульсные зажигающие устройства рассчитаны на питание от сети 220 В, 50 Гц, в связи с чем применение их для запуска газоразрядных ламп от электронных пускорегулирующих устройств питающих ее в режиме постоянного тока [2] весьма затруднительно.

Перспективным является использования зажигающих устройств на пьезотрансформаторе [2, 3]. Недостатком данных устройств является сложность конструкции, обусловленная большим количеством дискретных элементов в различных блоках, высокая критичность к перепадам напряжения питания и изменения температуры, т.к. ее изменение влияет на резонансные характеристики пьезотрансформатора.[4]

Для устранения указанных недостатков разработано зажигающее устройство [5], состоящее из электромагнита 1, пьезоэлемента 2, защитной прокладки 3, блока обратной связи 4, устройства управления 5 и управляемого ключа 6. Пьезоэлемент 2 расположен соосно с якорем 8 электромагнита 1 на расстоянии его полного хода, и своими электродами подключен к контактам газоразрядной лампы 10. Катушка 7 электромагнита 1 соединена с сетью питания через выходную цепь управляемого ключа 6. Электромагнит 1 и пьезоэлемент 2 расположены в диэлектрическом кожухе (на фиг не обозначен).

Газоразрядная лампа 10 подключена к сети питания U через дроссель. На пьезоэлементе 2 со стороны ударяющего конца якоря 8 расположена защитная прокладка 3.

Вход блока обратной связи 4, выполненного в виде измерительного трансформатора тока, подключен последовательно с газоразрядной лампой 10. Выход блока обратной связи 4 подключен к входу устройства управления 5, выход которого подключен к входной цепи управляемого ключа 6. Управляемый ключ 6 выполнен на симисторе.

Зажигающее устройство для газоразрядных ламп высокого давления работает следующим образом.

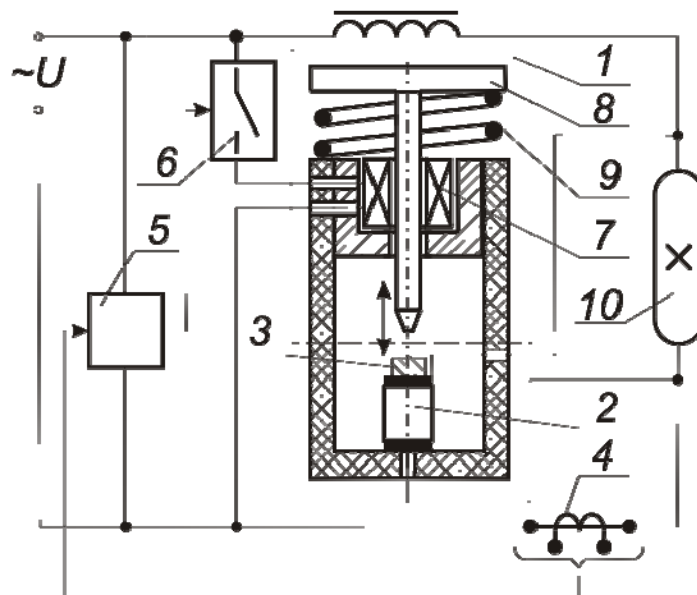


Рис. 1. – Зажигающее устройство

До подачи питающего напряжения U газоразрядная лампа 10 находится в выключенном состоянии, ток через нее не протекает. При подаче напряжения питания U устройство управления 5 начинает генерировать импульсы, которые поступают на вход управляемого ключа 6. При поступлении первого импульса выходная цепь управляемого ключа 6 открывается, срабатывает электромагнит 1, якорь 8 совершает полный ход, сжимая пружину 9. Якорь 8 наносит удар по пьезоэлементу 2 через защитную прокладку 3. При этом защитная прокладка 3 распределяет силу удара равномерно по поверхности пьезоэлемента 2, защищая его от механических повреждений. На электродах пьезоэлемента 2 за счет прямого пьезоэффекта возникает высоковольтный импульс, поступающий на контакты газоразрядной лампы 10. Она зажигается. По завершению управляющего импульса на входе управляемого ключа 6, последний разрывает цепь питания катушки 7 электромагнита 1.

Якорь 8 под воздействием взведенной пружины 9 возвращается в исходное состояние. При зажигании газоразрядной лампы 10 возрастает ток в ее питающей цепи (к примеру, для лампы ДНаТ-400 пусковой ток равен 5,2 А), который детектируется блоком обратной связи 4. Сигнал с блока обратной связи 4 поступает на вход устройства управления 5, которое перестает генерировать импульсы. Выходная цепь управляемого ключа 6 остается закрытой и катушка 7 электромагнита 1 обесточивается.

Если газоразрядная лампа 10 после первого высоковольтного импульса не запускается, устройство управления 5 продолжает генерировать импульсы, поступающие на вход управляемого ключа 6. Якорь 8 электромагнита 1 продолжает производить удары по пьезоэлементу 2 через защитную прокладку 3, высоковольтные импульсы с которого поступают на газоразрядную лампу 10 до ее зажигания.

Был изготовлен действующий макет зажигающего устройства для газоразрядных ламп высокого давления. Использовался пьезоэлемент 2 из материала ЦТС-19, диаметр: 7 мм, длина: 15 мм, емкость: $C=20 \cdot 10^{-12}$ Ф, пьезомодуль: $d = 210 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н [6]. Для нормального зажигания лампы типа ДНаТ к ее контактам следует приложить в среднем 3000В.

Изготовленный действующий макет устройства показал свою работоспособность и выдавал требуемый высоковольтный импульс, достаточный для разжигания газоразрядной лампы 10 с первого срабатывания электромагнита 1.

Зажигающее устройство для газоразрядных лампы высокого давления по сравнению с другими известными техническими решениями имеет следующие преимущества:

1. Высокая надежность устройства, обусловленная его простотой;
2. Низкая критичность к перепадам напряжения сети и изменениям окружающей температуры.

Список литературы

1. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин. – 2-е изд., перераб. и доп. . – М.: Энергоатомиздат, 1991. -720 с.
2. Клыков, М.Е. Классификация и анализ схем импульсных зажигающих устройств / М.Е. Клыков, О.Н. Логунова, Э.С.Розенталь // Светотехника. – 1980 №11. – с. 19-20.
3. Клыков, М.Е. Пьезоэлектричество в светотехнике / М.Е. Клыков, В.Р. Медвидь, Н.Г. Тарасенко и др // Светотехника. – 1986. – №4. – с.11-13.
4. Горошкевич, А.А. Зажигающее устройство на пьезотрансформаторе для разрядных лампы высокого давления / А.А. Горошкевич, В.Р. Медвидь, Н.Г. Тарасенко // Светотехника. – 1993. – №11. – с.22-23.
5. Пат. 62836 Украина, МПК H05B41/24 (2006.01), Пускорегулювальний пристрій (Пускорегулирующее устройство), авторы: Минаев И.Г., Шарапов В.М., Самойленко В.В., Сотула Ж.В., Плосконос М.Ю. заявитель и патентообладатель Шарапов Валерий Михайлович. – № u201106985; заявл. 03.06.2011; опубл. 12.09.2011, Бюл №17.
6. Шарапов, В.М. Пьезокерамические трансформаторы и датчики/ В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, Ж.В. Сотула и др.; под общ.редакцией В.М. Шарапова. – Черкассы: Вертикаль. – 2010. – 278 с.

А.Г. Новаковский,
В.С. Антонюк, доктор технических наук, профессор
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
vp@kpi.ua
С.Ф. Петренко
Малое научно-производственное предприятие ООО «Лилея»
tyl1@navex.kiev.ua

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКТУАТОРОВ В ДЕЛЬТА-РОБОТАХ

***Abstract.** A class of robotic platforms for performing precise manipulation during medical operations is considered using the example of Micron portable microsurgical instrument. To implement this tool, piezoelectric motors were used.*

***Keywords:** micro-displacements, actuator, ultra-precise manipulation, piezoelectric motors*

В настоящее время все более возрастающее значение приобретают прецизионные технологии, с которыми неразрывно связано создание новых устройств мехатроники и робототехники. Создание таких устройств неразрывно связано с повышением требований к точности приводов и, соответственно, их рабочих органов. [1].

Благодаря замкнутой кинематической структуре механизм платформы дельта-робота обладает большей жесткостью и выдерживает большую нагрузку в сравнении с механизмами, составленными в виде открытых кинематических цепей.

Дельта-роботы используются во многих станках и аппаратах, 3д-принтерах, сортировочных машинах и др.

Как правило, линейные перемещения в подобных установках осуществляются за счет применения шаговых двигателей или двигателей с энкодером. Для осуществления микроперемещений на микронном уровне, движения дельта-робота осуществляются за счет применения пьезоэлектрических актуаторов например в микрохирургии [2, 3]..

Роботизированные платформы позволяют осуществлять сверхточные манипуляции во время операции путем фильтрации тремора, а также масштабирования движения [4, 5].

Кроме того, подзадачи могут быть автоматизированы, облегчают когнитивную нагрузку повторяющихся процедур и повышают точность [6].

Такие инструменты применяются для офтальмологических операций [7], при манипуляциях с клетками [8]; существует реализация гидравлического эндоскопа [9].

Рассмотрим подобный класс устройств на примере портативного микрохирургического инструмента Micron [10] (рис.1).



Рис.1. Ручной микрохирургический инструмент Micron [10]

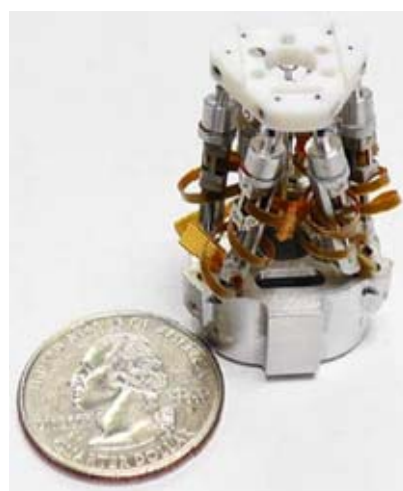


Рис.2. Микроманипулятор на пьезоэлектрических актуаторах

Для реализации данного инструмента были применены пьезоэлектрические двигатели с размером $2,8 \text{ мм} \times 2,8 \text{ мм} \times 6 \text{ мм}$ и силой тяги $>0,3 \text{ Н}$ при напряжении $3,3 \text{ В}$.

Мотор использует круговую вибрацию пьезоэлектрических элементов на нем для генерации линейного движения резьбового стержня. Кроме того, линейный ход двигателя настраивается на любое значение, выбирая длину резьбового штока, что обеспечивает гибкость в дизайне и оптимизации манипулятора.

Данный манипулятор имеет шесть степеней свободы:

- перемещение оконечного инструмента по трём координатам XYZ в евклидовом пространстве (три степени свободы);
- перемещение в плоскости XY вдоль вала инструмента (две степени свободы);
- осевое вращение инструмента (одна степень свободы).

Рабочее пространство оконечного инструмента представляет собой цилиндр диаметром 4 мм и длиной 4 мм .

Сам же микроманипулятор показан на рис. 2, на котором видно эффекторную платформу из Делрина, алюминиевого основания и шести ножек, включающих пьезоэлектрические линейные двигатели.

Данный манипулятор выдерживает боковые нагрузки до $0,25 \text{ Н}$.

Для обеспечения возможности использования линейного пьезоэлектрического двигателя на платформе, важно включить миниатюрный подшипниковый узел, который отделяет чистое линейное движение от движения винта в сочетании с переводом и вращением на резьбовом стержне.

В сборку входят миниатюрный подшипник (681h, толщина $1,0 \text{ мм} \times 3,0 \text{ мм}$), муфта, корпус и фиксатор.

Два механических концевых выключателя ограничивают перемещение винта, что нейтрализует возможность клина резьбового стержня в конце хода каждой из шести осей.

Сборка ножек микроманипулятора показана на рис. 3.



Рис. 3. Строение ножки микроманипулятора

Верхний и нижний концы ножек соединены с подвижной (эффекторной) платформой и основанием с помощью полипропиленовых гибких шарниров.

Они отличаются меньшим размером и меньшим трением, чем шаровые / универсальные шарниры, и являются наиболее подходящими при малом угловом диапазоне движения.

В пределах заданного рабочего пространства максимальное угловое смещение гибкого шарнира составляет $10,9^\circ$, а соответствующее напряжение составляет $20,8 \text{ МПа}$ на длину $2,5 \text{ мм}$, что меньше предела напряжения полипропилена ($30,3 \text{ МПа}$).

Выводы. Для реализации микроперемещений дельта-робота, например, в хирургии, целесообразно использование пьезоэлектрических актуаторов. Это позволит осуществлять сверхточные манипуляции путем фильтрации тремора, масштабировать движения, автоматизировать подзадачи микроперемещений

Список литературы

1. Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные микродвигатели, манипуляторы. Учебное пособие / А.А., Ерофеев, С.И. Бойцов // СПб.: Из-во СПбГПУ, 2003. 161 с.
2. Tan UX, Latt WT, Shee CY, Ang WT. A low-cost flexure-based handheld mechanism for micromanipulation. *IEEE/ASME Trans Mechatronics*. 2011 Aug;16(no. 4):773–778.
3. Choi D, Riviere C. Flexure-based manipulator for active handheld microsurgical instrument. *Proc 27th Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2005;5:5085–8.
4. Prasad SM, Prasad SM, Maniar HS, Chu C, Schuessler RB, Damiano RJ, Damiano RJ, Jr. Surgical robotics: impact of motion scaling on task performance. *J Am Coll Surg*. 2004 Dec;199(no. 6):863–868.
5. Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 2004 Jan;239(no. 1):14–21.
6. Huang HB, Dong S, Mills JK, Shuk Han C. Robotic cell injection system with position and force control: Toward automatic batch biomanipulation. *IEEE Trans Robot*. 2009;25(no. 3):727–737.
7. Jensen PS, Grace KW, Attariwala R, Colgate JE, Glucksberg MR. Toward robot-assisted vascular microsurgery in the retina. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1997;235(no. 11):696–701.
8. Ramadan A, Inoue K, Arai T, Takubo T. New architecture of a hybrid two-fingered micro-nano manipulator hand: optimization and design. *Adv Robot*. 2008;22(no. 2–3):235–260.
9. Peirs J, Reynaerts D, Van Brussel H. Design of miniature parallel manipulators for integration in a self-propelling endoscope. *Sens Actuators A Phys*. 2000;85(no. 1–3):409–417.
10. Sungwook Yang, Robert A. MacLachlan, Cameron N. Riviere, Manipulator Design and Operation for a Six-Degree-of-Freedom Handheld Tremor-Canceling Microsurgical Instrument. *IEEE ASME Trans Mechatron*. 2015 Apr; 20(2): 761–772

Осадчук О.В., д.т.н. професор; Осадчук В.С., д.т.н. професор;
Осадчук Я.О., аспірант
Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
osadchuk.av69@gmail.com

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ НА ОСНОВІ ТЕНЗОЧУТЛИВИХ ДВОСТОКОВИХ МДН-ТРАНЗИСТОРІВ

Abstract. *We have studied the circuit pressure transducer based on field-effect transistors, wherein the pressure transducer acts two drain MOSFET tenzotransistors. Self-oscillating circuit allows pressure to convert to a frequency output signal, which improves the characteristics of the metrological device. Calculated and analytical expressions for the conversion function and sensitivity functions. Sensitivity of the device is 40-34 kHz/kg/mm².*

Keywords: *pressure transducer, two drain MOSFET tenzotransistor, negative resistance.*

П'єзоелектричні властивості кремнію обумовили його широке розповсюдження при виробництві сенсорів тиску. Кремній володіє високою чутливістю провідності до змін механічного навантаження та доброю відтворюваністю характеристик [1, 2]. Перевагами сенсорів такого типу є: висока чутливість; добра лінійність; незначні гістерезисні явища; малий час спрацьовування; компактна конструкція; економічна планарна технологія виготовлення.

