

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Wrocław University
of Science and Technology

ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2019)

ДВАНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 травня 2019 р.
Київ, Україна

ЗБІРКА ТЕЗ

Київ
2019

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY

ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY OF WATER AND
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THE BOHDAN KHMELNYTSKY NATIONAL UNIVERSITY OF CHERKASY

WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Wrocław University
of Science and Technology

INTEGRATED INTELLECTUAL ROBOTECHNICAL COMPLEXES (IIRTC-2019)

12th INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNICAL
CONFERENCE

MAY 21-22TH, 2019
KYIV, UKRAINE

COLLECTED ARTICLES

KYIV
2019

Міжнародний програмний комітет

Голова:

Квасніков В.П. д.т.н., проф., Заслужений метролог України, зав. каф. комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

Члени комітету:

Васильєв А.Й. д.е.н., проф., Президент Інженерної академії України, Заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної Інженерної академії, м. Харків.

Власенко В.О. д.т.н., проф., каф. технології університету Ополя, Республіка Польща.

Древецький В.В. д.т.н., проф., зав. каф. автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, віце-президент Інженерної академії України, м. Рівне.

Радев Х.К. д.т.н., проф., Технічний університет, м. Софія, Болгарія.

Черновол М.І. член-кор. Національної аграрної академії України, д.т.н., проф., ректор Центральноукраїнського НТУ, м. Кропивницький.

Острофські К. д.т.н., проф., декан Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Мічинські Я. д.т.н., проф., зав. каф. Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Хойніцкі Ю. Ph.D., проф., заст. декана Варшавського університету природничих наук, Республіка Польща.

Serhiy Kovala Ph.D., MBA, CITP Senior Lecturer, Department of Informatics and Operations Management Faculty of Business and Law Kingston University.

Yahya S.H. Khraisat Ph.D., Al_Balda Applied University / Al-Huson University College, Irdan, Jordan.

Відповідальний редактор: Шелуха О.О.

Рекомендовано до друку вченою радою Аерокосмічного факультету НАУ (протокол № 6 від 13 квітня 2019 р.)

Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2019). Дванадцята міжнародна науково-практична конференція 21-22 травня 2019 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2019. – 279 с. (збірка тез)

Містить результати наукових, експериментальних та теоретичних досліджень вчених та аспірантів.

Матеріали можуть бути корисними науковим співробітникам, інженерно-технічним працівникам, аспірантам та студентам старших курсів вузів, що спеціалізуються в галузі автоматизованих систем управління робототехнічних комплексів та прогресивних інформаційних технологій.

Видання праць конференції “ІРТК-2019” можна замовити за адресою:
Національний авіаційний університет,
кафедра комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій АКФ, к. 11-402,
проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680
iirtk.nau@gmail.com
kvp@nau.edu.ua

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Квасніков В.П. д.т.н., проф., Заслужений метролог України, зав. каф. комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

Заступник голови:

Древецький В.В. д.т.н., проф., зав. каф. автоматизації, електротехнічних та комп’ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, віце-президент Інженерної академії України, м. Рівне.

Члени оргкомітету:

Ковальчук В. В. д.т.н., проф., директор Одеського коледжу інформаційних технологій.

Кошовий М.Д. д.т.н., проф., зав. каф. авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”, лауреат Держ. премії України в галузі науки і техніки, м. Харків.

Кухарчук В. В. д.т.н., проф., зав. каф. теоретичної електротехніки та електроніки вимірювань Вінницького національного технічного університету.

Макаров В.Л. академік НАН України, д. ф.-м. н., проф., зав. відділом обчислювальної математики, Інституту математики НАН України, м. Київ.

Харитонов Ю. М. д.т.н., професор, декан факультету морської інфраструктури Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв.

Осауленко І. А. д.т.н., доцент, зав. каф. інтелектуальних систем прийняття рішень Черкаського національного університету ім. Богдана Хмельницького, м. Черкаси.

Секретарі конференції:

Шелуха О.О. – асистент кафедри комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного Університету.

Ісаченко А.О., Петров Ю.І., Слесаренко К.С. – аспіранти кафедри комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного Університету.

Члени оргкомітету (робоча група):

Асаніна А.В., Дубина П.П., Ільченко В.М., Ісаченко А.О., Катаєва М.О., Кочеткова О.В., Лещенко Ю.П., Петров Ю.І., Стахова А.П., Шелуха О.О., Слесаренко К.С..

