



The Ministry of  
Education and Science  
of Ukraine

<https://nure.ua/>

Kharkiv National  
University of  
Radio Electronics

**KITAM**

3  
2  
0  
2

# COLLECTION

OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

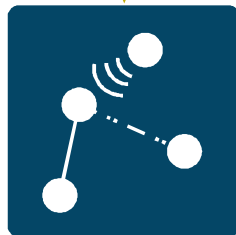
(Part 1)



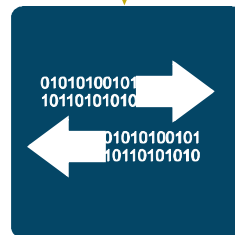
**Industry 4.0**



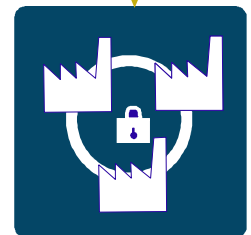
Digital control  
life cycle



Distributed Computer  
Systems



Fast  
integration and  
flexible  
configuration



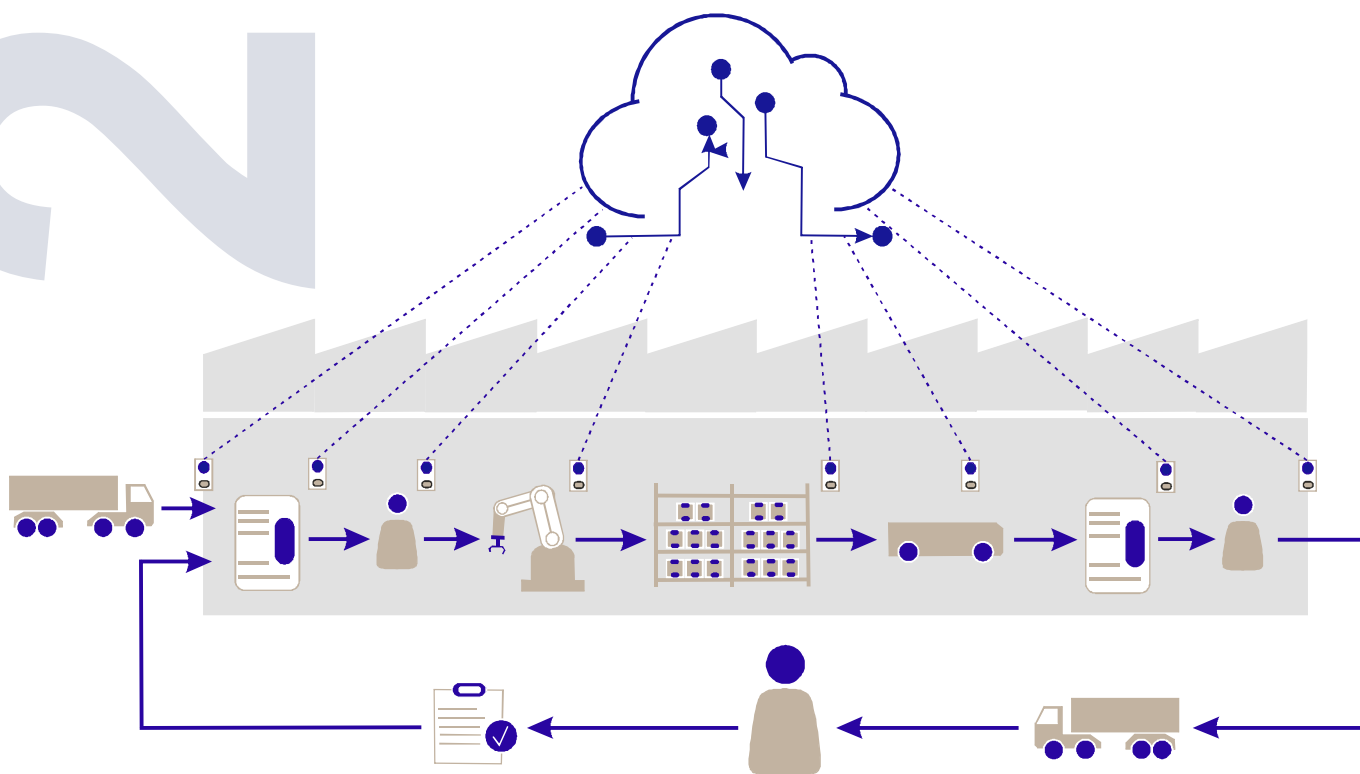
Cyber-physical  
system



3  
2  
0  
2

# ЗБІРНИК

студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
ADED-2023  
(Випуск 1)  
[електронне видання]