Під час проектування нових радіовимірювальних приладів висуваються зростаючі вимоги у відношенні їх діапазону вимірювання, точності, чутливості, швидкодії, потужності споживання, надійності тощо. Радіовимірювальні перетворювачі з частотним виходом мають ряд переваг перед амплітудними, це полягає у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості одержання великих вихідних сигналів. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитися від аналого-цифрових перетворювачів та підсилювальних пристроїв, що підвищує економічність вимірювальної апаратури [3].

Схема радіовимірювального перетворювача тиску подана на рис.1. Тензочутливі двостокові МДН-транзистори VT1, VT2 і біполярний транзистор VT3 реалізують генератор електричних коливань, в якому коливальний контур утворений ємнісною складовою повного опору з від'ємним значенням активної складової на електродах стік-стік транзисторів VT1, VT2 та індуктивною складовою повного опору на електродах колектор-емітер VT3. Таким чином, під час дії тиску на тензочутливі двостокові МДН-транзистори змінюється ємність коливального контуру генератора [4].

Розглянемо фізичний механізм роботи активного індуктивного елемента на основі біполярного транзистора VT3 і фазозсувний ланцюжок R_3C_1 , що дозволяє регулювати величину індуктивності й добротності елемента [5]. Виникнення індуктивних властивостей у біполярних структурах пов'язане з кінцевою швидкістю руху носіїв заряду в базовій області. Сигнал, прикладений до емітера, не може з'явитися на колекторному переході поки носії заряду проходять базу, у результаті чого виникає затримка в часі, що одержала назву часу прольоту. Таким чином, струм колектора відстає в часі від напруги на емітері, що викликало цей струм, що відповідає індуктивній реакції на електродах емітер-колектор біполярного транзистора. Величина індуктивності й добротності визначається на основі нелінійної моделі індуктивного транзистора, основаної на моделі Еберса-Молла, що отримана із загальної математичної моделі транзистора. Індуктивність теоретичної моделі залежить від електрофізичних параметрів напівпровідникового матеріалу бази, режиму живлення транзистора за постійною і змінною напругами, а також від геометричних розмірів транзистора, що дозволяє керувати її величиною як електричним, так і технологічним шляхами.

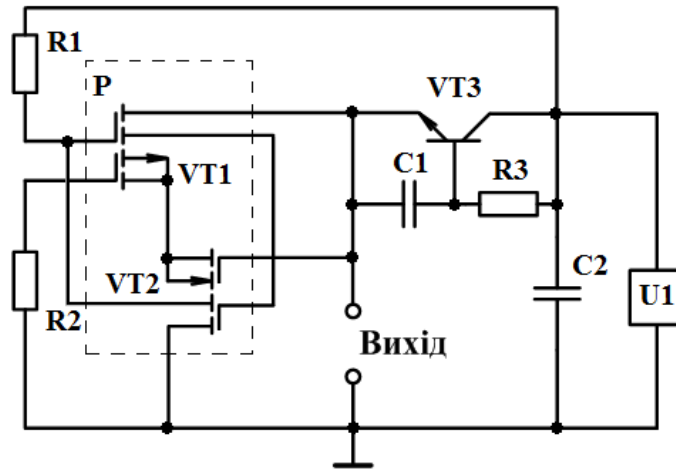


Рисунок 1 – Радіовимірювальний перетворювач тиску на основі тензочутливих двостокових МДН-транзисторів

На підставі еквівалентної схеми відповідно до методу стійкості Ляпунова визначена функція перетворення пристрою, що являє собою залежність частоти генерації від тиску. Вплив тиску на еквівалентну ємність коливального контуру передається через зміну параметрів елементів еквівалентної схеми, тому функція перетворення описується рівнянням:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4L_{ekv} R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P) [R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) + R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P) - L_{ekv}]}}{2L_{ekv} R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P)}}, \quad (1)$$

де $B = R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P) + R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P) R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) - L_{ekv} R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) - L_{ekv} R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P)$,

L_{ekv} – еквівалентна індуктивність коливального контуру, $R_{SD1}(P)$ – опір стік-витік транзистора VT1; $C_{SD1}(P)$ – ємність стік-витік транзистора VT1; $R_{SD2}(P)$ – опір стік-витік транзистора VT2; $C_{SD2}(P)$ – ємність стік-витік транзистора VT2;

Чутливість радіовимірювального перетворювача тиску визначається на основі виразу (1). Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від тиску подано на рис.2.

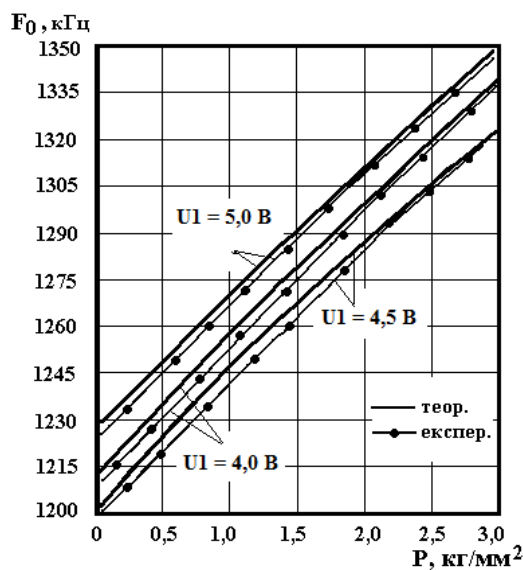


Рисунок 2 – Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від зміни тиску

Чутливість радіовимірювального перетворювача, складає 34 кГц/кг/мм^2 (рис.3). Як видно з графіка, найбільша чутливість приладу лежить у діапазоні від $0,01 \text{ кг/мм}^2$ до 1 кг/мм^2 і складає $40 - 34 \text{ кГц/кг/мм}^2$. Адекватність розробленої моделі в порівнянні з експериментом визначено у вигляді відносної похибки, розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень складає $\pm 3\%$.

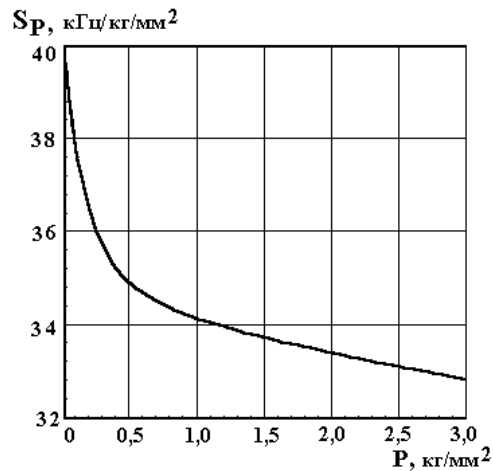


Рисунок 3 – Залежність чутливості від дії тиску

Висновки. Показана можливість прямого перетворення тиску в частоту на основі інтегральної схеми автогенератора, який складається з двох тензочутливих двостокових МДН-транзисторів та біполярного транзистора. Отримано аналітичну залежність функції перетворення. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача складає $40 - 34 \text{ кГц/кг/мм}^2$.

Список літератури

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. За редакцією З.Ю. Готри. В 3 томах. – Львів: Ліга-Прес, 2003. Т.2. – 595 с.
2. Барінов І.Н. Высокотемпературные датчики абсолютного давления на структуре «поликремний-диэлектрик» с улучшенными метрологическими характеристиками /И.Н. Барінов, А.В. Федулов, В.С. Волков // Датчики и системы. - 2012. - № 10. - с.2 - 6.
3. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 1999. – 276 с.
4. Осадчук А.В. Микроэлектронные частотные преобразователи на основе транзисторных структур с отрицательным сопротивлением / А.В. Осадчук – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 302 с.
5. Osadchuk A.V., Osadchuk I.A. Frequency transducer of the pressure on the basis of reactive properties of transistor structure with negative resistance // Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147168

Топтун А.В., аспірант, Бондаренко Ю.Ю., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси
anna_lapochka@bigmir.net, julybo110976@gmail.com

ОГЛЯД ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ В ДЕРЕВІ

Abstract. Review and analysis of piezoelectric converters that can be used for non-destructive detection of defects in the internal structure of a tree are carried out in this paper. The urgency of detecting defects in greenery, which can affect the resistance of wood to adverse weather conditions, is caused by the increasing frequency of negative consequences of the destruction of trees during storms.

Key words: piezoelectric transducer, non-destructive control, defect.

На сьогоднішній день існує велика кількість перетворювачів, які різняться за типами та призначенням. До найбільш поширених перетворювачів неруйнівного контролю можна віднести: контактні та імерсійні, прямі та з нахилом, фокусуючі та не фокусуючі та інші. Конструкційні особливості різних типів п'єзоперетворювачів для неруйнівного контролю, представлені на рис.1[1].

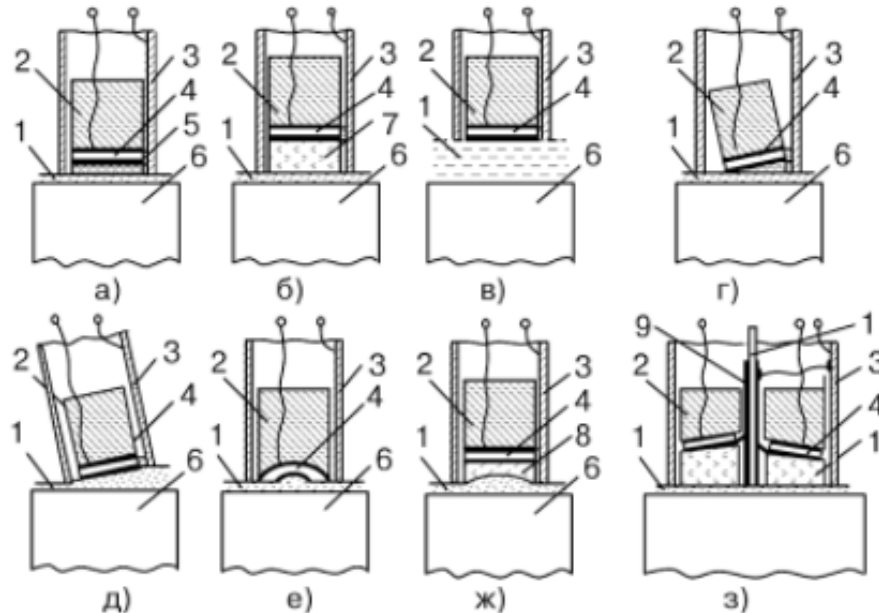


Рис.1. Основні типи п'єзоелектричних перетворювачів для неруйнівного контролю:
а) – контактний; б) – контактний з твердотільною УЛЗ; в) імерсійний;
г) – контактний з нахилом; д) – імерсійний з нахилом; е) фокусуючий;
ж) – з фокусуючою лінзою; з – роздільно-суміщений

П'єзоелектричний перетворювач – це пристрій, який використовує прямий та зворотній п'єзоєфекти, тобто перетворює електричну енергію в механічну та механічну в електричну енергію. Пристрій для неруйнівного контролю, з використанням п'єзоелектричних перетворювачів може включати в себе такі елементи, як: 1 – контактна або імерсійна речовина (спеціальна речовина с високим ступенем заломлення світла); 2 - демпфер (пристрій для зменшення вібрації від перетворювача); 3 – корпус; 4 – п'єзоелемент; 5 – протектор; 6 – досліджуваний об'єкт; 7 – твердотільна УЛЗ (лінія затримки), 8 – акустична лінза, 9 електроакустичний екран, 10 – призма.

Для проведення більш детального аналізу різних типів перетворювачів необхідно визначити густину та вологість досліджуваного об'єкта, а саме дерева (таб.1) [5].

Табл.1. Густина та вологість основних порід дерев

Порода	Густина, г/см ³		Вологість, %	Об'єм порожнин,
	Межі коливань	середнє		
Піхта	0,31—0,50	0,38	50-100	75
Ялина	0,30—0,56	0,42		73
Сосна	0,31—0,65	0,47		70
Модрина	0,43—0,82	0,63		59
Осика	0,32—0,61	0,47		70
Липа	0,33—0,62	0,47		70
Вільха	0,33—0,64	0,49		68
Береза	0,42—0,79	0,60		61
Бук	0,45—0,79	0,64		59
Клен	0,48—0,74	0,65		58
Дуб	0,46—0,88	0,68		56

Перш ніж розпочинати аналіз ультразвукових перетворювачів необхідно визначитися з їх режимами роботи. За поширеною класифікацією існує три основних режими, які залежать від ехосигналу та часових інтервалів, між якими він буде вимірюватись.

Перший режим заснований на вимірюванні часового інтервалу між першим відбитим та зондуючим ехосигналами, в якому використовуються контактні ПЕП. В другому режимі вимірювання часового інтервалу проводиться між ехосигналом меж середовища (той який фіксується на поверхні входу) та першим відбитим ехосигналом. При використанні третього режиму вимірювання часового інтервалу проводяться між послідовними відбитими ехосигналами [2]. Для другого та третього режиму використовуються імерсійні ПЕП або ж ПЕП з лініями затримки. Розглянемо більш докладно вказані типи п'єзоелектричних перетворювачів.

Контактні перетворювачі зазвичай використовують тоді, коли немає особливих вимог до якості акустичного сигналу, оскільки він вимагає високого рівня обробки поверхні досліджуваного матеріалу. Контактні перетворювачі з нахилом використовують для пошуку дефектів, які не паралельні поверхні, що контролюється, а також використовують для виявлення внутрішніх дефектів. А отже такі перетворювачі можуть слугувати для неруйнівного контролю внутрішньої структури дерева.

Перетворювачі з лінією затримки представляє собою звичайний сумісний перетворювач з лінією затримки, яка використовується для підвищення роздільної здатності поблизу поверхні. Ця перевага стала можливою завдяки мінімальній ширині мертвої зони, яка досягається тим, що на лінії затримки відбувається повне гасіння вібрації від перетворювача [3,4].

Імерсійні перетворювачі застосовують для дослідження об'єктів невеликих розмірів, які необхідно поміщати у ванну з рідиною, що дає можливість отримати більш стійкий контакт між перетворювачем та об'єктом.