INTERNATIONAL PROGRAMM COMMITTEE

Head:

Volodymyr P. Kvasnikov Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., Head of department of computerized electrical systems and technologies at the National Aviation University, Honoured Metrologist, Kyiv, Ukraine.

Committee members:

Anatoliy J. Vasyliw President of the Engineering Academy of Ukraine, Honoured Scientist of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Viktor O. Vlasenko Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., Professor in the technologies department at the Opole University, Opole, Poland.

Volodymyr Drevetskyi D.Sc. (Tech.), prof., head of Department of Automation, Electrical Engineering and Computer-Integrated Technologies of the National University of Water and Environmental Engineering, vice-president of the Engineering Academy of Ukraine, Rivne.

Edward Chlebus D.Sc. Eng., prof., head of the Department of Laser Technologies, Automation and Organization of Production, Wroclaw University of Science and Technology, Poland.

Khisto K. Radev Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., Professor at the Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria.

Michailo I. Chernovol Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., corresponding member of the Ukrainian Academy of Agrarian Science, Rector of the Kirovohrag National Technical University, Kirovohrag, Ukraine.

Krzysztof Ostrowski. Ph.D. DSc. Prof., Dean in University of Agriculture in Krakow. Poland.

Janusz Miczynski. Ph.D. DSc. Prof Head of Department in University of Agriculture in Krakow. Poland.

Jozef Chojnicki Ph.D., Prof, Vice Dean Of Warsaw University Of Life Sciences, Poland.

Serhiy Kovela Ph.D., MBA, Senior Lecturer in the department of Informatics and Operations Management, Faculty of Businnes and Law Kingston University.

Yahya S.H. Khraisat Ph.D., Al-Balda Applied University / Al-Huson University College, Irden, Jordan.

Managing editor:

Shelukha O.

Suggested for print by the Academic Senate Aerospace faculty NAU (protocol № 6 from 13. 04. 2019)

Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2019). 12th International Science and Technical Conference, May 21-22th, 2019, Kyiv, Ukraine – K.: NAU, 2019. – 279p. (collected articles)

Include the scientific, experimental and theoretical results of researchers and PhD students.

Conference materials are useful for scientific researches, engineers and technicians, PhD students and graduating students, there specialisation focus on the robotechnical execution systems and progressive information technologies.

Conference journal „IIRTC 2019“:
Department of Computerized Electrical Systems Technologies
National Aviation University,
Building No. 11, Office No. 402,
Kosmonavta Komarova ave. 1 Kiev, Ukraine 03680
e-mail: iirtk.nau@gmail.com
kvp@nau.edu.ua

ORGANIZING COMMITTEE

Head of committee:

Volodymyr P. Kvasnikov Prof. Dr.-Tech. Sc., Head of department of computerized electrical systems and technologies at the National Aviation University, Honoured Metrologist of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Assistant chief:

Volodymyr V. Drevetsky Prof. Dr.-Tech. Sc., Vice President of the Engineering Academy of Ukraine, head of Department of Automation, Electrical Engineering and Computer-Integrated Technologies of the National University of Water and Environmental Engineering, Rivne.

Members:

Vasiliy V. Kukharchuk Prof. Dr.-Tech. Sc. Head of the Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurement department Vinnytsia National Technical University.

Mykola D. Koshowy Prof. Dr.-Tech. Sc., Head of the “aviation devices and measurements” department at the Zhykovsky National Airspace University „Kharkiv Aviation Institute“, National prize-winner in technique and science field, Kharkiw.

Volodimir V. Koval’chuk Prof. Dr.-Tech. Sc. Director of the Odessa College of Information Technology.

Volodymyr L. Makarov Academician of the Ukrainian National Science Academy, Prof. Dr.-Tech. Sc., head of the numerical mathematics department of the institute of mathematics UNSA, Kyiv.

Supervisors:

Shelukha O. asistant, department of computerized electrical systems and technologies
Isachenko A. postgraduate student, department of computerized electrical systems and technologies
Petrov Y.
Slesarenko K.