→ Industry 4.0

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету
- Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».
- Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.
- Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».
- Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.
- Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
- Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 1. – 336с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 1 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Elektronik [electronic edition], 2023. – 336p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 6 від 01.05.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

## ЗМІСТ

<i>Бацуля Р. В.</i> Аналіз сучасних розробок у сфері робототехніки .....	9
<i>Дяченко Е.С.</i> Аналіз сучасних розробок в області розумного будинку .....	15
<i>Кап'юнкін В.Г.</i> Розроблення системи голосового керування сайтом для людей з обмеженими можливостями .....	19
<i>Карташова В.В.</i> Аналіз сучасних роботизованих та експертних систем .....	24
<i>Кащев В. А., Артюх В. С.</i> Аналіз створення інтерфейсів користувача програмного забезпечення автоматизованих систем .....	31
<i>Кравченко С. В.</i> Аналіз автоматизованих систем керування технологічними процесами сучасного підприємства .....	36
<i>Наумов М. С.</i> Автоматизація приладобудівних приміщень .....	42
<i>Остапенко І.В.</i> Комп'ютерне зорове сприйняття .....	47
<i>Перебийніс Д. А.</i> Аналіз сучасного стану розробок в області автоматизації .....	52
<i>Рудакова Г. В.</i> Аналіз сучасних розробок в області комп'ютерного зору .....	57
<i>Дмитрієв Д.В.</i> Розробка макету пристрою дистанційного керування антропоморфним хватним пристроєм .....	61
<i>Андреев А.С.</i> Перспективи використання PHP та MYSQL в проектах .....	66
<i>Вінниченко С.О.</i> Огляд можливих ризиків кібератаки для віртуального підприємства та способів їх запобігання .....	70
<i>Гребенков Д. В.</i> Огляд сучасних безпілотних літальних апаратів .....	74
<i>Кирпота Ф., Халімонов Я.</i> Особливості QR-кодів та проблеми Fishing .....	78
<i>Макушев І.А.</i> Огляд сучасних роботів-маніпуляторів .....	82
<i>Олінкевич Я.В.</i> PHP & HTML: файли cookie, сесії, автентифікація .....	86
<i>Поліканов К. А.</i> Безпека QR-кодів та Phishing атаки .....	91
<i>Коноваленко К.</i> Розробка структурної схеми мобільної маніпуляційної платформи для розмінування ...	95
<i>Реука Є.</i> Розробка структурної схеми PID контролера для керування позиціонування сонячної панелі для автономних мобільних роботів .....	100