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що для дослідження внутрішньої структури дерев та пошуку в них дефектів краще використовувати режим, заснований на вимірюванні часового інтервалу між першим відбитим та зондуючим ехосигналами та контактні перетворювачі з нахилом.

Список літератури

1. Шарапов В.М. и др. Электроакустические преобразователи / И.Г. Минаев, Ж.В. Сотула, Л.Г. Куницкая / Под ред. В.М. Шарапова. – Москва: Техносфера, 2013. – 296с
2. Теория и практическое применение ультразвукового прецизионного измерения толщины http://www.diagnostmp.ru/NDT/Application_NDT/theory2.htm
3. Линии задержки на ПАВ <http://www.t-rn.ru/kommunikacii-svyaz-cifrovye-pribory-i/linii-zaderzhki-na-pav.html>
4. Конспект лекцій: Ультразвуковий контроль <http://ekolink.ru/data/1/Leczii.pdf>
5. Плотность дерева различной влажности http://www.pereezd.net.ua/plotnost_dereva.php

Р.В.Трембовецька, к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченко, 460, м.Черкаси, 18006, Україна

Ю.А.Петрушко, магістр
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченко, 460, м.Черкаси, 18006, Україна

О.М. Чепурна, к.т.н.
ПМВП «Фотоніка Плюс»,
вул.Одеська 8, м.Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ ТА РОЗРОБКА СВІТЛОДІОДНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ВИБОРОМ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ДЛЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОКЛІНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ

***Abstract.** The ultimate goal of this work is to develop a light-emitting diode system with a choice of wavelength based on the main parameters of light emitting diodes such as dissipation power, the angle of beam opening, peak wavelength for medical and biological pre-clinical tests.*

Irradiation time, irradiation (continuous or impulsive), periodicity and duration of exposure are important for the interaction of light with biological objects. The absorption of visible radiation by bio-tissues depends on the properties of the skin and the physical properties (wavelength) of the visible radiation.

The part of the absorbed light energy can be converted into the energy of oscillatory processes, electron excitation, or dissociation of molecules. As a result, certain biological compounds are active or they become inactivate. Also, the absorbed energy can be used to excite fluorescence and phosphorescence in tissues.

To design a LED system, it is necessary to select LED on such parameters as: peak wavelength, wavelength range, beam angle, dissipation power. The reasons for choosing the light-emitting diodes are: universality; wide range of operating temperatures; cost efficiency; fire resistance; environmental friendliness.

So we examined the effect of light (visible, of ultraviolet ($\lambda \leq 380$ nm) and infra-red ($\lambda \geq 750$ nm) range) on biological objects and considered the processes that occur during the radiation. LEDs are also chosen according to the following characteristics: peak wavelength, wavelength range, the angle of beam opening, dissipation power. In the future it is necessary to develop a LED system with a choice of wavelength. This system will make it possible to conduct experiments and researches by setting the necessary wavelength depending on pathologies.

Keywords: LED system, LED, wavelength, radiation spectrum.

В медичній практиці все більше застосовуються немедикаментозні методи функціональної регулюючої терапії. Прогрес медичної науки і техніки в значній мірі визначається досягненнями в галузі оптичної електроніки. Оптико-електронна медична апаратура на основі лазерів, світловипромінюючих діодів, теплових та газорозрядних випромінювачів має невичерпні можливості при лікуванні хворих із різноманітними захворюваннями.

Метою даної роботи є розробка універсальної світлодіодної системи із можливістю вибору потрібної довжини хвилі (ультрафіолетового ($\lambda \leq 380$ нм), видимого та інфрачервоного ($\lambda \geq 750$ нм) діапазонів спектру) для проведення медико-біологічних доклінічних випробувань.

Здатність біотканин поглинати оптичне випромінювання залежить від таких параметрів: електронного складу його атомів та молекул, довжини хвилі випромінювання, товщини поглинаючого шару та внутрішніх параметрів (температура, концентрація поглинаючих центрів та ін.). Частина світлової енергії, що поглинулась може бути перетворена в молекулах біологічної речовини в енергію коливальних процесів, електронного збудження або дисоціації молекул. В результаті ті чи інші біологічні сполуки приходять в активний стан або

інактивуються. Також енергія, що поглинулась може бути використана для збудження флуоресценції і фосфоресценції в тканинах.

Дія світла на біологічний об'єкт в більшості випадків залежить від спектрального діапазону. Під дією УФ-променів в тканинах підсилюються окислювально-відновлювальні процеси, з'являються і підсилюються процеси фото ізомеризації (з утворенням вітаміну D₃), стимулюються процеси пігментоутворення і фотосинтезу. Світло видимої області спектру поглинається хромофорними групами білкових молекул, частково киснем. Найбільш важлива роль належить гемоглобіну, меланіну та деяким ферментам. Світло ближньої інфрачервоної області поглинається переважно молекулами білку та молекулярним киснем. Енергія інфрачервоних променів відносно невелика, тому при їх поглинанні спостерігається в основному підсилення коливних і обертових рухів молекул і атомів, броунівського руху, електролітичної дисоціації і руху іонів, прискорення електронів по орбітах.

На рисунку 1 зображено графік поглинання випромінювання біотканинами. Графік побудований А. П. Приваловим за даними професора S.A. Prahl з урахуванням стандартного гематокриту H=0,45.

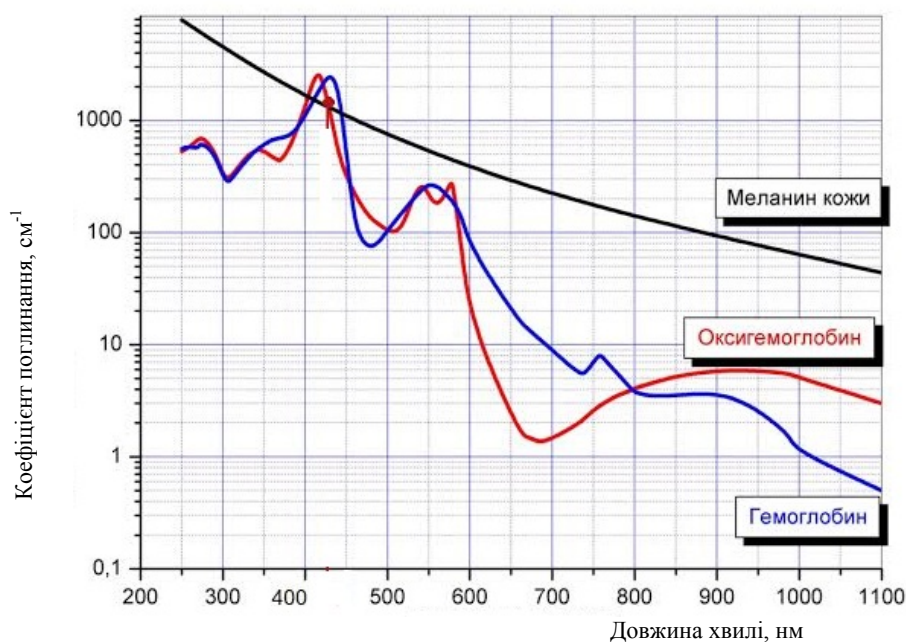


Рис. 1. Графік поглинання лазерного випромінювання гемоглобіном, оксигемоглобіном і меланіном в залежності від довжини хвилі

Причинами вибору саме світловипромінюючих діодів є: універсальність; широкий діапазон робочих температур; економічність; пожежостійкість; екологічність. Колір випромінювання визначається як напівпровідниковим матеріалом, так і легуючими домішками. Змінюючи склад напівпровідника можна легко змінювати довжину хвилі випромінювання. Для виготовлення світлодіодів найчастіше застосовують GaAs, GaP, SiC. В якості легуючих домішок використовуються: у GaP – цинк і кисень (червоні світлодіоди) або азот (зелені світлодіоди), у GaAs – кремній або цинк і телур (інфрачервоні світлодіоди).

Для розробки світлодіодної системи при підборі світлодіоди основними є параметри: пікова довжина хвилі, діапазон довжин хвиль, кут розкриття променя, розсіююча потужність. В даній системі були розглянуті світлодіоди в спектральному діапазоні від 350 до 940 нм, потужністю від 100 мВт, кут розкриття променів 55-65°.

Висновки. Таким чином нами було розглянуто дію світла(видимого, ультрафіолетового($\lambda \leq 380$ нм) та інфрачервоного($\lambda \geq 750$ нм) діапазонів) на біологічні об'єкти та процеси які відбуваються при випромінюванні. Також визначено основні характеристики світлодіодів для підбору оптимального варіанту. В подальшому необхідно розробити світлодіодну систему із можливістю підбором довжини хвилі залежно від поставленої задачі.

Дана система дозволить проводити in vivo експерименти та доклінічні дослідження, обираючи необхідну довжину хвиль залежно від патологій.

Список літератури

1. Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи: [монографія]/З.Готра, В. Корнага, В. Мартіросова, Г. Нікітський, І. Пастух, А. Рибалочка, В. Сорокін, В. Щиренко; ред.: В. Сорокін; НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, Нац. ун-т "Львів. політехніка", НАМН України, Ін-т медицини праці. - Київ: Авіцена, 2016. - 334, [1] с.
2. Коробов А. М. Фототерапевтичні апарати Коробова А. – Коробова В. серії «Барва»: науково – популярне видання / А. М. Коробов, В. А. Коробов, Т. О. Лісна. – Х. : 2015 – 176 с. ISBN 978-966-285-172-4
3. Шуберт Ф. Светодиоды /пер. с англ. под ред. Юновича А.Э. -2 изд. М.: Физматлит, 2008. - 496 с
4. Мынбаев К.Д. Технические применения светодиодных устройств. Учебное пособие. – СПб: НИУИТМО, 2016. – 54 с. Рис. 12. Библ. 10.
5. Беликов А.В., Скрипник А.В. Лазерные биомедицинские технологии(часть1). Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 116 с.
6. Серебряков В.А. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии в медицине». – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 266 с.
7. В.Е. Бугров, К.А. Виноградова. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.
8. Е.А.Шахно. Физические основы применения лазеров в медицине. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 129 с.
9. Ишанин Г.Г., Мальцева Н.К., Рождественский А.В., Сычевский А.Т., Хребтова В.П. Источники и приемники, ч.1: учебно-методическое пособие для вузов. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, 62 с.
10. Улащик В.С., Лукомский И.В. Общая физиотерапия: Учебник. – Мн.: Книжный дом, 2005. 512 с.

V.V. Tuz, Ph.D., Associate Professor,
v.tuz@chdtu.edu.ua

T. Yu. Kisil, Ph.D., associate professor
kisiltetyana@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvr, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ON THE EXTENTION OF THE OPERATING FREQUENCY RANGE OF BIMORPH PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS FOR DYNAMIC PRESSURE

Abstract. *The work is devoted to challenging issues of improving piezoelectric transducers for dynamic pressures. Research for improving the polymorphic, and the most common bimorph piezoelectric converters for dynamic pressures in particular, for obtaining new properties, expanding the operating frequency range, and improving the stability of the temperature and time parameters of piezoelectric converters of control systems, is relevant. Embodiments of converters according to the connection schemes of the generator and the amplifier are investigated in the paper.*

Key words: *bimorph transducer, electric-field vector, polarization vector, electric-field feedback vector, oscillating link, differentiated link, differentiated-inertial link.*

Piezoelectric transducers are widely used in the hydro and electro acoustics, measurement technologies and other fields to control and measure many physical quantities - force, dynamic and static pressures, viscosity and other quantities [1]. They have high sensitivity, small size and weight, high noise immunity, low level of own noise, increased radiation resistance. The development of piezoelectric transducers was carried out by many scientists: Evtuytov I.N., Jagupov R.G., Zhukov V.B., Sharapov V.M. and others. Significant progress in this field was shown which resulted in development of a large number of transducers [2]. However, main disadvantage of the transducers is a limited operating frequency range, caused by a small resonant frequency of the piezoelectric element. For example, to solve a number of problems in hydro acoustics piezoelectric transducers with a larger frequency range are required. Such traditional issues of piezoceramic transducers as temperature and time instability of piezoceramic parameters also impair the technical characteristics of transducers [3].

These problems were partially resolved in the works of Sharapov V.M. and Musienko M. P. [4]. However, researches have been mainly carried out for the monomorphic transducers. Moreover, some assumptions in the descriptions of the models were made, which resulted in some gaps in the investigations of transducers [5, 6].

Therefore, works devoted to improvements of the polymorphic, and the most common bimorph piezoelectric converters for dynamic pressures in particular, for obtaining new properties, expanding the operating frequency range, and improving the stability of the temperature and time parameters of piezoelectric converters of control systems, are relevant [7-10].

Work objectives – investigation of the converters embodiments according to the connection schemes of the generator and the amplifier (in parallel or forming an angle with the polarization vector).

Bimorph piezoceramic transducer CTS-19 was used during the research. (Fig. 1). The electric signal simulating mechanical impact on the piezoelectric element can be connected to the electrodes 1-1 / or 3-3/ while the input and output of the amplifier – to the electrodes 2-2 / or 4-4/. The amplifier is assembled using the circuit K140UD8. Input resistance is 4,4 MO, the gain ration - 10. To measure the response signal for a harmonic call, measurer ACH-46, millivoltmeter V7-38 and frequency meter CZ-57 were used. Impulse generator G5-67 and oscillograph S1-55 were used for measuring the pulse and transition characteristics.

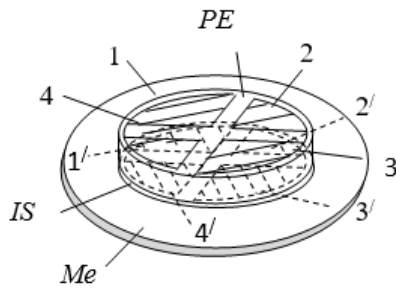


Fig. 1. Piezoceramic element:
1-1', 2-2', 3-3', 4-4' - electrodes; IS – isolator; Me - metal plate

Characteristics of the transducers according to the connection schemes of the generator and the amplifier are shown on Fig.2-4.

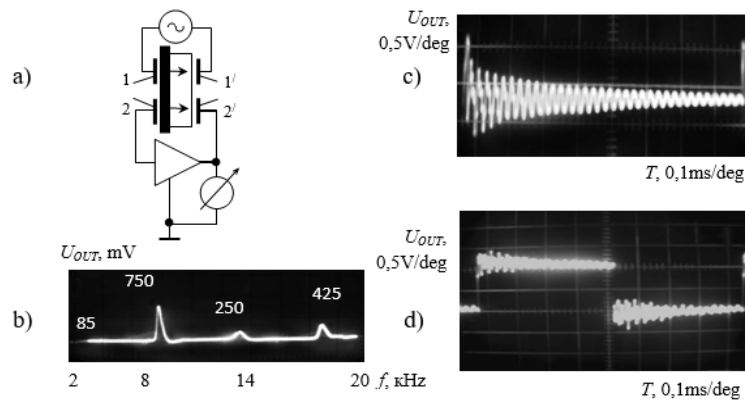


Fig. 2. Diagram and characteristics of the piezoelectric transducer:

a - diagram; b - responses to mechanical harmonic call; c – pulse characteristics; d - transition characteristics

In the case (Fig. 2, a) when the direction of the electric field vector E_g , created by the generator, and the direction of the electric field feedback vector E_f coincide with the polarization vector P (this is achieved by connecting the generator and the amplifier to the corresponding electrodes of the piezoelectric cell), the transducer is a vibratory element, however the characteristics of the transducer is deformed.