Organizing Committee (work group): Dubyna P., Ilchenko V., Isachenko A., Kataeva M., Kochetkova O., Leshchenko Y., Omolosky O., Petrov Y., Stakhova A., Shelukha O., Slesarenko K.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси	13
Kutia V., Ruchel F. – AR-based application for industrial robot programming	14
Дробязко І.П., Захаров І.С. – Дослідження методів класифікації для задачі передбачення відтоку клієнтів	17
Марченкова С.В. – Робототехніка в Україні: перспективи та аналіз сучасних методів систем керування мобільними роботами	20
Нахаба О.О. – Вдосконалення технології 3-d друку для друку високотемпературними інженерними пластиками на бюджетних 3-d принтерах без закритої термокамери, адаптація цих принтерів для друку трьома різними пластиками із одного сопла та використання багатьох різних екструдерів	22
Осауленко І.А. – Перспективи робототехніки в контексті пріоритетних напрямків розвитку вітчизняної економіки	23
Писарчук О.О., Писарчук О.О., Баран Д.Р. – Програмно-апаратний комплекс для оцінювання параметрів руху автомобіля для змагань з дрифтингу	25
Поліщук М.М., Кузнецов Ю.М. – Мобільний робот з генератором аеродинамічної піднімальної сили	28
Пунченко Н.О., Домашкін О.М. – Рівняння помилок для задач корекції бесплатформенної інерціальної навігаційної системи комплексу автономного водного апарату	34
Рудик А.В., Рудик В.А., Матей М.І. – Розробка ультразвукового далекоміра системи технічного зору мобільного робота	37
Струтинський С.В., Чевпілов О.В. – Наземний роботизований комплекс спеціального призначення із маніпулятором на основі механізмів з паралельними кінематичними структурами	40
СЕКЦІЯ 2. Авіаційна та космічна техніка	42
Khmel I.O., Popov O.V. – Development of the Lean in the Aviation Maintenance Repair Overhaul Industry	43
Безвесільна О.М., Нечай С.О. – Принципи вимірювання висоти при авіаційних гравіметричних вимірюваннях	47
Безсмертна В.І., Мазна О.В., Хохлова Н.М. – Конструкційні полімерні композиційні матеріали на основі вуглецевих волокнистих наповнювачів трикотаажної структури	50
Дмуховський Р.В., Мазна О.В., Коханий В.О. – Блискавкозахист конструкцій авіаційної техніки на основі в'язано-паяних сіток з використанням безсвинцевих припоїв	53
Нахаба О.О. – Використання сучасних технологій 3-D друку для виготовлення корпусу, двигунів та багатолопатєвих гвинтів	56

прозрачних для радарів мультиторних БПЛА	
Попов О.В., Якушенко О.С., Коломієць З.І. – Методичні основи отримання даних для навчання нейронних мереж при діагностуванні газотурбінного двигуна	57
СЕКЦІЯ 3. Вимірювальна техніка. Метрологія, стандартизація та сертифікація	60
Bondarenko M., Andriienko V., Bilokin S. – Prospects For The Use Of Non-Standard Structures As A Test-Objects For Atomic Force Microscope	61
Dubinets V.I, Solovey E.A., Pits R.L. – Improvement Of The Portable Vibrostand	64
Koshevoy N.D., Koshevaya I.I., Fesenko A.G. – Angular Displacement Transducers	66
Безвесільна О.М., Макогонова О.А., Чепюк Л.О. – Рекомендації щодо проведення авіаційних гравіметричних вимірювань	69
Борковська Л.О., Борковський О.В., Кочеткова О.В. – Програмно-математичне забезпечення координатно-вимірювальних машин	71
Брагинець І.О., Масюренко Ю.О. – Підвищення швидкодії лазерних далекомірів з оптичною калібровкою	73
Волотовська В.В., Гнілицький В.В., Чепюк Л.О. – Експериментальні дослідження датчика вологості системи управління параметрами мікроклімату	76
Діхтієвський О.В., Квасніков В.П. – Підвищення точності вимірювання зубчастих коліс методом дисперсій	78
Довгань В.В., Орнатський Д.П., Нікітенко Д.В. – Система вібраційної діагностики підшипників кочення газотурбінних двигунів	80
Єгоров С.В., Шкварницька Т.Ю. – Побудова математичної моделі об'єкту контролю і діагностики	82
Зайцев Є.О. – Метод визначення ексцентриситету ротора гідрогенератора у циліндричній системі координат	85
Запоточний Р.М. – Комп'юторизовані системи дистанційного моніторингу технічного стану мостів	88
Ігнатенко П.Л., Ігнатенко О.А. – Забезпечення круглості деталей виготовлених методом порошкової металургії при токарній обробці	91
Ісаченко А.О. – Планування траєкторії вимірювального робота в декартових координатах	94
Ключко О.М., Дацко І.Р., Петров М.О. – Фізичні моделі при розробці сенсорів для детектування хімічних елементів – забруднювачів довкілля	96
Ключко О.М., П'ятчаніна Т.В., Мазур М.Г. – Розробка методів автоматизованої обробки зображень для потреб вітчизняної онкології	98