<i>Александров В.О.</i>	
Перспективи розвитку повітряної робототехніки в Україні .....	105
<i>Савін В.А.</i>	
Аналіз сучасних методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів .....	110
<i>Залож Є.</i>	
Управління збутом продукції виробничого підприємства на основі динамічних QR-кодів .....	115
<i>Воронов Д.О.</i>	
Розробка програмних модулів на основі датчика LIDAR для системи управління БПЛА .....	119
<i>Коротун Є.В.</i>	
Факторний аналіз фотополімерних смол для 3D-друку .....	124
<i>Світайло Д. М.</i>	
Аналіз причин кібератак та інформаційної безпеки .....	128
<i>Долгуля А.В.</i>	
Дослідження переміщення чотирилапого зооморфного робота «Робокіт» у невизначеному просторі .....	132
<i>Кривий М.В.</i>	
Робототехнічні системи та їхнє використання .....	138
<i>Нієнова Д. V.</i>	
Programmable Providing of Data on Functional Dependencies of Material Characteristics ...	143
<i>Білоус М.Ю., Іщенко М.Д.</i>	
Автоматизація розподілу сервісних робіт на підприємстві .....	147
<i>Кравченко С. В.</i>	
Аналіз сучасного фреймворка ASP.NET CORE для WEB-додатків .....	151
<i>Башкір Б.В.</i>	
Переваги та недоліки термопластавтоматів .....	156
<i>Зибенко О. О.</i>	
Впровадження електроерозійних варстатів з ЧПК в розумне виробництво .....	160
<i>Кальченко А.С.</i>	
Особливості 3D-ДРУКУ для принтерів FDM/FFF .....	165
<i>Маковоз С. К.</i>	
Комп'ютерне моделювання механічної частини плазмового ЧПУ верстата .....	170
<i>Піхтерьов А.Д.</i>	
Переваги та недоліки 3D-принтерів з полярною кінематикою .....	174
<i>Придятько Д.Р.</i>	
Огляд можливостей систем технічного зору для пошуку вибухонебезпечних предметів .....	178
<i>Шерстюк А. М.</i>	
Системологічний аналіз проблеми автоматизації виявлення браку продукції приладобудівельного підприємства .....	183
<i>Лукеча І.</i>	
Математична модель системи позиціонування стимулюючого електрода на біологічно активні точки .....	189
<i>Обозін Я.В.</i>	
Особливості засобів для ремонту пошкоджених автомобілів .....	195
<i>Shevchenko A.A.</i>	
Development of Program Tools to Provide Automated Data Plots Visualisation for Scientific Aided Computation Software .....	199

<i>Шишко А.Т., Кулешов Д.С.</i>	
ІоТ-рішення для автоматизації виробничого приміщення на базі ESP8266 та Веб-сервера .....	205
<i>Білошапка І.В.</i>	
Розробка методів щодо створення програмних модулів автоматизованого проектування деталей для системи LibreCAD .....	209
<i>Левченко К.О.</i>	
Кінематика 3D – принтерів .....	215
<i>Муравка Р.</i>	
Дослідження роботи мобільного робота з використанням різних сенсорів для збору даних про зовнішнє середовище .....	219
<i>Скляр М. В., Тарасенко К. А.</i>	
Впровадження технологій 3D візуалізації у виробництво та навчання .....	224
<i>Скрипниченко В.О.</i>	
Вплив автоматичних регуляторів на лінійні об'єкти автоматизації .....	229
<i>Пустовалов Д.</i>	
Дослідження методу триангуляції та його застосування у робототехніці та повсякденному житті .....	235
<i>Леонов Ю.С.</i>	
Аналіз систем підігріву та підтримання температури повітря в 3D-принтер .....	241
<i>Щербина В.</i>	
Розробка віддаленої системи екстреного керування мобільним роботом на базі ESP8266 .....	245
<i>M. Sc. Isabelle Elisabeth Metzen, Nienova D.V.</i>	
Utilizing Engineering and Programming Approaches Implemented in a Multidisciplinary Experiment as an Innovation Platform for Biological Climate Change Research .....	248
<i>Ахмад Д.Х.</i>	
Сервер для організації обміну даними та керування мобільною платформою .....	253
<i>Бузніков В.Р.</i>	
Використання технології комп'ютерного зору для виявлення вибухонебезпечних предметів .....	257
<i>Гребенюк Б.А.</i>	
Розробка підсистеми управління інтелектуальним роботом .....	263
<i>Карпов М.С.</i>	
Аналіз бездротових сенсорних мереж .....	270
<i>Поддубняк І. А.</i>	
Розробка мобільної платформи для пошукових робіт .....	277
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Інтелектуальна автоматизація технологічних процесів .....	283
<i>Візір Ю.С., Кравченко К.В.</i>	
Система автоматизованого контролю та підтримки оптимального рівня освітленості у приміщеннях .....	287
<i>Лащин З.В.</i>	
Автоматизація процесу управління ресурсами навчальних лабораторій .....	291
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Аналіз сучасних інтелектуальних технологій, які застосовуються при виробництві приборів та систем .....	296