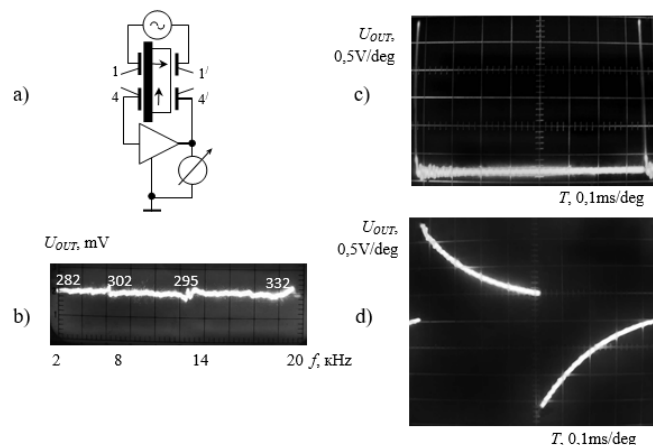


Fig. 3. Scheme and characteristics of the piezoelectric transducer:

a - diagram; b - responses to mechanical harmonic call; c – pulse characteristics; d - transition characteristics

The transducer having the vector E_g which is shunt for the vector P and vector E_f which is perpendicular for the vector P (domain-dissipative converter) is shown on the Fig. 3. In this case, the response dependence on the converter frequency is almost linear, and converter is a differentiating element having inertial properties.

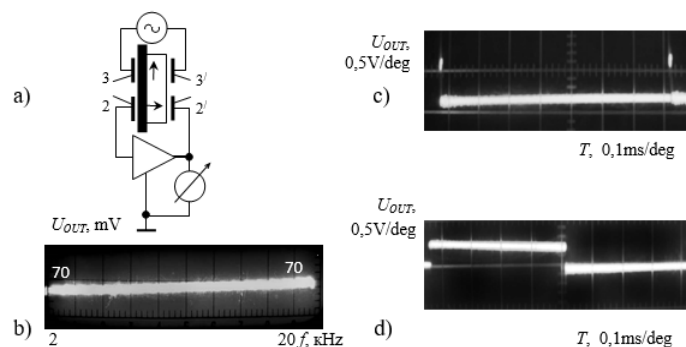


Fig. 4. Scheme and characteristics of the piezoelectric transducer:

a - diagram; b - responses to mechanical harmonic call; c – pulse characteristics; d - transition characteristics

The transducer having the vector E_g which is perpendicular for the vector P and vector E_f which is shunt for the vector P is shown on the Fig. 4. In this case, the converter is an airtight inertial-free amplifying element.

Conclusions. Thus, the piezoelectric transducer within an amplifier feedback circuit, depending on the connection scheme, may be a vibratory element (Fig. 2), a differentiating element having inertial properties and an airtight inertial-free amplifying element (Fig. 4). It was found out that the usage of a dual-feedback in the piezoelectric elements gives ability to create piezoelectric transducers having characteristics of the oscillatory, differential and differential-inertial element. Also it provides ability for creating bimorph piezoelectric transducers for dynamic pressures with a significantly extended working frequency range.

Bibliography

1. P'ezoélektrycheskye preobrazovately (Spravochnoe posoby) / Sharapov V.M. Mynaev I.H., Bondarenko Yu.Yu., Kysyl' T.Yu., Musyenko M.P., Rotté S.V., Chudaeva I.B. // Pid red. V.M. Sharapova. - Cherkassy: CHHTU, 2004. - 435 s.
2. Musyenko M.P. Polymorfnye p'ezokeramichni peretvoryuvachi tysku z prostoyu elektromekhanichnoyu nehatyvnoyu zvorotnoyu zv'yazkoyu: Dysertatsiya na zdobuttya naukovooho stupenya doktora Tekhn. Nauk: 05.13.05. - Odessa, 2006. - 172 s.
3. Braude H.V. O korrektsiyi chastotnykh ta fazovykh kharakterystyk posylyuval'nykh prystroyiv // ZHTF. - 1934r. - T. 4.- Vyp. 9, 10.
4. Sharapov V.M., Musyenko M.P., Sharapova YE.V. P'ezokeramichni peretvoryuvachi fizychnykh velychyn / Pid red. V.M. Sharapova. - Cherkassy: CHHTU, 2005. - 631.
5. Mahnitni ta dielektrychni prylady / Pid red. H.V. Kattsa. CH1. - M.: "Enerhiya", 1964. - 416 s.
6. Borodyn V.Z., Doroshenko V.A., Kramarov O.P., Madorsky V.V. Oriyentatsiyni efekty v sehnetokeramytsi pry diyi odnomernoho z'yednannya, paralel'no osi polyaryzatsiyi // P'yezoelektrychni materialy ta peretvoryuvachi. - Yzd-te Rostovskoho unyversyteta, 1971. - S. 49-58.
7. Sharapov V.M., Musiyenko M.P., Tuz V.V. Pro doslidzhennya p'yezoelektrychnykh transformatoriv z pidlyuvachem zaryadu // Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu spetsvypusk. - 2006. - s. 281-283.
8. Sharapov V.M., Musiyenko M.P., Tuz V.V. K doslidzhennyu p'yezoelektrychnykh peretvoryuvachiv z pidlyuvachem zaryadu // «Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu» - 2006. - № 1. - s. 98-101.
9. Sharapov V.M., Musiyenko M.P., Tuz V.V. P'ozeoelektrychnyy peretvoryuvach z p'yezoelementom v lantsyuzi zvorotnoyi zv'yazku pidlyuvacha zaryadu. // «Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu» - 2006. - № 2. - s. 118-120.
10. Sharapov V.M., Musiyenko M.P., Tuz V.V., Filimonov S. Yssledovanye preobrazovately s dvukhkonturnoy obratnoy svyaz'yu // V naukovu-tekhnichnu konferentsiya "Pryladobuduvannya stanu ta perspektyvy" m. Kyiv. - 2006. - s. 163.

ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРИТЕРІЇВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ

УДК 378.24

Бондаренко Ю.Ю., к.т.н., доцент

Черкасский государственный технологический университет

e-mail: julybo110976@gmail.com, тел. 8 (063) 458-85-59

Бондаренко М.А., к.т.н., доцент

Черкасский государственный технологический университет

e-mail: maxxiium23@gmail.com, тел. 8 (063) 377-90-73

ОПЫТ ЧЕРКАССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ ДОКТОРОВ ФИЛОСОФИИ

***Abstract.** Description of the process of selecting the model of preparation at the third level of higher education on the basis of the experience of participation of the Cherkassy State Technological University in the International Project Tempus NETSENG is given in this article.*

***Key words:** educational program, training model, doctor of philosophy, professional competence*

Начиная со второй половины 2014 года, после принятия Закона Украины «О высшем образовании» от 01.07.2014 № 1556-VII [1], достаточно оживленно началось обсуждение новой модели подготовки научных кадров на базе аспирантур в сфере высшего образования [2-6]. В соответствии с регламентированной процедурой имплементации Закона начало обучения в рамках новой модели должно было стартовать с сентября 2016 года, а предварительная информация о сути самой модели отсутствовала.

На этом этапе значительной поддержкой для Черкасского государственного технологического университета (ЧГТУ) в выборе перечня и структуры дисциплин, а также методик организации занятий в аспирантуре стало участие в Международном грантовом проекте TEMPUS NETCENG «Новая модель третьего цикла высшего инженерного образования в соответствии с рекомендациями Болонского процесса в Белоруссии, России, Украине». Срок реализации этого проекта был установлен в период с декабря 2013 года до конца ноября 2016 года, но затем был продлен до конца октября 2017 года для завершения запланированных, уже начатых, но еще до конца не завершенных активностей.

Целью данной статьи является распространение опыта, полученного ЧГТУ в рамках проекта TEMPUS NETCENG, что является одной из обязательных активностей проекта и требованием Европейского союза.

Проект TEMPUS NETCENG выполнялся по программе финансирования ЕС, как Межрегиональная программа Европейского соседства и партнерства с приоритетом реформирования учебных программ.

Целью проекта было внедрение в целевых университетах Украины, Белоруссии и России пилотных программ докторантуры в инженерии в соответствии с Болонским процессом, а также принципами Зальцбургского и Бухарестского форумов. Т.е. в рамках проекта необходимо было разработать, внедрить и аккредитовать учебные планы и программы учебных дисциплин, включая Европейскую систему перевода и накопления кредитов ECTS; установить новые структурированные докторские программы в целевой области в соответствии с требованиями рынка труда; разработать инновационные среды преподавания и обучения для докторских программ, а также приблизить высшее образование в вузах к рынку труда.

Новая модель третьего цикла высшего инженерного образования, предложенная европейскими партнерами, отображена в таблице 1.

Таблица 1. Параметры экспериментальной модели (докторской) программы третьего уровня NETCENG

1. Длительность программы	3 года (очное обучение) 5 лет (заочное)
2. Академическое содержание	Студенты (докторанты) посещают академические занятия по набору дисциплин. В набор дисциплин входят "специальные или корневые" дисциплины и "переносимые или мягкие" дисциплины. Обязательные дисциплины и дисциплины "по выбору"
3. Оценка трудоемкости загрузки студента в кредитах ECTS	Всего (за 3 года) 360 кредитов, из них: 240 кредитов за академическое содержание и 120 кредитов за работу над диссертацией. Отражение количества набранных кредитов в документе о завершении обучения
4. Практическая направленность подготовки	Выполнение части обучения у неакадемических партнёров университета
5. Мобильность аспирантов	Участие в международных докторских школах
6. Наличие контрактных отношений	Университет - научный руководитель - студент
7. Научное руководство	Наличие тренингов для научных руководителей и их сертификация
8. Технические ресурсы	Открытая он-лайн система мониторинга выполнения плана обучения для каждого студента
9. Состав специализированных ученых советов	Участие зарубежных учёных в Совете по оценке диссертации

С учетом Закона Украины «О высшем образовании» от 01.07.2014 № 1556-VII данная модель для ЧГТУ была принята в редакции, представленной в таблице 2.

Таблица 2. Параметры экспериментальной модели (докторской) программы третьего уровня ЧГТУ

1. Длительность программы	4 года (очное обучение)
2. Академическое содержание	Все дисциплины подготовки делятся на обязательные (нормативные) дисциплины и «дисциплины по выбору» (вариативная часть подготовки). В набор дисциплин могут входить общие дисциплины, специальные дисциплины и дисциплины, соответствующие тематике научной работы аспиранта.
3. Оценка трудоемкости загрузки студента в кредитах ECTS	Всего (за 4 года) 60 кредитов на образовательную часть подготовки, из них: 36 кредитов за академическое содержание и 24 кредита за практическую работу. Отражение количества набранных кредитов в документе о завершении обучения (проект).
4. Практическая направленность подготовки	Тематика обучения аспирантов выбирается исходя из требований рынка и в рамках перспективных отраслей развития науки и техники Украины. Часть обучения может выполняться у неакадемических партнёров университета.
5. Мобильность аспирантов	Рекомендуется участие аспирантов в международных школах, участие в программах обмена при проведении научных исследований
6. Наличие контрактных отношений	Рекомендуется в целях обеспечения гарантий подготовки заключение трехсторонних контрактов между университетом, научным руководителем и студентом на подготовку доктора философии
7. Научное руководство	Научным руководителем при подготовке доктора философии может выступать научно-педагогический сотрудник, отвечающий квалификационным требованиям (научные публикации в данной сфере, зарубежные научные публикации, научная школа и т.д.). Рекомендуется проведение тренингов для научных руководителей и их сертификация.
8. Технические ресурсы	Для обучения докторов философии и мониторинга качества их подготовки могут использоваться он-лайн ресурсы, информационные и интерактивные технологии.

В качестве комментариев следует отметить, что на начальном этапе выполнения проекта все университеты партнеры представили свои действующие модели подготовки научных кадров. При этом модели подготовки, действующие в Украине, Белоруссии и России, хоть и отличались незначительно друг от друга, но имели общую базу, заложенную еще во времена Советского Союза. Модели же европейских партнеров (Литвы, Германии и Великобритании) по некоторым аспектам (например, состав специализированных ученых советов, процедура защиты и присуждения научной степени и т.п.) довольно существенно отличались.

Для наполнения учебных планов подготовки докторов философии европейскими партнерами был предложен пакет дисциплин (таблица 3): 8 основных, регламентирующих специфику инженерной подготовки, и 3 вспомогательных дисциплины, универсальных для всех специальностей и направленных на формирование, так называемых «мягких» навыков, необходимых всем докторам философии.

Таблица 3. Перечень дисциплин, рекомендованных NETCENG для внедрения в программы третьего уровня инженерной подготовки

Основные дисциплины	Вспомогательные дисциплины
1. Системные модели и моделирование (5 ECTS);	1. Эффективная коммуникация в группах (2 ECTS);
2. Сенсоры в исследованиях (9 ECTS);	2. Теория и практика исследований (2 ECTS);
3. Робототехнические системы (9 ECTS);	3. Выживание на рынке труда (карьерный менеджмент) (2 ECTS).
4. Материаловедение и термическая обработка (2 ECTS);	
5. Математическое моделирование в экологии (9 ECTS)	
6. Техника процесса спутникового изображения (9 ECTS)	
7. Навигация в транспортных системах (9 ECTS)	
8. Мощная электроника и системотехника (3 ECTS)	

Для освоения этих дисциплин европейскими партнерами (Вильнюсским техническим университетом имени Гедеминуса, Техническим университетом Берлина и Университетом Брунеля (Лондон)) были организованы и проведены тренинги, летние докторские школы и мастер-классы, где были представлены презентационные материалы по дисциплинам, организованы практические работы с программным обеспечением и оборудованием, тематические экскурсии. Дальнейшая работа предполагала адаптацию полученных материалов и разработку собственных учебных материалов уже внутри каждого университета.

Для работы по созданию собственных программ подготовки в ЧГТУ были созданы рабочие группы как на уровне университета в целом, так и проектные группы по каждой специальности подготовки научных кадров в отдельности. На сегодняшний момент в ЧГТУ лицензированы девять программ подготовки докторов философии, семь, из которых относятся к инженерным специальностям. Суммарный объем лицензии на подготовку докторов философии в инженерии в ЧГТУ составляет 32 человека.