Коверсун С.В. – Використання ітераційного інтегруючого перетворювача для покращення метрологічних характеристик релейного захисту	100
Кухарчук В. В., Граняк В. Ф., Квасніков В. П. – Особливості динамічного вимірювання параметрів обертального руху асинхронних машин	103
Марченко Н.Б., Мартинюк Г.В. – Гамма-відсотковий показник працездатності технічних систем	106
Парфенюк О.І. – Технологія інтелектуального вимірювання витрати за допомогою ультразвукового витратоміра з оптимізованою нейронною мережею	108
Петров Ю.И. – Измерение уровня нейромедиаторов на основе характеристик каждой гальванической реакции	111
Приз В.А. – Програмно-математичне забезпечення координатно-вимірювальної машини	114
Серкіз О.Р., Бойко М.В., Сокіл Н.І. – Дослідження точності та продуктивності зважування при проектуванні автоматичного дозуючого обладнання для сипких матеріалів	116
Филоненко С.Ф. – Изменение амплитуды акустической эмиссии при нормальном и катастрофическом износе обрабатываемого инструмента	118
Цапенко В.В., Терещенко М.Ф. – Кількісні показники біомеханічних параметрів стопи	120
Шлома, А. И. – Метод аддитивного производства и неразрушающий контроль	123
Щербак Л.М., Марченко Н.Б. – Характерні властивості технічних систем при прогнозуванні їх залишкового ресурсу	125
Шутко М.О., Колганова О.О., Корнієнко С.П., Терещенко Л.Ю. – Швидке сплайн-перетворення у розрахунку другої похідної	127
Сковородкина Ю.Н. – Степень соответствия методов калибровки координатно-измерительных машин требованиям при проведении калибровки	129
СЕКЦІЯ 4. Енергетика, електротехнічні системи, світлотехніка	131131
Stakhova A., Luchnyi E. – The Economic Feasibility of Using LEDs	132
Андрєєва О.В., Алістратова Т.С. – Нові компоненти та модулі для систем з оптичними каналами зв'язку	134
Василець С.В., Василець К.С. – Математичне моделювання перехідних процесів у напівмостовому інверторі	136
Ведміцький Ю. Г. – Квітка електричної нейтралі в топологічному відображенні Ю. Г. Ведміцького. Метод Зіставленої несиметрії	138
Горін В.В., Серєда В.В. – Теплообмін під час конденсації робочих речовин у середині мініканалів	141

Дев'яткіна С.С., Ванецян С.Г., Павлюк Г.О. – Проблеми експлуатації аеродромного світлосигнального обладнання різних виробників	144
Катаєва М. О., Юрчук А.О. – Метод створення вторинного еталону нанометра із використанням п'єзокерамічної пластини і генератора електричної напруги	147
Кулик Н.І., Шабловська А.Р., Міськевич І.В. – Моделювання печі опору в програмному середовищі ELCUT	149
Сірик Р.Є. – Деякі аспекти підвищення ефективності функціонування розподільчих мереж	151
Слесаренко К.С. – Класифікація лінійних двигунів	153
Сокол О.Л. – Усовершенствованные системы управления наземным движением на аэродромах гражданской авиации	155
Шумовська І.О. – Вплив колірної температури на сприйняття світлового образу об'єктів	158
Ковальчук В.В., Коваленко Л.Б., Сморг М.В. – Наноскладові електротехнічних систем нового покоління: плівки атомарно-кластерної дисперсності	161
Ковальчук В.В., Буряк Д.В., К.В.Мамука – Діагностика напівпровідникових перетворювачів методом вейвлет-спектрів	164
СЕКЦІЯ 5. Інформаційні технології в приладобудуванні та машинобудуванні. Нафтогазові технології	167
Адах В.Г., Голінко І.М. – Аналіз системи керування для припливно-витяжної вентиляції із рециркуляцією	168
Андрєєва О.В. – Безпроводні рішення для побудови гібридних охоронних систем	171
Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Голуб Д.В., Щеглов А.В. – Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням	173
Безвесільна О.М., Бондаренко В.С. – Класифікація промислових робіт	176
Голінко І.М., Древецький В.В. – Динамічна модель камери форсуночного зволоження	179
Граф М.С. – Обробка сигналів при передачі інформації в безпілотному повітряному судні за допомогою алгоритму перетворення Фур'є	182
Гумен М.Б., Гончаров Є.О., Гумен Т.Ф. – Bluetooth вимірювач артеріального тиску	184
Гумен М.Б., Гумен Т.Ф., Кондратюк О.С. – Застосування бездротової технології ZigBee для моніторингу та управління мікрокліматом інженерних промислових об'єктів	187
Древецький В.В., Іванчук В.В. – Аналіз факторів, що впливають на структуру системи автоматичного керування ректифікаційною колоною	190