<i>Сокол Б.В.</i>	
Порівняльне моделювання кінематик 3D принтера .....	300
<i>Бєлий Я.В.</i>	
Особливості управління багатоступневими взаємопов'язаними нелінійними об'єктами .....	305
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Інтелектуальна автоматизація технологічних процесів .....	308
<i>Бєлий Я.В.</i>	
Розробка однорівневої системи контролю та управління доступом .....	313
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Аналіз сучасних інтелектуальних технологій, які застосовуються при виробництві приборів та систем .....	318
<i>Монзер А.А.</i>	
Автоматичне визначення області сканування в адаптивній бінарізації зображення .....	322
<i>Савченко П.М.</i>	
Особливості виробничих адаптивних систем автоматичного управління .....	326
<i>Савченко П.М.</i>	
Розробка системи управління світломузичною установкою на базі arduino Nano .....	330
<i>Катишев І.А., Катишев В.І.</i>	
Збільшення ефективності вакуумного сонячного колектора .....	333

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СТИМУЛЮЮЧОГО ЕЛЕКТРОДА НА БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ ТОЧКИ

**І. Лукеча**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: [dkuch100@gmail.com](mailto:dkuch100@gmail.com)

**Анотація:** Розглянуті основні питання щодо математичної моделі системи позиціонування стимулюючого електрода на біологічно-активні точки.

**Ключові слова:** неінвазивне дослідження, математична модель, біологічно-активні точки.

## MATHEMATICAL MODEL OF THE POSITIONING SYSTEM OF THE STIMULATING ELECTRODE ON BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS

**I. Lukecha**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: [dkuch100@gmail.com](mailto:dkuch100@gmail.com)

**Abstract:** The main issues related to the mathematical model of the positioning system of the stimulating electrode on biologically active points are considered.

**Keywords:** non-invasive research, mathematical model, biologically active points.

В даний час особлива увага приділяється методам діагностики та терапії, що ґрунтуються на властивостях біологічно активних точок (БАТ). Поряд з перевагами (відносна простота обладнання, відносно невеликий час вимірювань, диференціальна діагностика багатьох органів, можливість виявлення захворювань у латентний період) ці методи мають фактори, що стримують їх широке поширення. Це різноманітні біофізичні та біохімічні процеси, що відбуваються при вимірюванні параметрів БАТ та впливають на результати вимірювань. Якщо не враховувати ці процеси, дія яких змінюється під впливом вимірювальної апаратури і в часі, то повторюваність результатів буде також низька. Застосування відомих методик постановки диференціального діагнозу у разі ставиться під питання. Виходячи з цього, виникає необхідність створювати апаратуру, яка враховує ці особливості та диференціюючу інформацію, отриману з БАТ.

Процес взаємодії поверхні шкіри та лазерного випромінювача [1] являє собою складний механічний процес оскільки взаємодіюча система має нескінченне число ступенів вільності і в обох взаємодіючих поверхнях в залежності від положення точки контакту та умов її переміщення змінюються жорсткість, маса, тертя тощо.

До останнього часу про розрахунках механізмів даного призначення застосовуються методи енергетичного визначення динамічних характеристик, в яких страчена енергія і виконувана робота виражаються лише у функціях переміщення. Використовується також методика розрахунків із застосуванням приведеної маси механізму, в якій складна система апроксимувалась з окремими системами, що складаються з еквівалентних мас ланок і пружин.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Однією з функціонально важливих конструкцій в розробці є доволі складний механізм системи позиціонування лазерного випромінювання відносно БАТ, що забезпечує точну постановку джерела низько інтенсивного лазерного випромінювання відносно біологічно активної точки. Тому розробка математичних моделей при проектуванні та оптимізації механічних систем відіграє важливу роль при дослідженні кінематики та динаміки механізмів.

**МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Існуючі методи розрахунків є доволі громіздкими для широкого застосування, тому враховуючи сучасний рівень обізнаності

наукового середовища та інженерів із засобами електронно обчислювальної техніки, вважається доцільним розробка моделі системи, в якій зміни впливу на неї параметрів зовнішніх факторів дозволять роботу системи позиціонування відносно БАТ з мінімальним відхиленням та оптимізувати її конструкцію.