Руководствуясь тем, что образовательно-научная программа подготовки на третьем уровне должна включать не менее четырех составляющих для приобретения будущим доктором философии набора компетентностей в соответствии с Национальной рамкой квалификаций, как указано в [7,8], а также руководствуясь рекомендациями европейских партнеров и методическими рекомендациями Эразмус+ офиса на Украине [9] в ЧГТУ был определен перечень нормативных и вариативных дисциплин по каждой специальности аспирантуры. Для формирования общенаучных (философских) компетентностей, универсальных навыков исследователя и приобретения языковых компетентностей был предложен общий набор нормативных дисциплин, а также довольно обширный перечень дисциплин по выбору для всех специальностей, причем для каждой из трех указанных составляющих предусмотрено изучение 1 нормативной и 1 вариативной дисциплины. Четвертая составляющая учебного плана была направлена на формирование глубоких знаний по специальности, в рамках которой соискатель проводит исследование, и соответственно определялась проектной группой каждой отдельно взятой специальности в объеме 12 кредитов нормативной подготовки и 6 кредитов вариативной подготовки (рис.1).

Аналогичные требования предъявляются и к членам Совета, которые будут принимать решение о присуждении научной степени, а также к научному руководителю или консультанту соискателя.

Процедура поступления в аспирантуру (докторантуру) также несколько отличается от той, что принята у нас. Соискатель должен иметь степень магистра в той же или родственной области, предоставить рекомендации двух учёных, работающих в этом научном направлении, приложить свою автобиографию, список своих научных работ и их копии, а также научный реферат. Кроме того, соискатель проходит собеседование, на котором должен показать свой уровень профессиональной подготовки, аргументировать свою мотивацию к обучению в аспирантуре, а также показать и подтвердить уровень владения иностранным языком, поскольку часть собеседования проводится на английском языке.

Модели обучения и промежуточной аттестации в Литве аналогичны тем, что приняты в Украине. На первом году обучения докторант обязан изучать обязательные, выборочные и специализированные модули, далее он занят исключительно научной работой. При этом, раз в полгода он проходит промежуточную аттестацию на кафедре и отчет подается Комитету. В конце каждого года докторант предоставляет Комитету годовой отчет о выполнении плана работ, выписку протокола кафедры и детальный проект плана работ на следующий год докторантуры. Требования к структуре и объему автореферата и диссертации также аналогичны тем, что приняты в Украине.

Далее будет приведен сценарий допуска к защите, самой защиты и принятия решения о присуждении степени, который для Украины еще не принят. Для допуска к защите диссертанта в ВТУ им. Гедиминаса основные результаты его диссертации должны быть опубликованы не менее чем в 3-х статьях, напечатанных в рецензируемых журналах, из них минимум 2 статьи должны быть опубликованы в реферируемых научных журналах, имеющих индекс цитирования в базе данных института Научной информации „ISI Web of Science“ и минимум 1 статья – в зарубежном научном журнале. Кроме того, результаты научных исследований должны быть представлены на семинарах других университетов, проводящих исследования, соответствующие тематике диссертации, а также на научных конференциях, при чем минимум один доклад диссертант должен лично представить на международной конференции за рубежом.

Подготовленную диссертацию докторант представляет на профильной кафедре. Кафедра назначает двух рецензентов, которые оценивают диссертацию и уровень её готовности, а также научные статьи, опубликованные диссертантом. После чего Кафедра дает свою рекомендацию и диссертант подает документы в Комитет. Председатель Комитета не позднее, чем через 2 недели после получения документов, назначает еще 2 рецензентов и организывает заседание Комитета по рассмотрению материалов диссертации. За 2 месяца до защиты диссертации председатель Комитета созывает открытое заседание Комитета, в котором участвуют диссертант и его руководитель. Комитет слушает доклад диссертанта, который длится около 20 минут, оценивает уровень диссертации и принимает решение. Если диссертация соответствует всем требованиям, Комитет формирует Совет, состоящий из пяти научных сотрудников, и одного из его членов назначает председателем Совета. При чем, минимум два члена Совета должны быть научными сотрудниками, не относящимися к учреждению докторанта и минимум один член Совета должен быть из зарубежного научного учреждения. Работу оценивают два оппонента.

Диссертации защищаются на открытом заседании Совета и процедура защиты аналогична принятой на сегодняшний день в Украине. Получив решение Совета о присуждении научной степени, протокол заседания, подписанный председателем Совета и подтвержденный аудио или видеозаписью, ректор университета и председатель Совета подписывают диплом доктора наук для соискателя.

Модели защиты диссертаций, принятые в Германии и Великобритании, отличаются спецификой создания комиссий для заслушивания материалов диссертаций и назначения оппонентов, но в целом процедура защиты и присуждения научной степени близка к описанной. В Техническом университете Брунеля (Лондон), например, диссертант и его оппоненты не должны быть знакомы друг с другом и не должны контактировать в течение 6

месяцев до защиты, если будет нарушено это условие, то необходима будет смена оппонентов. Кроме того, диссертант может не иметь научного руководителя и самостоятельно выполнять научную работу, результаты которой оценивают исключительно оппоненты. Научный руководитель не имеет права голоса при защите диссертационных работ соискателями. При наличии научного руководителя у диссертанта, он может быть не приглашен на защиту работы, а если приглашен, то выполняет роль немого слушателя. На защите диссертации, кроме диссертанта и оппонентов, назначенных университетом, присутствует только секретарь, который фиксирует процесс защиты в виде стенограммы. Результатом рассмотрения диссертационной работы является один, из четырех выводов:

- присвоить научную степень;
- вернуть диссертационную работу для устранения мелких замечаний (на 1 месяц) и после ликвидации замечаний оппонентов присвоить научную степень;
- вернуть диссертационную работу для устранения существенных замечаний (до 6 месяцев), после чего повторно рассмотреть работу и принять окончательное решение;
- отклонить работу.

В Техническом университете Берлина соискатель при поступлении на третий уровень подготовки (на программу подготовки PhD) должен прийти к потенциальному руководителю (профессору) со своей идеей. Если профессор ее одобрит и даст согласие на руководство, то соискатель будет к нему прикреплен для написания научной работы. Если нет идеи или эта идея не вдохновила ни одного профессора, то можно учиться два года самостоятельно без прикрепления к руководителю. При чем, ответственность за развитие образования и науки в стране возлагается на федеральные и земельные органы власти и в компетенцию Правительства земель входит правовой надзор за деятельностью высших учебных заведений, в том числе за выбор с учетом местных условий основных направлений политики в области высшего образования, т.е. утверждение программ подготовки.

По какому пути пойдет Украина, на сегодняшний день, пока не известно. Будем надеяться, что в нашей стране найдут свое отображение только лучшие практики европейских традиций.

Список литературы

1. Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>
2. Коломієць С. С. Концепція створення освітньо-наукової програми підготовки за освітньо-науковим рівнем – доктор філософії (PhD) / С. С. Коломієць, О. С. Синеккоп // Неперервна професійна освіта: теорія і практика. – 2014. – Вип. 3-4. – С. 5–11. – Режим доступу: http://irbisnbnv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbnv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/NPO_2014_3-4_3.pdf
3. Національна доповідь про стан і перспективи розвитку освіти в Україні / Нац. акад. пед. наук України; за заг. ред. В.Г. Кременя. – К. : Педагогічна думка, 2016. – С. 162–163.
4. Рачинський А. П. Інституційно-правові засади підготовки й атестації наукових і науково-педагогічних кадрів в Україні: становлення й розвиток [Електронний ресурс] / Рачинський А. П. – Режим доступу: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/txts/Rachinskiy.pdf>
5. Регейло І. Підготовка наукових і науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації в Україні у ХХ –початку ХХІ століття : монографія / І. Регейло. – К. : Освіта України, 2014. – 704 с.
6. Спірін О. М. Досвід підготовки наукових кадрів з інформаційно-комунікаційних технологій в освіті (до 15-річчя Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України) /О. М. Спірін, А. В. Яцишин // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2014. – № 2. – С. 3–8.
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 «Про Порядок підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/261-2016-%D0%BF>
8. Розроблення освітніх програм. Методичні рекомендації / Авт.: В.М. Захарченко, В. І. Луговий, Ю. М. Рашкевич, Ж. В. Таланова / За ред. В. Г. Кременя. – К. : ДП «НВЦ «Пріоритети», 2014. – 120 с.
9. Методичні рекомендації «Розроблення освітніх програм» НАПН України Національний Темпус / Еразмус+офіс в Україні. – Київ : 2014 – 119 с.

А.В. Збруцкий, д.т.н., профессор,
НТУУ КПИ им. Игоря Сикорского, г.Киев, zbrutsky@dacis.kpi.ua
Ю.В. Бобков, к.т.н., доцент,
НТУУ КПИ им. Игоря Сикорского, г.Киев, y.bobkov@kpi.ua

ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ ДОКТОРОВ ФИЛОСОФИИ В КПИ им. ИГОРЯ СИКОРСКОГО И ПРОЕКТ NETCENG

***Abstract.** The questions of preparation PhD on the engineering in Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute and the introduction of European experience, obtained within the framework of the NETCENG project of the European Union, are considered in the work. The main aspects of training doctoral at the Technical University of Berlin, the University of Brunel (London) and the Vilnius Gediminas Technical University are being analyzed. The questions of construction of an educational component of preparation PhD are considered.*

Key words: doctor of philosophy, educational-scientific program, project NETCENG.

Одной из важных задач высшей школы является подготовка кадров высшей квалификации – докторов философии. Степень доктора философии является для Украины новой и впервые введена Законом Украины «О высшем образовании» (2014г.). В соответствии с этим законом доктор философии- этообразовательная и одновременно первая научная степень, которую получают на третьем уровне высшего образования на основе степени магистра. [1]

Очевидно, что для эффективного решения этой задачи следует учесть значительный опыт, который был накоплен европейскими университетами, где подготовка на третьем уровне ведется достаточно давно.

С декабря 2013г. в Украине реализуется проект технической помощи Европейского Союза«Новая модель третьего уровня инженерного образования в соответствии с Болонским процессом в Беларуси, России и Украине» - NETCENG. Участниками этого проекта от Украины стали: Министерство образования и науки Украины, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (главный координатор проектаот Украины), Национальный авиационный университет, Черкасский государственныйтехнологический университет иГосударственноепредприятие «Конструкторское бюро «Южное». Базовым факультетом КПИ им. Игоря Сикорского для выполненияивнедрения результатов проекта стал факультет авиационных и космических систем.

Работа в рамках проекта позволила ознакомиться с порядком подготовки докторов философии в передовых европейских университетах, в частности, в Техническом университете Берлина, Университете Брюнеля (Лондон) и Вильнюсском техническом университете им. Гедиминаса.

Особенности подготовки докторов философии (PhD)и получения степени в университетах ЕС представлены в таблице 1.

В целом программы подготовки сходны, но имеются некоторые национальные особенности (см. таблицу 1). Основной интерес представляет введенная Законом Украины «О высшем образовании» образовательная составляющая программы подготовки докторов философии. Проведенный анализ образовательной компоненты программы подготовки в указанных университетах показывает, что в большинстве случаев ее объем установлен на уровне 30 кредитов ЕКТС (в соответствии с Законом Украины «О высшем образовании» - 30-60 кредитов ЕКТС).Конкретный состав образовательной программы зависит от специальности, но содержит общие дисциплины, направленные на освоение общенаучных методов исследований, навыков ведения проектов и социальной адаптации в профессиональной среде, педагогики. [2]

Таблица 1 – Особенности подготовки докторов философии в университетах ЕС

Название университета	Вильнюсский технический университет им. Гедеминоса	Технический университет Берлина	Университет Брюнеля (Лондон)
Формы и сроки обучения.	Очная (до 4 лет), заочная (до 6 лет).	Очная, заочная. Без ограничений срока обучения.	Очная, 3 года (с образовательной программой–4 года).
Плата за обучение.	Бесплатно или 8500 евро в год.	Бесплатно. Ежегодный взнос 250 евро.	Платно, 16000 фунтов в год.
Отчетность аспиранта.	Ежегодные отчеты, защита диссертации.	Защита диссертации.	Ежегодные отчеты, защита диссертации.
Присуждение степени.	Совет (5 человек) принимает окончательное решение.	Совет (4 человека) принимает окончательное решение.	Совет (2 человека) принимает окончательное решение.

Основные требования к подготовке докторов философии в Украине были конкретизированы в Постановлении Кабинета Министров Украины (КМУ) от 23.03.2016г. № 261 «Про утверждение Порядка подготовки соискателей высшего образования степени доктора философии и доктора наук в высших учебных заведениях (научных учреждениях)».[3]

В соответствии с этим постановлением подготовка соискателей высшего образования степени доктора философии в аспирантуре осуществляется по образовательно-научной программе и учебному плану, утверждаемым ученым советом высшего учебного заведения для каждой специальности. Образовательно-научная программа должна включать не менее четырех составляющих:

- 1) получение глубинных знаний по специальности (группе специальностей). Ориентировочный объем не менее 12 кредитов ЕКТС;
- 2) овладение общенаучными (философскими) компетентностями. Ориентировочный объем 4-6 кредитов ЕКТС;
- 3) приобретения универсальных навыков исследователя. Ориентировочный объем не менее 6 кредитов ЕКТС;
- 4) получение языковых компетентностей, достаточных для представления и обсуждения результатов своей научной работы на иностранном языке. Рекомендуемый объем составляет 6-8 кредитов ЕКТС.

Предложенная структура подготовки определяет ориентировочный объем каждой образовательной составляющей, позволяя реализовать минимальный объем образовательной программы на уровне 30 кредитов ЕКТС. Как видим, в образовательной составляющей программы учтен как опыт подготовки кандидатов наук по ранее существовавшей программе аспирантуры, так и европейский опыт. Основное отличие от рассмотренных выше программ подготовки европейских университетов заключается в наличии дисциплин для получения языковых компетентностей и отсутствии дисциплин по социальной адаптации в профессиональной среде.

В соответствии с постановлением КМУ № 261 и с учетом европейского опыта, полученного в ходе участия в проекте NETCENG, в КПИ им. Игоря Сикорского и, в частности, на факультете авиационных и космических систем, была внедрена образовательная составляющая программы подготовки доктора философии, объем которой составляет 60 кредитов ЕКТС и которая включает:

1. Цикл общей подготовки (33 кр. ЕКТС):
 - 1.1. Учебные дисциплины для получения глубинных знаний по специальности (23 кр. ЕКТС).
 - 1.2. Учебные дисциплины для овладения общенаучными (философскими) компетентностями (6 кр. ЕКТС).

1.3. Учебные дисциплины для получения языковых компетентностей (4 кр. ЕКТС).

2. Цикл профессиональной подготовки (27 кр. ЕКТС):

2.1. Учебные дисциплины для получения универсальных компетентностей исследователя (23 кр. ЕКТС).

2.2. Учебные дисциплины для получения языковых компетентностей, достаточных для представления и обсуждения результатов научной работы на иностранном языке в устной и письменной форме (4 кр. ЕКТС).

При этом, общий объем учебных дисциплин по выбору аспиранта составляет не менее 25 % от общего объема программы подготовки.

При формировании учебных программ дисциплин широко использовались материалы 13 учебных программ дисциплин, переданных европейскими университетами в рамках проекта NETCENG.