Дубина П.П. – Структурний зв'язок систем визначення параметрів оточуючого середовища і системи керування мобільного робота	193
Клепач М. І., Жабчик В.В., Салівоник Н.О. – Автоматизована система термовакуумного формування полімерних плівок	195
Коваленко О.О., Колісник В.О. – Використання в учбовому процесі САПР при проектуванні затискних верстатних пристосувань	197
Коваленко О.О., Крейда Є.М., Борона Є.М. – Проектування складу САПР просторових механізмів з урахуванням пружних властивостей ланок	201
Любченко В.В. – Оптимізація інформаційних потоків в АСУ	205
Монченко О.В., Філіпова Ю.К. – Методика вимірювання фаз сну людей льотного складу під час польотів	207
Реут Д. Т., Древецький В. В. – Вимірювання швидкості потоку води в полі зору мікроскопа	210
Савицький Т.П., Орлова М. М. – Способи автоматизації системи розумного будинку за допомогою штучного інтелекту	212
Собчак А.П. – Мультиагентна платформа інтеграції робототехнічних комплексів на віртуальних приладобудівних підприємствах	214
Стрілець В.М., Андрушков В.І., Стрілець О.Р., Шаран А.С. – Нова некерована фланцево-пальцева пружна муфта та її розрахунки	217
Стрілець О.Р. – Динамічна модель керування швидкістю у пристрої з багатоступінчастим зубчастим диференціалом і замкнотими гідросистема через сонячні зубчасті колеса	220
Шелуха О.О. – Побудова графа системи відеосупроводження на основі морфологічного аналізу функціонування системи	223
СЕКЦІЯ 6. Захист інформації та телекомунікаційні системи	
Бахмач А.В. – Аналіз моделей криптографічного захисту інформації на інформаційних носіях	225
Березовский С.А. – Оптоэлектронное устройство идентификации состояния регулярной матричной коммутационной структуры на элементах березовского	226
Великанов М.С., Чертов О.Р. – Розпізнавання облич за умов часткової або поганої видимості	229
Доставалов В.В. – Знаходження заданого об'єкту на зображенні	232
Єгоров С.В., Шкварницька Т.Ю. – Базовий статичний аналіз шкідливого коду в Windows	234
Магас М.Ю., Тюрменко Ю.Ю., Мелешко Т.В., Щець В.А. – Системи управління інформаційною безпекою та подіями безпеки (SIEM) як рішення для безпеки організації	237
Макаренко А. І., Орлова М.М. – Множинний доступ в системах стільникового зв'язку з використанням інтелектуальних антен	239
	242