Для побудови моделі механізму системи позиціонування, пружності ланок її системи будуємо спрощену модель, яка включає в себе дві еквівалентні маси і одну еквівалентну пружину (рисунок 1).

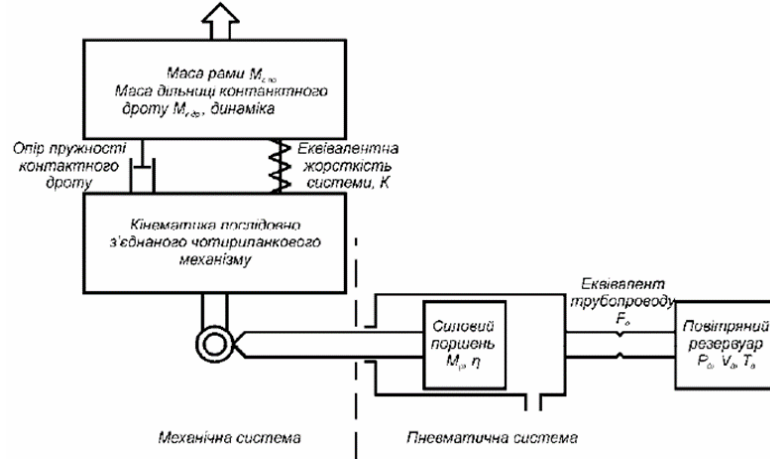


Рисунок 1 – Спрощена модель системи з двома ступенями вільності, в якій три гілки об'єднані в одну, а розподілена жорсткість замінена еквівалентною пружиною.

Кінематика механізму показана на рисунку 2 система з п'яти з'єднаних ланцюгів з наведенням параметрів що задають положення кожного важільного механізму. Всього на весь ланцюг (з урахуванням робочих положень пневмоприводу) припадає 20 параметрів: 3 довжини ланки, 4 координати двох шарнірів, 3 маси, 3 моменти інерції, 6 параметрів для визначення положень центрів мас та один фронтальний кут (кут між вихідною ланкою одного ланцюга і вихідною ланкою наступного). При заданому положенні поршня положення вихідної ланки слугує початком (входом) для наступного ланкового з'єднання і в такому порядку продовжується моделювання до кінцевої точки – контактування з поверхнею тіла людини.

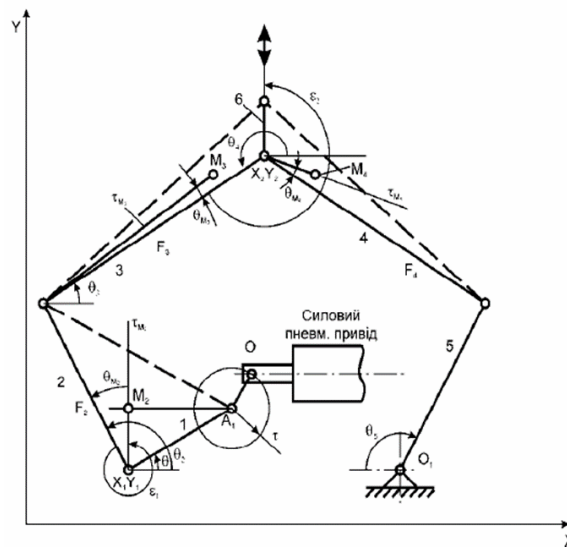


Рисунок 2 – Загальний вигляд послідовно з'єднаних ланок механізму лазерного опромінювача

Рівняння, що визначають положення і передавальні відношення першого і другого порядку одного чотирьох ланкового механізму не наведені, оскільки вони доволі громіздкі за викладом і детально представлені у роботі [2,3,4].

Якщо  $\theta_2$  і  $\theta_4$  - відповідно кути вхідної та вихідної ланок ланцюга, то передавальне відношення першого ( ) і другого (g) порядку встановлюється залежностями:

$$u_4 = \frac{d\theta_4}{d\theta_2}$$

$$g_4 = \frac{d^2\theta_4}{d\theta_2^2}$$

Якщо положення силового поршня задано як:

$$\alpha_2 = u_2 \cdot X_p'' + g_2 \cdot X_p^{2'} \sin \theta = \frac{X_p + r - X_1}{a}$$

то після диференціювання отримуємо передавальні відношення першого і другого порядків при переміщенні ланки 2 відносно поршня:

$$\frac{d\theta}{dX_p} = u_2 = \frac{1}{a \cdot \cos \theta} \quad \text{та} \quad \frac{d^2\theta}{dX_p^2} = g_2 = \frac{u_2 \cdot \sin \theta}{\cos^2 \theta} \quad (2.1)$$

де  $X_p$  - положення вихідного штоку силового поршня пневмоприводу.