Таким образом, внедренная программа подготовки докторов философии позволяет реализовать лучший европейский опыт, что в последующем даст возможность для реализации программ по совместной подготовке и защите диссертаций как на базе КПИ им. Игоря Сикорского, так и европейских университетов. Пилотный проект в этом направлении в настоящее время реализуется совместно с Варшавским университетом технологий, с которым подписано соглашение о защите диссертаций кандидата наук/доктора философии на совместном совете.

Список литературы

1. Закон України «Про вищу освіту». - Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> - Дата доступа: 02.09.17 - Закон України «Про вищу освіту».

2. NETCENG.TeachingMaterial. - Режим доступа: <http://netceng.eu/index.php/outputs/teaching-material> - Дата доступа: 02.09.17 - NETCENG.TeachingMaterial.

3. Постанова Кабінету Міністрів України від 23.03.2016г. № 261 «Порядок підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)». - Режим доступа: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=248945529> - Дата доступа: 02.09.17 - Постанова Кабінету Міністрів України від 23.03.2016г. № 261 «Порядок підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)».

Т. Ю. Кісіль, к.т.н., доцент
kisiltetyana@ukr.net

В.В. Скрипник, пошукач
Skripnik07@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

РОЗКРИТТЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ НАВЧАННЯ БАКАЛАВРІВ НА ПРИКЛАДІ ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА МІКРОСИСТЕМ»

Abstract. *The work is devoted to the actual issues of organizing the process of training bachelors on an example of discipline "Technical Mechanics of Microsystems". In our time, the problems of the methodology attracted the attention of specialists in all branches of scientific knowledge, due to the needs of social and scientific and technological development, a significant increase in the role of science in society, the complication of scientific problems. The purpose of teaching is to organize an effective teaching of each student in the process of transferring information, monitoring and evaluating its learning. The effectiveness of the learning process to a large extent depends on the correct choice of teaching methods and the logic of their application.*

It is established that the methodology of teaching technical disciplines is intended to provide a high theoretical level of teaching, scientific, and feasibility of presentation of the material. The author suggests, when developing the discipline "Technical Mechanics of Microsystems", to be guided by the following considerations: the lecture material should consist of two parts. The first part should be general education and contain general information about motion, strain-strain state, displacement transducers, resistance to movement of device elements. The second part of the program should include the calculation of the parameters of modern micromechanical devices used in technology (pressure sensors, accelerometers, microscopes, etc.). Their engineering analysis, using modern software.

Key words: *methodology, didactics, teaching methods, microsystem technology (MST), stress-deformed state, micro devices*

У наш час, до проблем методології привернуто увагу фахівців всіх галузей наукового знання, що обумовлено потребами соціального і науково-технічного розвитку, значним підвищенням ролі науки в житті суспільства, ускладненням наукових проблем. Методологічні функції виконує вся система філософського знання, тому найбільш загальною основою методології пізнання є філософія. Разом з тим, це передбачає існування низки методологій конкретних наук. [1].

Поняття «методологія» (methodos – метод, шлях дослідження, пізнання, logos – вчення) трактується неоднозначно. У філософському енциклопедичному словнику це - система принципів і способів організації і побудови теоретичної і практичної діяльності, а також вчення про цю систему [2].

В Українському педагогічному словнику «методологія» трактується як:

- 1) сукупність прийомів дослідження, що застосовуються в якійсь науці;
- 2) вчення про методи пізнання та перетворення дійсності [3].

Сучасна методологія науки вивчає, окрім методів, засобів та прийомів розбудови різних систем знань, всю природу наукового пізнання, принципи побудови і способи його одержання, а також його генезис, історію та сучасний стан. Методологія науки дає характеристику компонентів дослідження: об'єкту і предмету, завдань, сукупності дослідницьких методів і засобів, необхідних для їх застосування, а також формує уявлення про шлях наукового пошуку.

Метою викладання є організація ефективного учення кожного студента в процесі передачі інформації, контролю і оцінки її засвоєння. Результативність процесу навчання неабиякою

мірою залежить від вірного вибору методів викладання і логіки їх застосування. Галуззю педагогіки, направленої на вивчення методики викладання, є дидактика.

Дидактика як наука займається вивченням і розкриттям теоретичних основ організації процесу навчання (закономірностей, принципів, методів навчання), а також пошуком і розробкою нових принципів, стратегій, методик, технологій і систем навчання.

Предметом методики викладання є сам процес навчання визначеної учбової дисципліни. Що полягає у вивченні закономірностей цього навчання і встановленні на їх основі нормативних вимог до діяльності викладачів.

Методи навчання - це методи викладання-учення. У педагогіці не раз робилися спроби створити класифікатор методів навчання.

Існують різні типології цього процесу, проведено систематизацію за різними підставами. Наприклад, перша група включає методи передачі і засвоєння знань (їх іноді називають словесними). До них відносять бесіду, розповідь, дискусію, лекцію, роботу з текстом. Друга група - це практичні методи навчання (вправи, практичні заняття, лабораторні експерименти). До третьої групи методів відносять контроль і оцінку результатів навчання (самостійні і контрольні роботи, тестові завдання, заліки і іспити, захист проєктів).

Методика викладання – це логічний процес реалізації методів навчання. Методика викладання технічних дисциплін покликана забезпечити високий теоретичний рівень викладання, науковість, і дохідливість викладу матеріалу. Як сукупність методів методика викладання нерозривно пов'язана із змістом науки, що вивчається, і її методологією. На багатьох прикладах можна наочно прослідкувати взаємність методології і методики викладання. Так, наприклад, не розробленість методики самим негативним чином позначається на методологічному рівні лекцій, і навпаки.

Методика, як вчення про методи навчання і виховання є частиною загальної теорії освіти і навчання - дидактики, предметом якої є освіта, навчання і виховання студентів. Хороша методика викладання забезпечує єдність інтересів викладача і студентів на основі з'єднання необхідності вивчення будь-якої дисципліни з переконанням цієї необхідності. В цьому відношенні методи активного навчання є одним з найбільш перспективних шляхів вдосконалення професійної підготовки фахівців [4].

Мета роботи – дослідити методику викладання дисципліни «Технічна механіка мікросистем», що вивчається бакалаврами другого року навчання галузі знань 0510 «Метрологія, вимірювальна техніка та інформаційно-вимірювальні технології» в Черкаському державному технологічному університеті та розкрити теоретичні основи організації процесу навчання.

Мікросистемна техніка (МСТ) - науково-технічний напрям, орієнтований на створення в обмеженому об'ємі твердого тіла (чи на його поверхні) мікросистем, що є впорядкуванням композиції областей із заданим складом, структурою і геометрією, статична і динамічна сукупність яких забезпечує реалізацію процесів генерації, перетворення, передачі енергії і руху в інтеграції з процесами сприйняття, обробки, трансляції і зберігання інформації при виконанні запрограмованих операцій. У європейській літературі використовується термін "мікросистема"(МС) - інтелектуальна мініатюризована система, що має сенсорні, процесорні або актуаторні функції, де використовується комбінація двох і більше пристроїв, що інтегровані в одному чіпі і діють із застосуванням електричних, механічних, оптичних, біологічних, магнітних і інших ефектів. [5].

Мета дисципліни: донести до студентів основи теорії механічних коливань; аналіз напружено-деформованого стану несучих елементів; методи демпфування коливань. умови еквівалентності різних систем сил, розглянути сучасні конструкції мікроприладів

Завдання дисципліни: навчити студентів застосовувати одержані знання, навчити основам інженерного розрахунку елементів конструкцій, що використовуються за даною спеціальністю техніки на міцність і надійність, виконувати розрахунки і проєктування електромеханічних систем; розвивати у студентів логічне мислення, вміння робити узагальнені висновки.

Короткий перелік тем з дисципліни:

1. Основи аналізу коливань механічної системи.
2. Напружено-деформований стан несучих елементів мікромеханічних приладів.

3. Демпфірування коливань.
4. Електромеханіка мікросистем.
5. Мікроакселерометри.
6. Мікромеханічні гіроскопи.
7. Інженерний аналіз мікросистемних пристроїв.

В результаті вивчення дисципліни студенти отримують наступні знання: структуру сучасних конструкцій мікроприладів, фізичні процеси, динамічну взаємодію між окремими її частинами; схеми устрою, принципи роботи та області застосування типових конструкцій деталей, вузлів і механізмів машин; сили, які діють у механізмі; критерії працездатності та інженерні методи розрахунку та проектування.

По закінченню вивчення дисципліни «Технічна механіка мікросистем» студенти набувають наступні навички: проводити розрахунок параметрів сучасних мікромеханічних приладів, що використовуються в техніці (датчиків тиску, акселерометрів, мікрогіроскопів, мікродзеркал); проводити інженерний аналіз, з використанням сучасних програмних засобів.

Висновки. Таким чином, при розробці програми дисципліни «Технічна механіка мікросистем», автори керувались наступними міркуваннями: лекційний матеріал повинен складатися з двох частин. Перша частина має бути загальноосвітньою і містити загальні відомості про рух, напружено-деформований стан, перетворювачі переміщення, опір руху елементів приладів. Друга частина програми має містити розрахунок параметрів сучасних мікромеханічних приладів, що використовуються в техніці (датчики тиску, акселерометри, мікрогіроскопи та ін.). Їх інженерний аналіз, з використанням сучасних програмних засобів.

Список літератури

1. Внукова О. М. Методологічні засади професійної освіти: навчальний посібник для студентів напрямів підготовки 6.010104 Професійна освіта (Технологія виробів легкої промисловості), 6.010104 Професійна освіта (Дизайн)/О.М. Внукова. – К.:КНУТД, 2015.–198 с.
2. Философский энциклопедический словарь/под ред. А. Ф. Ильичева, П. Н. Федосеева, С. М. Ковалева, В. Г. Панова. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 836 с.
3. Гончаренко С. Український педагогічний словник. – К.: Либідь, 1997. – 376 с. 189 23.
4. <http://www.ipedahohika.com/lirefs-525-1.html> (активний станом на 25.07.2017)
5. Техническая механика микросистем: учебное пособие // под ред. В.Н. Тимофеева. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. – 176 с.

Таланчук П.М., д.т.н., професор,
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»
президент Академії інженерних наук, м. Київ, Україна, talanchuk_pm@ukr.net
Струтинський В.Б., д.т.н., професор,
НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ, Україна, kvm_mmi@ukr.net
Кірюхін М. М., к.т.н., доцент,
Спілка наукових та інженерних об'єднань, м. Київ, Україна, snio@bigmir.net

**СПІЛЬНА ДІЯЛЬНІСТЬ АКАДЕМІЇ ІНЖЕНЕРНИХ НАУК УКРАЇНИ ТА СПІЛКИ
НАУКОВИХ І ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄДНАНЬ УКРАЇНИ ПО ВКЛЮЧЕННЮ КАФЕДР
УКРАЇНСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ В РЕЄСТР FEANI (EUROPEAN
FEDERATION OF NATIONAL ENGINEERING ASSOCIATIONS)**

***Abstract.** The importance of incorporating the departments of Ukrainian technical universities into the register of FEANI (European Federation of National Engineering Associations) according to the program "Euroengineer" is substantiated. Formulated purpose of work is to set out common experience of the Academy of Engineering Sciences of Ukraine and the Union of Scientific and Engineering Associations of Ukraine in the program "Euroengineer". Given the brief information about the Academy of Engineering Sciences of Ukraine and its separate subdivisions in all regions of Ukraine. Separated subdivisions are located in Kiev, Zhytomyr, Rivne, Lutsk, Lviv, Ivano-Frankivsk, Ternopil, Khmelnytsky, Chernivtsi, Vinnytsia, Odessa, Cherkasy, Kherson, Kropyvnitsky, Melitopol, Dnipro, Kramatorsk, Kremenchug, Poltava, Kharkiv, Sumy, and Chernihiv. The main provisions of the program "Euroengineer" and its positive results for Ukrainian engineers are outlined.*

The following are examples of documents issued by FEANI Federation. Described procedure of implementation of the program "Euroengineer" by submitting batch applications, including the materials of the international accreditation of the department of higher education and information about the information (not less than ten) that are successfully working in the engineering industry.

Indicated that the selection of applicants when applying batch of applications is conducted in two stages: first at the national level, then the professional quality of the applicant checks the European Monitoring Committee FEANI. Conclusions are made on the results of the performed work.

***Key words:** program EUR ING, Federation FEANI, Academy of Engineering Sciences, Scientific associations organizations, the realization of the program.*

Інтеграція технічних університетів України в європейський освітній простір являє собою актуальну проблему загальнодержавного значення. Дана проблема пов'язана із важливими завданнями підвищення рівня технічної інженерної освіти в українських університетах, розширення зв'язків українських фахівців інженерного напрямку із європейськими колегами, підвищення рівня академічної мобільності викладачів та студентів.

Проблема інтеграції технічних університетів України в європейський освітній простір вирішується по різних напрямкам. Основними з них є законодавчі кроки по наближенню системи освіти України до європейського рівня.

Останнім часом прийнято, що для вирішення основної проблеми найбільш ефективним є міжнародна акредитація спеціальностей українських технічних університетів. Для реалізації даного важливого і складного процесу пропонується новий підхід який викладено в даній публікації. Він полягає у використанні доробку українських громадських організацій інженерного напрямку у налагодженні зв'язку із європейськими громадськими організаціями. Зокрема встановлені зв'язки Академії інженерних наук України спільно із Спілкою наукових і інженерних об'єднань України із Європейською федерацією національних інженерних асоціацій (FEANI).

Метою роботи є виклад досвіду спільної діяльності Академії інженерних наук та Спілки наукових і інженерних об'єднань України по включенню кафедр українських технічних університетів в реєстр FEANI (European Federation of National Engineering Associations).

Академія інженерних наук України існує з 1991 року як громадська самоврядна організація. Вона об'єднує понад 300 учених, конструкторів, організаторів виробництва, представників вищої школи та інших провідних спеціалістів різних галузей економіки України.

У її складі 42 зарубіжних учених із 11 країн. Нині в Академії інженерних наук існує 21 відділень. Вони зосереджені в столиці України м. Київ та в інших містах, де проводиться активна діяльність в інженерній галузі.

Територіально відокремлені підрозділи охоплюють всю територію України (рис. 1).



Рис. 1. Розташування відокремлених підрозділів Академії інженерних наук на території України

В Академії інженерних наук відповідно до Статуту є два види членства – колективне та індивідуальне. До індивідуальних членів входять вчені, спеціалісти практики, інженери, конструктори і технологи, організатори виробництва, менеджери, які збагатили науку та інженерну практику своїми працями, конкурентоспроможними розробками сучасних виробів і технологій.

Колективними членами обираються колективи підприємств, установ, навчальних закладів, фірм, корпорацій чи банків, які визнають статут АІН України та своєю діяльністю сприяють успішному вирішенню завдань, що стоять перед Академією.

Основними завданнями АІН України є розвиток інженерно-технічного потенціалу України, підготовка необхідних кадрів, підвищення міжнародного іміджу українських інженерів, сприяння постачанню промислових галузей ефективними новітніми технологіями, розробка і втілення нових концепцій інженерної освіти, комерціалізація результатів наукових досліджень, що виконані ученими Академії, та ряд інших.

Протягом 18 років видається науково-технічний журнал «Вісті Академії інженерних наук України».

Академія інженерних наук України входить до Світової спілки академій інженерних і технологічних наук-CAETS (International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences), яка об'єднує Академій інженерних наук 27 країн світу.

До Світової спілки входять громадські організації інженерного спрямування провідних країн світу. Зокрема це: Royal Academy of Engineering of the United Kingdom (Великобританія); National Academy of Engineering United States (США); The Engineering Academy of Japan (Японія); Canadian Academy of Engineering (Канада); Chinese Academy of Engineering (Китай); Indian National Academy of Engineering (Індія); German Academy of Technical Sciences (Німеччина); Academy of Engineering in Poland (Польща) та інші.

В даний час Академія інженерних наук України разом із Спілкою наукових і інженерних об'єднань України веде роботи в рамках всеукраїнського проекту «Євроінженер». Проект «Євроінженер» має європейський масштаб започаткований і організовується європейською федерацією FEANI (European Federation of National Engineering Associations).

Фахівці, що мають EUR ING отримують відповідний диплом і вносяться в FEANI реєстрацію, яка ведеться в Брюсселі (рис. 2).



**Рис. 2. Зразки документів які видаються європейською федерацією FEANI
Згідно програми «Євроінженер»**

Наявність реєстрації в європейській громадській організації FEANI сприяє українським інженерам їм в плані академічної мобільності та встановлення зв'язків з фахівцями і організаціями Європи.

Претенденти на отримання звання по програмі «Євроінженер» повинні мати якісну інженерну освіту, багаторічний досвід інженерної діяльності, розроблення аналізу та проектування інженерних об'єктів, а також дотримуватися професійної етики.

Фахівці в галузі приладобудування є активними представниками інженерного корпусу України. Їх участь у програмі «Євроінженер» буде вагомим внеском у становлення і розвиток зв'язків українських інженерів із колегами з європейських країн. Безпосередня участь відділення приладобудування Академії інженерних наук України повинна стати основною складовою українського проекту «Євроінженер».

Для участі в програмі «Євроінженер» подається пакетна заявка яка включає матеріали міжнародної акредитації кафедри вищого навчального закладу та інформацію про випускників кафедри (не менше десяти) які успішно працюють в інженерній галузі.

Відбір претендентів при подачі пакетних заявок проводиться в дві стадії: спочатку на національному рівні, потім професійні якості претендента перевіряє Європейський Моніторинговий комітет FEANI (Брюссель).

Спільна робота Академії інженерних наук України та Спілки наукових та інженерних об'єднань України по реалізації програми «Євроінженер» включає підготовку пакетних заявок та направлення їх у відповідні структури FEANI.

В даний час накопичено певний досвід по підготовці пакетних заявок FEANI INDEX та EUR ING. Він допоможе в реалізації програми «Євроінженер».

Планується суттєве розширення кількості кафедр технічних університетів України, що будуть внесені в реєстр FEANI. Це забезпечить значне прискорення міжнародної акредитації інженерних спеціальностей вищих технічних навчальних закладів України.

Висновки

1. Включення кафедр технічних університетів України в реєстр FEANI (European Federation of National Engineering Associations) згідно з програми «Євроінженер» є важливим кроком на шляху до міжнародної акредитації спеціальностей вищих навчальних закладів України.

2. Основною програми «Євроінженер» є формування пакетної заявки для включення в реєстр FEANI, яка містить матеріали міжнародної акредитації кафедри вищого навчального закладу та інформацію про випускників (не менше 10-ти), які мають вагомні здобутки в інженерній галузі.

3. Академія інженерних наук України разом із Спілкою наукових і інженерних об'єднань України накопичили досвід формування пакетних заявок який доцільно використати українським університетам з метою прискорення міжнародної акредитації інженерних спеціальностей.

R.W. Trembovetskaya, Ph.D., associate professor
Cherkassy State Technological University
Blvd. Shevchenko 460, Cherkassy, 18006, Ukraine
r.trembovetska@chdtu.edu.ua

V.V. Tychkov, senior teacher
Cherkassy State Technological University
Blvd. Shevchenko 460, Cherkassy, 18006, Ukraine
v.tychkov@chdtu.edu.ua

PREPARATION OF PHD IN THE FIELD OF METROLOGICAL SUPPORT OF OPTICAL ELECTRONIC DEVICES AND SYSTEMS

Abstract. *Various applications of lasers are based on the use of data on the distribution of the power density (energy) in the cross section of the beam in the near and far zones. The distribution of the power density (energy) of the laser beam is characterized by a spatial distribution, which is obtained experimentally with a transverse displacement in a certain isolated plane perpendicular to the direction of propagation of the radiation. In this paper, we measured the distribution of the power density (energy) of laser radiation in a cross section with the z coordinate by placing the MKT-1 receiver with a sufficiently high spatial resolution directly in the beam. A model is constructed for estimating the uncertainty of the results of a laboratory experiment. The combined uncertainty of type B for the coordinate (-4;0), which is $u_{cB}(E) = 2.643534 \cdot 10^{-4} B$. For the confidence level $P = 95\%$, assuming that the possible measurement results are distributed according to the normal law, an expanded uncertainty is defined.*

As a result, graduate students (PHD) will get acquainted with the new terminology used in the control and measurement procedure, as well as estimate the uncertainty based on the experimental measurement of the power density (energy) distribution of laser radiation.

Key words: *laser radiation, power (energy) density distribution, uncertainty of measurement result, type B uncertainty, extended uncertainty.*

The main objectives of the preparation of the third (educational and scientific) level of higher education degree «Philosophy Doctor» - in-depth study of the theoretical and methodological foundations of metrology and information and measurement technology, formation of competencies necessary for successful scientific and pedagogical work in the field of automation and instrumentation in general and metrology and information and measurement technology in particular.

One of the competences of a Ph.D. is to conduct and present research results. This competence is realized in part in the study of the elective discipline «Theory and Practice of Scientific Research and Professional Ethics», which examines the methods of quantitative and qualitative interpretation of the results of scientific research. Modern requirements for establishing the reliability of measurement results are based on the concept of «uncertainty assessment of measurements». This concept is more accurate and allows to take into account practically all the effects on the measurement result in comparison with the concept of «error estimation», which has been used up to now [1-3]. Between the two concepts of «uncertainty in the measurement result» and «measurement result error», there are significant differences that must be taken into account when composing the techniques for processing the experimental data and giving the final result.

The lack of knowledge of scientists and the lack of clear state requirements to some extent inhibit the transition from an estimation of measurement errors to an estimation of uncertainties.

In preparing the scientific staff of the third (educational and scientific) level of higher education, the degree of «Ph.D.» in the specialty "Metrology and Information and Measuring Technology", the design team and the developers of the educational and professional program, decided to make up the gaps and envisaged obtaining graduate students in-depth theoretical and practical knowledge, skills to assess the uncertainty of measurement results in the study of the discipline «Design and Metrological Support of Optical and Optical-Electronic Devices and Systems (OEDS)». As a result, graduate students receive professional competence «to draw informed conclusions and the ability to make

decisions based on the results of research on the accuracy of optical and OEDS» on the basis of a new concept – «estimation of measurement uncertainty».

The aim of the paper is to build a model for estimating the uncertainty of the results of a laboratory experiment using the example of measuring the relative energy density distribution (REDD).

When processing experimental data, the skills of researchers working in the field of measurement will be formed and improved, using a new approach to data processing and presentation of the measurement result.

When building the model, new approaches and basic principles for measuring the quality of measurement were taken into account [1-3].

The measurement of REDD is based on the successive conversion of energy (power) of radiation at various points of the cross section of the laser beam when the transducer is scanned perpendicular to the direction of radiation propagation. The distribution of the power (energy) density of Fig. 1 was measured in the cross section with the z coordinate by placing the receiver with a sufficiently high spatial resolution directly in the beam. The sensitive pad of the receiver is placed directly in the cross-section with the z-coordinate normal to the direction of radiation propagation.

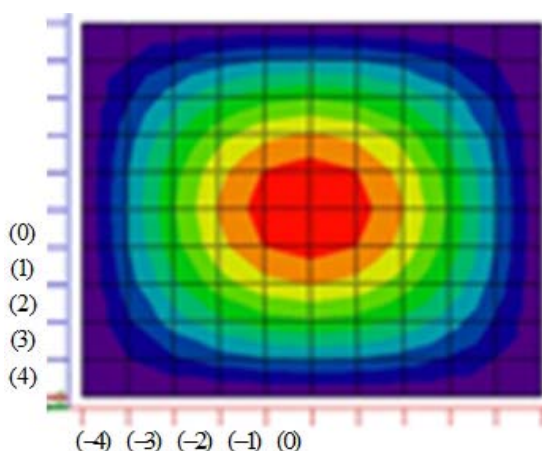


Fig.1. Normalized distribution of the flux density for the fundamental mode of radiation

For the REDD measurement circuit [4], which contains a laser, an attenuator, an optical system, an aperture diaphragm, a measuring transducer, a measuring device, a scanning device, an alignment device, a budget for the uncertainty of the result of a single and multiple measurement was compiled. For a single measurement, the uncertainty estimate was carried out for the coordinate (-4;0). When evaluating the combined uncertainty of type B, the following components were taken into account:

- Uncertainty of the result, due to the unevenness of the attenuation coefficient of the attenuator;
- Uncertainty of the result caused by the optical system;
- Uncertainty of the result, caused by the nonlinearity of the conversion characteristic of the measuring transducer;
- Uncertainty of the result, caused by the error of the measuring device;
- Uncertainty of the result, due to inaccuracy in determining the coordinate of the monitored beam intersection point;
- Uncertainty of the result due to the finite size of the aperture diaphragm;
- Uncertainty of the result, caused by instability of energy (power) of laser radiation during the measurement time;
- Uncertainty of the result, due to the approximation in the construction of graphical dependencies of the distribution.

All components of type B were evaluated under the assumption of a uniform law of distribution of possible values within certain boundaries.

We have a combined uncertainty of type B:

$$u_{cB}(E) = 2.643534 \cdot 10^{-4} B.$$

For the confidence level $P = 95 \%$, assuming that the possible measurement results are distributed according to the normal law, an expanded uncertainty is defined:

$$U = k \cdot u_c(E) = 5,18132 \cdot 10^{-4} B$$

Conclusions

Thus, significant changes in metrology associated with the introduction of the concept of «uncertainty» in metrological practice to characterize the quality of measurement, require a detailed analysis of the measurement conditions, the measurement scheme, and the technical characteristics of the instrument.

Since a new terminology is introduced into the monitoring and measurement procedure, it is therefore necessary to familiarize the graduate students with practical skills in determining «uncertainty». Therefore, at the stage of preparation of graduate students in the specialty «Metrology and Information and Measuring Technology» it is necessary to form skills using a new approach to the processing of experimental data and the presentation of the result of measurements. Formed professional (generalized) competencies will help graduate students in the future to apply the methods of processing the obtained research data in the thesis.

References

1. Guide to Expression of Uncertainty in Measurement. [ISO/IEC Guide 98-3:2008](#).
2. DSTU-N RMG 43:2006 «Metrology. The Use of «Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty». (RMG 43:2001, IDT). (In Russian).
3. Vasilevsky A.N. (2015). Fundamentals of the Uncertainty of Measurement Theory: a Textbook / A.N. Vasilevsky, V.Yu. Kucheruk, E.T. Volodarsky. - Vinnitsa: VNTU, 230 p. (In Ukrainian).
4. *DSTU ISO 13694:2015 Optics and Photonics. Lasers and Laser-Related Equipment. Test Methods for Laser Beam Power (Energy) Density Distribution. (In Ukrainian).*
5. [RMG 91-2009](#). State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Joint Use of Concepts «Error of Measurement» and «Uncertainty of Measurement». General Principles. (In Russian).
6. Golub B.I., Kotyuk A.F., Kuzin A.Yu. (2006). Fundamentals of Ensuring the Unity of Optico-Physical Measurements. - M., Gorjachaja Linija - Telecom. - 191 p. (In Russian).

РОЗРОБЛЕННЯ СТАНДАРТИЗОВАНИХ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ ПІДГОТОВКИ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ В МЕРЕЖІ NETCENG

Abstract. *The specificity of the training of scientists associated with the dynamics, integration, conducting research and experiments in different countries. It is necessary to study the experience of International Organization of Civil Aviation in the development of teaching and methodological standards for the training of specialists, for example and to develop of standardized Train Trainer for teaching and learning courses in accordance with the curriculum for the preparation of a PhD specialist in the relevant field and specialty.*

Key words: *PhD, NETCENG, typical teaching-methodical complex, decision-making*

На кафедрі аеронавігаційних систем Національного авіаційного університету ведеться підготовка аспірантів, докторантів та PhD фахівців (докторів філософії) за спеціальністю «Авіаційний транспорт», спеціалізація: «Навігація і управління рухом». В рамках дії пілотної програми з докторантури в області інжинірингу і аерокосмічних технологій відповідно до положень Болонського процесу для введення навчання, направлено на задоволення потреб економічного розвитку, з 2016 року на кафедрі започатковано підготовку PhD фахівців. Міжнародним проектом TEMPUS – NETCENG «Нова модель третього циклу в інженерній освіті у відповідності до Болонського процесу» визначено цілі і етапи підготовки докторів філософії, а саме: розроблення навчальних планів, навчальних програм, навчально-методичних комплексів навчальних дисциплін.

Навчальні програми дисциплін розроблено на основі «Методичних вказівок до розроблення та оформлення навчальної та робочої навчальної програм дисциплін. Розглянемо на прикладі програми навчальної дисципліни «Методи прийняття рішень в аеронавігаційних системах. Управління ризиками в системі обслуговування повітряного руху» процедуру розробки навчальних і робочих навчальних програм відповідно до навчального плану підготовки фахівців III освітньо-наукового рівня «Доктор філософії» для галузі знань 27 «Транспорт», спеціальності 272 «Авіаційний транспорт», спеціалізації «Навігація і управління рухом» та відповідних нормативних документів [1-3].

В зв'язку зі специфікою навчання фахівців-науковців, що пов'язана з динамікою, інтеграцією, проведенням досліджень і експериментів в різних країнах, пропонується:

- вивчення досвіду міжнародних організацій з розроблення навчально-методичних стандартів підготовки фахівців, наприклад досвід ICAO;
- розроблення стандартизованих навчально-методичних комплексів згідно з навчальним планом підготовки PhD фахівця відповідної галузі і спеціальності.

Мережа організацій і навчальних закладів, де навчаються науковці має міжнародну географію, що запропонована консорціумом учасників Міжнародного проекту TEMPUS – NETCENG [4] (рис.1).



Рис.1 Географія учасників мережі TEMPUS– NETCENG

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) має великий досвід в розробці стандартизованих курсів підготовки фахівців за типовими навчально-методичними розробками в мережі TRAINER для різних курсів [1; 3; 5]. Наприклад, розроблено методичні матеріали навчальних курсів відповідно до вимог сучасної концепції PBN (навігація, що основана на характеристиках) [6; 7] ТУМР ICAO/IATA/CANSOPBN Operational Approval (Train the Trainer) Regional Course. Глобальне бюро підготовки авіаційних навчальних закладів (GAT) має на меті керувати стратегіями розвитку людських ресурсів, розробленими державами-членами та авіаційним співтовариством, для забезпечення їх доступу до достатньої кількості кваліфікованого та компетентного персоналу для управління, навчання та підтримки поточної та майбутньої системи повітряного транспорту на встановлені міжнародні стандарти[8].

Для розроблення навчально-методичного комплексу з дисципліни «Методи прийняття рішень в аеронавігаційних системах. Управління ризиками в системі обслуговування повітряного руху» для PhD фахівців другого року навчання за спеціальністю «Навігація і управління рухом» (галузь «Авіаційний транспорт») автором застосовувалися вимоги і принципи ICAO, що містяться в циркулярах і нормативних документах організації.

ICAO постійно розробляє та удосконалює більш проактивні, засновані на оцінці ризиків методи, спрямовані на подальше зменшення кількості авіаційних подій у світі, а також призиває авіаційні співтовариства визнати важливість дотримання єдиного глобального підходу для поліпшення і моніторингу безпеки [1]. Сучасний підхід, що заснований на характеристиках (performance-based approach – PBA) [3], базується на наступних трьох принципах:

- основний акцент на бажані/необхідні результати;
- прийняття інформованих рішень, орієнтованих на бажані/необхідні результати;
- використання фактів і даних при прийнятті рішень.

При цьому принцип «використання фактів і даних при прийнятті рішень» припускає, що задачі повинні відповідати широко відомому в західному менеджменті критерію SMART [5], що представляє собою абревіатуру з п'яти англійських слів: specific (конкретний), measurable (вимірний), achievable (досяжний), relevant (порівнянний) і timebound (визначений у часі). Такий рівень точності визначень задач може бути досягнутий тільки шляхом послідовного і структурованого опису неоднорідних компонентів авіаційної галузі – авіаційних підприємств, авіаційного персоналу, авіаційної інфраструктури, технічного обладнання, процедур, правил та інформації, застосування яких спрямовано на створення умов та використання повітряного простору людиною за допомогою повітряних суден.

У даний час у світовій практиці складається новий підхід до забезпечення безпеки польотів. Замість звичного для нас терміну «система управління безпекою польотів», ICAO вводить інше визначення – «система менеджменту безпеки авіаційної діяльності» [5; 8]. Дане формулювання має на увазі зв'язування в одне ціле, у єдину систему різних об'єктів і суб'єктів авіаційної діяльності. До суб'єктів авіаційної діяльності відносяться розробники і виробники авіаційної техніки, авіакомпанії-експлуатанти, аеропорти, організації, що здійснюють технічне обслуговування і ремонт повітряних кораблів, а також наземне обслуговування. У цей же ряд входять органи обслуговування повітряного руху, авіаційні навчальні заклади, науково-дослідні та проектні авіаційні організації, авіаційна влада. Кожний з суб'єктів авіаційної діяльності використовує для забезпечення виробничих процесів та діяльності цивільної авіації відповідні об'єкти: повітряні кораблі, їх компоненти та обладнання, виробниче обладнання, авіаційну наземну техніку, аеродромне і трасове обладнання (радіо- та електротехнічні засоби), інженерно-технічні споруди, інше рухоме та нерухоме майно тощо. Об'єднати названі елементи авіаційної галузі є досить складною задачею. Починаючи з періоду «організаційної ери» (1990-ті рр. – теперішній час) безпека польотів стала розглядатися системно, охоплюючи організаційні, людські і технічні фактори. Також у цей час в авіації з'явилося поняття «авіаційної події з організаційних причин», з огляду на той вплив, що чинять організаційна культура і політика на ефективність системи контролю за факторами ризику для безпеки польотів.

Дана навчальна дисципліна є теоретичною та практичною основою сукупності знань та вмінь, що формують профіль фахівця в галузі повітряного транспорту. Метою викладання є отримання аспірантами знань щодо методів моделювання і оптимізації процесів обслуговування повітряного руху, вмінь проводити теоретичні і практичні дослідження,

формування науково-практичних навичок приймати обґрунтовані рішення у життєвих, управлінських та виробничих ситуаціях. Завданнями вивчення навчальної дисципліни є:

- систематизація та розширення знання про методи прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи;
- засвоєння методів математичного програмування аеронавігаційної системи;
- засвоєння вимог нормативно - правових актів в сфері функціонування аеронавігаційної системи;
- оволодіння правилами та методами вирішення задач прийняття рішень за допомогою сучасних інформаційних технологій;

У результаті вивчення даної навчальної дисципліни студент повинен оволодіти знаннями і вміннями, а саме знати:

- особливості та ознаки великих систем управління, зокрема авіатранспортної системи; авіаційної ергатичної системи;
- принципи системного підходу при дослідженні складних систем;
- алгоритми декомпозиції та агрегування систем, поняття емерджентності систем;
- основні методи досліджень систем управління на стійкість та якість;
- методи експертних оцінок для оцінювання значущості діяльності операторів аеронавігаційної системи;
- методи побудови детермінованих і стохастичних моделей прийняття рішень операторами аеронавігаційної системи;
- методи мережевого програмування визначення критичного часу на виконання процедур операторами аеронавігаційної системи;
- методи прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності;
- особливості систем підтримки прийняття рішень (СППР);

Вміти:

- використовувати методи дослідження складних систем до аналізу авіаційних систем;
- провести аналіз авіаційної ергатичної системи "екіпаж-повітряне судно" (Е-ПС) на стійкість;
- застосувати методи математичного програмування до вирішення професійних задач;
- використовувати методи, алгоритми, стратегії прийняття рішень в умовах конкретної діяльності операторів аеронавігаційної системи;
- застосувати методи експертних оцінок до вирішення професійних задач.

Навчальний матеріал дисципліни структурований за модульним принципом і складається з чотирьох навчальних модулів, а саме:

- навчального модуля №1 «Моделювання авіаційної ергатичної системи «Людина-оператор-повітряний корабель»»;
- навчального модуля №2 «Детерміновані задачі прийняття рішень»,
- навчального модуля №3 «Стохастичні моделі прийняття рішень»,
- навчального модуля №4 «Системи підтримки прийняття рішень»,

Кожен з модулів є логічною, завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчальної дисципліни. Зміст модулів «Моделювання авіаційної ергатичної системи «Людина-оператор-повітряний корабель», «Детерміновані задачі прийняття рішень», «Стохастичні моделі прийняття рішень», «Системи підтримки прийняття рішень» безпосередньо спираються на знання з таких предметів: «Вища математика», «Інформаційні технології математичного моделювання», «Інформаційні технології», що виховує аспіранта як майбутнього дослідника і грамотного керівника. Дисципліна «Методи прийняття рішень в аеронавігаційних системах. Управління ризиками в системі обслуговування повітряного руху» є дисципліною вільного вибору для підготовки спеціалістів за спеціальністю «Авіаційний транспорт». Навчальна дисципліна «Методи прийняття рішень в аеронавігаційних системах. Управління ризиками в системі обслуговування повітряного руху» з іншими дисциплінами забезпечує формування знань для продукування нових ідей, розв'язання комплексних проблем у галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності в процесі написання дисертації.

Тобто зміст навчальної дисципліни відповідає рекомендаціям міжнародних авіаційних організацій[1-3; 8; 12-14]. Розроблено посібники, монографії, методичні рекомендації[9-11] для науковців, викладачів, докторантів, аспірантів, PhD-фахівців і студентів вищих навчальних закладів. У монографіях проведено системний аналіз та формалізовано фактори, що впливають на діяльність операторів соціотехнічної системи. Надано детерміновані, стохастичні, нейромережеві, марковські, GERT-моделі прийняття рішень оператором соціотехнічної системи з урахуванням впливу індивідуальних і соціальних факторів з практичними рекомендаціями для розрахунку відповідних моделей. Наведено оцінку впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на діяльність операторів соціотехнічної системи [10; 11].

За програмами навчальних дисциплін проводяться он-лайн підготовка і майстер-класи (рис. 2, а,б).

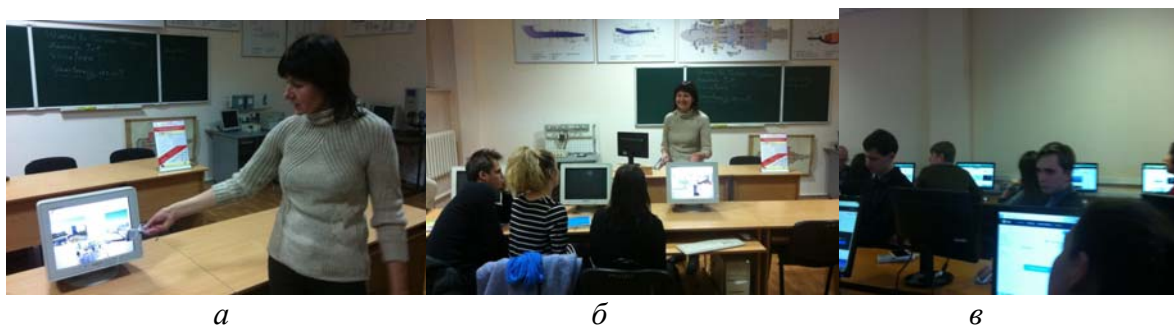


Рис. 2. Майстер-класи для PhD-фахівців, а, б – Національний авіаційний університет; в - Київському національному торговельно-економічному університеті

Викладачі Національного авіаційного університету і їх учні, PhD-фахівці, приймають участь в семінарах і конференціях інших вищих навчальних закладів, наприклад, на Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Інформаційні технології в освітньому процесі: якісна освіта» у Київському національному торговельно-економічному університеті вони отримали навички роботи з платформою дистанційного навчання Moodle, використовуючи QR-кодування, створювали інтерактивні презентації з використанням хмарних сервісів (Prezi) та інших ресурсів. В рамках програми, представленій слухачами, отримані сертифікати Українського науково-практичного семінару «Інформаційні технології в навчальному процесі: якісна освіта» та сертифікати корпорації «Парус», ТОВ «Сертифікаційний навчальний центр» Інтелектуальна служба «Prosecutor».

Планується розроблення стандартизованих ТУМР (Типових учбово-методичних розробок) для навчання студентів PhD в мережі NETCENG" для циклів обов'язкових навчальних дисциплін, дисциплін загальної професійної підготовки і дисциплін вільного вибору аспіранта, що містить наступні матеріали:

- Програма навчальної дисципліни
- Робоча навчальна програма дисципліни
- Зміст лекційного курсу, викладений на сайті кафедри.
- Методичні матеріали до практичних занять з критеріями оцінювання (на сайті).
- Перелік завдань до самостійної роботи.
- Індивідуальні науково-дослідні завдання.

Типові учбово-методичні розробки дозволять проводити навчання студентів і PhD-фахівців в різних країнах і навчальних закладах для отримання наукового і практичного досвіду, цікавих різноманітних знань, новітніх технологій.

Список літератури

1. Safety Management Manual (SMM) / Doc. ICAO 9859-AN 474. – 3ed ed. – Canada, Montreal : ICAO, 2013. – 251 p.
2. Pilot's Hand book of Aeronautical Knowledge /FAA-H-8083-25 // Chapter 17: Aeronautical Decision Making. – USA : FAA, Department of Transportation, 2008. – P. 17.1–17.32.

3. Manual on Global Performance of the Air Navigation System / Doc. 9883. – 1st ed. – Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2009. – 176 p.
4. NETCENG [Electronic resource] / Mode of access: <http://netceng.eu/> – Last access: 2017. – Title from the screen.
5. ICAO Safety Report. – Canada, Montreal : ICAO, 2014. – 35 p.
6. Performance-based Navigation (PBN) Manual/ Doc. 9613. – 3 ed. – Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2008. –264 p.
7. PBN Train Trainer [Electronic resource] / ICAO – Mode of access: <https://www.icao.int/NACC/Pages/meetings-2013-PBNTT.aspx>.– Last access: 2017. – Title from the screen.
8. State of Global Aviation Safety. – Canada, Montreal : ICAO, 2013. – 54 p.
9. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2012. – 292 с.
10. Харченко В. П. Прийняття рішень в соціотехнічних системах: монографія / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда. – К. : НАУ, 2016. – 308 с.
11. Strategic Imperatives and Core Competencies in the Era of Robotic and Artificial Intelligence Chapter 9. Decision-Making Models of the Human-Operator as an Element of the Socio-Technical Systems / Nina Rizun, Tatyana Shmelova. - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. – November, 2016. – P. 167-204
12. Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: www.nts.gov/aviation/aviation.htm. – Last access: 2015. – Title from the screen.
13. ASN Aviation Safety Data base [Electronic resource] / Flight Safety Foundation. – Mode of access: <http://aviation-safety.net>. – Last access: 2015. – Title from the screen.
14. EASA [Electronic resource] / European Aviation Safety Agency. – Mode of access: easa.europa.eu. – Last access: 2015. – Title from the screen.

Авторський покажчик

Антонюк В.С.....	67	Осадчук В.С.....	70
Базарний А.Г.....	52	Осадчук О.В.....	70
Базіло К.В.....	20, 45, 56, 58	Осадчук Я.О.....	70
Барандич К.С.....	42	Петренко С.Ф.....	67
Бережной К.Ю.....	37	Петрищев О.М.....	20
Белозьоров Ж.О.....	24	Петрушко Ю.А.....	75
Бобков Ю.В.....	87	Попова Н.В.....	61
Бондаренко М.А.....	45, 81	Самойленко В.В.....	64
Бондаренко Ю.Ю.....	45, 56, 58, 73, 81	Ситников В.С.....	39
Вислоух С.П.....	5, 18, 42	Ситникова В.А.....	39
Волошко О.В.....	5	Скрипник В.В.....	90
Гальченко В.Я.....	7	Струтинський В.Б...	93
Журавська І.М.....	27	Таланчук П.М.....	93
Заїка В.М.....	56	Тичков В.В.....	52, 97
Збруцький О.В.....	87	Тичкова Н.Б.....	52
Катрук О.В.....	11	Топтун А.В.....	73
Кветний Р.Н.....	33	Трєбовецька Р.В.....	52, 75, 97
Кириленко О. М.....	33	Туз В.В.....	61, 78
Кірюхін М. М.....	93	Ухина А.В.....	39
Кісіль Т.Ю.....	61, 78, 90	Чепурна О.М.....	75
Корецька О.О.....	49	Шарапов В.М.	64
Костенко О.М.....	13	Шмельова Т.Ф.....	100
Кошова І.І.....	13	Шмыткін В.С.....	64
Кошовий М.Д.....	13		
Крайник Я.М.....	35		
Куницька Л.Г.....	58		
Лычак Н.Г.....	15		
Медяник В.В.....	45		
Минаев И.Г.....	64		
Нестеренко А.О.....	18		
Никольский В.В.....	37		
Новаковский А.Г.....	67		