Микитенко С.С., Орлова М. М. – Підхід до комунікації пристроїв системи розумного дому	245
Орлова М.М., Курій К.А. – Порівняльний аналіз мережних технологій мобільного зв'язку	247
Орлова М.М., Гришин С.О. – Способи виявлення та попередження D(DOS)-атак на контролер в програмно-конфігуровних мережах SDN	249
Поперешняк С.В. – Оцінка якості генераторів псевдовипадкових чисел	251
Христюк А.О., Єржикевич В.Ю., Кулеша Д.А. – пристрій моніторингу цілісності мережі RS 485 зі сторони веденого елемента	253
Черненко П.Р., Орлова М.М. – Аналіз загроз безпеки ОС Android та їх виявлення	256
Шевель О.С. – аналіз безпеки Telegram	259
СЕКЦІЯ 7. Військово-технічні проблеми та освіта	261
Безвесільна О.М., Петренко О.В., Ільченко М.В. – Усунення взаємовпливу каналів вертикального та горизонтального наведення в виробках легкої бронетехніки	262
Зінько Р.В. – Військовий мобільний робот для розвідки	265
Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Досвід викладання навчальної дисципліни «Верстати з числовим програмним керуванням»	267
Наливайко А.Д., Поляєв А.І., Наливайко Л.П. – Методологічні основи створення переліку ризиків оборонного планування в ході проведення оборонного огляду в Україні	269
Наливайко А.Д., Поляєв А.І., Наливайко Л.П. – Методологічні підходи щодо підготовки проекту звіту про результати проведення оборонного огляду в Україні	273
Наливайко А.Д., Поляєв А.І. – Щодо розроблення пропозицій до проекту стратегічного оборонного бюлетеня України	276

СЕКЦІЯ 5

**Інформаційні технології
в приладобудуванні та
машинобудуванні. Нафтогазові
технології**

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ САПР ПРОСТОРОВИХ МЕХАНІЗМІВ З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛАНОК

Коваленко О.О., к.т.н., доцент, **Крейда Є.М.**, студент гр. мТМ-41,
Борона Є.М., студент гр. РТ-73. Черкаський державний технологічний
університет, Україна. e-mail: a.kovalenko@2upost.com

При побудові моделей багатотільних систем часто робиться припущення, що тіла не деформуються. Таке припущення підходить для широкого спектру моделей просторових механізмів завдяки тому, що при цьому спрощується модель, полегшується і скорочується процес моделювання та у багатьох випадках досягається бажана точність.

Однак деформація може відігравати важливу роль у певних системах - аеродинамічні сили викликають видимі коливання в крилах літаків, сили удару часто викликають помітний струс та вібрації у стрілах екскаваторів. Крила літаків і стріли екскаваторів поводяться при цьому як гнучкі тіла, деформації яких часом стають досить серйозними, щоб вплинути на роботу самих об'єктів - рухи сусідніх ланок, навантаження на їх шарніри, розробку їх алгоритмів керування, залежні до ефектів деформації.

Такі ефекти, як правило, особливо виражені в резонансних системах. Резонанс значно посилює вібрації, швидкість механічного зносу, підвищує енергоспоживання і знижує точність відтворення бажаної траєкторії руху. Деякі типи роботизованих маніпуляторів використовують активний контроль вібрації саме з цієї причини, пом'якшуючи вплив коливань на точність позиціонування робочого органу. Для адекватного моделювання таких систем потрібно розглядати ланки механізмів як гнучкі тіла.

Для моделювання гнучких тіл існують різні методи. Серед найбільш популярних - методи кінцевих елементів. Проте вони зазвичай вимагають значно більших та складніших обчислювальних витрат і часто вимагають спеціальної підготовки моделі, щоб застосовуватися до моделювання великих багатотільних систем, зокрема тих, що містять елементи різної фізичної природи та системи управління. У цій роботі розглядаються один з практичних методів, який можна використовувати у моделях *Simscape Multibody*TM *MATLAB*, щоб врахувати малі, лінійні та еластичні деформації - метод зосереджених параметрів.

Суть методу зосереджених параметрів полягає в тому, що гнучке тіло розглядається як набір жорстких елементів маси з'єднаних між собою внутрішніми пружинами і демпферами. З'єднання забезпечують ступені свободи, необхідні для виникнення деформації. Елементи маси, пружини і демпфери забезпечують інерційні, відновлювальні і дисипативні сили, які в сукупності дозволяють врахувати деформацію тіла.

Цей метод підходить для моделювання довгих та порівняно тонких тіл, таких як стержні і балки. На рис. 1 показано простий приклад: балка, розділена по довжині на чотири гнучких блоки. На першому блоці показаний його склад.

В середині нього знаходяться два жорстких масових елемента (m), пружина (k) і демпфер (b). Такий склад мають усі блоки. Кожний блок жорстко з'єднаний з відповідними сусідніми блоками.