Задавши швидкість поршня через  $X_p'$ , а прискорення -  $X_p''$ , то кутова швидкість і прискорення вхідної ланки будуть рівними:

$$\omega_2 = u_2 \cdot X_p' \quad \text{та} \quad \alpha_2 = u_2 \cdot X_p'' + g_2 \cdot X_p^{2'} \quad (2.2)$$

де  $\omega_2$  - кутова швидкість ланки 2 відносно точки 1  $u$  та  $g$  - передавальні відношення, що є функціями кута  $\theta$ , що в свою чергу приводить до виникнення коефіцієнтів у рівняннях руху ланок механізму;  $X_p^{2'}$  - прискорення що робить рівняння руху нелінійним.

Рівняння пневматичної системи. В даній задачі початковий тиск в порожнині циліндра рівний атмосферному тиску. При закритті клапану, тиск в нижній порожнині циліндра (під поршнем) піднімається до  $P_s$ , а початковий об'єм між клапаном і поршнем становить  $V_1$ .

При моделюванні прийняті наступні допущення:

1. Час, протягом якого відбувається значна зміна тиску, є доволі тривалим у порівнянні з часом поширення пружної хвилі. Тому хвильові ефекти не розглядаються і процес вважається квазісталим. Це значить, що довжина трубки пневмопроводу є незначною за розмірами.

2. Температура повітря в робочій порожнині циліндру є однаковою.

3. Резервуар зі стисненим повітрям є достатньо теплоізольований, що дає змогу вказувати на адіабатичний процес і відсутність конденсації вологи.

4. Газ (повітря), що подається у порожнину циліндра, вважається ідеальним, тобто справедливим є рівняння стану -  $PV = \omega RT$ , а коливання температури газу є достатньо малим і тому відношення теплоємності ( $\gamma = C_p / C_v$ ) можна вважати сталим.

5. Опір на вході в циліндрі є функцією відношення тисків ( $P_s/P$ ), де  $P_s$  і  $P$  - відповідно тиск повітря (газу) в накопичувальному резервуарі та тиск під поршнем в силовому циліндрі.

Швидкість зміни енергії газу в циліндрі визначається диференціюванням по часові першого закону термодинаміки:

$$(1 - 4n - 1) \frac{dQ}{dt} = \frac{dE}{dt} + P \frac{dV}{dt} \quad (2.3)$$

при допущенні, що  $\frac{dQ}{dt} = 0$ .

З балансу енергії в циліндрі при одночасному втіканні і витіканні газу виходить наступне твердження:

$$\frac{d}{dt}(\omega \cdot C_v \cdot T) = C_p T_s \left( \frac{d\omega}{dt} \right) - C_p T \left( \frac{d\omega}{dt} \right) - P \frac{dV}{dt}. \quad (2.4)$$

Умова стримування маси виражена у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_i - \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_0; \\ \omega &= \omega_i + \int_i^t \left( \frac{d\omega}{dt} \right) dt. \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Підставляючи вирази (2.4) і (2.5) в (2.3), з врахуванням допущення залежності (2.3), отримуємо:

$$\frac{dP}{dt} = J C_p \cdot \frac{\gamma - 1}{V} \cdot \left[ T_s \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_i - T \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_0 \right] - \frac{\gamma \cdot P}{V} \frac{dV}{dt}. \quad (2.6)$$

В накопичувальному резервуарі сталого об'єму температура і тиск протягом всього робочого процесу змінюється. У даному випадку газ в резервуарі поводить себе згідно законів ізоентропії (ізоентропія – процес, що відбувається у фізичній системі, коли ентропія залишається незмінною). Звідси отримуємо:

$$P_s = P_{s_i} \cdot \left[ \frac{\omega_{s_i} - \int_0^t \left( \frac{d\omega}{dt} \right)_i dt}{\omega_{s_i}} \right]^{\left( \frac{C_p}{C_v} \right)} \quad (2.7)$$

$$T_s = T_{s_i} \cdot \left( \frac{P_s}{P_{s_i}} \right)^{\frac{\left( \frac{C_p}{C_v} - 1 \right) \cdot C_v}{C_p}} \quad (2.8)$$

Для встановлення вагових втрат газу використовуємо рівняння виходу газу через отвір, а також рівняння збереження маси при адіабатичних співвідношеннях (4) одержуємо наступне рівняння, використовуючи замість відношення  $(C_p / C_v)$  його символ  $\gamma$  :

$$\left( \frac{d\omega}{dt} \right)_i = F_v \cdot \left( \frac{g}{RT} \right)^{0.5} \cdot \left[ \gamma \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} \right]^{0.5} \cdot P, \quad (2.9)$$

$$\text{КОЛИ } \frac{P}{P_s} \leq \left[ \frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}};$$

$$\left( \frac{d\omega}{dt} \right)_i = F_v \cdot \left( \frac{g}{RT} \right)^{0.5} \cdot \left[ \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \right]^{0.5} \cdot \left\{ \left( \frac{P}{P_s} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} \cdot \left[ \left( \frac{P}{P_s} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} - 1 \right] \right\}^{0.5} \quad (2.10)$$

$$\text{КОЛИ } \frac{P}{P_s} \leq \left[ \frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}};$$

$$V = V_i + F_p \cdot X, \quad (2.11)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння;  $F_p, F_v$  - відповідно площа поршня та ефективна площа перерізу газового потоку у трубі подачі газу в циліндр пневмосистеми;  $R$  - газова стала;  $T$  - температура газу;  $P_s, P$  - відповідно тиск газу у резервуарі та у порожнині циліндра під поршнем;  $V, V_i$  - відповідно об'єм газу в циліндрі під поршнем та при  $i$ - тому положенні поршня;  $X$  - координата переміщення поршня.

Рівняння переміщення випромінювача отримані згідно динамічної рівноваги з врахуванням сил інерції (принципу Д'Аламбера) та принципу можливих переміщень. Для полегшення сприйняття впливу кінематики складної системи спочатку розглядаємо систему з абсолютно жорсткими ланками. Після цього вплив гнучкості ланок можна враховувати шляхом введення певних коефіцієнтів. Рівняння руху багатоланкової системи має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^5 I_k \cdot \alpha_k \cdot \omega_k + I_m \cdot \alpha_m \cdot \omega_m + \\ & + \sum_{n=1}^5 \left[ I_1 \cdot \alpha_1 \cdot \omega_1 + M_1 \cdot \left( X_{M_1}'' + Y_{M_1}'' \right) \cdot \left( X_{M_1}' + Y_{M_1}' \right) \right] + \\ & + \sum_{i=1}^{19} M_i \cdot g \cdot \left( X_{M_i}' + Y_{M_i}' \right) + \sum_{S=1}^3 (S_{X_S} + S_{Y_S}) \cdot \left( X_S + Y_S \right) + \\ & + 0,5\rho F_C \cdot \left| Y_C' \right| \cdot Y_C'' + k \cdot I_F^2 \cdot \sin^2(\omega t + \phi) \cdot Y_C' - \\ & - \eta \cdot P \cdot F_p \cdot X_p' + M_p \cdot X_p'' \cdot X_p' = 0, \end{aligned} \quad (2.12)$$

де  $\omega, \alpha$  - відповідно кутова швидкість і прискорення ланки механізму;  $I$  - момент інерції;  $M$  - маса ланки;  $X_M, Y_M$  - координата центра ваги;  $X_M', Y_M'$  - швидкість переміщення центра ваги ланцюга, утвореного з окремих ланок;  $X_M'', Y_M''$  - прискорення центра ваги;  $\eta=0,86\dots 0,95$  коефіцієнт корисної дії роботи механізму випромінювача;  $P$  - тиск газу на нижню площину поршня;  $F_p$  - площа поверхні нижньої частини поршня;  $X_p', X_p''$  - швидкість та прискорення руху поршня.