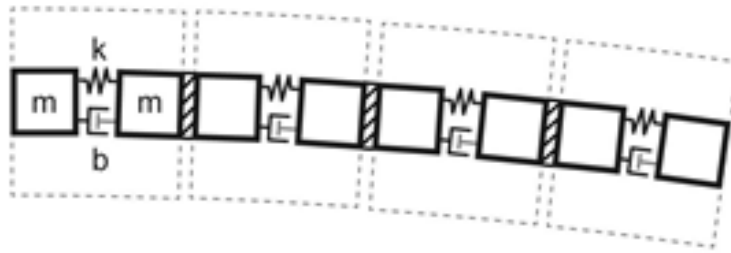


Рис.1. Представлення гнучкого тіла за методом зосереджених параметрів

Складові елементи гнучкої балки і взаємозв'язок між ними представлені в Simscape Multibody CAE MATLAB за допомогою блоків і з'єднувальних ліній (рис. 2). Задача методу з зосередженими параметрами в основному зводиться до обчислення ключових параметрів блоку - інерційні властивості масових елементів, жорсткості пружин і коефіцієнти демпфування в шарнірі.

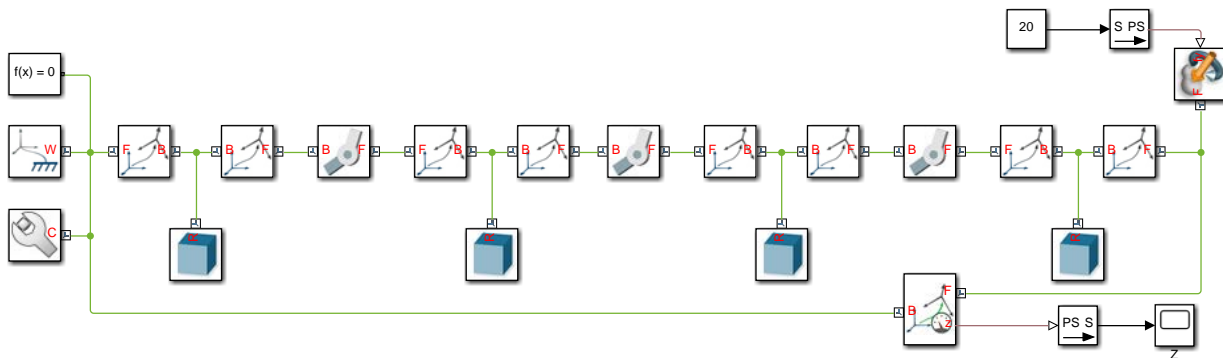


Рис.2. Математична модель балки

У консольній балці, яка тільки вигинається, величина жорсткості пружини впливає з рівності між крутним моментом пружини в шарнірі і згинальним моментом на суцільній балці. Закон Гука дає крутний момент пружини в шарнірі:

$$\tau_R = k_R \theta, \quad (1)$$

де τ_k - крутний момент пружини, k_R - постійна жорсткість пружини, а θ - кут відхилення. Класична теорія балки дає згинальний момент на суцільній балці:

$$M = \frac{EI_A}{R}, \quad (2)$$

де M - згинальний момент, E - модуль пружності Юнга, I_A – момент інерції профілю балки, і R радіус кривизни деформованої балки. У межах малих відхилень θ , M зменшується до l/R , де l - недеформована довжина балки, а вираз для визначення жорсткості балки приймає вигляд:

$$k_R = \frac{EI_A}{l}, \quad (3)$$

Якщо гнучка балка має довжину L , яка розділена на N гнучких блоків, то довжина l недеформованого гнучкого блоку визначається як:

$$l = \frac{L}{N}, \quad (4)$$

На рис. 3 показаний кут (θ) і радіус кривини (R) за рахунок вигину. Елемент маси становить половину довжини гнучкого блоку балки, $l/2$.

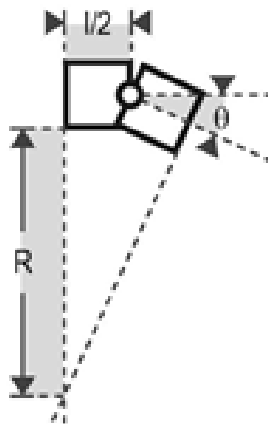


Рис.3. Геометрія гнучкого блоку балки з обертальним ступенем свободи

Затухання коливань є складним явищем, для опису яких існують різні моделі. В даному випадку для початку вибрана проста – лінійний закон затухання:

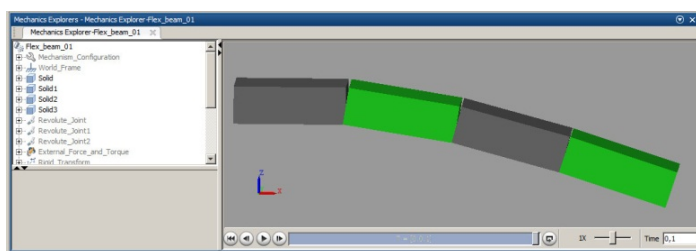
$$\tau_k = b_R \dot{\theta}, \quad (5)$$

де τ_k - величина демпфуючого моменту між двома елементами маси, пов'язаними з одним обертальним ступенем свободи. Це припущення узгоджується з розрахунками демпфування в шарнірах в Simscape Multibody. В якості першого наближення приймаємо коефіцієнт демпфування пропорційним жорсткості пружини.

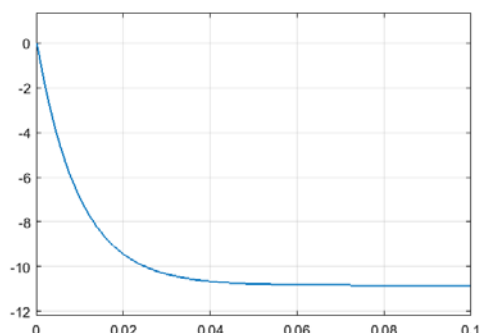
$$b_R = \alpha k_R, \quad (6)$$

Коефіцієнт пропорційності (α) є емпірично заданим коефіцієнтом демпфування. Коефіцієнт демпфування може бути встановлений шляхом порівняння деформацій, розрахованих по моделі з зосередженими параметрами з надійним експериментальними даними. Розраховані деформації повинні максимально близько відобразити ті, які визначені експериментальним шляхом.

За описаною методикою були побудовані моделі консольної балки та кривошипно-повзункового механізму, визначені параметри та проведено моделювання. Для прикладу на рис. 4 наведені результати моделювання деформації консольної балки при дії на її вільний кінець зосередженої сили.



а)



б)

Рис.4. Результати моделювання деформації гнучкої балки в *Simscape Multibody CAE MATLAB* – а) – спрощена візуалізація деформації балки (модель складається з чотирьох жорстких елементів) та б) графік переміщення вільного кінця балки у вертикальній площині.

Висновки.

1. Розглянуто використання методу зосереджених параметрів для моделювання гнучких тіл.
2. Змодельована консольна балка та кривошипно-шатунковий механізм.
3. Результати моделювання балки показують, що, при розділенні її на 4 частини, похибка не перевищує 5%, що більш ніж прийнятно для технічних розрахунків.
4. Значення похибки зменшується при збільшенні частин, на які розбивається ланка.
5. Запропоновану методику доцільно використовувати при моделюванні великих багатотільних систем, зокрема тих, що містять елементи різної фізичної природи та системи управління.

Література

1. Simscape Multibody Documentation . MathWorks.
2. Петренко А.И. Автоматизация схмотехнического проектирования в машиностроении: Учеб. пособие/ А.И.Петренко, В.В. Ладогубец, В.В.Чкалов. – К.: УМК ВО, 1988. – 180 с.
3. Петренко А.И. Оптимальное схмотехническое проектирование в машиностроении: Учеб. пособие/ А.И.Петренко, В.В. Ладогубец, В.В.Чкалов. – К.: УМК ВО, 1989. – 164 с.
4. Simscape™ User's Guide. © COPYRIGHT 2007–2016 by The MathWorks, Inc.
5. Simscape™ Mechanics™ User's Guide. © COPYRIGHT 2008–2016 by The MathWorks, Inc.

ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2019)

ДВНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 травня 2019 р.

Київ, Україна

Збірка тез

Тези надруковані в авторській редакції на одній із трьох робочих мов конференції

Оригінал-макет

підготовлено на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Навчально-наукового інституту інформаційно-діагностичних систем

Національного авіаційного університету

Комп'ютерна верстка:

Шелуха О.О.

Підп. до друку 13.04.19. Формат 60x84/16.

Папір офс. Гарн. Times New Roman.

Ум. друк. арк. 24,5. Тираж 100 прим. Замовлення № 5

Віддруковано у СПД «Андрієвська Л.В.»

м. Київ, вул. Бориспільська, 9,

Свідоцтво серія ВОЗ № 919546 від 19.09.2004 р.