Перші дві складові рівності (2.12) враховують інерцію обертання кривошипу та першої ланки механізму лазерного випромінювача ( $k=4n-2; m=4n$ ), а третій додаток - момент інерції другої ланки пневмоприводу ( $l=4n-1$ ). Четверта складова являє собою роботу з подолання сил тяжіння, а наступна роботу з подолання пружних сил. Аналітичне вирішення процесу переміщення елементів випромінювача поділене на три фази. Перша відповідає періоду, коли тиск газу в циліндрі є недостатнім для подолання статичного навантаження поршня. Тому в цей час відбувається лише «вибирання» початкових зазорів. Друга фаза відповідає переміщенню, вираженому рівнянням (2.12), а третя - руху демпфування випромінювача після контактування із поверхнею шкіри.

**ВИСНОВКИ:** Завдяки автоматизації виключається суб'єктивний фактор оператора, зменшується зарядова дія зондувальним струмом, зменшується механічне навантаження, а також з'являється можливість дослідження деяких інших параметрів точки. Конструкція датчика забезпечує підвищену стабілізацію контакту електродів зі шкірою. Розвиток методів діагностики таким шляхом, звичайно, ускладнює процес вимірювання, також збільшується вартість обладнання, але при цьому підвищується повторюваність результатів, а отже, і достовірність і залишається головною якістю - діагностика захворювань у доклінічний період.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лазери в медицині / В. С. Коваленко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2016. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-53018>
2. Носко С.В., Дяченко В.А. Визначення впливу параметрів пневмоприводу на його динаміку. XIX науково-технічна конфер. «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта». Київ НТУУ «КПІ» 2018. –с.24-25.
3. Носко С.В., Агаєв І.О. Динаміка пневмопривода з зовнішнім гідравлічним демпфіруючим пристроєм. XXIV Міжнародна науково-техн. конфер. «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці».-Київ. НТУУ «КПІ», 2019, с. 32-33.4. Kav T., Bayraktar Y. Five years' experience with capsule endoscopy in a single center // World J. Gastroenterol. – 2009. – Vol. 15 (16). – P. 1934 – 1942.
4. Носко С.В. Проектування гідро-та пневмоприводів. Навчальний посібник./ С.В. Носко // - Київ : НТУУ ім. Ігоря Сікорського, 2019 – 86 с.
5. Attar, H., & et al.. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.
6. Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2023). An Automatic Assembly SMT Production Line Operation Technological Process Simulation Model Development. International Science Journal of Engineering & Agriculture, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230202.01>
7. Nevludov, I., Razumov-Fryziuk, I., Yevsieiev, V., Nikitin, D., Blyzniuk, D., & Strelets, R. (2022). Cost estimation of photopolymer resin for 3D exposure of circuit boards. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2(64)), 43–49. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256538>
8. Nevludov I., Omarov M., Yevsieiev V., Bronnikov A., Lyashenko V. Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8(10). – P. 7465-7473.
9. Nevludov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906
10. Yevsieiev V. (2023) Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / Yevsieiev V., Starodubcev N. // Scientific Collection «InterConf», (141), P. 331-334.
11. A Small-Scale Manipulation Robot a Laboratory Layout Development / Yevsieiev V., Starodubcev N., Maksymova S., Stetsenko K. // International independent scientific journal, №47, P.18-28. 2023
12. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic User Authentication Key for Access to HMI/SCADA via Unsecured Internet Networks. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 5866922. <https://doi.org/10.1155/2022/5866922>.
13. Viktoriia Bortnikova, Vladyslav Yevsieiev, Iryna Botsman, Igor Nevludov, Kostiantyn Kolesnyk, Nazariy Jaworski. Queries classification using machine learning for implementation in intelligent manufacturing // Chapter 6 in Monograph «Methods and tools in CAD – selected issues». – Białystok (Poland): Publishing House of Białystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.

**Науковий керівник:** Кухаренко Дмитро Володимирович, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського