

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра електричних машин

«На правах рукопису»
УДК 621.313

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Чумак В.В.

«__» _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електро-
механіка»**

**на тему: «Просторово адаптивна модульна електромеханічна система
для автоматизованого технологічного комплексу»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕМ-01мп

Місан Назар Андрійович _____

Науковий керівник:

Професор, доктор технічних наук,

Шинкаренко Василь Федорович _____

Консультант з розділ (3,4):

Аспірант

Красовський Павло Олексійович _____

Рецензент:

Професор, кандидат технічних наук

Печеник Микола Валентинович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних поси-
лань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра електричних машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(«Електричні машини і апарати»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Шинкаренко В.Ф.

«01» _____ 10 _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Місан Назар Андрійович

1. Тема дисертації «Просторово адаптивна модульна електромеханічна система для автоматизованого технологічного комплексу», науковий керівник дисертації Шинкаренко В.Ф., професор, д.т.н., затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації – до 05.12.2021
3. Об'єкт дослідження: еволюційні процеси генетичного структуроутворення ЕМ-систем, функціонування яких безпосередньо пов'язане зі зміною структури і просторової геометрії активної зони перетворювача енергії.
4. Вихідні дані: 1) технологічні об'єкти маніпулятора: сталеві труби 500Ø – 1600 мм; сталеві листи 12 – 25 мм; 2) маса об'єктів: 200 – 1000 кг; 3) напруга живлення: 380 В. 4) частота: 50 Гц; 5) модульне виконання індукторів; 6) сталеві технологічні об'єкти одночасно виконують функцію вторинної частини двигуна.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Аналіз тенденцій поширення модульного принципу і модульного дизайну в сучасних технічних системах 2. Генетична природа структурної організації еволюції модульних електромеханічних систем 3. Концепція автоматизованого технологічного комплексу для обробки сталевих труб і прокату на основі модульної ЕМ-системи 4. Проект дослідницького стенду для експериментальних досліджень просторово-адаптивних електромеханічних модулів 5. Висновки по роботі
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: основні ілюстрації до розділів.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 4 публікації (див. додаток 1)

8. Консультанти розділів дисертації[□]

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Опис конструкції технологічного комплексу	Красовський П.О., аспірант		
Електромагнітний розрахунок елементарного модуля індуктора	Красовський П.О., аспірант		

9. Дата видачі завдання 01.10.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Інформаційний аналіз літератури	02.10 – 31.11.20	
2	Визначення рівнів структуротворення і рівнів структурної організації адаптивних ЕМ-систем	01.12.20 – 01.02.21	
3	Визначення генетичної програми індукторного модуля	02.02. – 31.03.21	
4	Розробка концепції технологічного комплексу модульної ЕМ-системи	01.04 – 01.06.21	
6	Розробка проекту дослідницького стенду на основі 1 уніфікованого індукторного модуля	01.09 – 26.10.21	
7	Розрахунок параметрів індукторного модуля	27.10 – 15.11.21	
8	Оформлення результатів магістерської дисертації	16.11. – 05.12.21	

Студент

_____ (підпис)

Н.А. Місан
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

В.Ф. Шинкаренко
(ініціали, прізвище)

[□] Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи. Магістерська дисертація присвячена розробці просторово адаптивної модульної електромеханічної системи для автоматизованого технологічного комплексу. У роботі розглянуто і узагальнено сучасний рівень розвитку модульних і просторово адаптивних структур у техніці, зокрема в електромеханіці, визначено генетично природу таких систем, а також описано концепцію практичної реалізації автоматизованого технологічного комплексу для обробки сталевих труб і прокату на основі модульної просторово адаптивної ЕМ-системи з використанням теорії генетичної еволюції ЕМ-систем і генетичного синтезу і аналізу ЕМ-об'єктів. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів включно зі стартап-проектом, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 121 сторінки основного тексту, в тому числі 52 рисунки, 24 таблиці та 50 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми. Огляд літератури і результати патентних досліджень засвідчують, що системний аналіз структурної організації і технічної еволюції просторово адаптивних систем в електромеханіці практично відсутній і на даний час обмежується описом лише їх окремих технічних реалізацій. Тому визначення принципів структуроутворення і аналіз особливостей функціонування просторово розподілених ЕМ-систем модульного виконання у складі автоматизованого технологічного комплексу, є актуальною науково-практичною задачею.

Метою магістерської дисертації є дослідження і розробка модульних електромеханічних об'єктів зі змінною просторовою структурою і геометрією активної зони і їх адаптація до функціонування у складі автоматизованого технологічного комплексу обробки сталевих труб і сталевих прокату.

Об'єктом дослідження є еволюційні процеси генетичного структуроутворення ЕМ-систем, функціонування яких безпосередньо пов'язане зі зміною структури і просторової геометрії активної зони перетворювача енергії.

Предметом дослідження є принципи структуроутворення модульних ЕМ-систем зі змінною структурою і геометрією активної поверхні, рівні їх

структурної організації і особливості режимів функціонування у складі автоматизованого технологічного комплексу з обробки сталевих труб великого діаметру.

Методологія досліджень в магістерській дисертації ґрунтується на використанні структурно-системного підходу, положень теорії генетичної еволюції складних електромеханічних систем, технології генетичного передбачення, методів інноваційного синтезу та системного аналізу ЕМ-структур.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі дослідження:

- Здійснити аналіз принципів реплікації і ізомерії у структуротворенні модульних структур, а також рівні структурної організації модульних електромеханічних структур зі змінною просторовою геометрією активної поверхні;
- Розробити генетичну модель синтезу і запропонувати технічну реалізацію просторово адаптивного індукторного модуля з можливістю зміни його структури і геометрії активної зони.
- Розробити концепцію просторово розподіленої модульної електромеханічної системи у складі автоматизованого технологічного комплексу з обробки сталевих труб великого діаметру і сталевого прокату та здійснити аналіз енергоощадних режимів керування;
- Розробити ескізний проект дослідницького стенду для експериментальних досліджень 3D-адаптивного модуля зі змінною структурою і геометрією його активної зони.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) За результатами аналізу генетичних програм, вперше визначено область існування і генетичні принципи структуроутворення електромеханічних модулів, здатних адаптувати структуру і просторову геометрію активної зони у відповідність з просторовою геометрією технологічного об'єкта;

2) За результатами генетичного моделювання і синтезу, з використанням сучасних композитних матеріалів (еластомірів) вперше розроблено

патентоспроможні технічні рішення на конструкцію і технологію виготовлення уніфікованих електромеханічних модулів, з 2D- і 3D- просторово адаптивною структурою і геометрією активної зони;

3) Вперше розроблено концепцію просторово розподіленої модульної електромеханічної системи у складі автоматизованого технологічного комплексу з обробки сталевих труб великого діаметру і сталевого прокату зі змінною просторовою геометрією і топологією інтегральної активної зони, що дозволяє розширити функціональні можливості комплексу і реалізувати енергоощадні режими керування.

Публікації за тематикою досліджень: Основні положення магістерської дисертації було пройшли апробацію на двох міжнародних науково-технічних конференціях, результати досліджень опубліковано в 4 фахових виданнях, на оригінальні технічні рішення подано дві заявки на патентування (див. додаток 1)

Ключові слова: модульна технологія, просторово розподілена електромеханічна система, індукторний модуль, адаптивна активна поверхня, реплікація, мутація, ізомерна композиція

ABSTRACT

Structure and scope of work. The master's thesis is devoted to the development of a spatially adaptive modular electromechanical system for an automated technological complex. The paper considers and summarizes the current level of development of modular and spatially adaptive structures in engineering, in particular in electromechanics, the genetic nature of such systems is determined, and also describes the concept of practical implementation of an automated technological complex for processing steel pipes and rolled products based on a modular spatially adaptive EM system using the theory of genetic evolution of EM Systems and genetic synthesis and analysis of EM-objects. The dissertation consists of an introduction, 5 sections including a startup project, conclusions, a list of sources and applications used. The total amount of work is 121 pages of the main text, including 52 figures, 24 tables, and 50 bibliographic titles based on the list of references.

Relevance of the topic. A review of the literature and the results of patent research show that the system analysis of the structural organization and technical evolution of spatially adaptive systems in electromechanics is practically absent and is currently limited to describing only their individual technical implementations. Therefore, determining the principles of structure formation and analyzing the features of functioning of spatially distributed modular EM Systems as part of an automated technological complex is an urgent scientific and practical task.

The purpose of the master's thesis is research and development of modular electromechanical objects with variable spatial structure and core geometry and their adaptation to operation as part of an automated technological complex for processing steel pipes and rolled steel.

The object of research is the evolutionary processes of genetic structure formation of EM Systems, the functioning of which is directly related to changes in the structure and spatial geometry of the energy converter core.

The subject of the research is the principles of structure formation of modular EM Systems with variable structure and geometry of the active surface, the levels of

their structural organization and features of operating modes as part of an automated technological complex for processing large-diameter steel pipes.

The research methodology in the master's thesis is based on the use of a structural-system approach, the provisions of the theory of genetic evolution of complex electromechanical systems, genetic prediction technology, methods of innovative synthesis and system analysis of EM structures.

To achieve this goal in the work it is necessary to solve the following research tasks:

- Analyze the principles of replication and isomerism in the structure formation of modular structures, as well as the level of Structural Organization of modular electromechanical structures with variable spatial geometry of the active surface;
- Develop a genetic model for the synthesis of an inductor module with the possibility of spatial adaptation of the active surface.
- Develop a preliminary design of a spatially adaptive modular EM system as part of a technological complex for processing large-diameter steel pipes, and analyze energy-saving Control modes

The scientific novelty: 1) based on the results of the analysis of genetic programs, the scope of existence and genetic principles of structure formation of electromechanical modules capable of adapting the structure and spatial geometry of the core in accordance with the spatial geometry of the technological object are determined for the first time;

2) based on the results of genetic modeling and synthesis, using modern composite materials (elastomers), patentable technical solutions for the design and manufacturing technology of unified electromechanical modules with 2D and 3D spatially adaptive structure and core geometry were developed for the first time;

3) for the first time, the concept of a spatially distributed modular electromechanical system was developed as part of an automated technological complex for processing large-diameter steel pipes and rolled steel with variable spatial geometry and integrated core topology, which allows expanding the functionality of the complex and implementing energy-saving Control modes.

Research publications: the main provisions of the dissertation were presented at two international scientific and technical conferences and 4 scientific publications (see Appendix 1)

Keywords: Keywords: modular technology, spatially distributed electromechanical system, inductor module, adaptive active surface, replication, mutation, isomeric composition

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	12
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ПОШИРЕННЯ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ І МОДУЛЬНОГО ДИЗАЙНУ В СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ	15
1.1 Тенденції поширення і практичного використання модульних платформ і модульного дизайну в сучасній техніці.....	15
1.2 Просторова адаптація в сучасних технічних системах.....	19
1.3 Просторово адаптивні електромеханічні системи.	22
1.4 Електропривод на основі лінійного двигуна з поперечним магнітним потоком	24
1.5 Автоматизовані технологічні комплекси – як основа цифрової економіки у викликах промислової революції Industry 4.0.....	28
РОЗДІЛ 2 ГЕНЕТИЧНА ПРИРОДА СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕВОЛЮЦІЇ МОДУЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.	35
2.1 Модульний принцип і види адаптації в генетично організованих системах. 35	
2.2 Принцип реплікації і ізомерії – основа структуроутворення ЕМ-структур модульного типу	42
2.3 Рівні структурної організації просторово адаптивних ЕМ-систем	47
2.4 Принципи структуроутворення і еволюція ЕМ-об’єктів з адаптивною геометрією активної поверхні.....	49
2.5 Генетична модель багатофункціонального індукторного модуля з 3D – просторово адаптивною активною поверхнею.....	55
РОЗДІЛ 3 КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ СТАЛЕВИХ ТРУБ І ПРОКАТУ НА ОСНОВІ МОДУЛЬНОЇ ЕМ-СИСТЕМИ	59
3.1 Опис конструкції і функцій автоматизованого технологічного комплексу.....	59

3.2 3D модель проекту реалізації автоматизованого технологічного комплексу для оперування сталевим прокатом.....	61
3.3 Аналіз режимів керування автоматизованого технологічного комплексу.....	65
3.4 Технологічні процеси, які реалізуються на основі просторово розподіленої модульної ЕМ-системи.....	68
3.5 Енергоощадне керування технологічними процесами шляхом адаптації просторової геометрії і топології інтегральної активної зони ЕМ-системи	70
3.6 Опис функціональних особливостей і варіантів конфігурацій ПА-модулів з 2D просторовою адаптацією.....	74
РОЗДІЛ 4 ЕСКІЗНИЙ ПРОЕКТ ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОСТОРОВО-АДАПТИВНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ МОДУЛІВ.....	79
4.1 Технічне завдання на дослідницький стенд.....	79
4.2 Опис конструкції і основних вузлів стенду	81
4.3 Електромагнітний розрахунок елементарного модуля активного індуктора	85
4.4 Особливості технології виготовлення просторово адаптивного модуля індуктора	95
РОЗДІЛ 5 СТАРТАП – ПРОЕКТ.....	98
5.1 Опис ідеї проекту.....	98
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	100
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проект	101
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту і маркетингової програми	106
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	108
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	113
ДОДАТКИ.....	119

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- АТК – автоматизований технологічний комплекс
- ВЕ – вторинний елемент
- ГК – генетична класифікація;
- ЕМ-об'єкт – електромеханічний об'єкт;
- ЕМПЕ – електромеханічний перетворювач енергії;
- ЕМ-система – електромеханічна система;
- ЕМ-структура – електромеханічна структура;
- ІМ – індукторний модуль;
- ЛАД - лінійний асинхронний двигун;
- МС – модульна структура
- ПА – просторово адаптивні
- ПДП – первинне джерело поля;
- ТК – технологічний комплекс
- ТР – технічне рішення;
- ЦЛЮ.2у – генетичний код батьківської електромагнітної хромосоми;
- ЦЛЮ.2у – генетичний код Виду ЕМ-об'єктів, синтезованих на батьківській електромагнітній хромосомі ЦЛЮ.2у.

ВСТУП

Сучасне машинобудування проникло практично в усі сфери людської діяльності і досягло величезних успіхів у підвищенні її ефективності. Сучасне виробництво стає надзвичайно гнучким, орієнтованим на індивідуальні запити споживачів і на певні обсяги виробництва з урахуванням ємності ринку збуту. Пройшли часи, коли підприємство могло випускати одну і ту ж продукцію десятиліттями. Сьогодні спостерігається тенденція скорочення життєвого циклу виробу, обумовлена прагненням виробників швидше і максимально повніше задовольняти потреби суспільства, що, в свою чергу, стимулює зростання цих потреб. Безперервно зростаючі потреби суспільства породжують зростання різноманітності машинобудівних виробів, розширюють область їх призначення. Необхідність випуску конкурентоспроможної продукції вимагає безперервного вдосконалення технологічних процесів і засобів технологічного оснащення.

Вирішення цієї проблеми лежить в автоматизації технологічного процесу, що в свою чергу, вимагає подальшого розвитку наукових основ керування технологічними комплексами.

З розширення номенклатури виробів, що випускаються, зниженням життєвого циклу традиційні види технологій (одинична, типова, групова) вже не задовольняють вимогам виробництва. Тому назріла необхідність пошуку нового виду технології, що дозволяє істотно знизити терміни технологічної підготовки виробництва і підняти її ефективність. Перспективним в цьому відношенні є новий вид технології - модульна технологія. Вона базується на наскрізному застосуванні модульного принципу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Такий підхід дозволяє на підприємствах організувати елементарну базу технологічних процесів на модульному рівні і з цим методом компоновання будувати технологічні процеси, обладнання та гнучкі виробничі системи. У зв'язку з цим впровадженням нових технологічних процесів про широке застосування цифрових технологій і адаптивних систем керування є найважливішим напрямком промислової революції Industry 4.0.

Результати патентно-інформаційних досліджень засвідчують, що системний аналіз принципів структурної організації і технічної еволюції модульних просторово-адаптивних систем в електромеханіці практично відсутній, і на даний час фрагментарно представлений окремими варіантами технічної реалізації. Тому визначення принципів структуроутворення і аналіз особливостей функціонування просторово розподілених ЕМ-систем модульного виконання у складі автоматизованих технологічних комплексів є актуальною науково-практичною задачею.

Дисертаційна робота виконувалась за проблематикою міжнародної програми досліджень, відповідно з рамковим договором про співпрацю між КПІ ім. Ігоря Сікорського і Асоціацією польських електриків (SEP). Дослідження проводились за планом ініціативної НДР кафедри електромеханіки «Генетична організація і еволюція електромеханічних об'єктів з адаптивною геометрією активної зони» (№ держреєстрації 0120U105525).

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ПОШИРЕННЯ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ І МОДУЛЬНОГО ДИЗАЙНУ В СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

1.1 Тенденції поширення і практичного використання модульних платформ і модульного дизайну в сучасній техніці.

Модульність – інструмент раціоналізації сучасного виробництва, ефективного управління його складністю. Ще в ХІХ столітті набули поширення конструкції з стандартизованих деталей в будівництві, що сприяло переходу до складання будинків з використанням типових і виготовлених в заводських умовах сталевих елементів, а також у виробництві меблів. До початку ХХ-го століття промисловість послідовно рухалася до використання модульних конструкцій, освоюючи технології інтеграції у виробництво стандартизованих і замінних технологічних вузлів.

Перехід промисловості до конструювання, виробництва та технічного сервісного обслуговування продукції, зібраної з модулів – стандартизованих технологічних блоків є актуальною задачею на шляху до оптимізації виробничих процесів, швидкої зміни і адаптації під вимоги ринку.

Процес поширення модульної архітектури пов'язаний з тим, що у виробництві, що базується на зрілих технологіях, використання модульних конструкцій і модульного дизайну різноманітних платформ забезпечує істотний вигравш в гнучкості цього виробництва і його економічної ефективності.

Вже до 1990-х років перехід до модульних конструкцій став здійснюватися в масовому порядку у всіх галузях, виникало "перевиробництво" модулів і модульних платформ. Так модель модульного виробництва була оптимізована і почався новий етап - заміни простих модульних платформ уніфікованими. Дизайн, що забезпечує рекомбінацію стандартних модулів, а не сама унікальність останніх, змогли забезпечити гнучке реагування виробництва на запити споживачів. При цьому стандартизація технологій і системи менеджменту дозволили будувати неймовірні ланцюжки поставок. [1]

Однією з яскравих прикладів уніфікації виробництва у створенні спільних модульних платформ, стала запущена VAG Group практика спільної бази для моделей різних класів і розмірів під назвою MQB для автомобілів з поперечним розташуванням двигуна. Колісна база, кліренс, ширина, передній і задній звіси — всі ці розміри у MQB можуть змінюватися. (рис. 1.1) Єдиний фіксований параметр - відстань від осі передніх коліс до передніх стійок. Так що на одній архітектурі виходить будувати дуже різні між собою автомобілі, наприклад малий за розмірами хетчбек Volkswagen Golf і крупний кросовер Skoda Kodiaq.



Рисунок 1.1 Швидка і зручна зміна колісної бази у модульній платформі MQB

Якщо уніфікувати багато елементів, можна заощадити як на інвестиціях, так і на часі, необхідних для розробки нової моделі. Наприклад, з впровадженням MQB відбулася уніфікація кріплень передньої панелі - до цього кронштейни у кожній моделі були свої. (рис. 1.2)



Рисунок 1.2 Уніфіковане кріплення передньої панелі на автомобілях VAG

Згідно з фінансовими дослідженнями, платформа MQB, дозволила Volkswagen заощадити 14 млрд євро до кінця 2019 року і на 30% зменшила час на складання кожного автомобіля.[3]

Їх приклад наслідують як інші автовиробники так і сфери виробництва, тому що всім потрібно економити на розробці і виробництві, бо у сьогоднішніх реаліях відбувається постійне ускладнення вироблених вузлів і деталей, оновлення їх у зв'язку з ростом попиту і конкуренції, а також розширення лінійки продукції, що диктується потребами ринку, уніфікація і модульність дозволить задовольнити частину цих потреб разом з тим стане частиною автоматизації технологічних комплексів, за яким стоїть майбутнє. Економія від застосування модульних платформ стане визначальною в найближчі роки.

Також сучасний рівень досліджуваного класу представлений новими поколіннями складних електромеханотронних агрегатів модульного виконання з "інтелектуальними" адаптивними компонентами. Такі функціональні модулі можуть суміщувати в єдиному конструктивному виконанні функції електродвигуна, редуктора, системи позиціонування і штучного інтелекту.

Прикладом таких проектів є розробка Массачусетського технологічного інституту, де створено мініатюрний робот – трансформер (рис. 1.3), модулі якого оснащено мікродвигунами зі змінною геометрією і топологією активної зони.

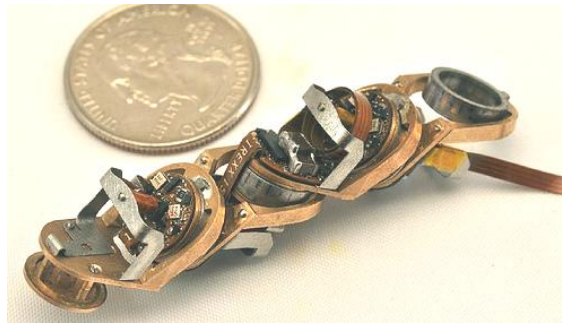


Рисунок 1.3 Мікроробот – трансформер зі адаптивною просторовою геометрією модулів

Ідея створення мікроробота запозичена з багатовимірної структури ДНК, а його назва Міллі-мотейн, розшифровується як MILLImeter MOtor proTEIN. Мікроробот розглядається як прототип для створення інтелектуальних роботів – трансформерів, здатних динамічно адаптувати свою просторову геометрію і робочі функції у відповідності з заданою програмою.

Вагомим мінусом є те, що представлений вище приклад мікроробота не є абсолютно гнучким, так як рушії окремих його частин – актуатори, все одно залишаються жорсткими. Інша розробка робохробака, що складається з самозгинаючих модулів, кожен з яких приводиться в рух за допомогою актуатора на основі рідкокристалічного еластомеру — полімерного матеріалу, що поєднує в собі властивості рідких кристалів з еластичністю еластомерів (рис. 1.4). Такі актуатори можуть бути використані для механізмів, рух яких пов'язаний зі згинанням.

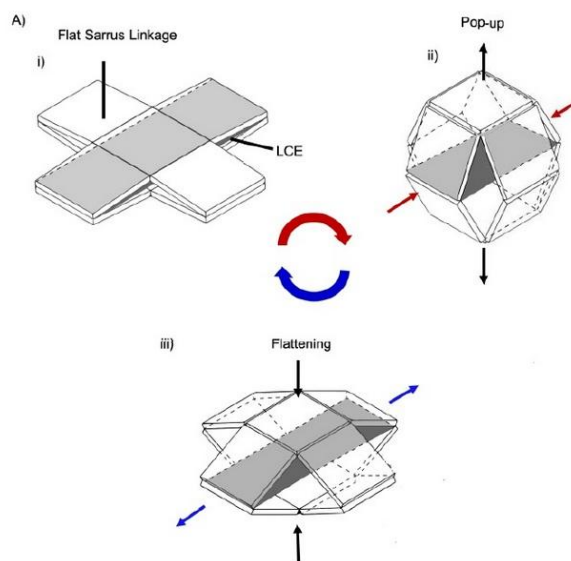


Рисунок 1.4 Самозгинаючий механізм Саррюса з актуатором на основі рідкокристалічного еластомеру, червоні і сині стрілки показують стадії нагріву і охолодження

До тих пір, поки температура матеріалу нижче певної межі, всі мезогени (стрижнеподібні структури) збудовані в одному напрямку. Однак при температурі вище граничної мезогени орієнтуються хаотично, утворюючи ізотропну фазу без виділеного внутрішнього напрямку. Макроскопічно цей фазовий перехід проявляється в деформації (стисненні) матеріалу.

Модульність - інструмент раціоналізації сучасного виробництва, ефективного управління його складністю, але вона доцільна лише в умовах, коли ринки зрілі, а технологічні рішення переслідують не стільки радикально-інноваційного перевороту, скільки оптимізації. Тож на сьогодні, при запуску наступного інноваційно-технологічного циклу, просторово розподілена архітектура у поєднанні з модульністю нерідко виявляється більш кращою в порівнянні з модульною.

1.2 Просторова адаптація в сучасних технічних системах

Термін «адаптація» походить від пізньолатинського «*adaptio*» (приспосовання), який вперше введений в науковий обіг німецьким фізіологом Г. Аубертом у 1864 р. Адаптація в техніці – це здатність технічних пристроїв або систем пристосовуватися до мінливих умов навколишнього середовища або (і) до змін власної структури або алгоритму функціонування, що призводить до підвищення ефективності їх роботи.

Сьогодні поняття адаптації є загальнонауковим і широко використовується у природничих, технічних і гуманітарних наукових дисциплінах. За визначенням Ю.А. Урманцева, під адаптацією розуміється здатність будь-якої системи отримувати нову інформацію для наближення своєї поведінки і структури до оптимальної [20]. Отже, в модернізації технологічного обладнання під більш широкий спектр можливостей покладена також вимога здатності до просторової адаптації, саме це дозволить значно підвищити споживчі властивості обладнання і при тому часто дозволяє зменшити кінцеву вартість продукції і оптимізувати як її доставку до замовника так і процес експлуатації такого обладнання.

В такого роду модернізації зацікавлені велика кількість сфер: від щоденного користування такими засобами у побуті і виробництві до сфер авіації, військової техніки і космосу.

Одним з прикладів просторової адаптації у техніці є винахід Міністерства оборони США – колесо трансформер, яке може змінювати свою просторову адаптацію під умови ґрунту.[4] Від традиційної круглої форми колесо здатне трансформуватись у трикутної форми гусеничних рушіїв, тим самим збільшувати площу контакту з поверхнею і зменшувати середній тиск на ґрунт при їзді по бездоріжжю(рис.1.5).



А)



Б)

Рисунок 1.5 Гібридна система колеса RWT (Reconfigurable Wheel Track) а) кругла конфігурація колеса б) для руху по бездоріжжю гусенична к-ція

Також, просторово-адаптивні системи знайшли своє дуже широке застосування в авіоніці. Якщо у перших літальних апаратів льотчик, за допомогою дротяних тросів, змінював форму дерев'яної конструкції крила, за рахунок чого, забезпечувалася керованість літаком, то вже після винайдення елеронів і автоматизації їх рухів, зміна просторової геометрії (відхилення) поверхні крила і хвостового керування, стала використовуваною у авіації всього світу. В подальшому цю технологію тільки модернізували. Сьогодні найсучасніші літаки обладнані еластичними крилами. Також очікується, що за рахунок застосування крил змінюваного в польоті профілю літаки будуть споживати менше пального. Так, Boeing 777X планують оснастити крилом зі складними зовнішніми секціями для керування в момент паркування, як, наприклад, це застосували на палубних літаках, для економії місця на авіаносці.



Рисунок 1.6 Крила багатьох палубних літаків складаються для економії місця на авіаносці

Важливою для інженерів в авіоніці є задача по розробці керованої поверхні, яка змінює кривизну профілю крила в залежності від режиму польоту, аеродинаміка літака зміниться, що збільшить його паливну ефективність практично у всьому діапазоні висот[5].

Найбільш показовою сферою використання просторово адаптивних модулів і технологій є робототехніка, де найбільш важливим завданням по випуску продукції є забезпечити гнучкість, причому навіть на рівні випуску одиничних продуктів. Наприклад виробник MultiChoiceGripper пропонує унікальну комбінацію різних типів захватів з гнучкими адаптивними пальцями. Просторово адаптивна конструкція здатна виконувати захоплення не тільки в різних напрямках, але і захоплювати абсолютно різні форми. Палець складається з 2х гнучких полос що зводяться до краю, і зв'язані жорсткими поперечними зв'язками. Привод на основі таких «пальців» може складатись на основі крокового двигуна. При обертанні двигуна, крутний момент діє на шпindelъ приводу, гвинт передає осьовий рух на пластину, яке діє через важільний механізм на всі три пальці. Таким чином, в залежності від напрямку обертання двигуна, пальці можуть рухатися один до одного або один від одного; затискаючи або відпускаючи об'єкт (рис. 1.7).

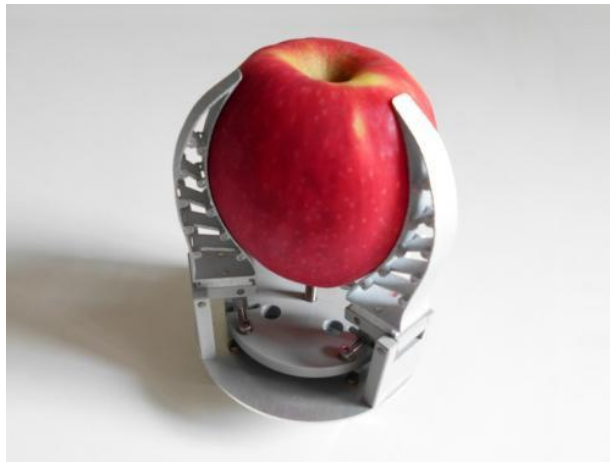


Рисунок 1.7 Універсальний захват для роботів у дії

Потенціал розробки і застосування еластичних полімерів для просторово-адаптивних поверхонь і механізмів є просто надважливою задачею для інженерів сьогодення. Тому що модернізація технологічних об'єктів з можливістю адаптації є актуальною задачею у еволюції і розвитку технологічних комплексів.

1.3 Просторово адаптивні електромеханічні системи.

Сучасні просторово адаптивні модульні системи можуть суміщувати функції виконавчих органів з елементами самоорганізації і штучного інтелекту. Найпростішим прикладом такої системи є генератор «Aard» [2], що поєднує в собі енергію вітру і сонця. Генератор має модульну будову гнучких сонячних панелей, що встановлені на його поверхні. Протягом дня він збирає сонячну енергію і зберігає у бортових акумуляторах, а при вітряній погоді, сферичний пристрій починає обертатись, використовуючи силу бортової динамо-машини (рис. 1.8).

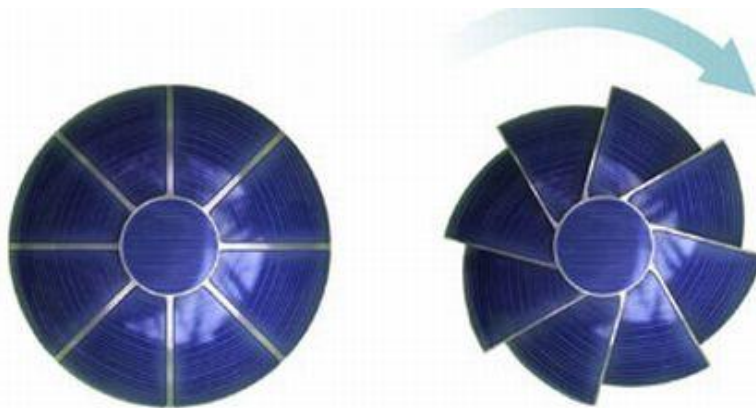


Рисунок 1.8 Генератор «Aard» який поєднує в собі енергію вітру і сонця

Іншими прикладами таких систем є роботизовані комплекси з реконфігурованими структурами, просторово розподілені електромеханічні системи безтросових пасажирських ліфтів серії MULTI, реалізованих по технології Maglev, електромеханічні системи розгалужених мереж 3D – конвеєрів, морфологічно адаптовані системи автоматизованих технологічних комплексів та ін. [5-9].

Один з актуальних напрямів практичної реалізації ідеї просторово адаптивних систем є автоматизовані модульні конвеєрні системи з просторово розподіленою системою модулів лінійних синхронних двигунів. Рушії з магнітним приводом переміщуються по траєкторії руху повністю інтегрованих індукторних модулів, а програмне забезпечення для автоматизації, незалежно керує двигунами з індивідуальними профілями руху. Тому, транспортна система готова до роботи відразу після складання, як силова електроніка і вимірювання переміщення включені в моторні модулі XTS, а рушії повністю пасивні. Завдяки різній геометрії моторних модулів може бути створена як відкрита, так і замкнена траєкторія руху, а площа машини може бути зменшена за рахунок індивідуального компонування гусениць. XTS не тільки замінює звичайні конвеєрні стрічки, але й забезпечує інноваційну конструкцію всієї машини. Завдяки гнучким профілям руху можуть бути реалізовані як прості, так і дуже складні процеси, і, таким чином, весь виробничий процес може бути оптимізований [10].

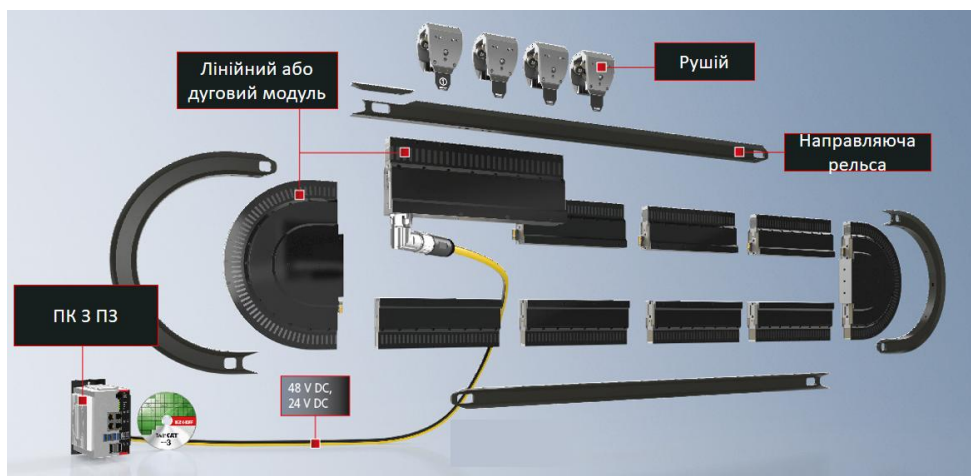


Рисунок 1.9 Модульна система XTS складається з модулів двигунів, напрямних рельс і рушіїв, і у зв'язку з встановленим програмним забезпеченням виникає ідеальна адаптація до необхідних умов експлуатації

Конвеєрна система функціонує за принципом «розумної» гусениці, що дозволяє змінювати просторову конфігурацію технологічного процесу і одночасно забезпечувати програмований рух кожного модуля з незалежними траєкторією, швидкістю руху, динамічними прискореннями та місцем зупинки.

Впровадження таких систем дозволило зекономити 30% виробничої площі, до 50% знизити енергоспоживання і скоротити час технологічного циклу з 10 до 3 с.

І таких прикладів можна навести багато. Тобто ми чітко бачимо актуальність розвитку модульних структур з можливістю просторової адаптації і в електромеханіці в тому числі.

1.4 Електропривод на основі лінійного двигуна з поперечним магнітним потоком

Лінійні асинхронні двигуни можуть бути широко використані у багатьох сферах життєдіяльності і промисловості, наприклад застосовують для приводу заслінок, стрічкових конвеєрів, підйомно-транспортних механізмів в приводі підйомних кранів. Лінійні асинхронні двигуни (ЛАД) у багатьох випадках найкращим способом задовольняють задачу максимального поєднання електромеханічного перетворювача енергії і виконавчого механізму (вторинної частини). За рахунок безконтактної передачі зусилля лінійні двигуни забезпечують такі додаткові переваги, як відсутність втрат на тертя і знос механічних передач.[12]

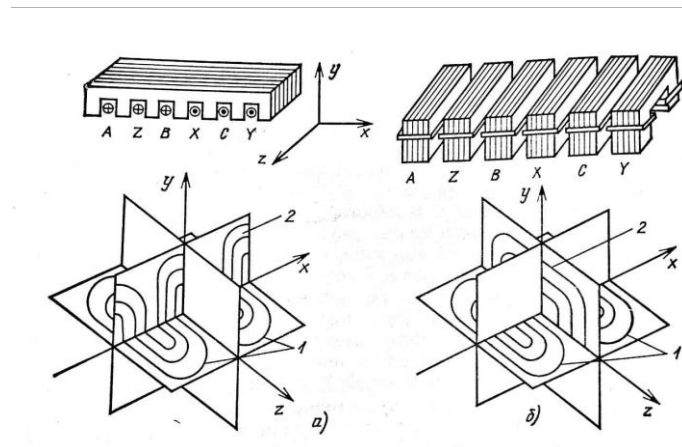


Рисунок 1.10 Конструкція і схеми ЛАД з повздовжнім (А) і поперечним (Б) магнітними потоками: 1- лінії електричного струму, 2 – лінії магнітного потоку

Лінійні асинхронні двигуни можуть виконуватись з повздовжнім, повздовньо-поперечним або поперечним магнітним потоком і мати велику кількість варіантів конструкцій. За будовою ЛАД класифікують наступним чином (рис.1.10):

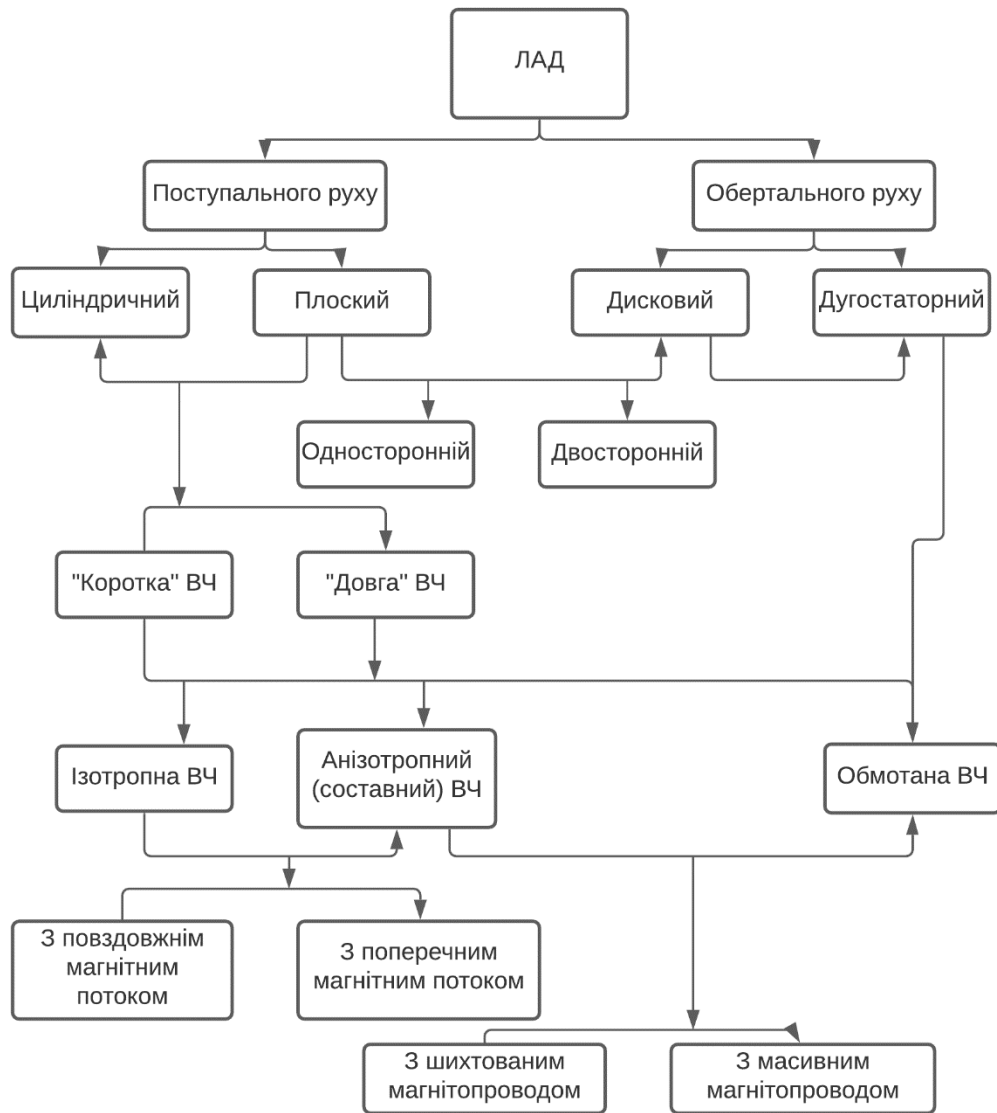


Рисунок 1.11 Класифікація ЛАД

Також застосування ЛАД представлено у багатьох інноваційних розробках, наприклад у проєкті магнітолевітаційного транспорту, та для проєкту різновиду вакуумного потягу «Гіперлуп», використовується лінійний асинхронний двигун з поперечним магнітним потоком. Тягові ЛАД вже багато років успішно експлуатуються в Китаї на магнітно-левітаційному поїзді, що з'єднує м Шанхай з аеропортом. Лінійні асинхронні двигуни можуть мати різні конструктивні виконання магнітопроводів (суцільні, дискретні) і обмоток (розподілені, зосереджені, трьох - і двофазні). ЛАД з поздожньо-поперечним магнітним потоком вельми перспективні для магнітолевітаційного і вакуумного транспорту

оскільки ці лінійні двигуни не тільки створюють тягові і левітаційні зусилля, але і здатні забезпечити бічну стабілізацію високошвидкісного руху[11].



Рисунок 1.12 Модульна система ЛАД для проєкту вакуумного потягу

Лінійні асинхронні двигуни з поздовжньо-поперечним замиканням магнітного потоку мають розімкнуту магнітну систему і при їх роботі проявляються поздовжній і поперечний кінцеві ефекти, які мають великий вплив на тягові властивості ЛАД. Тому при розрахунку необхідно враховувати вплив кінцевих ефектів.

Лінійний асинхронний двигун з поперечним магнітним потоком (ЛАДПП) розвиває зусилля левітації, достатні для левітації індуктора у власному магнітному полі машини.

Відома розробка київських вчених – монорейковий вагон з лінійним асинхронним двигуном який був створений у 1966 році і призначений для 6 пасажирів та 1 водія з двома тяговими лінійними двигунами потужністю по 5 кВт (рис 1.13). Це і дозволило отримати від уряду України кошти на будівництво кільцевої дороги завдовжки 525 м для Виставки досягнень народного господарства (ВДНГ) України в Києві. Розробка обіцяла згодом вийти на широкі міські та міжміські простори. У початкових проєктах статор лінійного двигуна жорстко кріпився до вагончика монорейки і зазор між ним і ротором (реактивною половою) доводилося робити великим, щоб при поперечних коливаннях вагона та на

поворотах вони не торкалися один до одного. Двигун виходив важким та енергоємним. Науковці знайшли просте, але вдале рішення: статор став спиратися на ротор через обгумовані колеса і слідувати за ним, а сила тяги передавалася на кузов через гнучкий зв'язок. Вагончики могли рухатися по легкій естакаді зі сталевого прокату зі швидкістю до 52 км/год.

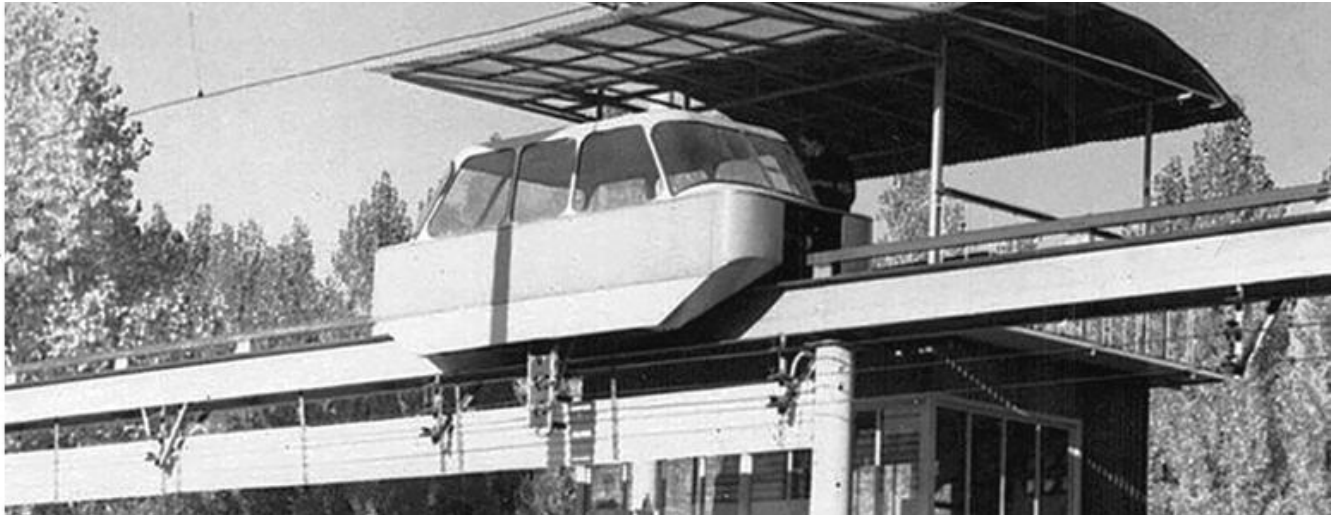


Рисунок 1.13 Перша в світі монорейкова транспортна система естакадного типу з тяговими лінійними асинхронними двигунами на території ВДНГ УРСР (Київ, ОКБ лінійних електродвигунів, 1964 р.).

Водночас були розроблені та впроваджені електроприводи з лінійними двигунами для злитковоза (24 кВт, 36 км/год) та буксировочного пристрою дослідного басейну Інституту гідромеханіки АН України.

Важливою проблемою при створенні транспортних систем з лінійним електроприводом виявилось забезпечення безконтактного регулювання положення транспортного екіпажу на основі використання магнітного підвісу, що забезпечує його левітацію і дає можливість підвищити швидкість руху до 350–500 км/год. [13]

1.5 Автоматизовані технологічні комплекси – як основа цифрової економіки у викликах промислової революції Industry 4.0

Завдяки прориву в технологіях, сучасний світ стоїть на порозі нової промислової революції, перебуваючи в тій стадії цифрової трансформації, коли інновації з різних галузей промисловості взаємно проникають і змінюють один одну. Ми вже пережили індустриальні революції, пов'язані з силою води і пари,

силою електрики, силою інформаційних технологій і автоматизації. Індустрія 4.0 (Industry 4.0) [14] має на увазі перехід на повністю автоматизоване цифрове виробництво, кероване інтелектуальними системами в режимі реального часу в постійній взаємодії із зовнішнім середовищем (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 Етапи розвитку промисловості

Індустрія 4.0 - концептуальна основа четвертої промислової революції, що об'єднала в понятті кіберфізичної системи кількох існуючих і розроблюваних технологічних і цифрових напрямків, здатних кардинально змінити структуру промисловості і виробничих відносин. Поняття виникло в 2011 році в Німеччині і еволюціонує паралельно з розвитком включених в неї технічних рішень.

Краще описати цей термін використовуючи функціональний підхід, складовими факторами якого є:

- Висока якість продукції за рахунок автоматизації та роботизації виробництва, відсутності бракованих виробів, у разі нерентабельності робототехнічних рішень у перехідний період — превентивне усунення браку за допомогою цифровізації виробничих процесів.
- Висока ефективність виробництва за рахунок прискореного впровадження нових технологічних і виробничих рішень.
- Висока планованість майбутнього завантаження підприємств, зниження витрат за рахунок оптимізації ресурсоємних процесів і планування експлуатаційних витрат. Предиктивна аналітика від планування

завантаження технологічних ліній до управління процесом впровадження нових продуктів.

- Збільшення конкурентних переваг у межах виробничого циклу. Перехід від вертикальної інтеграції виробничих процесів до горизонтальної, при якій виробничий цикл не концентрується в рамках однієї важкої і слабо керованої компанії, а розподіляється між кількома компаніями, що виробляють близькі товари/послуги в одній виробничій ніші.
- Висока гнучкість виробничих процесів, швидке автоматизоване переналаштування веде до кастомізації продуктової лінійки, а промисловий продукт, виготовлений за індивідуальним дизайном, стає стандартом.
- Повне виробниче завантаження за рахунок мінімізації простоїв обладнання та виробничих аварій.
- Пряма взаємодія "продукт-споживач", смерть традиційного маркетингу і заміна на автоматичний збір і машинну обробку даних. Оптимізація виробництва як під випуск нестандартної продукції із заданими технічними характеристиками (персоналізоване виробництво), так і для виконання типових операцій.

Підсумок – «безлюдне виробництво» і повне виключення людини з виробничого процесу, автоматизація логістики і традиційних маркетингових інструментів.

У зв'язку з тим що в найближчому майбутньому складно уявити повністю автоматизовану систему, хоча б через складність і дороговизну наявних технологічних і інжинірингових можливостей, виділяють два варіанти фабрик майбутнього – цифрова і розумна, які є посереднім елементом на шляху до повної цифровізації виробництв – віртуальна фабрика. Цифрова фабрика –це перший етап трансформації виробництв в фабрику майбутнього, що охоплює стадії проектування і планування виробів і виробництва з пріоритетом технологій цифрового моделювання. "Розумна" фабрика — другий етап, що приймає технології попереднього періоду, але концентрується на організації гнучкого серійного виробництва, технологіях автоматизації та роботизації та побудови

сенсорної інфраструктури. Віртуальна фабрика – це сумарна система, що включає технології і «розумних», і цифрових заводів, але робить акцент на створенні розподіленої мережі виробництв, що використовують у вигляді єдиного об'єкта, віртуальну модель всіх організаційних, технологічних, логістичних та інших процесів на рівні глобальних ланцюжків поставок. Іншими словами – це і є «Індустрія 4.0».

Під терміном «розумне виробництво» почала широко використовуватися PLM-система (англ. product lifecycle management) - це прикладне програмне забезпечення для управління життєвим циклом продукції. Технології PLM об'єднують методики і засоби інформаційної підтримки виробів протягом усіх етапів їх життєвого циклу. Цілі впровадження системи PLM

- підвищення продуктивності праці співробітників
- скорочення термінів підготовки виробництва
- підвищення якості продукції і ступеня задоволеності клієнтів
- зниження вартісних витрат
- супровід інтелектуальної власності підприємства; забезпечення даними АСУП / ERP-системи;

У майбутньому продукти, що виготовляються підприємствами, в рамках концепції Industry 4.0 повинні будуть «говорити» обладнанню, як, де і ким вони повинні бути виготовлені, для кого повинні бути зроблені і куди відправлені; устаткування буде автоматично перенастроюватися в залежності від «запитів» продуктів на конвеєрній стрічці, а компоненти, системи управління, ERP-системи, працівники підприємств та інші суб'єкти каналу руху товару – обмінюватися даними про стан технологічних процесів, своїх потребах, стан товарів на етапі руху від сировини до споживача. Розглянемо компоненти виробничої ділянки:

- інтелектуальний транспортний засіб;
- інтелектуальний верстат;
- середовище передачі даних;
- хмарне сховище даних.

Інтелектуальний транспортний засіб володіє наступними можливостями:

- завжди підтримує зв'язок з хмарою;
- завантажує з хмари технологію виготовлення тієї чи іншої деталі;
- визначає траєкторію переміщення до обладнання;
- перевіряє доступність обладнання для виведення чергової технологічної операції;
- переміщує деталі між обладнанням;
- переміщує деталі в тимчасове сховище.

Інтелектуальний верстат володіє наступними можливостями:

- набір датчиків визначає стан основних вузлів обладнання;
- засіб передачі даних передає в хмару інформацію про поточний стан обладнання і стадії виготовлення деталі;
- внутрішній контролер управляє механізмами пристрою і знімає показання з датчиків;
- за заданою технологією обробляє деталь що поступила;
- повідомляє про завершення обробки деталі.

Середовище передачі даних побудоване за бездротовою технологією для реалізації принципу мобільності і масштабованості.

На рисунку 1.15 наведено принцип взаємодії між компонентами автоматизованої системи:



Рисунок 1.15 Принцип взаємодії між компонентами автоматизованої системи

З рисунка 1.16 видно, що кожна деталь при надходженні на інтелектуальну ділянку проходить ряд стадій обробки. Інтелектуальний транспортний засіб виконує роль мобільного агента. Його основне завдання - взаємодія з обладнанням через розподілену промислову мережу, що об'єднує в себе як провідні, так і бездротові протоколи.

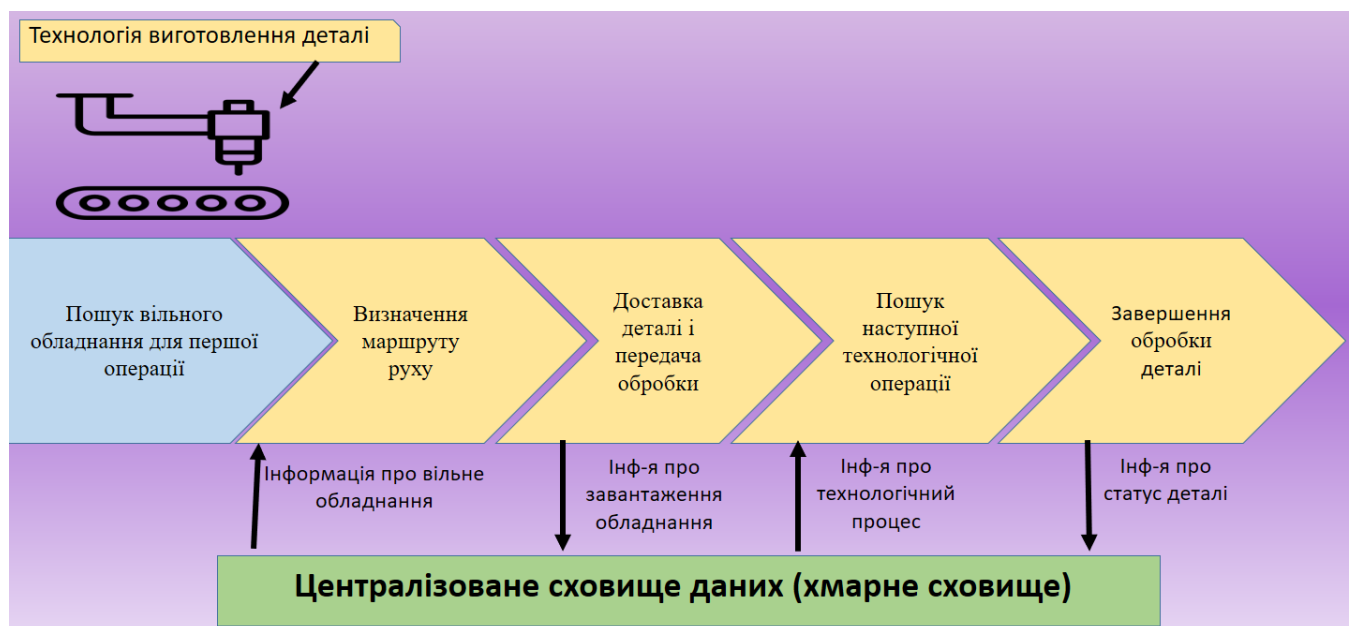


Рисунок 1.16 Основні стадії обробки деталі

Україна також долучилась до цього руху і в липні 2016 році була досягнута стратегічна угода секторів ІТ та АСУТП (ОТ) навколо положень Хартії Індустрії 4.0. Так виник національний рух Індустрії 4.0. В 2018 році була розроблена національна стратегія Індустрії 4.0. 14 проектів згруповані по 6 напрямам дій й АППАУ взяла на себе відповідальність за їх впровадження. Відтоді моніторинг руху йде згідно планів цієї стратегії.[16]

Промислова концепція «Індустрія 4.0» - це глобальна, складна, багаторівнева організаційно – технічна система, заснована на інтеграції в єдиний інформаційний простір фізичних операцій і супутніх процесів складається з підсистем: організаційно-технічна система управління життєвим циклом виробів, SMART Factory – продуманий завод, Interoperability –функціональна сумісність. "Індустрія 4.0" передбачає цифровізацію та інтеграцію всіх процесів управління в рамках всієї організації, починаючи від розробки продуктів і закупівель і закінчуючи виробництвом, логістикою та обслуговуванням.

РОЗДІЛ 2 ГЕНЕТИЧНА ПРИРОДА СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕВОЛЮЦІЇ МОДУЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.

2.1 Модульний принцип і види адаптації в генетично організованих системах.

Сучасна тенденція у розвитку мобільних технічних систем пов'язана з переходом від класичних жорстких форм і моноструктур до просторово розподілених структур з адаптивною просторовою геометрією, функціонування яких максимально наближено до природних аналогів. Зазначена тенденція зумовлена зростанням вимог до розширення функціональних можливостей, покращення масогабаритних показників, підвищення енергоефективності і надійності технічних систем на основі використання новітніх матеріалів, адитивних технологій і широкого впровадження цифрових електронних систем автоматичного керування

Новітній напрям розвитку техніки ще не отримав однозначного визначення і зустрічається під різними термінологічними назвами: «еластична механіка», «машини і механізми з адаптивною морфологією», «м'яка робототехніка» «гнучка електроніка», «реконфігуровані системи», «антропоморфні роботи – трансформери» тощо. Адаптивне функціонування таких систем максимально наближене до функціонування об'єктів природного походження і може суміщувати виконавчі електромеханічні модулі, елементи робототехніки, пристрої контролю параметрів і технічного зору, електронні компоненти локальної самоорганізації і підсистеми штучного інтелекту.

Як в природі, так і в техніці особливе місце посідають системи наділені можливістю просторової адаптації. В процесі еволюції складних систем адаптація виконує важливу функцію пристосування генетично визначеної структури до мінливих зовнішніх умов її функціонування. У живій природі адаптація є одним з необхідних і потужних факторів в боротьбі за існування. У більш широкому сенсі, механізми адаптації визначають незмінність генотипу через мінливість фенотипу об'єктів певної фізичної природи. Якщо структура системи забезпечує їй

нормальне функціонування в даних умовах середовища, то таку систему слід вважати адаптованою до цих умов. Принципова відмінність адаптивних механізмів полягає в наступному: якщо біологічна еволюція визначається випадковою появою ознак, що зумовлюють той чи інший вид тварин і рослин пристосовуватися до умов, що змінилися, то адаптивні властивості об'єктів техніки безпосередньо визначаються і реалізуються людиною

Саме природа вперше використала принцип модульності. Наприклад в біомолекулярній біології – модулі (яких ще прийнято називати доменами) називають одиницями еволюції [18]. Так, в еволюції розвитку генотипів одним з факторів, що підвищували імовірність сприятливих рекомбінацій і підвищували стійкість пристосованості до локальних змін є саме модульність. Згідно блочно-модульного принципу організації та еволюції молекулярно-генетичних систем управління [17] – еволюція генів, РНК, білків, геномів і молекулярних систем управління на їх основі, йшла шляхом комбінування блоків (модулів). При цьому дублювання генів є основним джерелом еволюційних інновацій, оскільки дозволяє одній копії гена мутувати і досліджувати генетичний простір, в той час як інша копія продовжує виконувати вихідну функцію.

З відкриттям періодичної генетичної класифікації (ГК) первинних джерел електромагнітного поля встановлено, що електромеханічні перетворювачі енергії еволюціонують відповідно з системними принципами генетично організованих систем. Елементно - інформаційний базис ГК, який представлений первинними джерелами електромагнітного поля (електромагнітними хромосомами), виконує роль вихідних цілісних структур, в задачах комбінаторного і топологічного синтезу структур вищих рівнів складності. Положення і інваріантні властивості довільного первинного джерела поля в структурі ГК визначаються його унікальною генетичною інформацією, яка представлена універсальним генетичним кодом. Електромагнітні, топологічні і геометричні властивості первинних структур ГК визначаються загальносистемними принципами збереження електричного заряду, електромагнітної симетрії і топології. [21]

Концептуальну основу для визначення допустимих меж і варіантів структуроутворення просторово адаптивних модульних електромеханічних об'єктів (ЕМ-об'єктів) становлять результати системного аналізу їх макrogenетичних програм. Наявність генетичних програм є необхідною умовою існування і розвитку генетично організованих систем, як природного, так і антропогенного походження [22]. Під генетичною програмою розуміється кінцева множина електромагнітних хромосом, які спільно з генетичними принципами структуроутворення, визначають межі видоутворення і генетично допустиму різноманітність структур-нащадків. В залежності від рівня структурної організації ЕМ-систем генетичні програми поділяються на макро- і мікрогенетичні. Програми макrogenетичного рівня визначають межі існування і структуру функціональних класів ЕМ-об'єктів на видовому і надвидовому рівнях їх структурної організації. Мікрогенетичні програми містять інформацію стосовно внутрішньовидової різноманітності електромеханічних структур (ЕМ-структур).

Ітераційний процес проектування і пошук оптимального технічного рішення, по суті, являє собою початковий процес адаптації генетичної структури, який ґрунтується на результатах аналізу генетично допустимих варіантів структур і можливості використання сучасних матеріалів і технологій.

В якості обмежень можуть виступати вимоги стандартів, технологічні, економічні та ін. обмеження.

У технічних системах механізми адаптації реалізуються на етапах пошукового і робочого конструювання системи. Виходячи із заданої цільової функції, слід розрізняти функціональну, структурну і структурно-функціональну (змішану) види адаптації. **Функціональна** (рис. 2.1) адаптація реалізується шляхом додання проєктованій системі певного набору функцій і вибору відповідних режимів її функціонування.

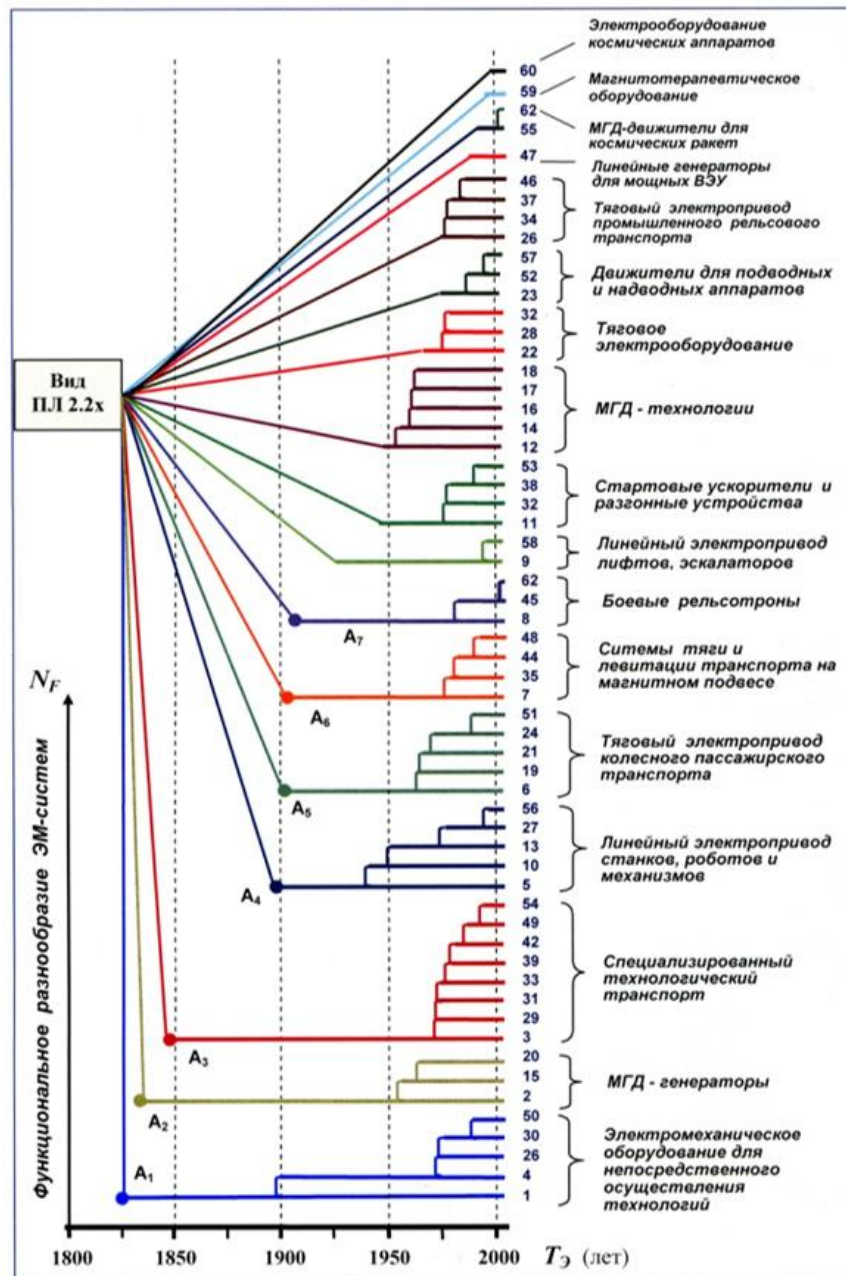


Рисунок 2.1 Функціональна адаптація в технічній еволюції Виду електромеханічних перетворювачів енергії з біжучим магнітним полем (Вид ПЛ 2.2х, $T_E = 155$ років)

Для структурної адаптації просторо-розподілених ЕМ-систем властиві специфічні адаптивні властивості, які доцільно реалізувати на 4-х рівнях їх структурної організації (див. підрозділ 2.3).

Як приклад структурно-функціональних адаптацій, розглянемо гібридну хромосому неявного виду представлену парними хромосомами двох Видів PL 2.0x і PL 2.2y

$$H_{PL} = 2PL(2.0x \times 2.2y) \quad (2.)$$

1)

яка входить до складу функціонального класу електромагнітно-топологічних дигібридів з плоскими активними частинами модульного виконання. Генетично допустимі структури даного виду суміщують в собі дві системи геометрично подібних, але різних за топологією обмоток індукторів з ортогональними біжучими магнітними полями, які взаємодіють з технологічним електропровідним середовищем або рухомою вторинною частиною. Область функціонування структур-нащадків даного виду розповсюджується як на об'єкти як з твердотільною (суцільною та дискретною) рухомою частиною (електричні машини, технологічні установки), так і на перетворювачі, що функціонують з електропровідними рідинами (МГД-перетворювачі).

На рисунку 2.2 показано синтезований варіант технічного рішення гібридної ЕМ-системи з 4 плоскими індукторами біжучого поля, адаптованої для функціонування у складі електромеханічного маніпулятора сталевим листовим прокатом.

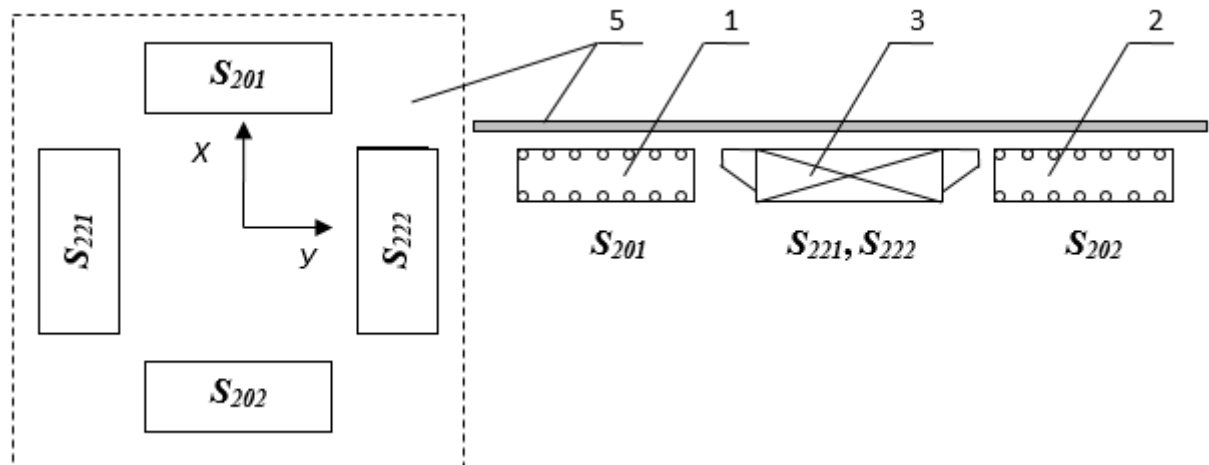


Рисунок 2.2 Компонувальна схема активних частин модульної ЕМ-системи, адаптованої для маніпулятора листового прокату. 1,2 - індуктори біжучого поля (хромосоми S_{201} та S_{202}) з кільцевою обмоткою; 3,4 – індуктори біжучого поля (хромосоми S_{221} та S_{222}) з поверхневою обмоткою; 5 – сталевий лист.

За умови незалежного живлення обмоток індукторів, такий маніпулятор може забезпечувати наступні просторові рухи сталевого листа:

- поступальний (OX , OY), в т.ч. і реверсивний;

- зворотно-поступальний;
- коливальний (OX, OY);
- обертовий (відносно осі OZ);
- складний плоско-паралельний (програмований) рух в площині XOY .

Існують також самоадаптивні системи (системи зі зворотним зв'язком, по відношенню до зовнішніх факторів. Процес зміни параметрів такої системи здійснюється в реальному часі з певним запізненням. Прикладами самоадаптованих ЕМ-систем є електричні машини з реакцією якоря, індукційні машини (закон Ленца), машини з глибокопазовими к.з. роторами (ефект витіснення), машини зі змінними у часі параметрами вторинної частини, технологічного середовища, тощо).

Отже, принципова відмінність реалізації просторової адаптації в природі і в техніці полягає в механізмах їх реалізації. Якщо біологічна адаптивна еволюція визначається відповідною генетичною програмою, яка зумовлює той чи інший вид тварин і рослин пристосовуватися до умов, що змінюються, то адаптивно-просторові властивості об'єктів техніки безпосередньо визначаються і реалізуються на етапі її створення через інстинкт пізнання і інтелект дослідника.

Використовуючи системний підхід до розгляду модульних систем з просторово адаптивною активною зоною була створена класифікація яка включає різні ознаки модульних систем як з 2D так і 3D просторовою конфігурацією.



Рисунок 2.3 Класифікація модульних 2D 3D просторових конфігурацій

Також запропоновані напрями практичного використання модульних структур для різних варіантів просторової конфігурації (за результатами патентно-інформаційного аналізу):

- Модульні ЕМ-системи 2D і 3D – ліфтів;
- Навчально – демонстраційні стенди;
- Електромеханічна система роботизованого маніпулятора сталевих труб великого діаметра і листового сталевих прокату (науково обґрунтовано вперше);
- Багатфункціональні (гнучкі) ЕМ-системи розгалужених транспортуючих конвеєрів;
- Одноіндуктний перетворювач просторового руху;
- Багатофункціональний захоплювач робота-маніпулятора;
- Поворотні пристрої в транспортуючих технологічних лініях;
- Електромеханічний дезінтегратор зі змінною геометрією робочої зони;
- Тяговий привод – трансформер всюдихода – робота;
- Роботи - маніпулятори для захвату і транспортування космічного сміття;

2.2 Принцип реплікації і ізомерії – основа структуроутворення ЕМ-структур модульного типу

Модульний принцип проектування орієнтований на максимально можливе використання однотипних вузлів (або елементів вузлів) при створенні складних об'єктів в умовах сучасного автоматизованого виробництва [24]. Практична реалізація модульного принципу втрачає сенс при проектуванні одного механізму або однієї машини. Тільки в умовах розробки серій машин, або машин багатоцільового призначення, з використанням обмеженої кількості уніфікованих вузлів, останні набувають статусу структурно-функціональних модулів. Модулі, які використовуються в наступних розробках, переходять до категорії уніфікованих вузлів.

В теорії генетично організованих систем модульна організація ЕМ-об'єктів є результатом генетичного принципу реплікації породжувальної електромагнітної хромосоми. Реплікація (від пізньолат. *replicatio* – повторення) - один з основних принципів структуроутворення, який реалізується через збільшення кількісного складу (розмноження) елементарних генетично визначених структур, що забезпечують передачу спадкових властивостей, в ряду поколінь, від первинних елементів (породжувальних хромосом) до об'єктів – нащадків.

Практична реалізація модульного принципу при проектуванні ЕМ-об'єктів може здійснюватися на різних рівнях складності об'єкта. В загальному випадку структурно-функціональна уніфікація вузлів може здійснюватися на рівні елементарних магнітопроводів і секціонованих обмоток, індукторних систем і роторів електричних машин, багатомашинних агрегатів і гібридних ЕМ-систем.

Прикладами технічної реалізації ЕМ-об'єктів, генетична структура яких визначається модульним принципом є багатосекційні, багатообмоткові, багатофазні, багатополюсні, багатоіндукторні, багатостаторні, багатороторні, і т.п. структурні композиції. Репліковані структури реалізуються у вигляді відповідних ізомерних просторових композицій, що широко представлені в технічній еволюції багатофункціональних електричних машин, в тому числі, машин тягового призначення.

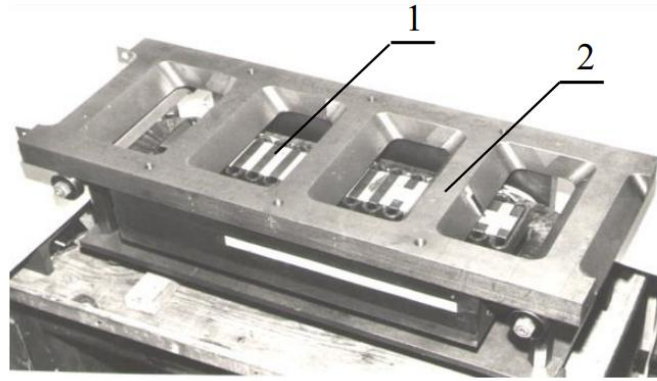


Рисунок 2.4 Тягово-підйомний модуль лінійного індукторного двигуна для бортової електромеханічної системи високошвидкісного транспорту на магнітному підвісі [4]: 1 – модуль якоря; 2 – явнополюсний вторинний елемент (фрагмент)

Представлена на рис. 2.5 структура багатofункціонального модуля є представником багаторівневої модульної організації складної ЕМ-системи, яка представлена рівнями секціонованих елементів (пакетів магнітопроводів, зосереджених котушок, секцій розподілених якірних обмоток), модульних магнітних підсистем (якоря і підсистеми збудження), індукторними взаємозамінними модулями, модульною структурою бортових систем індукторів (правою і лівою) і секціонованою структурою ферромагнітної вторинної частини. Такий принцип багаторівневої організації ЕМ-системи дозволяє забезпечити високий рівень керованості, технологічності, уніфікації вузлів, гнучкості системи керування, вимог надійності і ремонтоздатності [26].

В задачах генетичного синтезу модульний принцип моделюється і реалізується з використанням генетичного оператора реплікації f_R , який забезпечує синтез багатoelementних електромагнітних структур з кількістю елементів $N \geq 2i$ наступним утворенням ізомерних просторових композицій (рис. 2.6).

Генетичний оператор реплікації f_R відповідає за кількісний склад елементів структурної композиції K , утвореної з k однотипних елементів типу s_0

$$f_R (s_0) \rightarrow k_r s_0 \in K \quad (2.2)$$

де: s_0 – електромагнітна хромосома - реплікатор;

k_r – коефіцієнт реплікації

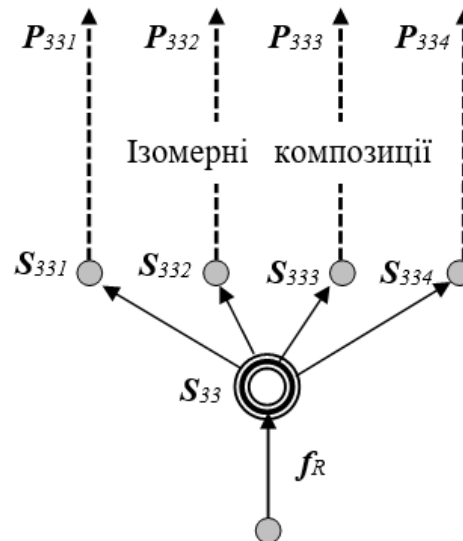


Рисунок 2.5 Генетична модель структуроутворення ізомерної групи в задачах генетичного синтезу: f_R – генетичний оператор реплікації; S_{33} – хромосома – реплікатор; S_{331} - S_{334} – ізомерна група електромагнітних хромосом; P_{331} – P_{334} – популяції ізомерних просторових композицій структур – нащадків

Для значень коефіцієнта реплікації $k_R \geq 2$, синтезована ЕМ-структура завжди допускає N варіантів просторових композицій (компонувальних варіантів), кількість яких буде зростати зі збільшенням розмірності k_R . Тому, електромагнітні хромосоми - реплікатори мають статус інформаційних хромосом, так як вони містять неявну генетичну інформацію стосовно множини можливих просторових реалізацій реплікованої структури. Властивість, яка пов'язана з наявністю множини варіантів просторового розміщення з однакової кількості однотипних елементів, узагальнюється поняттям структурної ізомерії (на відміну від ізомерії речовини), а множина їх просторових композицій - структурними ізомерами [32]. Структурна ізомерія тягових електродвигунів широко представлена в сучасних схемах багатоелементних просторових композицій безпілотних літальних апаратів (рис. 2.7) [28].

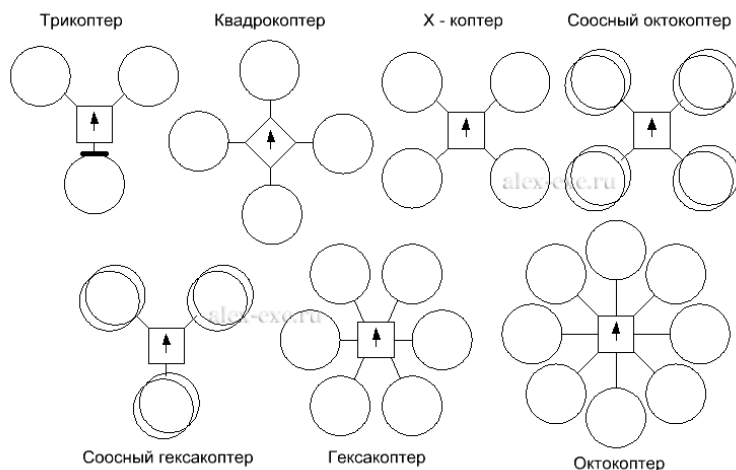


Рисунок 2.6 Ізмерні просторові схеми в компоновках сучасних безпілотних літальних апаратів.

Структурні ізмерні композиції як цілісні об'єкти, характеризуються емерджентним ефектом, так як кожна з них, наділена певними функціональними властивостями, які відсутні в елементарних структурних модулях. Такі структури мають великий евристичний потенціал, а їх генетичні банки даних становлять один з ефективних шляхів для спрямованого пошуку, вибору і інноваційного синтезу оригінальних технічних рішень (рис. 2.8).



A)



B)

Рисунок 2.7 Ізмерні просторові композиції ($k_R = 8$) тягових електродвигунів в сучасних безпілотних літальних апаратах: а) поперечно-лінійна композиція для гібридного безпілотника (проект NASA) [28]; б) кругова композиція для вантажопідйомного дрона DJI S1000 [29]

Ізмерна композиція поперечно-лінійного типу (14 ЦЛ 0.2у) використана в реплікованій структурі модульних тягових електродвигунів, суміщених з повітряними гвинтами за схемою ($k_R = 2 + 12$) для експериментального зразка

електролітака NAS-X-57 «Максвелл» (НАСА, США). Така структурна композиція забезпечує енергоефективний варіант режиму електротяги. Ефективність такого режиму пояснюється тим, що 12 двигунів, вмикаються лише в режимах розгону, набору висоти і при посадці, а два двигуни більшої потужності, які розміщені на краях крил, використовуються лише для польоту на крейсерській швидкості [30].



Рисунок 2.8 Ізомерна композиція поперечно-лінійного типу в модульній структурі ($k_R = 12 + 2$) тягових електродвигунів експериментального зразка електролітака NAS-X-57 «Максвелл».

Модульний принцип організації і розподіл потужності між тяговими модулями «двигун – повітряний гвинт», вбудованими в крила літального апарата, за розрахунками авторів проекту, дозволить отримати п'ятикратну економію енергії, необхідної для польоту літака на швидкості до 280 км/г.

Результати генетичного аналізу показують, що найбільшою генетичною схильністю до модульного структуроутворення, наділені електромагнітні хромосоми групи 2.2 з родовою геометрією PL. Вони здатні утворювати максимальну кількість ізомерних просторових композиції в процедурах синтезу (реплікації) навіть при мінімальній кількості вихідних елементарних структур (рис. 2.10).

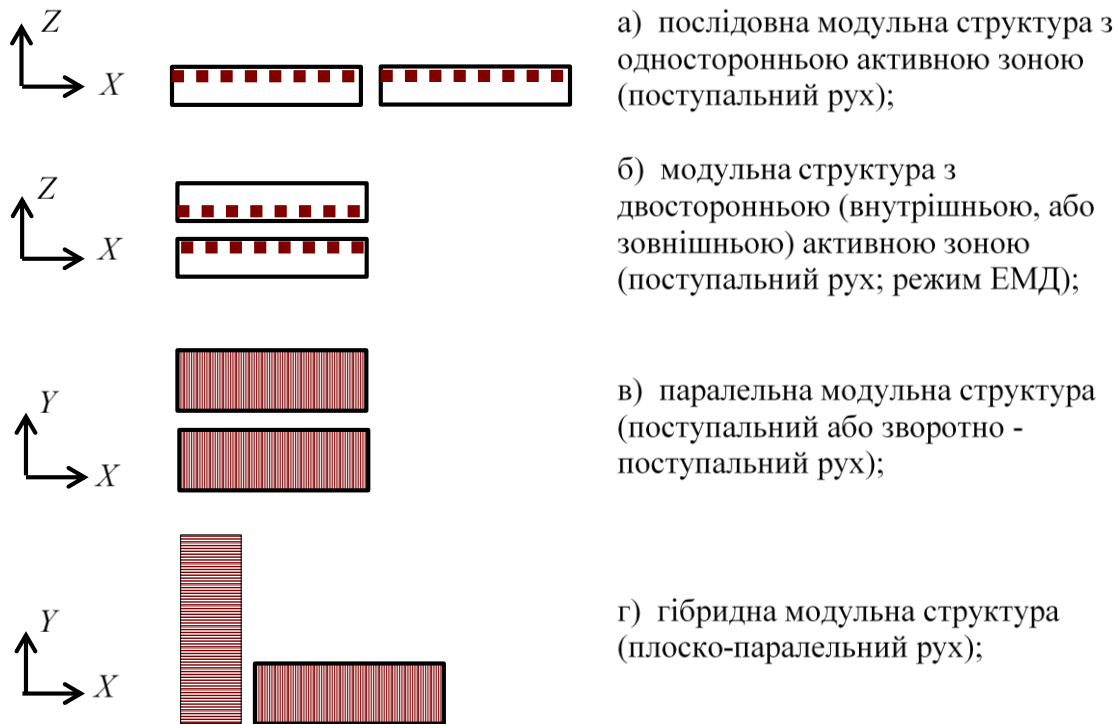


Рисунок 2.9 Ізомерні просторові композиції з двох плоских елементарних модулів ($N_1 = 2$), синтезованих на основі електромагнітної хромосоми PL 2.2у

В структуроутворенні електричних машин принцип реплікації і синтезовані ізомерні групи можна ефективно використовувати на всіх рівнях структурної організації з відповідним вибором електромагнітних хромосом і коефіцієнта реплікації.

2.3 Рівні структурної організації просторово адаптивних ЕМ-систем

З відкриттям генетичної класифікації первинних джерел електромагнітного поля і розробкою на її основі теорії генетичної еволюції ЕМ-систем, відкрилась можливість організації структурно-системних досліджень на довільному рівні складності з можливістю передбачення їх нових Видів і функціональних класів [23, 34, 35]. За результатами аналізу макрогенетичних програм встановлено, що принципи просторової адаптації можуть бути реалізовані на чотирьох рівнях структурної організації ЕМ-систем (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Рівні просторово-структурної адаптації електромеханічних об'єктів та систем

	Рівень генетичної організації			
	Хромосомний	Елементний	Об'єктний	Системний
Тип адаптації	Інформаційна	Структурно-функціональна	Структурно-параметрична	Функціональна, просторово-структурна
Критерії адаптації	Генетична схильність (топология, просторова геометрія, просторова орієнтація і кількість хромосом)	Комбінаторні композиції на основі генетичних операторів синтезу	Геометрія активної поверхні; просторова орієнтація; параметри (напруга, частота, порядок чергування фаз)	Кількість активних ПА-модулів; просторова геометрія і конфігурація інтегральної активної зони;
Структурний елемент	Первинне джерело поля	Секція, полюс, котушка	Пакет магнітопроводу, індуктор, якір, статор, ротор,	Двигун, генератор, гібридні і суміщені системи
Реплікована структура	Ізомерна композиція	Секціоновані обмотки, багатополюсні, багатокотушкові обмотки	Багатопакетні магнітопроводи, багатоіндукторні, багатостаторні, багатороторні ЕМ-об'єкти	Багатодвигунний електропривод; багатомашинна електромеханічна система; система «двигун – генератор),
Емерджентний ефект	БД просторових композицій для прийняття рішень	Уніфікація, технологічність, розширення функціональних можливостей	Уніфікація, технологічність, резервування, ремонтоздатність, розширення функціональних можливостей	Розширення функціональних можливостей

Рівень первинних джерел електромагнітного поля (хромосомний) в періодичній структурі ГК виконує функцію глобальної генетичної програми для постановки і розв'язання задач синтезу і генетичного аналізу ізомерних груп і композицій ЕМ-об'єктів довільного рівня складності.

На хромосомному рівні здійснюється моделювання генетично допустимих ізомерних композицій, які визначають межі існування і принципи структуроутворення просторово адаптивних ЕМ-структур - нащадків. Визначаються макрогенетичні програми структуроутворення і здійснюється

передбачення нових Видів в межах довільних функціональних класів ЕМ-систем. Основним критерієм адаптації виступає генетична схильність електромагнітної хромосоми до реалізації відповідної адаптивної функції.

Об'єктний рівень, який традиційно представлений моделями і методами параметричної адаптації, доповнюється можливостями структурно – просторової адаптації, визначеної моделями хромосомного рівня. Механізми просторової адаптації об'єктного рівня є потужним джерелом структурно-функціональної різноманітності технічних систем, за умови незмінності їх генетичної структури (генетичного коду або структурної формули). Вони реалізуються людиною через пошукові процедури структурного синтезу в багатоваріантному просторі можливих структурних варіантів і оптимізацію їх параметрів.

Видовий рівень дозволяє визначити еволюційні тенденції і напрями структурно-функціональної адаптації в межах довільних Видів і функціональних класів ЕМПЕ. Можливість еволюційного аналізу процесів адаптації на рівні довільного Виду ЕМ-систем дозволяє оцінити їх ефективність і визначити домінуючі напрями та механізми адаптивної еволюції.

Системний рівень містить інтегральну інформацію стосовно адаптивних властивостей складних технічних систем і технологічних комплексів з розподіленими ЕМ-системами на основі ПА-модулів. Принциповою ознакою такого рівня є наявність специфічних функціональних можливостей на рівні просторово розподіленої ЕМ-системи, зумовлених адаптацією її просторової геометрії, топології і кількості активованих модулів, в залежності від зміни геометрії, характеристик і параметрів технологічного об'єкта у реальному часі.

2.4 Принципи структуроутворення і еволюція ЕМ-об'єктів з адаптивною геометрією активної поверхні.

В генетично організованих ЕМ-системах, просторова геометрія належить до ключових категорій, які визначають принципи структурної організації об'єктів і систем більш високого рівня складності. В структурі універсального генетичного коду геометрія активної поверхні кодується першою складовою генетичної

інформації. Тому геометрія активної зони визначає принципи структуроутворення і системні властивості ЕМ-структур на всіх рівнях їх організації, починаючи з рівня електромагнітних хромосом, і закінчуючи складними електромагнітними структурами, які створюються в процесі еволюції.

В загальному випадку, зміна просторової геометрії активної зони в режимах функціонування ЕМПЕ може здійснюватися наступними способами:

- зміною структури і просторової геометрії вторинної частини (технологічного середовища);
- зміною відносного положення і просторової орієнтації активних частин;
- просторово - пружною деформацією первинної активної поверхні;
- зміною співвідношення δ / τ ;
- зміною електромагнітної структури в просторово розподілених електромеханічних системах.

Зміна параметрів і просторової геометрії з боку вторинного середовища є необхідною умовою функціонування переважної більшості ЕМПЕ для безпосереднього здійснення технологічних процесів (магнітних і електродинамічних сепараторів, електромеханічних дезінтеграторів, перетворювачів магнітогідродинамічного типу та ін.), тому їх аналіз становить окрему самостійну задачу. В даному дослідженні розглядаються лише просторово розподілені системи зі змінною просторовою орієнтацією і геометрією первинної активної частини.

В теорії генетичного синтезу, електромагнітні структури зі змінною просторовою геометрією або порушенням електромагнітної симетрії активних частин, належать до класу генетично мутованих [31]. Мутація – один фундаментальних загальносистемних принципів генетичного структуроутворення, який визначає методологію синтезу з використанням групи гомеоморфних перетворень. Топологічним еквівалентом мутаційних перетворень являються об'ємні або поверхневі деформації активних частин, а також порушення просторової орієнтації їх взаємного положення. Прикладами генетично мутованих об'єктів є електричні машини зі скосом пазів, функціональні класи електричних

двигунів з ротором, що котиться, ЕМ-об'єкти для безпосереднього здійснення технологічних процесів зі змінною геометрією і структурою вторинного середовища, та ін.

Генетичний оператор мутації M змінює генетичну інформацію довільної структури, породжуючи послідовність гомологічних структур межах заданого топологічного простору R^T :

$$M(S) \leftrightarrow (S_{M1}, S_{M2}, \dots, S_{Mn}) \subset R^T \quad (2.3)$$

В прикладних задачах генетичного синтезу, оператору M ставиться у відповідність група неперервних просторових деформацій – стиснення, розтягу, зсуву, повороту, кручення та ін. В процедурах синтезу багатоелементних ЕМ-структур оператор мутації утворює стійку комбінацію з оператором реплікації і ізомерними композиціями, структурними еквівалентами яких є просторово розподілені структури модульного типу [32].

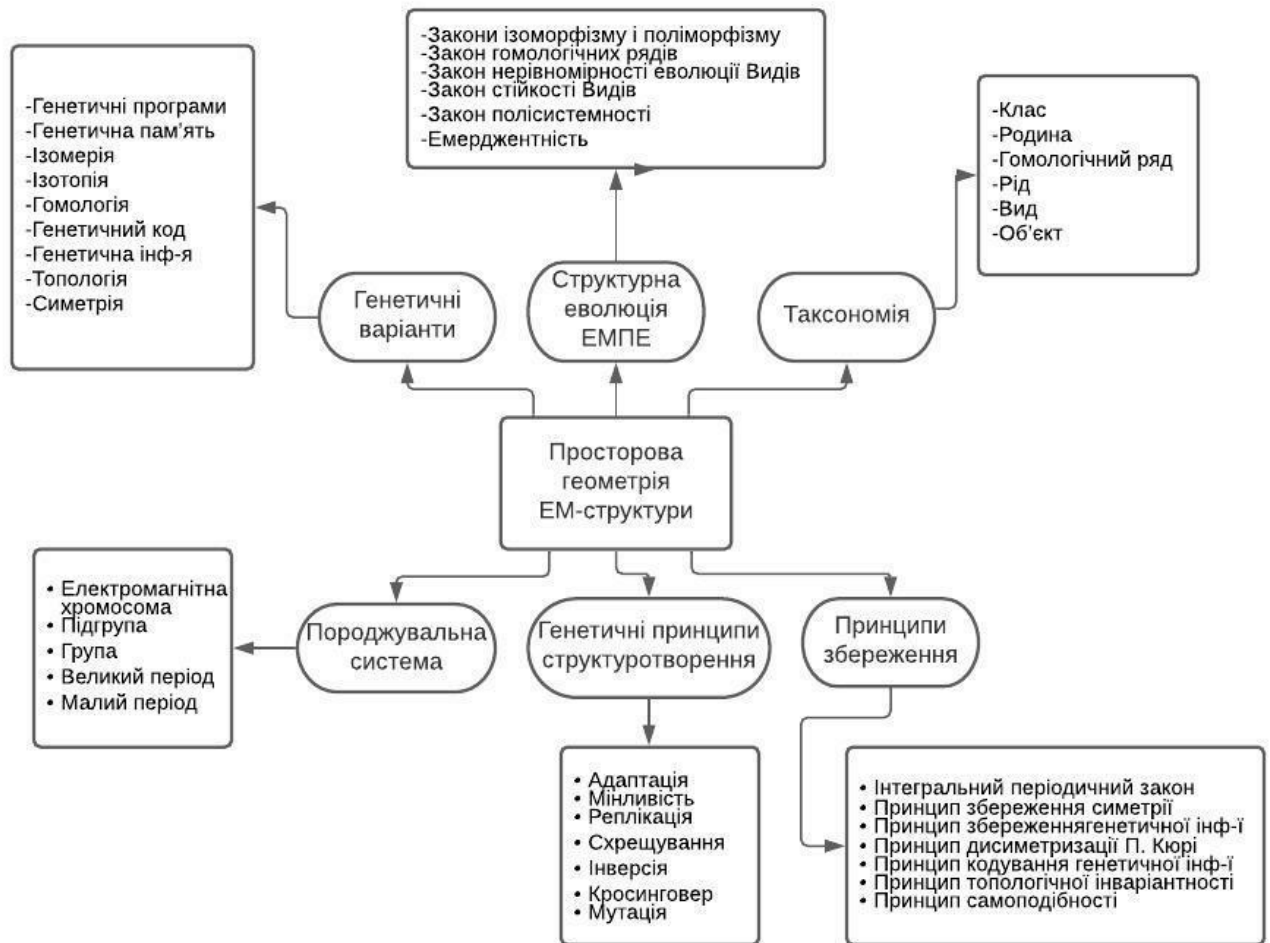


Рисунок 2.10 Онтологія категорії «Просторова геометрія електромагнітної структури» в теорії генетичної еволюції електромеханічних перетворювачів енергії

В загальному випадку, для коефіцієнта реплікації $k_r \geq 2$, мутована структура S_M допускає N варіантів просторових ізомерних композицій в R^3 , кількість яких буде зростати зі збільшенням значення k_r .

$$M(S_M) \rightarrow k_r s \in K_i \subset R^3, i = 1 \div N \quad (2.4)$$

де: S_M – електромагнітна хромосома - мутант;

k_r – коефіцієнт реплікації;

R^3 – тривимірний простір існування ізомерних композицій K_i .

Основу структуроутворення класів ЕМ-структур, які допускають просторову пружну деформацію активної поверхні становить фундаментальний принцип топологічної інваріантності, який визначає структуру і властивості первинних елементів в межах довільної підгрупи періодичної ГК.

Елементний базис довільної підгрупи пов'язаний між собою відношенням гомеоморфізму. З точки зору генетичної інформації, топологічно еквівалентні хромосоми утворюють відповідні горизонтальні ряди гомологічних ЕМ-структур, схильних до реалізації пружної деформації активної зони за умови збереження електромагнітної структури і топології.

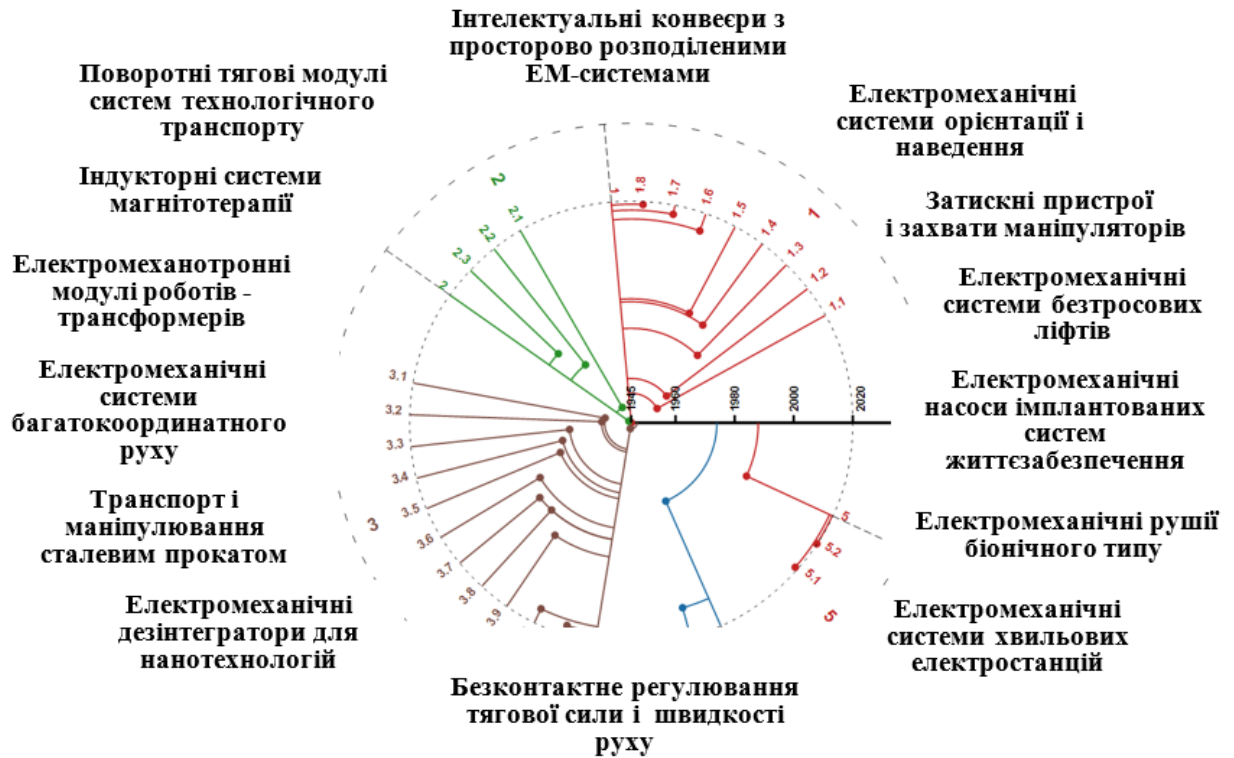


Рисунок 2.11 Філогенетична діаграма еволюції функціональних класів ЕМПЕ з адаптивною просторовою геометрією активних частин

Як відомо, в періодичній структурі першого великого періоду генетичної класифікації таких рядів шість

$$T = (H_{00y}, H_{00x}, H_{02y}, H_{20x}, H_{22y}, H_{22x}) \quad (2.5)$$

$$H_i = (C_{CL}, C_{KN}, C_{PL}, C_{TP}, C_{SF}, C_{TC}) \quad (2.6)$$

Гомологічні хромосоми в межах довільного ряду H_i наділені властивістю гомеоморфізму, що вказує на можливість «еластичного» формоутворення шляхом неперервної деформації топологічного простору з переходом довільної гомологічної структури одного геометричного класу в інший. Застосування операторів міжвидової мутації (неперервних деформацій) також відкриває

можливість здійснювати аналогічні топологічні перетворення з використанням первинних джерел – ізотопів.

Гомеоморфізм первинних структур підгруп відкриває можливість синтезу ЕМ-об'єктів, які наділені властивістю зміни власної просторової геометрії в межах генетично визначеного топологічного простору. Аналіз макрогенетичних програм структуроутворення електромеханічних об'єктів на основі ПА-модулів засвідчує, що на даний час технічної еволюції, найбільшою генетичною схильністю до зміни просторової геометрії наділені гомологічні електромагнітні хромосоми підгрупи 2.2у.

$$H_{22y} = (CL \leftrightarrow KN \leftrightarrow PL \leftrightarrow TP \leftrightarrow SF \leftrightarrow TC \leftrightarrow \dots)_{2.2y} \subset R^3 \quad (2.7)$$

Інваріантна складова генетичного коду (2.2у) вказує на спільний топологічний простір, в межах якого допускаються топологічно еквівалентні перетворення. Зміна геометрії довільної хромосоми ряду (2.7) здійснюється застосуванням генетичного оператора мутації (2.3). Гомеоморфізм первинних джерел електромагнітного поля також вказує на можливість «еластичного» формоутворення на рівні електромагнітних структур – близнюків, елементний базис яких визначається в періодичній структурі ГК джерелами – ізотопами [23].

Ще один важливий висновок з аналізу хромосомного набору (2.7) полягає в тому, що в межах топологічного простору підгруп ГК генетично закладена можливість неперервного (топологічно-еквівалентного) переходу довільної структури з одного геометричного класу в інший, за рахунок відповідної зміни просторової геометрії. Застосування зазначеної групи перетворень (неперервних деформацій) дозволяє здійснювати перехід від просторової геометрії структури одного Виду, до просторових форм інших гомологічних Видів.

Зазначена закономірність міжвидового топологічного формотворення характерна і для окремих біологічних Видів, на що вперше звернув увагу Д'Арсі Томпсон ще у 1917 р. Тому процедури синтезу гомологічних ЕМ-структур за моделлю (2.7) відповідають статусу міжродових мутацій, які безпосередньо пов'язані зі зміною першої складової генетичної інформації генетичного коду. Це

свідчить про те, що структурна еволюція об'єктів електромеханіки може здійснюватися не лише в межах вертикальних і гомологічних рядів, за принципом «від простого, до складного», але й в межах горизонтальних гомологічних рядів з використанням горизонтального (міжродового) обміну генетичної інформації.

2.5 Генетична модель багатofункціонального індукторного модуля з 3D – просторово адаптивною активною поверхнею

Гомеоморфізм первинних структур підгруп відкриває можливість синтезу ЕМ-об'єктів, які наділені властивістю зміни власної просторової геометрії в межах генетично визначеного топологічного простору. Наприклад, генетичну інформацію для випадку трьох гомологічних електромагнітних хромосом підгрупи H_{22} можна представити як результат міжродової мутації

$$S_{\Sigma} = (C_{CL} \leftrightarrow C_{PL} \leftrightarrow C_{TP})2.2y \subset H_{22} \quad (2.8)$$

Формулі (2.8) ставиться у відповідність модель структуроутворення інтегрованої хромосоми S_{Σ} , просторова геометрія якої може одночасно існувати в одній із трьох родових форм – плоскій, циліндричній або тороїдальній плоскій (рис. 2.13).

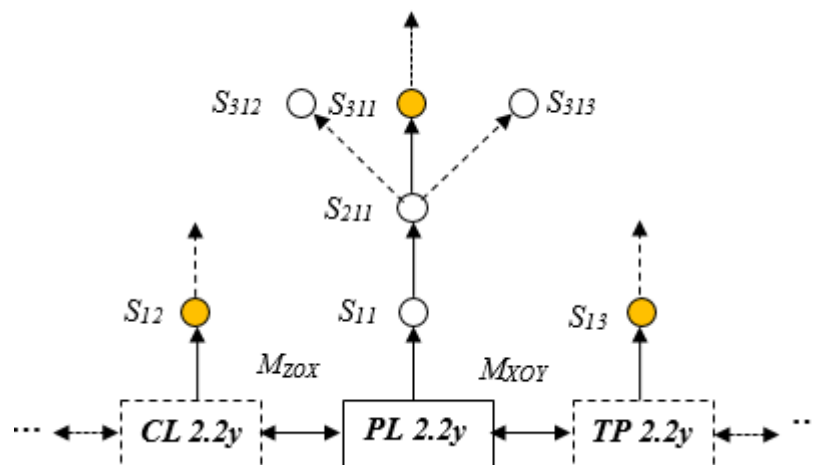


Рисунок 2.12 Генетична модель міжродової мутації, яка супроводжується зміною першої складової генетичного коду електромагнітної хромосоми

Результати розшифрування мікрогенетичної програми (табл. 2.2) підтверджують омінуючу роль оператора мутації (Mi) в процедурах формоутворення ЕМ-об'єктів зі змінною геометрією активної поверхні.

Таблиця 2.2 Результати розшифрування мікрогенетичної програми

Тип хромосомної мутації	Структурна формула мутованої хромосоми	Гомеоморфне перетворення	Вид просторового руху
Топологічний простір підгрупи 2.2y			
$PL \leftrightarrow CL$	$2.2y(PL \leftrightarrow CL)_1$	Вигин M_{OY}	Поступальний (V_{OX}) \leftrightarrow обертальний (ω_{OY})
$PL \leftrightarrow TP$	$2.2y(PL \leftrightarrow TP)_1$	Вигин M_{OZ}	Поступальний (V_{OX}) \leftrightarrow обертальний (ω_{OZ})
$PL \leftrightarrow SF$	$2.2y(PL \leftrightarrow SF)_1$	Вигин $(M_{OY} \times M_{OX})_R$	Поступальний (V_{OX}) \leftrightarrow обертальний (ω_{OY})
$CL \leftrightarrow SF$	$2.2y(CL \leftrightarrow SF)_1$	Вигин M_{OX}	Обертальний (ω_{OY})
$PL \leftrightarrow KN$	$2.2y(PL \leftrightarrow KN)_1$	Вигин $(M_{OZ} \times M_{OY})$	Поступальний (V_{OX}) \leftrightarrow обертальний (ω_{OY})
$TP \leftrightarrow KN$	$2.2y(TP \leftrightarrow KN)_1$	Вигин (M_{OY})	Обертальний (ω_{OZ}) \leftrightarrow (ω_{OY})
$CL \leftrightarrow KN$	$2.2y(CL \leftrightarrow KN)_1$	Вигин (M_{OZ})	Обертальний (ω_{OY})
$KN \leftrightarrow SF$	$2.2y(KN \leftrightarrow SF)_1$	Вигин $(M_{OX} \times M_{OY})_R$	Обертальний (ω_{OY})
$TP \leftrightarrow SF$	$2.2y(TP \leftrightarrow SF)_1$	Вигин $(M_{OX} \times M_{OY})_R$	Обертальний (ω_{OZ}) \leftrightarrow (ω_{OY})
$CL \leftrightarrow TP$	$2.2y(CL \leftrightarrow TP)_1$	Вигин $(M_{OY} \times M_{OZ})$	Обертальний (ω_{OY}) \leftrightarrow (ω_{OZ})

Результати генетичного аналізу моделі дозволяють отримати структурну формулу інтегральної хромосоми S_{Σ}

$$S_{\Sigma 22} = (PL \ 2.2y)_1 \begin{cases} MZOX \rightarrow (CL2.2y)_1 \times (CL2.2y)_2 \\ MOZ \rightarrow [(PL2.2y) : MHOY]_2 \\ MHOY \rightarrow (TP2.2y)_1 \times (TP2.2y) \end{cases} \quad (2.9)$$

Технічна реалізація структури S_{Σ} можлива за умови виконання двох протилежних вимог: – забезпечити достатню пружну деформацію (гнучкість) і зберегти необхідну механічну жорсткість активної поверхні індуктора. Один з варіантів технічного рішення, передбачає реалізацію гібридної конструкції індуктора, в якому П-подібні елементарні магнітопроводи з зосередженими обмотками, механічно об'єднані в монолітну конструкцію з використанням

полімерного армованого наповнювача з високим коефіцієнтом пружності (рис. 2.14).

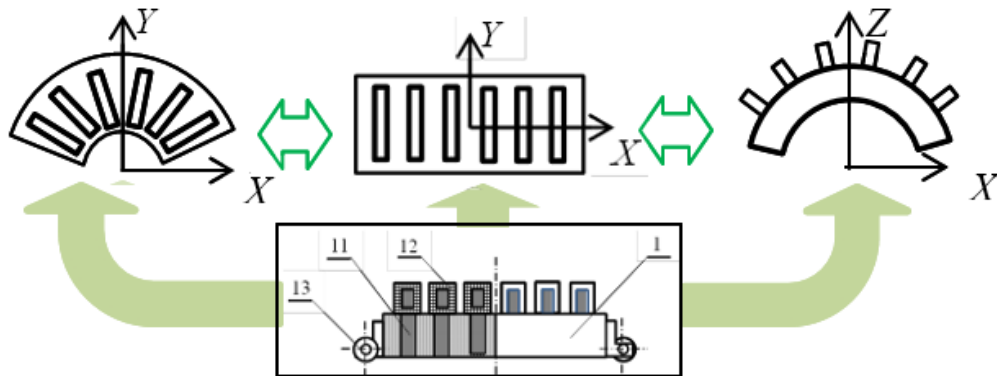


Рисунок 2.13 Багатофункціональний індукторний модуль з 3D - просторово адаптивною активною поверхнею (міжвидова хромосомна мутація TP2.2y ↔ PL2.2y ↔ CL2.2y), синтезований на основі електромагнітної мутованої хромосоми S_{222}

Генетично синтезований індуктор наділений унікальною здатністю функціонувати з можливістю послідовної зміни геометрії активної зони (циліндрична ↔ плоска ↔ тороїдальна плоска), що відкриває можливість реалізації як поступального, так і обертального руху рухомої частини. Електромеханічні об'єкти з такими властивостями можна узагальнити поняттям об'єктів «еластичної» електромеханіки.

Синтезований магнітопровід індукторного модуля 1 виконано у вигляді поперечно орієнтованих дискретних явнополюсних магнітопроводів 11 П-, або Ш-подібної геометрії, кількість яких обирається зі співвідношення $N = km$, де, m - кількість фаз, $k = 1, 2, 3, \dots$, з розміщеними на них котушками обмотки 12, які механічно з'єднані між собою з можливістю пружної зміни просторової геометрії його активної зони (наприклад, з використанням конструктивних пружних полімерних матеріалів). Для забезпечення гарантованого повітряного зазору на торцевих ділянках кожного індукторного модуля 1 закріплено додаткові роликові вузли 13 (рис. 2.15).

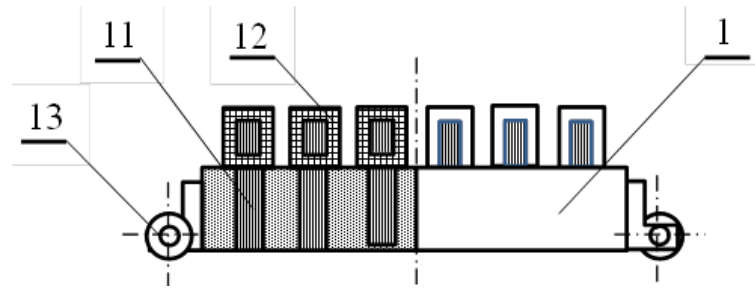


Рисунок 2.14 Індукторний поворотний модуль зі змінною геометрією активної поверхні.

Модульна структура електромеханічної системи також дозволяє оперувати кількістю індукторних модулів, інтегральною геометрією їх активної зони, що дозволяє змінювати просторову схему активованих модулів і реалізувати енергоощадні режими технологічної обробки об'єктів зі змінною просторовою геометрією, габаритами і масою.

Таким чином, спостерігаємо очевидні переваги лінійних асинхронних індукторів з поперечним магнітним потоком, які мають здатність бути «гнучкими», особливо ці переваги проявляються при використанні в якості електромеханічної частини в приводах технологічних комплексів для оперування трубами великого діаметру або листовим прокатом. Де індуктор плоскої конфігурації активної зони використовується для листового прокату, а потім, змінюючи кривизну активної зони, адаптуватись під радіус сталеві труби, тим самим забезпечувати мінімальний повітряний проміжок при оперуванні різними за формою вторинними об'єктами.

РОЗДІЛ 3 КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ СТАЛЕВИХ ТРУБ І ПРОКАТУ НА ОСНОВІ МОДУЛЬНОЇ ЕМ-СИСТЕМИ

3.1 Опис конструкції і функцій автоматизованого технологічного комплексу

Серед масового переходу виробництва в реалізації технологічних процесів на модульний принцип, варто виділити технологічні комплекси з обробки сталевих прокату і сталевих труб великого діаметру, а саме створення сучасних модернізованих ліній технологічної підготовки і обробки даного типу об'єктів. Так як однією з актуальних задач є саме механізація і автоматизація великої кількості складних і трудомістких тех-процесів, з маніпуляції у складі автоматизованого технологічного комплексу обробки сталевих труб і сталевих прокату.

Результати синтезу покладено в основу розробку схеми роботизованого технологічного комплексу для оперування просторовим положенням сталевих труб великого діаметра (рис. 3.1а) і листового прокату (рис. 3.1б). Можливість зміни просторової орієнтації індукторних модулів відносно поверхні об'єкта оперування, та їх здатність змінювати геометрію активної поверхні, дозволяє оперувати технологічними об'єктами з різною просторовою геометрією і реалізувати задані види просторого руху з використанням однотипних уніфікованих тягових модулів.

Одночасно можна здійснювати регулювання швидкості руху об'єкта (шляхом зміни просторової орієнтації на рівні системи ПА модулів, з використанням частотного, або амплітудно-фазового регулювання), а також реалізувати режими електромагнітного гальмування (наприклад, з використанням режиму динамічного гальмування).

Особливістю такої системи є змінна геометрія, маса, характеристики і параметри технологічного об'єкта, який виконує функцію вторинної активної частини. Можливість зміни просторової орієнтації індукторних модулів відносно поверхні об'єкта оперування, та їх здатність змінювати геометрію активної поверхні, дозволяє оперувати технологічними об'єктами з різною просторовою

геометрією і реалізувати задані види просторого руху з використанням однотипних уніфікованих тягових модулів.

Зображена на рисунку 3.1 схематична структура складається з індукторних модулів 1, виконаних у вигляді уніфікованих плоских індукторів біжучого магнітного поля, сталеві труби 2, яка спирається на рольганги 3, які також забезпечують повітряний зазор і розташовані по периметру. Труба через шарові опори рольганги опирається на балку-трансформер 4, яка виконана секціонованою у вигляді елементарних секцій, у свою чергу балка-трансформер жорстко кріпиться до рами маніпулятора 6. На рамі закріплені бокові кронштейни 7 (використовуються лише в режимі оперування сталевими трубами з різними діаметрами). Кількість елементарних секцій балки-трансформера відповідає кількості тягових модулів. Для фіксації просторового положення балки-трансформера можуть використовуватись гвинтові опори з регульованою довжиною. Секції з'єднані шарнірними вузлами 9, що фіксують просторове положення відносно труби або листового прокату 11. Кріплення індукторного модуля до секції балки трансформера відбувається на допомогою шарнірного вузла 10 з можливістю повороту і фіксації його просторового положення відносно осі поворотного пристрою, що дозволяє використовувати довільний індукторний модуль 1 як в режимах поступального, так і в режимах обертального руху. Відстань L_y між вузлами кріплення сусідніх індукторних модулів 1 обирається зі співвідношення:

$$L_y = L_i + \delta,$$

де: L_i - активна довжина модуля 1;

δ – гарантований зазор між сусідніми індукторними модулями 1, за умови їх узгодженої поперечної орієнтації.

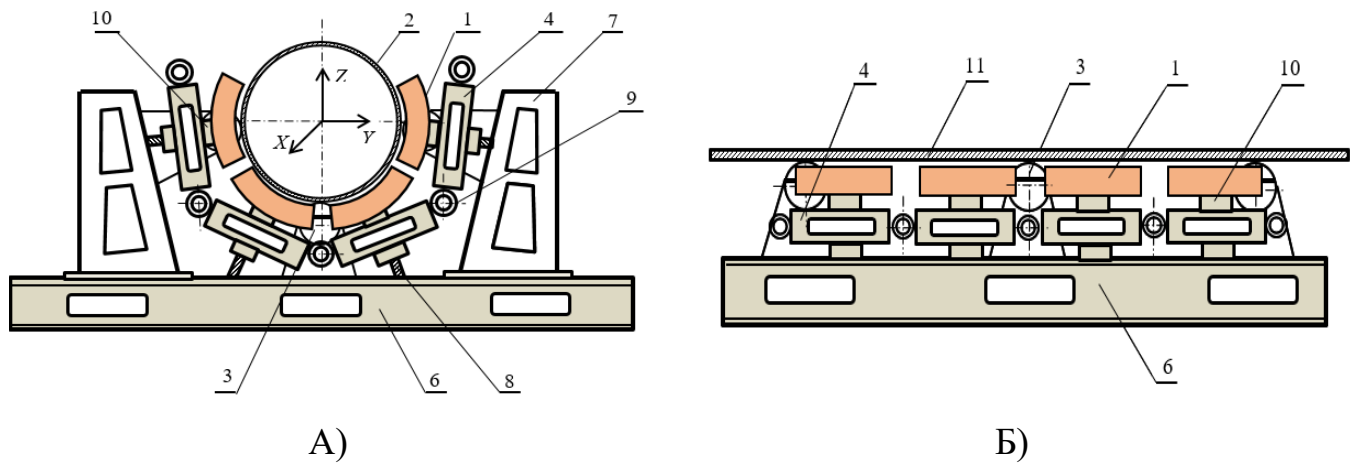
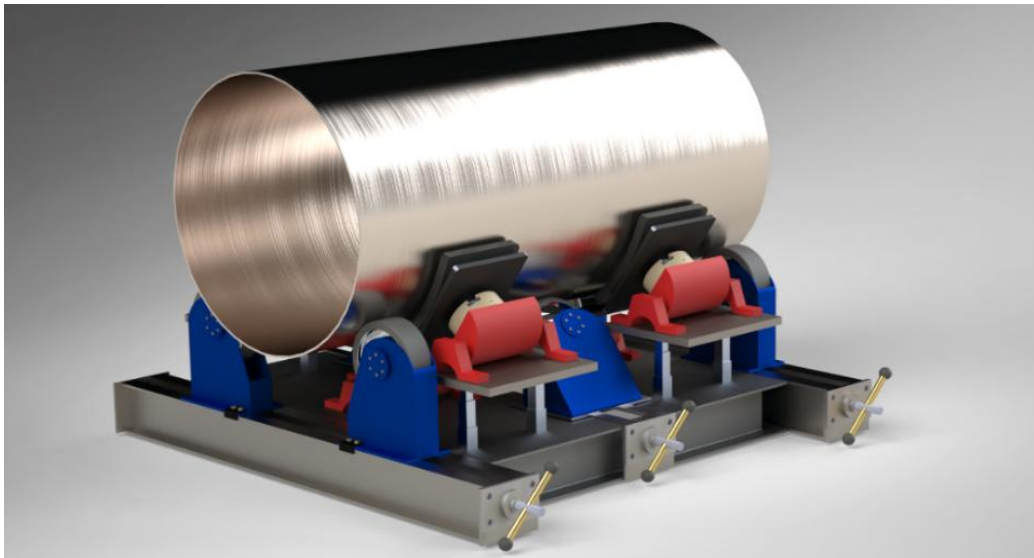


Рисунок 3.1 Багатофункціональна електромеханічна система з просторовою адаптацією індукторних модулів для технологічного маніпулятора сталевими трубами (а) і листовим прокатом (б).

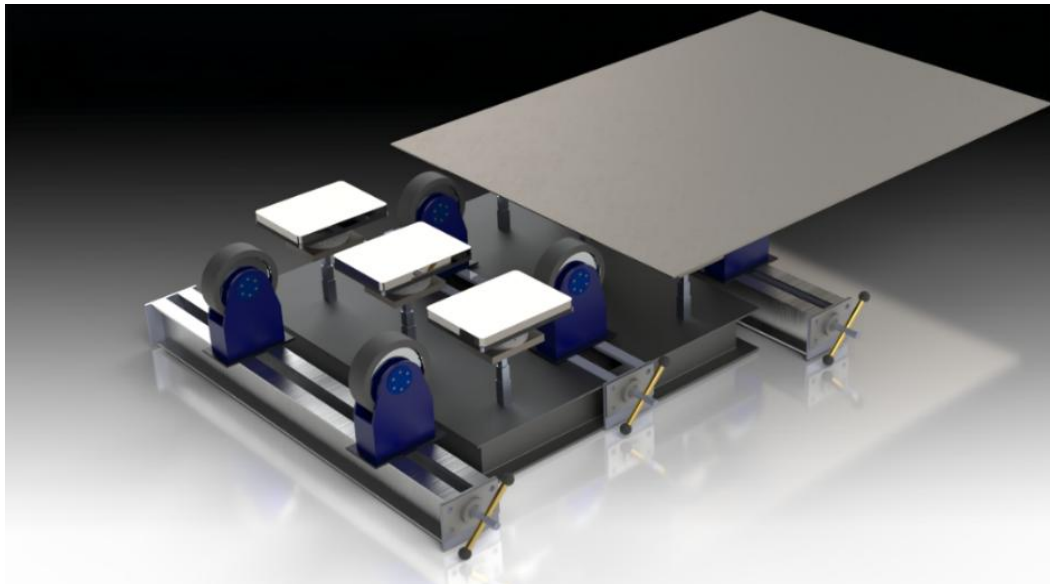
В технологічних операціях зі сталевим листовим прокатом 11, бокові кронштейни 7 демонтуються, а балка - трансформер 4 переводиться в горизонтальне положення (рис. 3.1б). Секції 5 балки – трансформера 4 з тяговими модулями 1 і шарові опори – рольганги 3 жорстко фіксуються відносно рами 6 маніпулятора з можливістю зміни відстані між ними.

3.2 3D модель проекту реалізації автоматизованого технологічного комплексу для оперування сталевим прокатом

Детальніші методи реалізації були сформовані, використовуючи інженерний підхід до проектування, таким чином створено проект придатний до практичної реалізації - роботизований технологічний комплекс для оперування просторовим положенням сталевих труб великого діаметра (рис. 3.1а) і листового прокату (рис. 3.1б) з можливістю максимальної оптимізації всіх вузлів і швидкої та легкої трансформації під оперування відповідним вторинним об'єктом. Моделювання здійснювалось у програмному середовищі Solidworks та Solidworks Visualize.



А)



Б)

Рисунок 3.2 3D – моделі просторово розподіленої електромеханічної системи на основі ПА-модулів у складі автоматизованого технологічного комплексу для оперування А)сталевиими трубами великого діаметру і Б)листовим сталевим прокатом

Синтезована електромеханічна система, складається з (рис.3.3) рами маніпулятора 3, яка у свою чергу складається з трьох балок 1, відстань між якими може змінюватись, під відповідні задачі. На балці встановлені станини з опорними роликами 7, ця станина також здатна повертатись, таким чином зорієнтувати вторинну частину для руху у поступальному або в обертальному напрямі. На рисунку 3.3 де зображена компоновка основних вузлів, модулі зорієнтовані для оперування сталевією трубою. Як бачимо з рисунку, для реалізації поступального

руху використовуються центральна пара роликів опор, потім, для виконання інших технологічних операцій, труба обертається опираючись на крайні пари опорних роликів. Для оперування сталевими трубами різного діаметру є можливість змінювати відстань між опорними роликами. Праві опорні ролики є регульованими за допомогою гвинтової регульованої опори 2, а фіксація станини додатково забезпечується болтами.

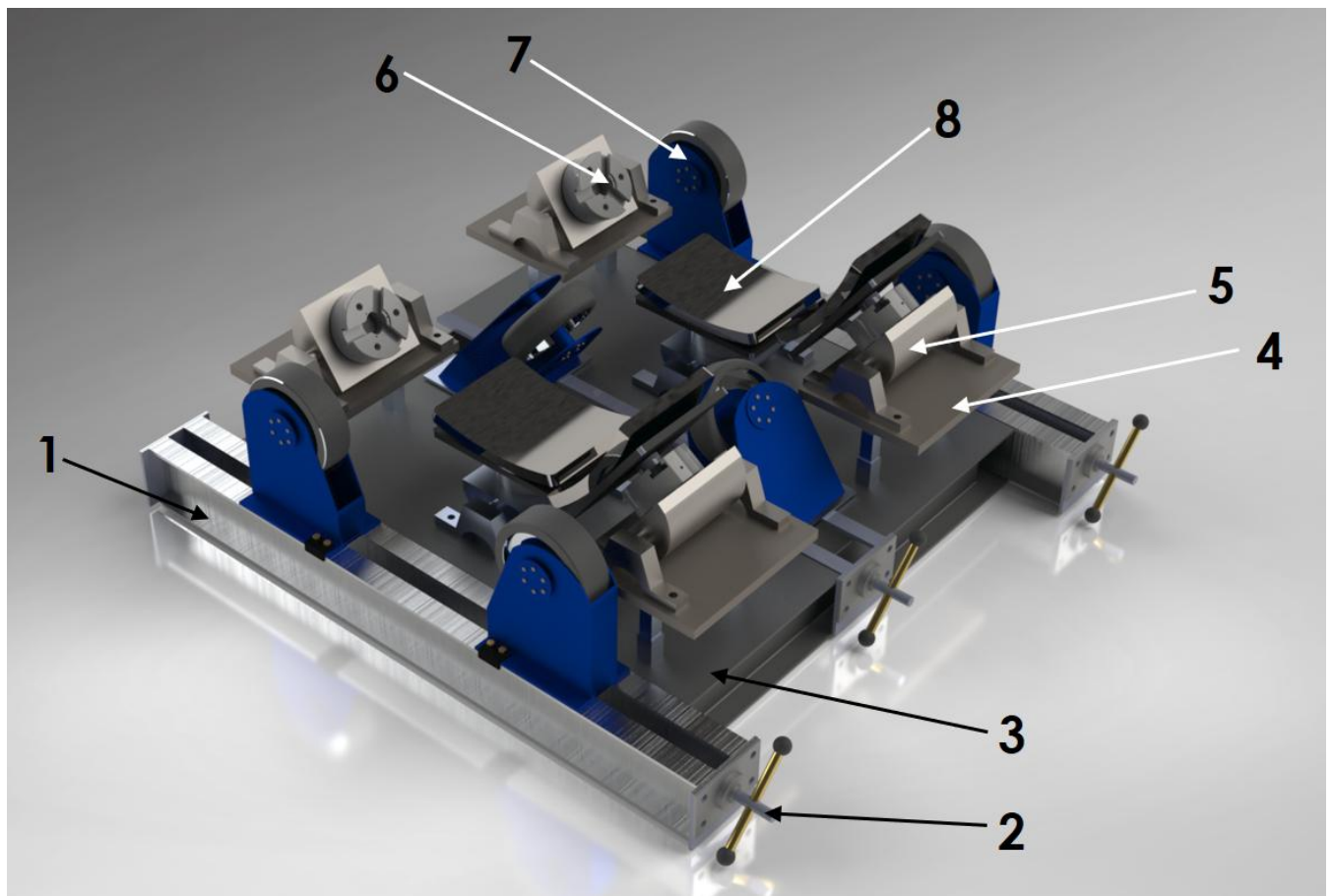


Рисунок 3.3 Компонівка основних вузлів і індукторних модулів технологічного маніпулятора в процесі оперування сталевими трубами

Електромеханічна частина даного синтезованого комплексу складається з індукторних модулів 8, виконаних у вигляді уніфікованих індукторів біжучого магнітного поля, які здатні змінювати свою кривизну для максимальної адаптації під круглий прокат за рахунок використання у своїй будові еластомірних або тотоморфних матеріалів. Індукторний модуль конструктивно являє собою лінійний асинхронний двигун поперечного магнітного потоку, магнітопровід П- або Ш-подібної геометрії.

Пристрої зміни і фіксації просторового положення індукторів виконано у вигляді групи сервоприводів – поворотного стола, що в кінцевому результаті дозволяє реалізовувати 5-осьовий рух. Поворотний стіл у свою чергу складається з поворотного трьох кулачкового патрона 6 для закріплення і обертання індукторного модуля, ця головка встановлена на затискачах 5, які мають функцію нахилу. Вся ця група елементів встановлена на поверхні (столі) яка здатна змінювати висоту.

Технологічність даного комплексу досягається за рахунок універсальності його застосування, за рахунок широких можливостей адаптації під різні розміри діаметрів сталевих труб, або розмірів листового прокату, що в кінцевому результаті дозволяє зберігати мінімальний повітряний проміжок між всією активною площею індукторного модуля і вторинним елементом.

В операціях з листовим прокатом центральні роликові опори встановлюються вертикально, а крайні опори повертаються і фіксуються під кутом, необхідним для переміщення об'єкта оперування в потрібному напрямі. Таким чином комплекс легко перекомпоновується під інший тип об'єкту оперування.

Саме лінійний асинхронний двигун з поперечно направленим магнітним потоком був вибраний за конструктивну основу для синтезованого індукторного модуля, також завдяки своїм перевагам, а саме:

- легка зміна довжини і заміна окремих пошкоджених частин індуктора
- можливість за допомогою уніфікованих елементів створювати достатньо довгі магнітні системи, що досягається об'єднанням необхідної кількості елементів в ряд.
- той факт, що магнітопровід не є суцільним, зменшує вплив первинного повздовжнього кінцевого ефекту на показники машини, так як збуджені магнітні поля майже затухають в межах одного елемента.
- у машинах з поперечним магнітним потоком перевага у тому, що магнітний потік замикається по окремому магніту і не залежить від полюсного поділу
- -відсутність лобових частин обмотки. [33]

З використанням методології генетичного синтезу ЕМ-систем, було створено проект комплексу, з просторово адаптивною активною зоною, аналогів якому немає у світі, таким чином досягається інноваційний рівень в еволюції технологічних систем з просторово розподіленими активними частинами.

3.3 Аналіз режимів керування автоматизованого технологічного комплексу

Функціонування технологічного комплексу для обробки сталевих труб великого діаметру і сталевого прокату пов'язано з оперуванням технологічними об'єктами зі змінними технічними характеристиками (видом просторового руху, просторовою геометрією, масою та габаритними розмірами). Зазначені характеристики виконують функцію вхідних параметрів для вибору оптимального алгоритму оперування. В просторово розподілених ЕМ-системах модульного типу, реалізованих на основі просторово-адаптивних модулів (ПА-модулів) доцільно використання систем керування технологічними операціями на основі використання сучасних інтелектуальних систем автоматизованого керування САК.

До складу цифрових САК входять програмні і технічні засоби для дистанційного керування просторово розподіленою системою тягових елементарних модулів, а також автономного контролю параметрів функціонування окремих елементарних модулів і виконавчих вузлів системи. В сучасних САК з просторово розподіленою системою об'єктів керування, широко використовуються системи технічного зору, оптичні і телеметричні лінії зв'язку, які забезпечують завадо-захищеність і збільшення швидкості обміну даними в системі. Автоматизація керування технологічним процесом базується на описі технологічних операцій (технологічних алгоритмів).

Загальна структура САК просторово розподіленою системою ПА-модулів представлена трьома незалежними рівнями керування (рис. 3.4)

I – нижній рівень представлений силовими комутаторами обмоток елементарних ПА-модулів, виконавчими приводами балок – трансформерів, виконавчими приводами повороту модулів, пристроями технічного зору, первинними датчиками і пристроями зв'язку з об'єктом керування;

II – середній рівень містить обладнання автоматики, в т.ч. програмований логічний контролер (ПЛК), який виконує функцію програмування просторовими групами ПА-модулів і здійснює безпосередній контроль та багатоканальне керування електромеханічними ПА – модулями і допоміжними виконавчими приводами;

III – верхній рівень, який містить диспетчерський пульт керування технологічним процесом і робоче місце оператора.



Рисунок 3.4 Узагальнена структура трирівневої системи автоматизованого керування технологічним комплексом з просторово розподіленою ЕМ-системою ПА – модулів

Ключовою підсистемою САК є ПЛК, яка як правило, складається з джерел живлення, резервованих процесорних модулів, інтерфейсних модулів, комунікаційних процесорів і модулів входів / виходів. В ПЛК завантажуються програма управління ТП, захисту і блокування, математичні моделі як самих об'єктів управління, так і просторові моделі зон обслуговування для транспортно-технологічних об'єктів.

На рисунку 3.5 показаний приклад ПЛК на базі контролера Siemens серії S7-300, який широко використовується в системах автоматичного контролю складних технологічних процесів

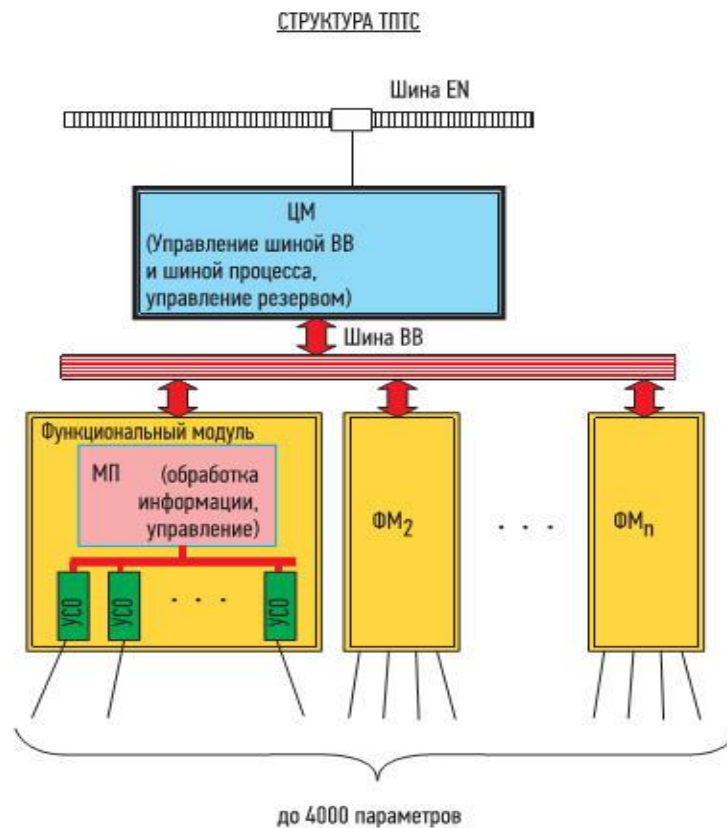


Рисунок 3.5 Структура програмно-технічних засобів САК

Абонентами шини EN можуть виступати стійки ТПТС, які забезпечують керування елементарними ПА-модулями. Об'єднання САК різних технологічних процесів в єдину структуру за допомогою шини EN дозволяє мати єдиний простір даних для всіх САК гнучкого технологічного виробництва, що забезпечує взаємодію між САК різних технологічних систем і зменшує кількість інженерних станцій для обслуговування обладнання індивідуальних САК.

Специфічною особливістю даної системи є поділ функцій управління і захисту шляхом їх реалізації на різних апаратних засобах з використанням різного програмного забезпечення. Складові частини СУМП, що реалізують функцію захистів і блокувань і функцію управління, забезпечені відповідними наборами датчиків, достатніми для коректного функціонування і забезпечення незалежності кожного елементарного модуля.

Процес керування просторово розподіленою системою ПА-модулів (рівень 1) реалізується на основі інформації сигналів параметрів ПА-модулів і виконавчих елементів системи. До таких параметрів належать показники датчиків положення, швидкості, зусиль, контролю температури, рівня, тиску, кінцевих вимикачів та інші сигнали, що передаються від обладнання об'єкта управління в САК.

Робоче місце оператора (диспетчера) представляє собою персональний комп'ютер у промисловому виконанні зі встановленою на ньому операційною системою і спеціалізованим програмним забезпеченням, за допомогою якого може здійснюватися оперування і контроль функціонування САК.

3.4 Технологічні процеси, які реалізуються на основі просторово розподіленої модульної ЕМ-системи

Характерною особливістю функціонування автоматизованого технологічного комплексу є достатньо широкий діапазон зміни масогабаритних, геометричних і електромагнітних параметрів оброблюваного технологічного об'єкта. В межах виробничого процесу технологічні об'єкти можуть відрізнятися: за масою; просторовою геометрією (труба, сектор труби, лист, смуга); загальною площею і габаритними розмірами (довжина, ширина, діаметр); геометричними та електромагнітними параметрами сталевого прокату (товщина, повітряний зазор, електропровідність і магнітна проникність). Цифрова система керування, з врахуванням вхідної інформації, має забезпечувати адаптацію приводної ЕМ-системи до реалізації технологічного процесу зі відповідним технологічним об'єктом.

Розроблений проект просторово розподіленої модульної ЕМ-системи на основі уніфікованих адаптивних електромеханічних модулів зі змінною структурою і геометрією активної поверхні, дозволяє забезпечити реалізацію широкого спектру технологічних процесів (рис 3.6), в тому числі:



Рисунок 3.6 Технологічні процеси, які реалізуються з використанням керованої просторово розподіленої модульної електромеханічної системи у складі автоматизованого технологічного комплексу.

1 – транспортування і просторове маніпулювання сталевими трубами різного діаметра;

2 – плазмову різку і обробку металу;

3 – автоматичне зварювання;

4 – порошкове фарбування;

5 – транспортування і маніпулювання плоским сталевим листовим прокатом;

6 - індукційне формування і гнуття труб;

7 - нанесення антикорозійного та ізоляційного покриття;

8 - виготовлення крупногабаратних цистерн, резервуарів та спеціальних виробів.

Таким чином, вище згаданий модульний принцип побудови таких технологічних ліній вирішує задачі модернізації і автоматизації технологічних процесів у складі автоматизованого технологічного комплексу обробки сталевих труб і сталевих прокату.

3.5 Енергоощадне керування технологічними процесами шляхом адаптації просторової геометрії і топології інтегральної активної зони ЕМ-системи

Одна з найважливіших характеристик ЕМ – системи, її модульна конструкція. Модульний принцип дозволяє здійснювати переконфігурацію або видозмінювати структуру ЕМ-системи в залежності від характеристик технологічного об'єкта. Це економить час і матеріальні витрати, а також збільшує експлуатаційний ресурс технологічного комплексу. Відкривається можливість оперування технологічними об'єктами різної просторової геометрії, габаритів і маси. На основі використання уніфікованих ПА-модулів можна реалізувати різні види просторових рухів (поступальний, обертальний, гвинтовий, плоско-паралельний, програмований), використовуючи електромеханічні ПА - модулі лише одного типорозміру.



Рисунок 3.7 Функціональні можливості просторово розподілених керованих ЕМ-систем на основі ПА – модулів

Вагомим чинником є підвищений фактор надійності такої системи, який зумовлений високим рівнем живучості системи в процесі її експлуатації. Це забезпечується високим рівнем резервування і ремонтпридатності ПА-модулів в процесі їх групової експлуатації у складі просторово – розподіленої ЕМ-системи. Така система здатна функціонувати при наявності частково непрацюючих (пошкоджених) модулів, які можуть бути оперативно замінені на однотипні, без зупинки технологічного процесу. Можливість заміни окремих модулів, а не всієї

машини, зменшує вартість забезпечення відповідного рівня продуктивності системи в умовах експлуатації зі змінними параметрами технологічного процесу.

Просторово розподілені ЕМ-системи на основі ПА – модулів дозволяють реалізувати низку притаманних лише їм режимів функціонування з високим рівнем адаптації до зовнішніх факторів технологічного процесу. Будь-яке ж відхилення параметрів технологічного об'єкта (просторової геометрії, геометричних розмірів, маси, ...) від нормативного, призводить до не оптимальності енергоспоживання і функціонування ЕМ-системи. Саме тому так важливо вводити в систему відповідні критерії, для забезпечення її ефективності незалежно від стану зовнішнього середовища.

В залежності від типу ТО, САК забезпечує наступні функції:

- розпізнає просторову геометрію технологічного об'єкта G_{TO} ;
- визначає масу T_O ;
- задає вид (програму) просторового руху технологічного об'єкта $P_{V\omega}$;
- визначає оптимальну кількість активних модулів $N_A \leq N_{\Sigma}$;
- визначає просторову конфігурацію інтегральної активної поверхні G_A ;
- задає просторову орієнтацію елементарних ПА-модулів ;
- встановлює порядок чергування фаз елементарних модулів;
- визначає електричну схему і часовий алгоритм комутації обмоток модулів, виконавчих приводів повороту елементарних модулів і секцій приводів секцій балок – трансформерів.

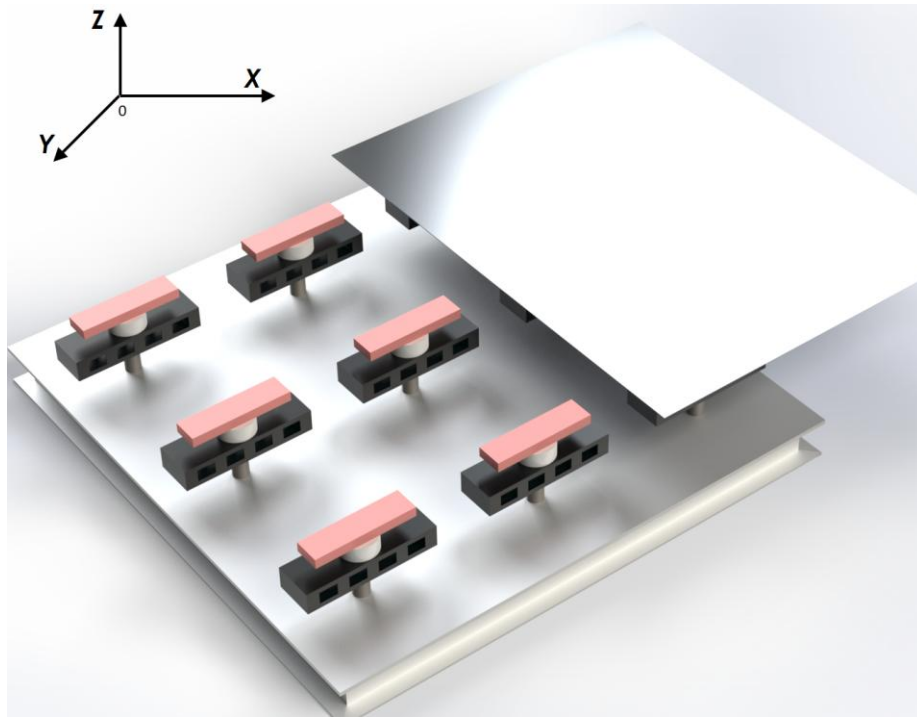


Рисунок 3.8 3D – модель просторово розподіленої системи на основі ПА-модулів ($N_{\Sigma} = 9$) для задачі оперування листовим сталевим прокатом. Просторова геометрія інтегральної активної поверхні - PL; геометрія елементарних модулів - PL; режим оперування – поступальний рух (OX).

Рівень споживаної потужності в просторово розподіленій ЕМ-системі буде залежати від кількості задіяних активних ПА-модулів і часу їх функціонування. Наприклад, для варіанта просторово розподіленої модульної ЕМ-системи з кількістю модулів ($N_{\Sigma} = 9$) для режиму транспортування плоского сталевого прокату прямокутного профілю з масою $M < M_{кр}$, за координатою OX зі швидкістю V_{OX} , з врахуванням маси виробу і його просторової геометрії, ПЛК визначено, що кількість активних модулів, необхідних для забезпечення заданого режиму $N_A = 4$, а їх оптимальна просторова конфігурація визначається схемою, представленою на рисунку 3.9. Тоді кількість задіяних активних модулів становить $N_p = 4$, а економія споживаної потужності становить 56%.

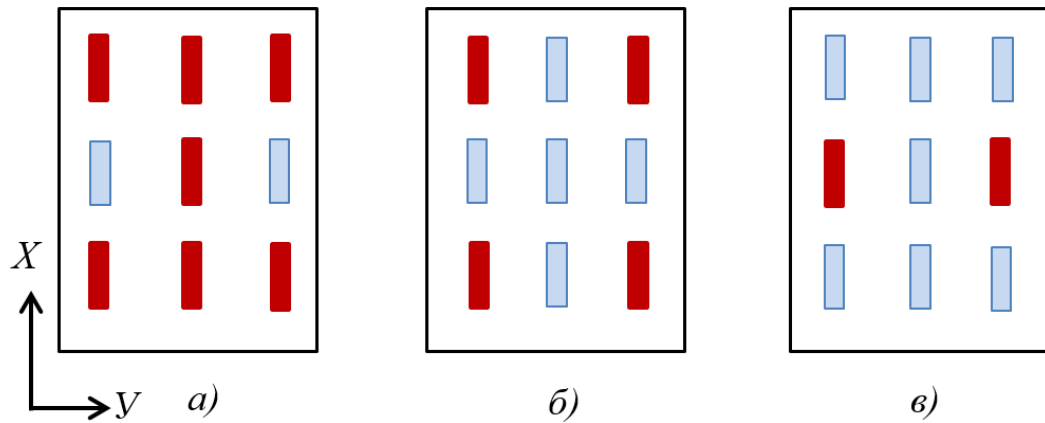


Рисунок 3.9 Варіанти просторової конфігурації інтегральної активної поверхні ПА-модулів ($N_{\Sigma} = 9$) для задачі транспортування плоского сталевого прокату з масою $M < M_{кр.}$ за координатою OX .

Аналогічно визначається параметри енергоощадного керування для інших варіантів маси технологічного об'єкта (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Вихідні параметри просторово розподіленої ЕМ-системи ($N_{\Sigma} = 9$) для задачі транспортування (рис. 3.9).

Параметри ПА-модулів	Варіант просторової схеми		
	а)	б)	в)
Загальна кількість N_{Σ}	9	9	9
Кількість активних модулів N_A	7	4	2
Орієнтація активних модулів	OX	OX	OX
Кількість пасивних модулів N_P	2	5	7
Код схеми розміщення S_R	1-2-3-5-7-8-9	1-3-7-9	4-6
Рівень споживаної потужності P_I	22%	56%	78%

В загальному випадку, рівень споживаної потужності ЕМ-системи буде визначатися кількістю активних ПА – модулів, що дозволяє реалізувати оптимальний режим енергоощадного керування (рис. 3.10)

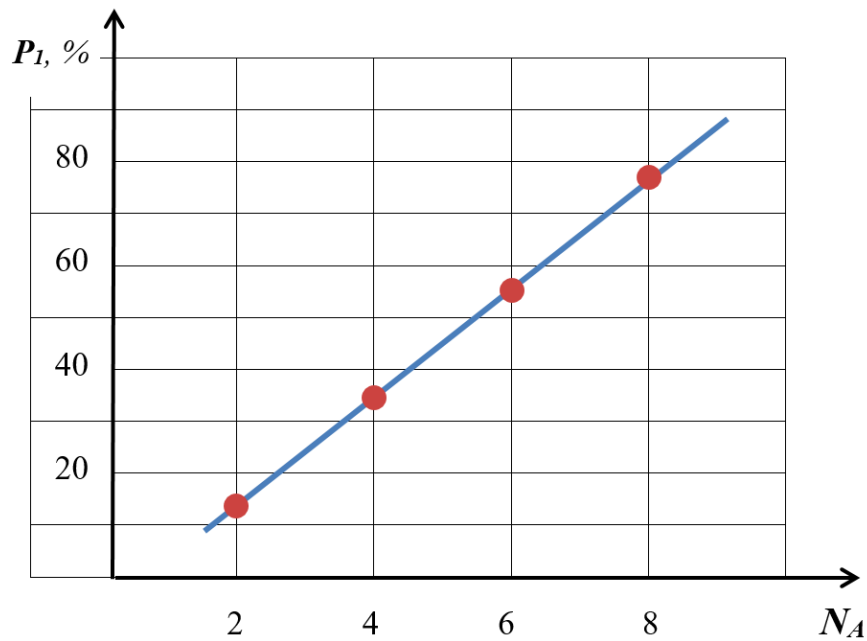


Рисунок 3.10 Залежність споживаної потужності від кількості активних модулів ($N_{\Sigma} = 9$).

Отже, режими енергоощадного керування просторово розподіленою модульною ЕМ-системою забезпечуються за рахунок:

- просторової адаптації системи розподілених модулів до геометрії технологічного об'єкта;
- оптимального вибору кількості активних модулів;
- зміни просторової геометрії активної поверхні елементарних модулів;
- зміни просторової орієнтації (OZ – повороту) елементарних модулів.

3.6 Опис функціональних особливостей і варіантів конфігурацій ПА-модулів з 2D просторовою адаптацією

Технічна реалізація просторової адаптації може здійснюватися шляхом вибору відповідної просторової композиції, просторового компоунання, зміни просторової геометрії і геометричних розмірів, оптимізації параметричних співвідношень. Іншими словами, ця реалізація досягається шляхом структурно-параметричної оптимізації створюваної системи (рис. 3.11)

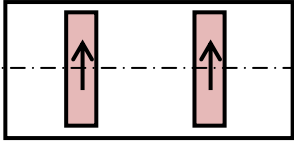
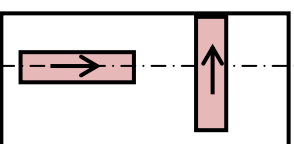
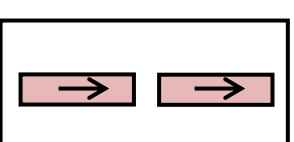
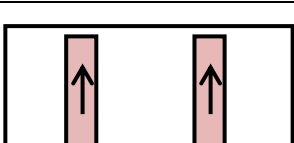
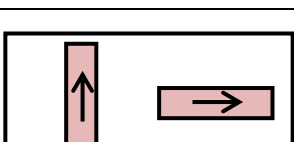
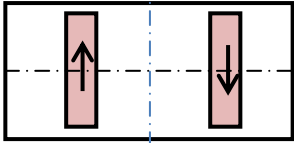
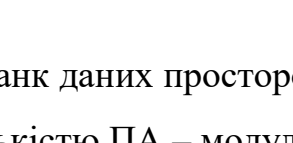
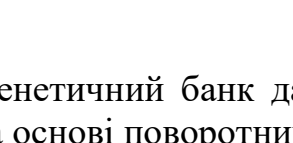




Рисунок 3.11 Класифікація способів технічної реалізації ЕМ-об'єктів з просторово адаптивною активною зоною

Синтезовані ізомерні композиції дозволяють визначити просторові компоувальні схеми індукторних модулів і відповідні види просторового руху технологічного об'єкта в залежності від його типу і просторової геометрії технологічного об'єкта (табл.3.2 і 3.3). Результати синтезу можна узагальнити у вигляді систематизованих генетичних банків даних (ГБД), які містять як генетичну, так і графічну інформацію стосовно допустимих варіантів компоувальних просторових схем ПА-модулів. ГБД – систематизована і структурована інформаційна система, яка призначена для зберігання і пошуку високоінтелектуальної генетичної інформації в межах певного функціонального або таксономічного класу ЕМПЕ.


Таблиця 3.2 Генетичний банк даних просторових компоунок інтегральної активної поверхні на основі поворотних ПА - модулів ($N_{\Sigma} = 2$)

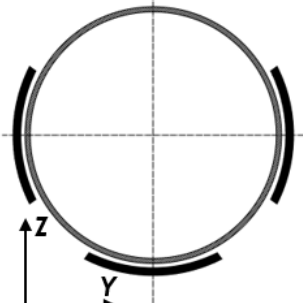
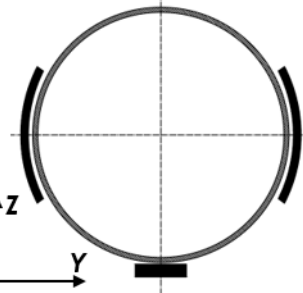
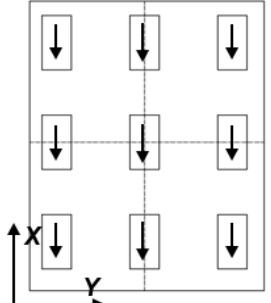
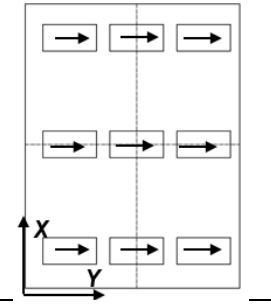
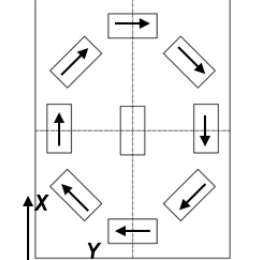
Технологічний об'єкт	Просторова схема орієнтації ПА-модулів	Кут повороту ПА-модуля	Вид просторового руху
Труба сталева циліндрична		$\beta_1 = 0$ $\beta_2 = 0$	Поступальний (V_{Ox})
		$\beta_1 = \pi$ $\beta_2 = \pi$	Інверсний ($-V_{Ox}$)

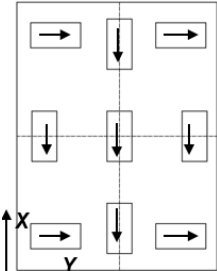
		$\beta_1 = \pi/2$ $\beta_2 = \pi/2$	Обертальний (ω_{Ox})
		$\beta_1 = -\pi/2$ $\beta_2 = -\pi/2$	Обертальний інверсний ($-\omega_{Ox}$)
		$\beta_1 = 0$ $\beta_2 = \pi/2$	Обертально-поступальний (правогвинтовий) $V\omega$
		$\beta_1 = 0$ $\beta_2 = -\pi/2$	Лівогвинтовий
Сталевий лист (смуга)		$\beta_1 = 0$ $\beta_2 = 0$	Поступальний (V_{Ox})
		$\beta_1 = \pi$ $\beta_2 = \pi$	Інверсний ($-V_{Ox}$)
		$\beta_1 = \pi/2$ $\beta_2 = \pi/2$	Поступальний (V_{Oy})
		$\beta_1 = -\pi/2$ $\beta_2 = -\pi/2$	Поступальний ($-V_{Oy}$)
		$\beta_1 = \pi/2$ $\beta_2 = 0$ $\beta_1 = 0$ $\beta_2 = -\pi/2$	Плоско-паралельний (V_{xOy})
		$\beta_1 = \pi/2$ $\beta_2 = -\pi/2$ $\beta_1 = -\pi/2$ $\beta_2 = \pi/2$	Обертальний (ω_{xOy})

Аналогічний банк даних просторових компонок можна створити для задачі оперування ТО з кількістю ПА – модулів $N_{\Sigma} = 9$ (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 Генетичний банк даних просторових компонок інтегральної активної поверхні на основі поворотних ПА - модулів ($N_{\Sigma} = 9$)

Просторова схема орієнтації ПА-модулів	Структурна формула ізомерної композиції	Вид просторового руху
Технологічний об'єкт – сталеві труба		
	$9(PL\ 2.2x)_{xOy}$	Поступальний: $\pm (V_{Ox})$;

Просторова схема орієнтації ПА-модулів	Структурна формула ізомерної композиції	Вид просторового руху
		Інверсний $\pm (V_{OX})$
	$9[(CL\ 2.2y):M_{Oz}(\pi/2):M_{ZOY}]_{ZOY}$	Обертальний (ω_{OX}) Обертальний інверсний ($-\omega_{OX}$)
	$3(PL\ 2.2x)_{XOY} \times 6[(CL\ 2.2y):M_{Oz}(\pi/2)]_{ZOY}$	Обертально-поступальний (правогвинтовий) $+(V_{OX} \times \omega_{OX})$ Лівогвинтовий $-(V_{OX} \times \omega_{OX})$
Технологічний об'єкт – сталевий листовий прокат		
	$9(PL\ 2.2x)_{OX}$	Поступальний (інверсний): $\pm (V_{OX})$;
	$9[(PL\ 2.2y):M_{Oz}(\pi/2)]_{OY}$	Поступальний (інверсний): $\pm (V_{OY})$;
	$-2(PL\ 2.2x)_{OX} \times (PL\ 2.2y): M_{Oz}[(\pi/2) \times (-\pi/2) (-\pi/4) \times (\pi/4) \times (3\pi/4) \times (5\pi/4)]_{XOY}$	Обертальний: $\pm (\omega_{Oz})$;

Просторова схема орієнтації ПА-модулів	Структурна формула ізомерної композиції	Вид просторового руху
	$5(PL\ 2.2x)_{Ox} \times 4[(PL\ 2.2y): M_{Oz}(\pi/2)]_{Oy}$	<p>Плоско – паралельний: $\pm (V_{Ox} \times V_{Oy});$</p>

*Для $N_{\Sigma} = (3 \times 3)$

Просторові компоновки ПА – модулів узагальнюють лише основні їх варіанти для двох геометричних конфігурацій ТО. В задачах оперування технологічними об'єктами нестандартної геометрії, варіанти компоновок можуть бути розширені з можливістю реалізації спеціальних програмованих режимів оперування. Зі збільшенням N_{Σ} будуть зростати адаптивні можливості системи, але одночасно буде зростати і кількість допоміжних приводів, датчиків і індивідуальних каналів керування.

Систематизовані в таблицях 3.2. та 3.3 варіанти просторових компоновок ПА- модулів з відповідними видами просторового руху технологічного об'єкта, виконують функцію генетичних каталогів для вибору компоновальної схеми і режимів функціонування просторово розподіленої ЕМ-системи технологічного маніпулятора. Інформація ГБД також виконує функцію вихідних даних для розробки алгоритмів автоматизованого керування технологічними процесами.

РОЗДІЛ 4 ЕСКІЗНИЙ ПРОЕКТ ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТЕНДУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОСТОРОВО-АДАПТИВНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ МОДУЛІВ

4.1 Технічне завдання на дослідницький стенд

Найменування об'єкта розробки, та область застосування:
«Дослідницький стенд з багатофункціональним просторово адаптивним електромеханічним модулем». Область практичного застосування стенду :
1) пошукові (експериментальні) дослідження властивостей просторово адаптивних електромеханічних модулів і режимів їх функціонування (в межах проекту); 2) нове покоління багатофункціональних електромеханічних систем з можливістю реалізації просторово адаптивних функцій (в перспективі).

Призначення: стенд призначений для експериментальної перевірки електромагнітних, механічних і динамічних властивостей, підтвердження працездатності і ефективності багатофункціонального електромеханічного модуля зі змінною просторовою орієнтацією і геометрією активної зони;

Підстава для розробки:

- Тема дисертаційної роботи аспіранта Красовського П.А. «Синтез електромеханічних модулів з адаптивною структурою і геометрією активної зони» (затверджена Радою ФЕА КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №4, від 23.11.2020 р.);
- Ініціативна пошукова НДР кафедри електромеханіки «Генетична організація і еволюція електромеханічних об'єктів з адаптивною геометрією активної зони» (№ держреєстрації 0120U105525);
- Програма досліджень за рамковим міжнародним договором «КПІ (Україна) – SEP (Польща)»;
- Програма досліджень за заявленим міжнародним проектом «Україна – Словачія».

Мета розробки. 1) експериментальне підтвердження достовірності результатів генетичного передбачення і синтезу електромеханічних модулів, наділених можливістю керованої зміни структури і просторової геометрії активної зони; 2) експериментальна перевірка правильності і ефективності реалізованих технічних і технологічних рішень і підтвердження конкурентоспроможності;

Джерела розробки.

- Індивідуальний план дисертаційних досліджень аспіранта Красовського П.О.;
- Результати генетичного передбачення і синтезу просторово адаптивних модульних структур;
- Ескізний проект навчально – демонстраційного стенду;
- Результати розрахунку геометрії і параметрів електромеханічного модуля;
- Заявка на винахід № а2019 11367 від 19.12.2019 р.
- Джерело фінансування - спонсорська допомога.

Основні технічні вимоги:

- Конструкція стенду має забезпечувати максимальну наглядність технічної реалізації концепції просторово адаптивного електромеханічного модуля а також дослідження процесів його функціонування з реалізацією поступального і обертального просторових рухів рухомої частини;
- Конструкція стенду має задовольняти вимогам компактності, технологічності, економічності та екологічності;
- Електромеханічна частина стенду і система керування має забезпечувати реалізацію обертового, поступального, обертально-поступального (гвинтового) і інверсного рухів рухомої частини (в ручному і програмованому варіантах керування) під дією магнітного поля лише одного індукторного модуля;
- Конструкція стенду і його масогабаритні показники, мають задовольняти вимогам компактності, уніфікації вузлів, мобільності і оперативності збірки його вузлів та здійснення налаштувань;

- Конструктивні вузли стенду і його оформлення мають задовольняти вимогам сучасного технічного і демонстраційного дизайну;
- Конструкція стенду, його електрична схема мають задовольняти вимогам охорони праці, ПУЕ і пожежної безпеки;

Основні вузли стенду: Стенд повинен складатись з механічної, електромеханічної (адаптивний модуль) частин і системи керування. Механічна частина має містити:

- Сталеву раму;
- Пристрій кріплення, повороту ПА-модуля ;
- Кінцеві упори (обмежувачі руху);
- Просторово адаптивний трифазний індукторний модуль;
- Рухома (вторинна) частина: - сталева, або біметалева циліндрична труба;
- Гнучкий струмопідвід до поворотного індукторного модуля;
- Блок керування.

4.2 Опис конструкції і основних вузлів стенду

Результатом розробки, стало створення 3D макету стенду для оперування просторовим положенням сталевих труб великого діаметру або листового прокату (рис. 4.1). Макет розроблений для демонстрування особливостей роботи концепції роботизованого технологічного комплексу описаного в підрозділі 3.1. Розробка виконувалась у програмі для САПР – Solidworks.

В основі спрощеного стенду лежить рама, яка є зварною конструкцією з профілю прямокутного січення. Дизайн рами розраховувався відповідно до навантажень, які на неї діятимуть від вторинної частини. Направляючими для руху вторинної частини є шарики ролики, які вмонтовані в профіль круглого січення. Завдяки такому рішенню, труба матиме змогу вільно пересуватись як у повздовжньому напрямі так і при повороті її.

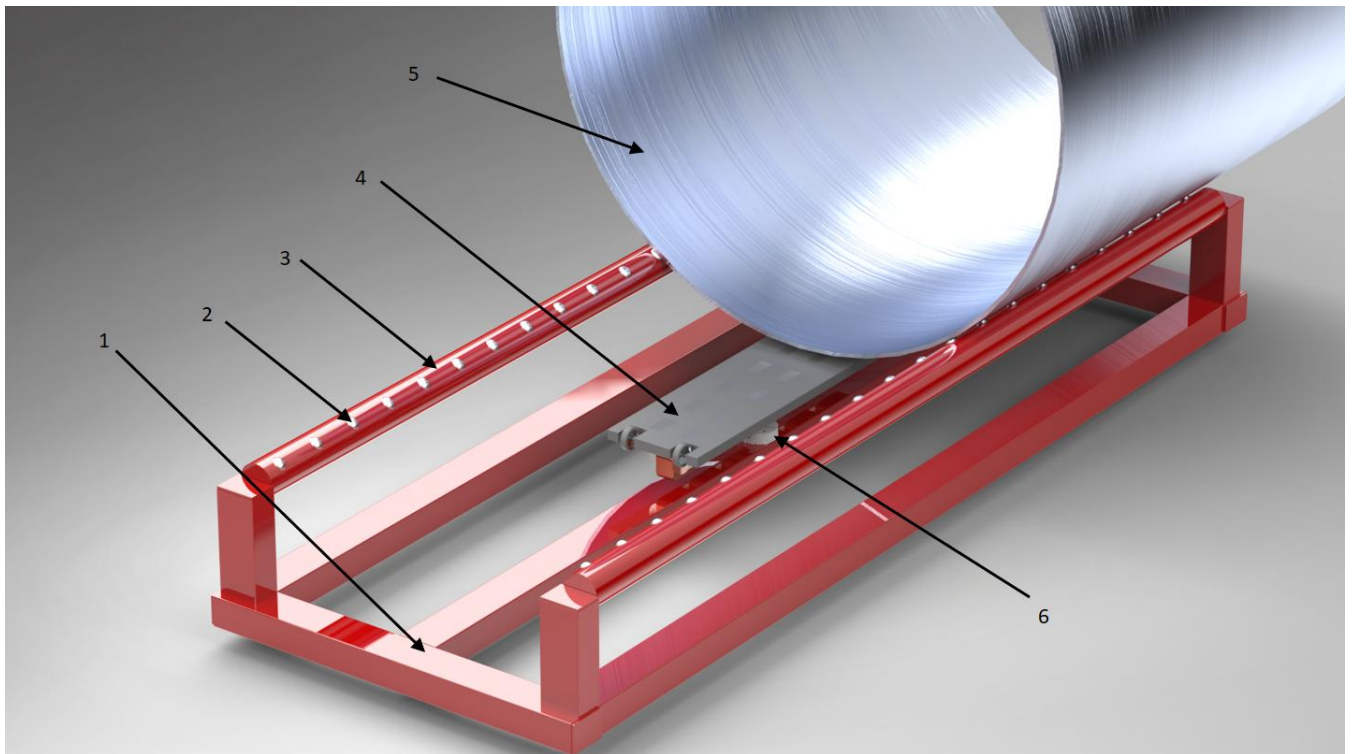


Рисунок 4.1 Макет стану для оперування сталевими трубами на основі модульного індуктора (1-рама, 2-шариковий ролик, 3-бокова опора з круглого профілю, 4- модульний індуктор, 5- вторинний елемент (сталева труба), 6 – трикулачковий поворотний патрон)

В центрі рами розміщений індуктор (рис. 4.2). Індукторний модуль, що живиться 3 фазним струмом, по своїй будові являє собою лінійний асинхронний двигун з поперечним магнітним потоком.

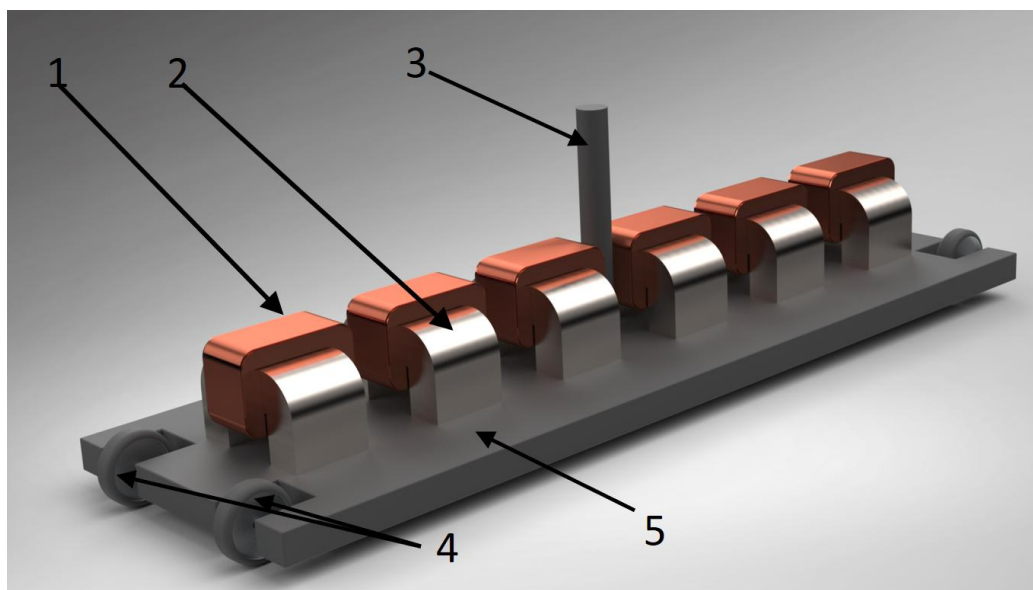


Рисунок 4.2 Індукторний модуль – лінійний асинхронний двигун з поперечним магнітним потоком (1-котушка магнітопровода, 2-магнітопровід П-подібний, 3-стержень для фіксації в патроні), 4 – обмежувальні ролики, 5 – гнучкий еластомір)

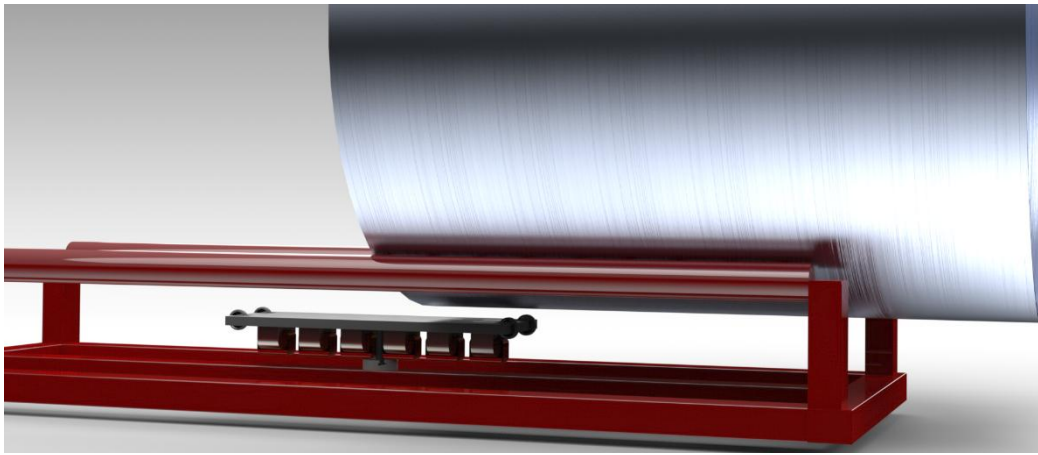
Котушка намотана на магнітопровід стрижневий стрічковий, шихтований П-подібний. Всі котушки заливаються у спеціальний матеріал, який здатний змінювати свою форму і зберігати її. Для усунення ефекту «залипання» індуктора з трубою, на його краях встановлені обмежуючі ролики.

Для фіксації індуктора, а також для можливості його повороту, використовується спеціальний трьох-кулачковий патрон, для цього в центрі еластоміра є стержень, який і закріплюється у патроні.

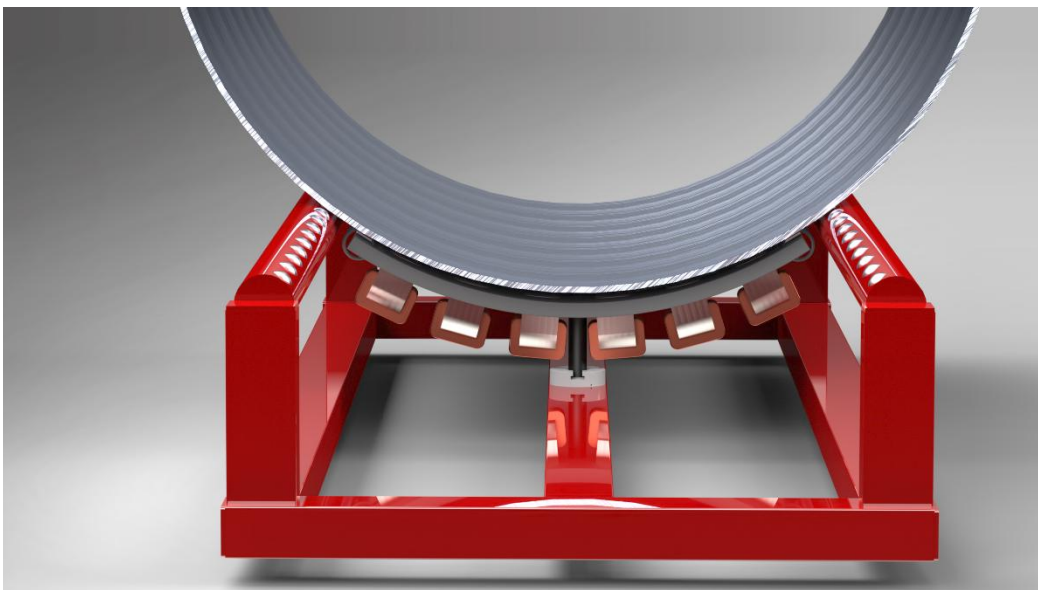
Отже така ідея виконання П-А модуля, відрізняється низкою переваг, а саме:

- електромеханічна система макетного стенду виконана на основі плоских індукторів, тим самим спрощує конструкцію силової частини;
- кріплення індукторного модуля виконується з поворотною фурнітурою або шарнірною опорою, що дає можливість повороту і фіксації положення індуктора в просторі відносно осі симетрії
- залежно від геометрії, маси і габаритних розмірів сталевих труб, макет стенду може бути додатково оснащений двома поворотними опорами з індукторами.
- магнітопровід індукторного модуля виконано у вигляді поперечно орієнтованих дискретних явнополюсних магнітопроводів П -, або Ш-подібної геометрії, з розміщеними на них котушками обмотки, які механічно з'єднані між собою з можливістю пружної зміни просторової геометрії його активної зони, що забезпечує адаптивність його активної зони до геометрії об'єкта оперування
- на торцевих ділянках індукторного модуля закріплено додаткові роликові вузли, які забезпечують рівномірність повітряного зазору в активній зоні індукторного модуля.

Отже, демонстраційний стенд здатний реалізовувати повздовжнє, так і обертальне переміщення для труби. На рисунку 4.3 бачимо можливі компоновки просторово-адаптивного індуктора для реалізації цих рухів.



А)



Б)

Рисунок 4.3 Варіанти просторової адаптації модуля в конструкції стенду (А – для повздовжнього переміщення труби, Б – для обертання).

В даному проекті використаний уніфікований поворотний модуль з адаптивною активною поверхнею.

Індуктор такого типу, виготовлений за технологією еластичної електромеханіки, може функціонувати в двох геометричних формах активної поверхні – плоскій (рис. 4.3А) і дуговій (рис. 4.3Б), з реалізацією відповідного просторового руху сталевих технологічних об'єктів – поступального, або обертального.

Просторово-адаптивний індукторний модуль здатний повертатись на фіксований кут ($0 - 90^0$), тим самим реалізовувати наступні режими функціонування:

- поступальний рух (положення індуктора 0^0)
- зворотно-поступальний рух.
- обертальний рух (поворот індуктора на 90^0 і зміна плоскої геометрії на дугову циліндричну);
- гвинтовий рух (поворот індуктора на кут 45^0 і зміна геометрії на дугову)
- складний програмований рух з позиціюванням.

Таким чином, використовуючи всього один модуль адаптивного індуктора можна забезпечити різні просторові рухи і оперування над різними технологічними об'єктами.

4.3 Електромагнітний розрахунок елементарного модуля активного індуктора

Розрахунок передбачає вирішення двох задач. Перший задача передбачає розрахунок і вибір основних розмірів і обмоточних даних котушки для елементарного модуля. Друга задача це моделювання просторово-адаптивного модуля, з визначенням основних характеристик: магнітної індукції, сили тяги індуктора, сили притягання, яку він створює.

Вибраний варіант конструкції просторово адаптивного модуля передбачає що магнітопроводи залишаються жорсткими, та поперечно орієнтованими, таким чином магнітний потік замикатиметься в поперечному напрямі. Така конструкція дозволить залишити магнітопровід дискретним, і якщо ці елементарні магнітопроводи розмістити на еластичній основі, його можна буде деформувати. Елементарний П-подібний магнітопровід виготовляють з листів електротехнічної сталі, шихтованих паралельно площини $x=0$. Тип обмоток для котушки вибираємо зосереджену.

Спочатку розрахуємо початкові дані, а саме, обмоточні параметри і розміри котушки для елементарного П-подібного модуля (рис.4.4):

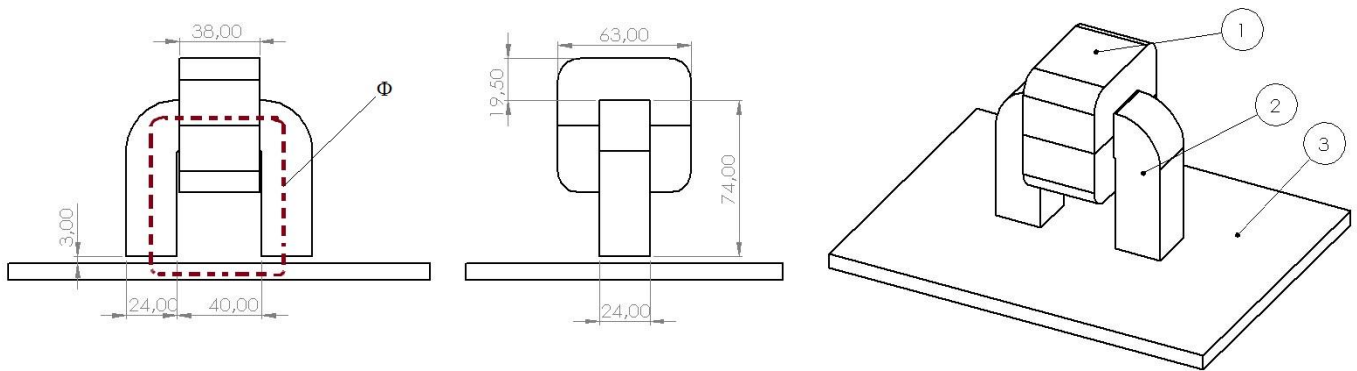


Рисунок 4.4 Ескіз елементарного П-подібного модуля. Червоною штриховою лінією показний напрям замикання ліній магнітного потоку. 1 – котушка магнітопроводу, 2 – П-подібний магнітопровід, 3 – сталевий (вторинний) елемент

Вихідними даними задаємо:

$U = 220 \text{ В}$ – напруга мережі живлення;

$Q = 300 \text{ Н}$ – зусилля притягання одиничного полюса магнітопроводу;

$j = 2.5 \text{ А/мм}^2$ – густина струму;

Геометричні розміри магнітопроводу:

$d = 24 \text{ мм}$ – діаметр сердечника магнітопроводу;

$h = 40 \text{ мм}$ – ширина вікна магнітопроводу;

$c = 20 \text{ мм}$ – висота вікна магнітопроводу;

$\delta_1 = 2.2 \text{ мм}$, $\delta_2 = 2.7 \text{ мм}$ – розміри каркасу для котушки;

δ_0 – повітряний проміжок до вторинної частини;

Магнітне коло містить ділянки сталевго сердечника, а також повітряний зазор, через який замикається основна частина робочого потоку. Сердечник магнітопроводу має прямокутну форму перерізу:

Визначимо довжину ліній намагнічування сердечника, мм:

$$L_c = 2h + c + \frac{\pi d}{2} = 2 \cdot 40 + 20 + \frac{\pi \cdot 24}{2} = 137.69911$$

$$L_{\text{я}} = c + \frac{\pi d}{2} = 57.69911$$

Визначаємо магнітну індукцію за формулою, Тл:

$$B = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{тяг}}}{S_c \cdot 10^{-6}}} = 1.30294$$

Визначимо площу котушки, мм²:

$$S_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 452.38934$$

Визначимо основний магнітний потік, Вб:

$$\Phi = \frac{B}{S_c} = \frac{1.30294}{452.38934} = 0.00288$$

Зробимо наступне допущення $E \approx U$; $E = 4.44 \cdot f \cdot (\Phi_w)$, звідси частота, Гц:

$$f = \frac{U}{4.44} = \frac{220}{4.44} = 49.54955$$

Звідси визначимо потокозчеплення, Вб:

$$\Phi_w = \frac{U}{4.44 \cdot f} = \frac{220}{4.44 \cdot 49.54955} = 1$$

Визначимо кількість витків котушки:

$$\omega_1 = \frac{\Phi_w}{\Phi} = \frac{1}{0.00288} = 347.20657$$

Приймаємо кількість витків для котушки:

$$\omega = 350$$

Для матеріалу магнітопроводу вибираємо гарячекатану леговану електротехнічну сталь марки 1412. Визначимо значення напруженості поля в сердечнику по кривій намагнічення H_c , А/м:

$$H_c = 800$$

Визначаємо повну намагнічуючу силу, Н:

$$F = \left(H_c \cdot L_c + 0.8 \cdot \frac{B}{\sqrt{2}} \cdot \delta_0 \right) \cdot 10^{-3} = \left(800 \cdot 137.69911 + 0.8 \cdot \frac{1.30294}{\sqrt{2}} \cdot 3 \right) \cdot 10^{-3} = 110.1615$$

Визначмо струм в котушці, А:

$$I = \frac{F}{\omega} = \frac{110.1615}{350} = 0.31475$$

Визначмо переріз проводу для обмотки, враховуючи, що густина струму $j=2-3$ А/мм², мм² :

$$S_{\text{обм1}} = \frac{I}{j} = \frac{0.31475}{2.5} = 0.1259$$

Приймаємо найближче вище значення переріз відповідно до стандарту на обмоточні провoda, мм²:

$$S_{\text{обм}} = 0.13$$

Визначимо діаметр провoda, мм:

$$d_{\text{обм}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{обм}}}{\pi}} = 0.40684$$

Визначимо внутрішній і зовнішній діаметри котушки, мм:

$$d_1 = d + 2 \cdot \delta_1 = 28.4$$

$$d_2 = 2 \left(c + \frac{d}{2} - \frac{2}{3} \right) = 62.66667$$

Визначимо радіальний розмір котушки, мм:

$$r_k = \frac{(d_2 - d_1)}{2} = 17.13333$$

Визначимо осьовий розмір котушки, мм:

$$h_o = h - 2 \cdot \delta_2 = 34.6$$

Визначимо середню довжину витка котушки, мм:

$$L_{\text{ср}} = \pi \cdot \frac{d_2 + d_1}{2} = \pi \cdot \frac{62.66667 + 28.4}{2} = 143.04719$$

Визначимо питомий опір нагрітої міді, Ом·мм²/м:

$$\rho = 0.02485$$

Розрахуємо активний опір котушки за формулою, Ом:

$$R = \rho \cdot \frac{L_{\text{ср}} \cdot \omega}{S_{\text{обм}}} \cdot 10^{-3} = 0.02485 \cdot \frac{143.04719 \cdot 350}{0.13} \cdot 10^{-3} = 9.57041$$

Визначмо падіння напруги в активному опорі, В:

$$U_{\text{пад}} = I \cdot R = 0.31475 \cdot 9.57041 = 3.01226$$

Виконаємо моделювання в Comsol.

COMSOL Multiphysics уніфікує робочий процес вирішення інженерних і наукових завдань за допомогою чисельних методів. Модулі розширення містять спеціалізовані інструменти для моделювання процесів і явищ в області

електродинаміки і оптики, механіки і акустики, гідродинаміки і теплопередачі, хімії та електрохімії[50]. Серед можливостей є моделювання електромагнітних полів в модулі AC/DC.

Для розширення можливостей моделювання всі розміри задаються через параметри, що дозволяє нам будувати безліч варіантів конструкції двигуна. Але я задаюсь розмірами магнітопроводу, та обмоточними даними, які задані та розраховані вище. Далі задаємо матеріали використовуючи вбудовані в програму бібліотеки. Для магнітопроводу задаємо матеріал м'якого заліза без втрат – що на практиці означає, що у нього нульова провідність і він, фактично, є шихтованим. А для вторинного елемента вибираємо матеріал м'якого заліза з втратами.

Для фізичного розрахунку магнітного поля програма використовує систему рівнянь Максвелла, які перетворюються у рівняння для векторного магнітного потенціалу, що по суті є законом Максвелла-Ампера:

$$\nabla \times (\mu^{-1} \nabla \times A) = -\sigma(d_t A) - \varepsilon(d_t^2 A) + J_e$$

І скалярного електричного потенціалу:

$$-\nabla \times \frac{d}{dt}(\varepsilon_r \times \varepsilon_0 \nabla V - P) - \nabla \times (\sigma \nabla V - J_e) = Q_j$$

Саме ці рівняння лежать в основі всіх інтерфейсів модуля AC/DC і розраховуються в кожній точці при розрахунку задачі.

Далі необхідно було задати всі властивості матеріалів у різних частин моделі. Для моделювання феромагнітних матеріалів всі співвідношення задаються у вузлі Ampere Law, використаєм модель з заданням відносної магнітної проникності. Для того щоб врахувати нелінійний ефекти і ефекти насичення, необхідно задати співвідношення кривої намагніченості В-Н. Для цього скористаємось параметрами з вибраних раніше матеріалів у бібліотеці Comsol. Для живлення моделі було створено схема з'єднання з зовнішнім електричним колом.

Вибираємо вручну налаштовану сітку, і збільшуємо її густину в місцях нелінійного матеріалу магнітопроводу. Розмір сітки впливає на точність обчислень (рис.4.5).

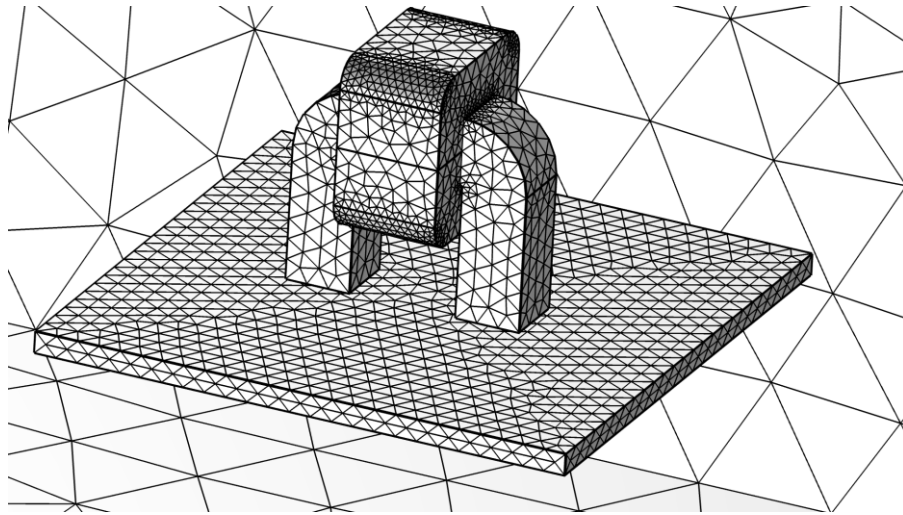


Рисунок 4.5 Сітка для моделювання елемента магнітопроводу

Розрахунок проводився за період часу, який рівний періоду синусоїди при частоті мережі 50Гц (0,02с). Результатом розрахунку бачимо на зображеннях нижче.

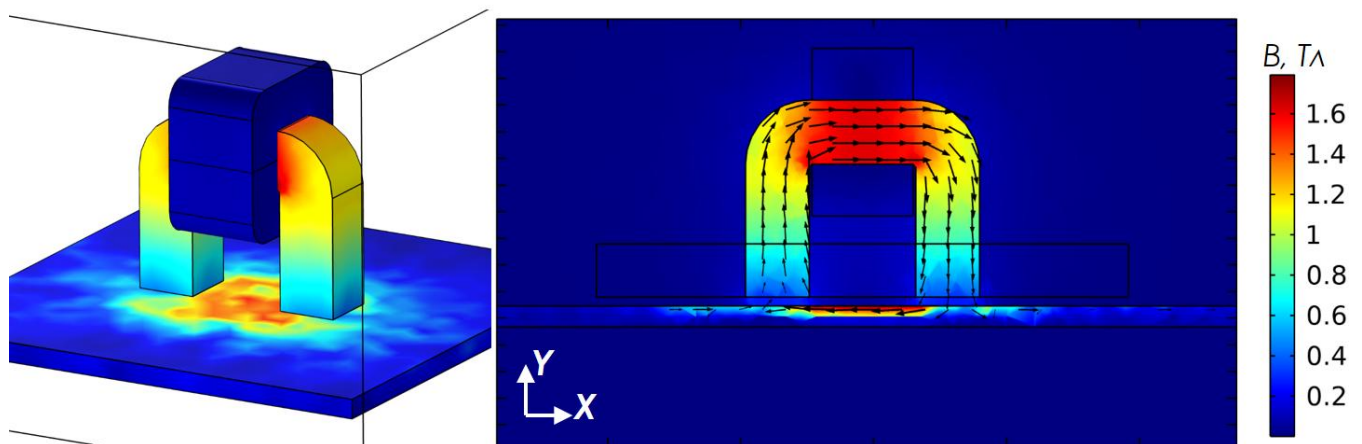


Рисунок 4.6 Розподіл магнітної індукції в елементарному П-подібному модулі. Чорними стрілками позначено напрям ліній магнітного потоку

На рисунку 4.6 зображена картина розподілу магнітної індукції в елементарному модулі. З рисунка бачимо, що індукція не перевищує індукцію насичення (градієнтна легенда індукції справа), а особливістю розподілу магнітної індукції є те, що максимальною вона в зоні обмотки, близько 1,6Тл, це пояснюється високим насиченням, яке при досягненні полюсів суттєво зменшується до 0,4Тл. Ця зміна щільності магнітного потоку в залежності від напруженості магнітного поля описується кривою ВН для магнітом'якого матеріалу сердечника. Потік проходить через полюсні наконечники і замикаючись

на вторинному елементі, притягують його. Чорними лініями показано контур замикання магнітного поля, як бачимо, вони перетинають вторинну сталеву частину, концентруючись на поверхні, по шляху найменшого опору, і наводять в ній електромагнітну силу. Найбільшого значення у вторинній частині індукція досягає 1,6Тл. Також контурами позначені котушка і еластична основа, на якому монтується елементарні П-подібні модулі. Їх магнітну проникність задану на рівні з повітрям, тобто близьку до 1.

За результатами моделювання, скориставшись вузлом Force Calculation, визначаємо силу притягання, яке створює елементарний модуль.

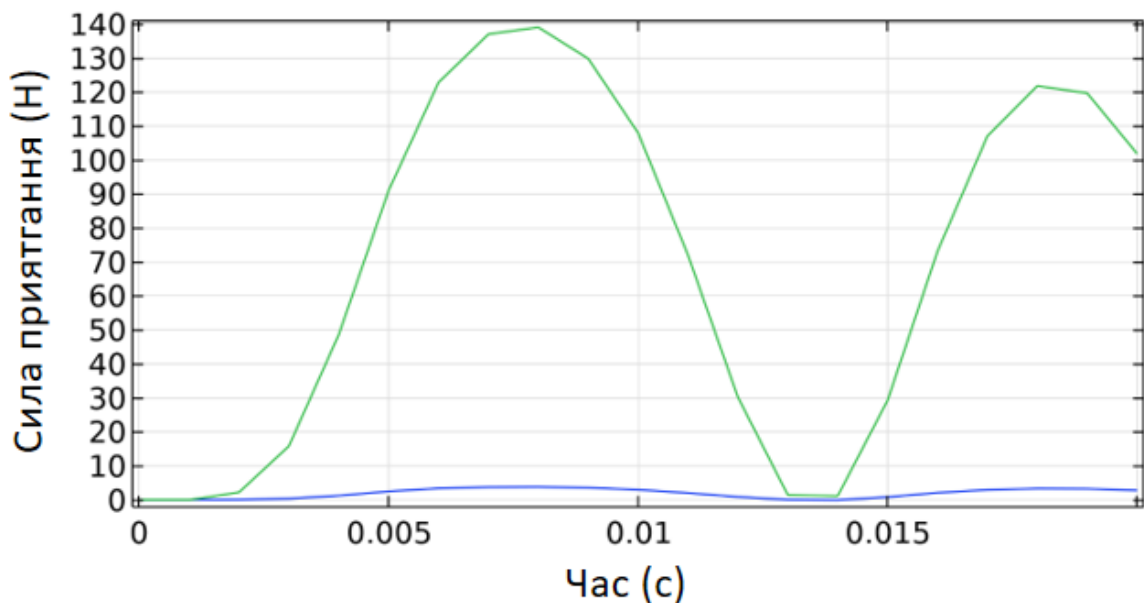


Рисунок 4.7 Сила притягання елементарного П-подібного модуля

Як бачимо з рисунка 4.7, сила притягання змінюється згідно синусоїдального закону, це пов'язано з тим, що на котушку подається змінний струм. Пікове значення (зелена лінія) сили притягання складає ~ 148 (Н). Також на графіку бачимо вплив сили поперечного потоку, який позначено синьою лінією, ця сила складає всього 3.7 (Н), тому цією величиною можна нехтувати, т.я. вона не зможе вплинути на зміну положення вторинної частини.

Вибрані розміри індуктора дозволяють створити розрахункову модель 3-фазного індукторного модуля з шести котушок (рис.4.8).

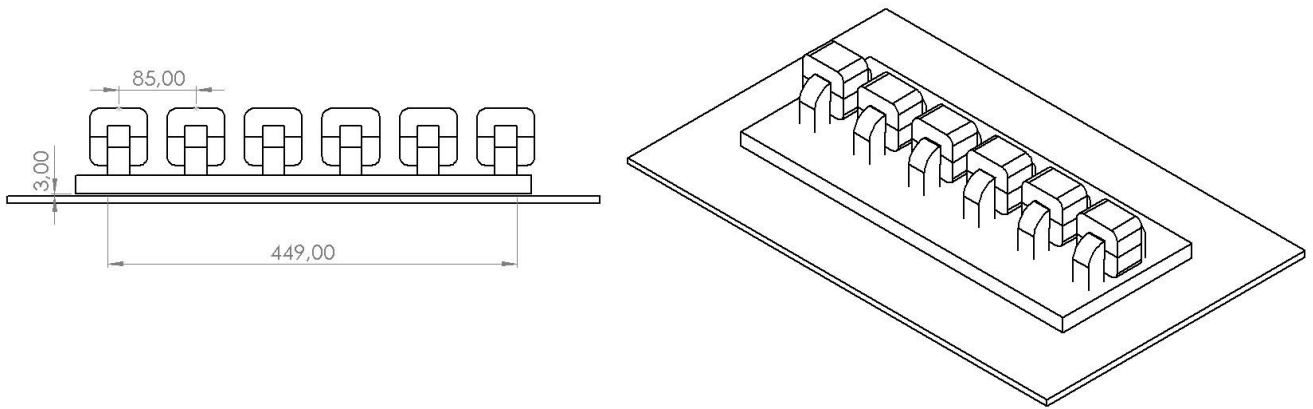


Рисунок 4.8 Просторово-адаптивний модуль індуктора з вторинною частиною

Обираємо на полюс і фази одну котушку, в такому випадку полюсний поділ $\tau = L/p = 500/6 = 83.3$. Обираємо довжину полюсного поділу $\tau = 8.5$ см. В такому випадку можна розрахувати швидкість біжучого магнітного поля: $V_0 = 2 \cdot \tau \cdot f = 2 \cdot 0.085 \cdot 50 = 8.5$ м/с

Таким чином, підключимо обмотки за схемою ABCABC, тобто фази А, В, С чергуються послідовно, напрямок намотування однаковий. Щільність струму 2,5 А/м² вибирається виходячи з повітряного охолодження обмотки. Якщо змінити спосіб охолодження, то допустимо збільшити щільність струму. Сталь для магнітопроводу обрана гарячекатана легована з вмістом кремнію до 3,8%. У моделі вторинної частини використовується стандартний нелінійний матеріал – сталь 3.

При моделюванні П-А індуктора використовувалась 3 фазна схема живлення, з'єднання обмоток за схемою «зірку», кут зсуву фаз складає 120° електричних градусів. Таким чином це провокує появу біжучого магнітного поля. Моделювання проводилось тільки для плоскої конфігурації індуктора, за час, рівний часу одного періоду $T = 1/f = 1/50 = 0.02$ с (рис.4.9). Моделювання двигуна виконується з використанням аналізу кінцевих елементів; тому геометрична модель повинна бути перетворена в сітку для передачі в розрахунковий модуль. Повітряний проміжок до вторинної частини $\delta = 3$ мм.

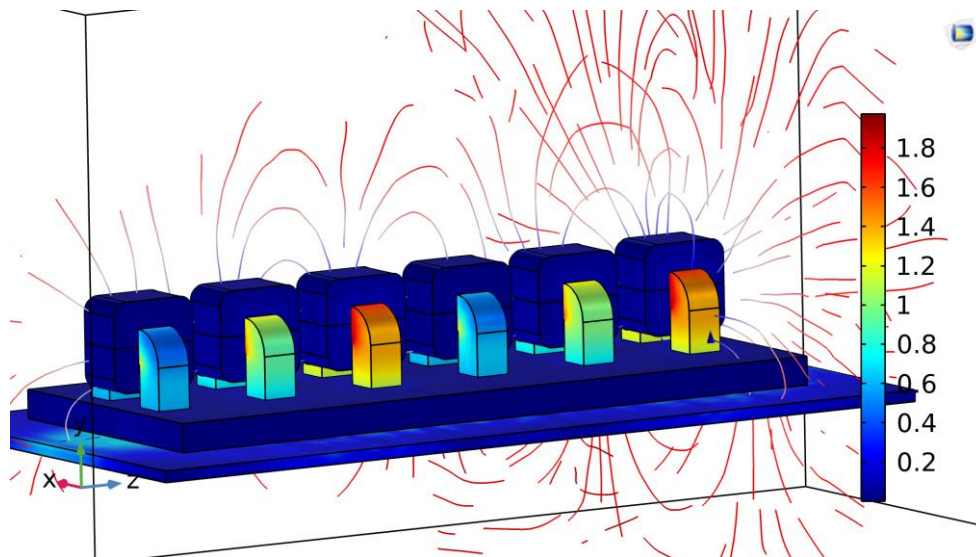


Рисунок 4.9 Розподіл магнітної індукції в П-А модулі індуктора (Тл) та контури полів розсіювання

З рисунка 4.9 бачимо всі ефекти пов'язані з насиченням магнітного поля, особливо це видно в зоні котушок, де насичення найбільше, також можна детально побачити характер розподілу магнітних полів, а, як наслідок, струмів (не показані на рисунку) в трифазній системі живлення. Крім цього, на рисунку показані контури замикання полів розсіювання, як бачимо, частина з них замикається по повітрі, а частина на сусідні котушки.

Таким чином, маючи розраховану модель індуктора, можна визначити результуючу силу притягання індукторного модуля в плоскій конфігурації.

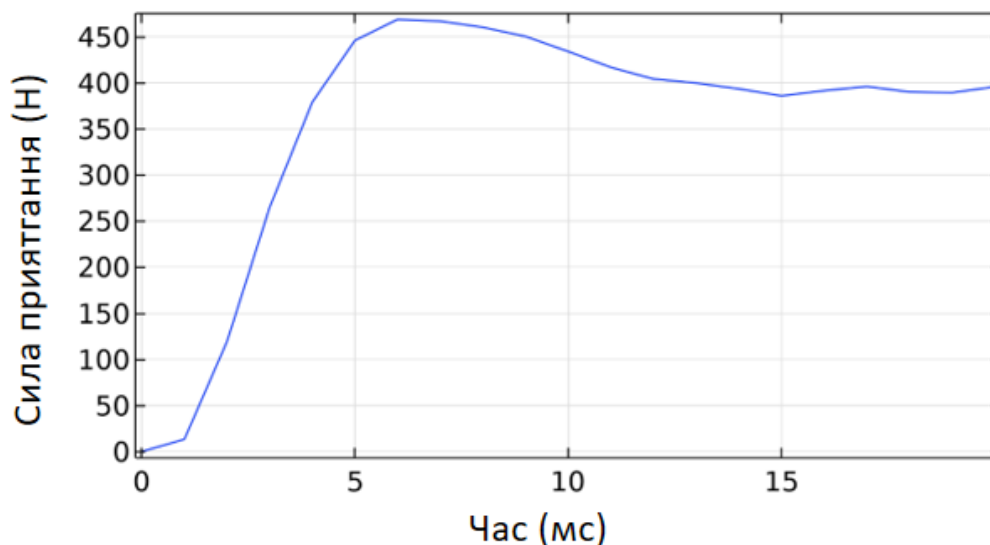


Рисунок 4.10 Електромагнітна сила притягання П-А модуля (Н)

З показаного на рисунку 4.10 бачимо графік перехідного процесу при пуску, де зображено залежність сили притягання, яку індукує П-А модуль з 6 котушок по осі Oz від часу одного періоду, рівного $0,02\text{с}$. Таким чином, в початковий момент часу (до $0,005\text{с}$) з графіку видно, що значення пускової сили складає 440Н , приблизно через $0,01\text{с}$ сила стабілізується і виходить на своє номінальне значення 400Н .

Просторова геометрія П-А модуля може змінюватись за рахунок сили магнітного тяжіння індуктора. Враховуючи невелику масу індуктора, індукованої ним сили буде достатньо для подолання сил тяжіння і самостійного притягання індуктора до стінок труби, тим самим реалізації його дугової форми.

Враховуючи те, що індуктор має 3-фазну систему підключення котушок, у ньому виникає бігуче магнітне поле, яке можна охарактеризувати силою тяги.

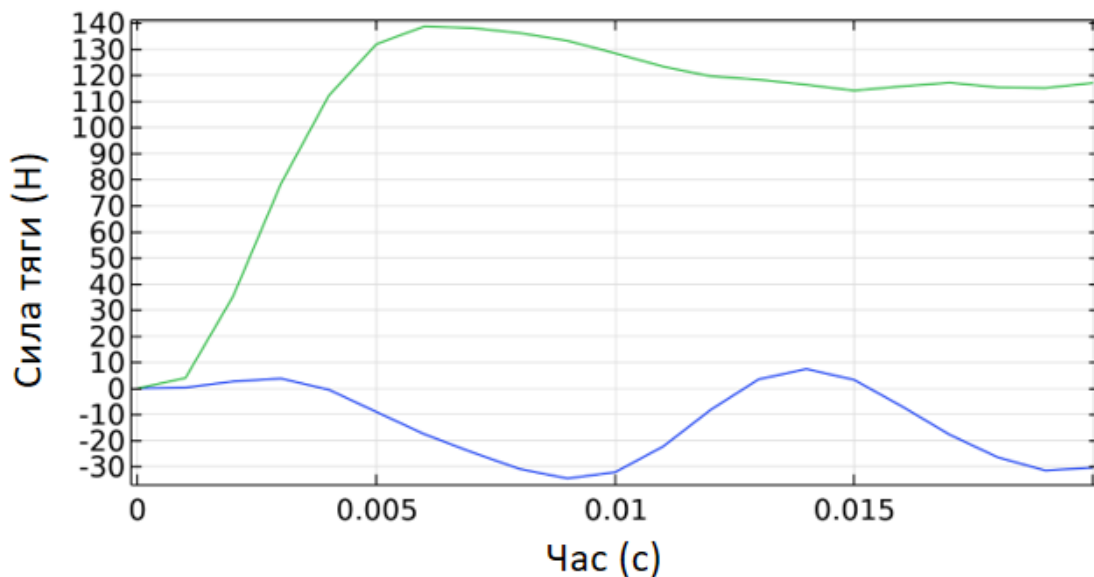


Рисунок 4.11 Сила тяги П-А модуля

Як бачимо з графіку (рис. 4.11), в початковий момент часу, а саме пуску, виникає пускова сила тяги 138Н , в подальшому сила стабілізується на номінальному значенні сили тяги 115Н (зелена лінія). Також внизу графіку, бачимо лінію синього кольору, яка позначає силу поперечного магнітного потоку, вона також змінює знак, це пов'язано з тим, що змінюється вектор направленості магнітного потоку, в момент, коли синусоїда змінного струму проходить через нуль.

4.4 Особливості технології виготовлення просторово адаптивного модуля індуктора

Важливим питанням стало реалізація функції адаптації індуктора як під кривизну сталевий труби, так і під оперування листовим прокатом. Таким чином необхідно було знайти такий матеріал, який би зміг змінювати свою форму, але при тому зберігати свою жорсткість. Ну і звичайно, при тому бути немагнітним.

Цих вимог можна досягти використовуючи наступні способи технічної реалізації просторово адаптивного модуля:

- Секціонування індуктора по довжині з міжсекційними шарнірами.
- Виготовлення індуктора з використанням сучасних електромагнітних, полімерних і композитних матеріалів з керованою просторовою геометрією.
- Виготовлення індукторного модуля з використанням адитивних технологій.

Однією з найбільших проблем при розробці матеріалів, що змінюють форму є врівноваження, здавалося б, суперечливих вимог до адаптації і жорсткості. Висока здатність до адаптації дозволяє приймати нові форми, але якщо цей параметр занадто високий, то буде проблематично ці форми підтримувати. Жорсткість допомагає зафіксувати матеріал, але якщо він занадто жорсткий, то вже не зможе приймати нові форми.

Найпростішим вирішенням цього питання стало застосування спеціальних полімерних матеріалів на основі каучуків. Такі матеріали отримали назву – еластоміри.

Еластоміри – це такі матеріали, які під дією деякої сили піддаються гнучкості або розтягу. Завдяки їх будові, еластоміри володіють дуже великою здатністю повертатись у вихідне положення. Це означає, що залишкова зміна форми таких матеріалів є зовсім незначною. Еластоміри з високим насиченням володіють дуже хорошою стійкістю до старіння і дуже надійні в перспективі багаторічного використання. Щодо отримання необхідних параметрів жорсткості існують поліуретанові (уретанові) еластоміри, які отримані на основі поліуретанових

(уретанових) з'єднань або форполімерів. Так в залежності від виду з'єднання поліуретанові еластомери можуть бути порівняні по твердості зі сталлю або ж бути схожими по пружності з каучуком, а по зносостійкості перевершувати багато марок чавуну. Серед інших характеристик поліуретановим еластомерам властиві:

- виняткова абразиво - і зносостійкість,
- стійкість до динамічних навантажень,
- стійкість до світлового випромінювання,
- хороші міцнісні якості при збереженні еластичності,
- стійкість до різних середовищ і масел,
- гідроізоляційні властивості,
- здатність до поглинання вібрації,
- найвищі показники на розрив,
- діелектричні властивості,
- робочий інтервал температур від -50 до $+120$ °С

Завдяки таким характеристикам є можливість зміни хімічного складу під індивідуальні задачі, цей матеріал дає змогу створити підкладку для магнітопроводів необхідних розмірів форми, а також параметрів жорсткості.

Технологія модульної ЕМ-системи з просторово адаптивною активною зоною індукторних модулів визначає сучасний інноваційний рівень в еволюції технологічних систем з просторово розподіленими активними частинами.

За результатами досліджень розроблено ескізний проект трифазного просторово адаптивного модуля для дослідницького стенду (рис. 4.1), який характеризується наступними технічними даними:

- діапазон зміни просторової геометрії активної поверхні – плоска \leftrightarrow дугова циліндрична ($PL \leftrightarrow CL$);
- кут повороту ПА – модуля відносно осі OZ ($0 - 90^0$);
- контур замикання основного магнітного потоку – поперечний (OY);
- кількість елементарних П- подібних модулів – 6;
- кількість фаз – 3;
- схема з'єднання фаз обмотки – «зірка»;

- кут зсуву фаз – 120 ел. град.
- тип обмотки – трифазна з зосередженими фазними котушками;
- кількість витків - 350
- кількість пар полюсів – 2;
- довжина полюсного поділу – 8.5см
- напруга живлення – 220В
- частота мережі – 50 Гц;
- лінійна швидкість магнітного поля – 8,5 м/с
- повітряний проміжок - 3 мм;
- площа активної поверхні – 400 см²
- розрахункова тягова сила – 115Н
- розрахункова сила магнітного тяжіння – 470Н
- габаритні розміри ПА – модуля: довжина – 500мм, ширина – 200мм
- маса ПА модуля – 10 кг

РОЗДІЛ 5 СТАРТАП – ПРОЕКТ

Даний розділ присвячений реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту і висвітлення маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії [19].

5.1 Опис ідеї проекту

Основною ідеєю проекту є розробка модульного індуктора зі змінною просторовою структурою і геометрією активної зони і його адаптація до функціонування у складі автоматизованого технологічного комплексу обробки сталевих труб і сталевих прокату. В таблиці 5.1 зведено і проаналізовано зміст ідеї, що пропонується, напрямки та застосування і представлені основні переваги для потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пропонується автоматизований технологічний комплекс	1. Транспортування сталевих труб	На основі уніфікованого індукторного модуля дозволяє реалізовувати переміщення вторинної частини – сталевих прокату, тим самим значно спрощує ЕМ-систему керування і як наслідок, вартість
	2. Транспортування сталевих листового прокату	
	3. Оперування сталевим листовим і трубним прокатом	Дозволяє реалізовувати просторові рухи вторинних елементів як труб великого діаметру так і листового прокату, а саме: поступальний рух, обертальний, або поєднаний (гвинтовий чи складний програмований рух). Водночас регулювати швидкість руху об'єкта
	4. Виконання технологічних операцій над сталевими трубами та листовим прокатом	Система дозволяє проводити всі можливі операції над трубами або листовим прокатом: зварювання, різка на фрагменти, свердління, фарбування, вирізання тощо.
	5. Реалізація енергозберігаючих режимів оперування	Залежно від маси і розмірів вторинного об'єкта та керуючи топологією просторової геометрії активної зони що може складатись з 8-12 індукторів (тобто кількістю активних модулів), досягається економія електроенергії

Цими напрямками будуть зацікавлені виробництва в трубній галузі та галузі металопрокату, це крупні промислові об'єкти з виробництва і обробки сталевих труб, або листового прокату, завдяки унікальній системі виробники отримають

маніпулятор, аналогів якому не існує у світі, а можливості до функціонуванні значно ширші ніж в існуючих аналогів.

Також було проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначено попередній перелік конкурентів, що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні)

В таблиці 5.2 наведено порівняльний аналіз показників ідеї проекту

Таблиця 5.2 Порівняльний аналіз техніко-економічних показників проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) послуги конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна)	S(сильна)
		Мій проект	Сварочные технологии (Харків)	ООО “ЗСП” (Дніпро)			
1	Економічні (вартість та підтримка)	Не визначено ціну	10000 у.о.	15000 у.о.	-	+	-
2	Надійність	Потенційно до 5 років	5 років	5 років	-	+	-
3	Ергономічні	Уніфікація модулів, оптимізація вузлів, можливість змінювати компановки	Слабкий функціонал	Класичне виконання	-	-	+
4	Маса вторинного прокату	Від 50 до 1000 кг	Від 250-2000 кг	Від 150 – 2000 кг	-	-	+
5	Підтримка (технічна)	+	+	-	-	-	+
6	Відповідність ідеям Industry 4.0	+	-	-	+	-	-
7	Можливість розвиватись	+	Застаріла технологія	Застаріла технологія	-	-	+

Сильними сторонами проекту є його багатофункціональність в поєднанні з простотою і ремонтопридатністю, а система керування є зручною для оперування.

Дизайн також розраховувався для відповідності максимальній ергономічності і максимально можливій уніфікації як вузлів так і самих індукторних модулів.

Таким чином можна зробити висновки, що стартап-проект має в собі основу до формування його конкурентоспроможності.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі описаний аудит, за допомогою якого реалізується ідея проекту (технологія створення товару). А також проаналізовані складові, результати чого наведені в таблиці 5.3:

Таблиця 5.3 Технологічна здійсненність ідеї стартап-проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Надання повного спектру інженерних послуг	В процесі роботи підприємства включатиме в себе інженерів, які виконуватимуть інтелектуальну працю, випускати і модернізувати продукцію, яка буде патентуватись, по мірі створення. Створення сайту, та оренда офісу для роботи персоналу.	Дані технології до реалізації існують, так як є можливість залучати до своєї команди робітників інженерних спеціальностей.	Технологія доступна.
Багаторівнева модульна система	Існують спеціальні гнучкі немагнітні матеріали, що здатні змінювати свою форму і повертатись у початкову, їх називають – еластоміри	Технологія існує, але потребує широких випробувань і модернізації	Доступна при можливості розробки і тестування таких матеріалів
Виробництво одиничних елементів індуктора	Фактично представляє собою набір П-подібних магнітопроводів з котушками, що живляться 3-фазною напругою.	Існує масове виготовлення таких індукторів і котушок	Доступна
Розробка системи керування режимами роботи	Реалізація можлива при умові залучення до проекту програмістів, які створять програму для керування для оперуванням АТК	В наявності	Доступна
Створення 5-осьового поворотного столу для можливості адаптації індуктора	Необхідно створити додатково систему, яка відповідала би необхідним розмірам і забезпечувала позиціонування індуктора відносно вторинної частини з найменшим повітряним проміжком	Технологія існує, але без конкретного виробництва.	Вимагає розробки

За результатами здійсненності ідеї стартап-проекту, бачимо, що проект має всі шанси на реалізацію, але запропоновані в проекті технології необхідно вдосконалювати, а саме проводити дослідження нових властивостей еластомірів. Застосування вже доступних технологій (наприклад використання 5-осьової системи для адаптації індукторного модуля) потребує лише пристосування під геометрію і вимоги даного проекту АТК.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для забезпечення хорошого підґрунтя для реалізації проекту необхідно провести аналіз і охарактеризувати потенційний ринок на якому буде сформований стартап-проект. Автоматизований технологічний комплекс тісно пов'язаний з випуском труб і листового прокату, тому доречно проаналізувати ринок прокату, від ситуації на ринку якого і буде залежити успіх реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проект

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	250000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Спадає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15-20%

На даний час банківський відсоток на вклад становить 13-18%, що принаймні на рівні рентабельності ринку, тому робимо висновок, що є сенс вкладати гроші в проект. Хоч випуск трубного прокату і показує зниження останні роки, це може пояснюватись тимчасовою кризою і внутрішніми проблемами підприємств, так як в цілому, попит на ринку досить високий і говорить про актуальність і комерційну привабливість проекту для входження за попереднім оцінюванням. Важливо звернути увагу на те, що закордоном спостерігається стабільна тенденція росту

динаміки ринку трубної продукції, тому міжнародний ринок є більш привабливим для входження.

Також варто оцінити характеристики потенційних груп клієнтів, тобто

Таблиця 5.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти Ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Маніпулювання та оперування трубами і листовим прокатом	Підприємства які входять до складу об'єднання "Укртрубопром", та такі, які виконують технологічні операції з трубами або листовим прокатом, міжнародний ринок	Будова дозволить легко адаптуватись під вимоги клієнтів	Потенційні вимоги клієнтів приблизно однакові і полягають в простоті користування, надійності товару, а також хорошій ремонтопридатності, а також адаптивність і можливість переконфігурації.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту показала, що цільовою аудиторією є крупні промислові підприємства по випуску трубної і листової сталевий продукції, які будуть зацікавлені в проекті АТК.

Таблиця 5.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збій поставок	Постачальники можуть зривати строки поставки комплектуючих	Затримка виробництва, підвищення кінцевої ціни продукту
2	Низька ціна конкурентів	На існуючі сьогодні комплекси можлива нижча ціна	В процесі виробництва ціна буде зменшуватись
3	Важкість виходу на міжнародний ринок	Всі потенційні конкуренти розташовані за кордоном, складний вихід	Залучення міжнародних компаній, інвестиції від закордонних партнерів, тісна співпраця з ними
4	Зменшення попиту на трубний прокат	Рентабельність виробництва АТК пов'язаний з ринком труб, при несприятливій ситуації на ньому, крупні підприємства не будуть купувати товар	Максимально можливо охопити світовий ринок і залучити

Аналіз ринкового середовища виявив фактори загроз, які можуть завадити впровадженню проекту, такими факторами можуть бути вартість комплектуючих

від постачальників, збій поставок. Також економічна ситуація у країні, можуть створити додаткові складнощі по впровадженню у виробництво.

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
1	Вільний ринок	Аналогів такому товару немає у світі,	Можливість контролювати ринок
2	Вихід на міжнародний ринок	Унікальність ідеї відкриє можливість експорту закордон	Збільшення клієнтів
3	Розвиток	Технології використані у проекті дадуть змогу розвиватись не тільки по іншим напрямам, а й постійно удосконалювати власний продукт	Змога розширення випуску обладнання
4	Багатофункціональність та універсальність	Даний продукт дає можливість використовувати широкий діапазон об'єктів оперування. Це сталеві труби діаметром від 530-1600мм та листовий прокат масою до 2000кг використовуючи лише один тип індукторного модуля	Зниження ціни, а також задоволення потреб клієнтів

Здешевлення витрат на виробництво є однією з найголовніших економічних показників виробництва, а як наслідок – це збільшення продукту та можливість модернізації обладнання. Сприяти цьому може унікальність ідеї та відсутність аналогів.

Таблиця 5.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополістична конкуренція	Складність просування технології на міжнародному рівні	Активна реклама та поширення концепції проекту АТК
2. Глобальний рівень конкурентної боротьби	Наявність конкурентів у вигляді наявних на ринку (застарілих) пропозицій	Впровадження проекту на українських підприємствах
3. Внутрішньогалузева	Вільна ніша	Розробка системи, яка може бути універсальною і застосовуватись в інших розробках
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між методами оперування сталевим прокатом	Створення більш універсальної системи
5. Ціновий характер	Зниження кінцевої вартості сталевих прокатів за рахунок використання П-А модулів у виробництві труб	Створення більшої кількості продукції за короткий термін

Ступеневий аналіз конкуренції ринку показав, що існують шанси здобути першість в Україні по темпам впровадження АТК на основі П-А модулів на цільових підприємствах.

Для успішного входження проекту на ринок необхідно провести детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю М. Портера (табл. 5.9)

Таблиця 5.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входу в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
	Китайські компанії які спеціалізуються на випуску трубних маніпуляторів Yueda, HANNSTAR, ZHEJIANG, Bota Heavy Industry Equipment та ін.	Є можливість виходу на ринок. В Україні також існують потенційні конкуренти, але випуск їх продукції тісно пов'язаний з постачанням компонентів з Китаю і подальшій збірці обладнання вже на місцях	У даній галузі постачальники не диктують умови, але можливі затримки під час розробки систем позиціонування П-А модулів	Клієнти диктують свої умови на ринку. Попит на продукцію з їх сторони у свою чергу диктується попитом на сталевий прокат, який випускають вже вони.	Товари замінники майже не мають цінового впливу, так як цінова розбіжність таких систем дуже висока і залежить від надійності і функціональності

За результатами аналізу таблиці можемо зробити висновок, що конкуренцію можуть складати наявні на ринку технологічні комплекси для позиціонування, маніпулювання сталевими трубами та різного роду конвеєрні системи для листового прокату, наш проект може об'єднувати ці функції і володіє набагато ширшими можливостями.

Складемо SWOT-аналіз, який полягає в структуруванні сильних, слабких сторін проекту, загроз, та можливостей. Зведення цього аналізу подані в таблиці 5.10:

Таблиця 5.10 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: проста будова, яка означає що в основу закладений уніфікований модуль, його висока адаптивність, можливість переконфігурації, оптимізація вузлів, ремонтпридатність, багаторівнева система керування, модульність на всіх рівнях будови комплексу, енергозбереження, широкі функціональні можливості.</p>	<p>Слабкі сторони: висока вартість розробок, реалізації проекту і ціна продукції на початку випуску.</p>
<p>Можливості: впровадження таких систем на заводах по виготовленню сталевго прокату.</p>	<p>Загрози: зниження потреб покупців продукції прокату на ринку. Цінова конкуренція з більш дешевими аналогами</p>

SWOT-аналіз стартап-проекту розділяє його на чотири категорії: сильні, слабкі сторони проекту та можливості, загрози пов'язанні з його здійсненням. В результаті сильними сторонами проекту можна виділити простота, а разом із цим і дуже вдале рішення для концепції АТК з можливістю просторової адаптації, це дуже сучасне технічне рішення, яке в експлуатації проявить також свою надійність на ремонтпридатність. Слабкими сторонами можна назвати низький коефіцієнт корисної дії, але це і прогнозовано, тому що основою є асинхронний двигун, який здатний сприймати вторинну частину у вигляді звичайного сталевго прокату, але ми виграємо у функціях, ефективності і автоматизації.

Таблиця 5.11 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Повномасштабне виробництво	70%	3-4 роки
2	Виготовлення додаткового програмного забезпечення та датчиків для позиціонування і контролю	80%	1-2 роки
3	Поставки на профільні виробництва	30%	1-2 роки
4	Інші напрями застосування концепції	70%	3-5 років

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту і маркетингової програми

У даному підрозділі розглянуто розроблення ринкової стратегії проекту, в якому першим кроком передбачається визначення самої стратегії ринку та опис цільових груп потенційних споживачів.

Визначення стратегії входження на ринок передбачає опис цільової групи потенційних споживачів (табл. 5.12)

Таблиця 5.12 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Великі промислові підприємства по випуску трубої продукції	Висока	Високий	По технології-відсутня, по використуванім аналогам – висока	Низька

За результатами аналізу очевидно, що цільовою групою споживачів буде вузьке коло підприємств в галузі трубої промисловості і сталевого прокату. Також концепцією розробки будуть зацікавлені науковці, які можуть впровадити концепції в інших сферах.

Для роботи в таких галузях сформована базова стратегія розвитку (табл. 5.13)

Таблиця 5.13 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку

Виготовлення лінійних двигунів для інших сфер їх застосування, виготовлення програмного забезпечення для багаторівневої системи керування ТК на сучасних підприємствах	Вибірковий розподіл	Збільшення функціональних можливостей, збільшена надійність, нижча ніж у конкурентів ціна	Стратегія спеціалізації
--	---------------------	---	-------------------------

За базову стратегію розвитку обрано стратегію спеціалізації, яка передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Головні завдання тут полягає в рекламі та просуванні ідеї продукту.

Таблиця 5.14 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Аналогів в Україні у світі з немає (за результатами патентних пошуків)	В планах компанії пошук нових споживачів та розширення діяльності	Компанія буде розробляти свої характеристики товару, основною спільною характеристикою є вимоги до вторинної частини, цей стандарт описує труби великого діаметру (див. додаток 5)	Стратегія зайняття конкурентної ніші

При визначенні стратегії конкурентної поведінки було обрано стратегію зайняття конкурентної ніші. Ця поведінка була обрана тому, що пропозиції технологічних комплексів для оперування сталевими трубами/прокатом все одно залишаться на ринку в силу того, що вони сформували славу простих і надійних систем, тим не менш є можливість дати на вибір свій продукт, який завдяки своїм новітнім ідеям зможе конкурувати і давати постійну підтримку клієнтам.

Стратегія конкурентної поведінки на ринку описана в таблиці 5.15:

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
Широкі функціональні можливості, при компактності і оптимізації всіх вузлів, швидка переконфігурація, сучасна система керування	Стратегія спеціалізації	Використовується уніфікований модуль, широкі можливості просторової адаптації можливість використовувати від 8 модулів в одному комплексі, забезпечення енергозбереження	Модульність, просторова адаптація, зручність і легкість користування

Головною вимогою до товару цільової аудиторії є здатність широкого функціонування і можливість легкої трансформації (переконфігурації) і адаптації під задані вимоги, а також надійності і якості.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Формування маркетингової концепції товару показала, що ключовою перевагою є концептуально-новий рівень в проектуванні і впровадженні АТК з П-А модулями, що складається багаторівневої системи керування і застосування багаторівневої модульної системи, що дозволяє постійно змінювати конфігурацію комплексу під різні вимоги, і виконувати всі необхідні задачі транспортування, повороту, маніпуляції, складні програмовані рухи, використовуючи всього один тип індукторного модуля. При цьому стенд реалізує енергозберігаючі режими оперування, керуючи кількістю активних модулів, тобто топологією просторової геометрії активної зони яка може складатись як з 8 так і з 16 модулів. Аналогів такому продукту немає.

Таблиця 5.16 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
---------	----------------------------	--

Автоматизація механізація і модернізація технологічних процесів	Сучасна система керування і контролю, просторова адаптація під різний тип об'єкту оперування, модульний принцип будови	Новітнє рішення в сфері автоматизація технологічних комплексів для оперування трубами великого діаметру і листового прокату не має аналогів серед конкурентів
Простота керування	Необхідний контроль за процесом роботи виконує електроніка, а оператор лише слідкує і задає програму для маніпулятора	Технологічний комплекс для маніпулятора відповідає вимогам сучасного виробництва і цифрової трансформації
Потреба у енергозбереженні на виробництві, надійність	Легка заміна і ремонт модулів у випадку поломки,	Можливість економії енергії за рахунок відключення певної кількості модулів, залежно від маси вторинної частини

Таблиця 5.17 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизований технологічний комплекс, багатофункціональний, в основу приводної електромеханічної системи закладений лише один тип індукторного модуля (уніфікований) який є поворотно-адаптивним, ця система має багаторівневу систему керування і б-р модульну систему		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.К-ть елементарних П-подібних подулів	Нм	Тх/Тл
	2.Діапазон зміни просторової геометрії	М	Тх/Тл
	3.Кількість пар полюсів	Нм	Тх/Тл
	4.Частота мережі	М	Тх/Тл
	5.Повітряний проміжок	Нм	Тх/Тл
	6.Лінійна швидкість магнітного поля	М	Тх/Тл
	Якість: якісний, галузевий стандарт		
	Пакування: Декілька великих коробок, захищених від механічних пошкоджень, окреме пакування електронних і високоточних компонентів та металевих конструкцій		
	Марка: «АТК-маніпулятор»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: не потребує особливих вимог		
	Після продажу: підтримка клієнтів протягом 5 років		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок патентування			

Опис трьох рівнів моделі товару показав, що основний задум даного стартап-проекту полягає у збільшенні функціональних можливостей маніпуляторів для труб або прокату. Якість контролюється галузевим стандартом, та виконується

технічна підтримка 5 років. Дана концепція комплексу буде захищена від копіювання патентуванням.

Таблиця 5.18 Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
10-100тис. у.о.	10-30тис. у.о.	0.1-0.7млрд. у.о./рік	15-25 тис. у.о.

При визначенні меж встановлення ціни з'ясувалося, що рівень доходів цільової групи споживачів складає від 100 мільйонів у.о. на рік у галузі від експорту своєї продукції, товари заміники мають широкий діапазон цін, залежно від призначення. Середня ціна на товар складатиме близько 20 тис. у.о.

Формування збуту передбачатиме залучення дилерів продукції для профільних підприємств у галузі, паралельно буде проводитись активна реклама та політика маркетингу, особливості концепції маркетингових комунікацій наведено в таблиці 5.19:

Таблиця 5.19 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти дізнаються про новинки з виставок, реклами, використовуючи різні стратегії популяризації	Виставки, статті, публікації, буклети, мережа інтернету	Колмаркетинг, колтрекінг, презентації клієнтам	Презентація товару, його х-к і можливостей на виставках, та зустрічах	«Фабрики майбутнього вже сьогодні: новітній маніпулятор для сталевих труб і прокату»

Враховуючи, що потенційні клієнти навряд чи будуть шукати варіанти оновлення виробничих ліній в інтернеті, тому на базі дилерської мережі будуть створені колцентри, які будуть залучати цільових клієнтів на виставки і презентації, де будуть демонструватись функціональні можливості стенду.

ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації узагальнено результати досліджень та інноваційних розробок, спрямованих на розв'язання актуального науково-технічного завдання зі створення просторово розподіленої модульної електромеханічної системи для автоматизованого технологічного комплексу, наділеної функцією адаптації активної зони відповідно до змінних параметрів технологічного середовища. Основні результати завершеного етапу дисертаційних досліджень можна узагальнити наступними положеннями:

1. З використанням положень теорії генетичної організації і еволюції ЕМ-систем вперше показана можливість створення модульних електромеханічних об'єктів зі змінною просторовою структурою і геометрією активної зони. Результати патентно-інформаційного пошуку підтверджено, що дослідження і розробки ЕМ-об'єктів за даною проблематикою в електромеханіці, на даний час, відсутні.

2. На основі аналізу групових властивостей системної моделі вперше визначено макрогенетичні принципи структуроутворення електромеханічних модулів з 2D і 3D – просторовою адаптацією активної зони. Вперше показано, що принцип структуроутворення ПА-модулів має генетичну природу і визначається операторами міжродової мутації гомологічних структур з можливістю утворення просторових ізомерних композицій на їх основі.

3. На основі аналізу макрогенетичної програми вперше здійснено передбачення і розроблено генетичну модель структуроутворення ПА-модулів в межах підгрупи 2.2у, що відкрило можливість їх спрямованого синтезу і розробки конкурентоздатних технічних рішень.

4. Вперше визначено принципи багаторівневої (хромосомного, об'єктного і системного рівнів) просторової адаптації, що дозволяють ефективно змінювати структуру і геометрію активної зони просторово розподіленої модульної ЕМ-системи в процесі її функціонування.

5. Вперше розроблено концепцію енергоощадного керування просторовою топологією і просторовою геометрією активної зони модульної ЕМ-

системи у складі технологічного комплексу обробки сталевих труб і сталевого прокату.

За результатами досліджень опубліковано 4 наукових статті, в т.ч. 2 статті у фахових журналах, 2 статті у збірниках міжнародних наукових конференцій, подано 2 заявки на винахід і корисну модель (знаходяться на стадії експертизи Укрпатенту).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ: учеб. пособие / под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой. –СПб., 2013. — 80 с.
2. Aard Generator Combines Wind and Solar Energy. Режим доступа: URL <http://eco-friendly-designs.blogspot.com/2010/08/aard-generator-wind-solar-energy.html>
3. Модульная платформа автомобиля: что это такое и чем она выгодна. Режим доступа URL: <http://www.motormaniaman.com.ua/articles/modulnaya-platforma-avtomobilya-cto-eto-takoe-i-chem-ona-vygodna/>
4. Американские военные разработали гибридное колесо–трансформер . Режим доступа URL <https://www.autocentre.ua/kommercheskie/voennaya-tehnika/amerikanskiye-voennye-razrabotali-gibridnoe-koleso-transformer-594108.html>
5. Paul Marks. Future aircraft wings will ripple with adaptive, shape-shifting, quiet moving parts rather than noisy hinged flaps. <https://www.bbc.com/future/article/20160122-the-shape-of-wings-to-come>
6. Valeriy Shikhirin. Elastic machines and mechanisms of the future. The Summary of Technologies, № 2(6), 2001, p.37-42.
7. T. F. Nygaard, C. P. Martin, D. Howard, J. Torresen, K. Glette. Environmental Adaptation of Robot Morphology and Control through Real-world Evolution // arXiv:2003.13254v1 [cs.RO] 30 Mar 2020. –10 p.
8. Cheng, I-Chun, and Sigurd Wagner. “Overview of Flexible Electronics Technology.” Flexible Electronics: Materials and Applications, Springer Science+Business Media, LLC, 2009, pp. 1–10.
9. Condliffe J. World’s First Cable-Free Elevator Zooms Horizontally and Vertically Using Maglev Tech // MIT Technology Review, Jun 23, 2017.
10. Transforming conveying technology. <https://packagingeurope.com/transforming-conveying-technology/>

11. Соломин В.А., Соломин А.В., Коледов В.В., Трубицина Н.А. Многофункциональный линейный асинхронный двигатель с продольно-поперечным магнитным потоком для магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С.167–179. doi: 10.17816/transsyst201842167-179
12. 33. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю. Сарапулов Ф.Н. линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.
13. Монорейки КПП: історія магнітного польоту. Режим доступу URL: <https://kpi.ua/monorail>
14. Алексей Трошин, к. ф-м. н. Максим Пискайкин Инжиниринг и «индустрия 4.0».Разбор терминологии, журнал КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ • № 9 '2021, ст. 20-25.
15. А.Р. Ингеманссон, к.т.н Актуальность внедрения концепции «индустрия 4.0» в современное машиностроительное производство, журнал «Science intensive technologies in mechanical engineering», № 7, 2016, ст.45-48
16. Індустрія 4.0 – що це таке та навіщо це Україні. Режим доступу URL <https://appau.org.ua/publications/industriya-4-0-shho-tse-take-ta-navishho-tse-ukrayini/>
17. Ратнер В.А. Блочно-модульный принцип организации и эволюции молекулярно-генетических систем управления (МГСУ) // Генетика. 1992; 28(2): 5-23.
18. Bork P. (1991). Shuffled domains in extracellular proteins. FEBS Lett. 286 (1-2): 47-54.
19. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
20. Урманцев Ю.А. Эволюционика или общая теория развития систем природы, общества и мышления. - М.: К-. дом « ЛИБРОКОМ», 2009. – 240 с.

21. Шинкаренко В.Ф., , Красовський П.О, Місан Н.А, СТРУКТУРНІ МУТАЦІЇ В АДАПТИВНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІЙ ЕВОЛЮЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНІКИ – Київ НТУУ «КПІ»

22. 2. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем. (Междисциплинарный аспект) // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 13, том 4. Мелітополь, 2013. – С. 11 - 20.

23. Шинкаренко В.Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.

24. Кузнецов Ю.Н., Герра Ж.А. Хамуйела, Т.О. Хамуйела. Морфологический синтез станков и их механизмов. Монография. – К.: ООО «Гнозис», 2012. – 416 с.

25. Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Лысак В.В., Вахновецкая М.А. Структурная изомерия и ее моделирование в задачах генетического синтеза электромеханических структур / В.Ф. Шинкаренко, А.А. Августинович, В.В. Лысак, М.А. Вахновецкая // Електротехніка і електромеханіка, 2009, № 1. – С. 33 - 36.

26. А. св. СССР, МПК Н02 К 41/03. Линейный индукторный электродвигатель / И.Л. Славинский, В.Ф. Шинкаренко, В.С. Попков. Заявка № /07 от 15.06.88. Бюл. 3 24, от 30.06.91.

27. Квадрокоптер. Режим доступа: <https://alex-exe.ru/avia/quadrocopter/>

28. Беспилотник NASA с 10 электродвигателями: эра летающих дронов-трансформеров началась. – режим доступа: <https://geektimes.ru/post/249896/>

29. Грузовой дрон DJI S1000. Режим доступа: <https://gamestore.com.ua/kvadrokoptery/product/gruzovoi-dron-dji-s1000/50967/>

30. Электрический исследовательский самолет NAS-X-57. Режим доступа: <https://www.nasa.gov/image-feature/nasas-x-57-electric-research-plane>

<https://www.seas.harvard.edu/news/2021/10/shape-shifting-materials-infinite-possibilities>

31. Shynkarenko V., Gaidaienko Iu., Ahmad N. Al-Husban. Genetic Programs of structural Evolution of Hybrid Electromechanical Objects // International journal of Engineering & Technology. Vol 2, No 1 (2013). - P. 44-49.
32. Словник з структурної і генетичної електромеханіки / В. Ф. Шинкаренко, А.А. Шиманська. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 112 с.
33. Калнинь Т.К. Линейные индукционные машины с поперечным магнитным потоком Рига: Зинатне, 1980. — 170 с.: ил
34. Шинкаренко В.Ф., Котлярова В.В., Красовський П.О., Місан Н.А. Принципи структуроутворення просторово адаптивних електромеханічних систем зі змінною структурою і геометрією активної зони // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 62-70.
35. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера, 2006. – 223 с.
36. Ara N. Knaian, Kenneth C. Cheung, Maxim B. Lobovsky, The Milli-Motein: A self-folding chain of programmable matter with a one centimeter module pitch. 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 7-12 Oct. 2012. Vilamoura, Portugal.
37. Valeriy Shikhirin. Elastic machines and mechanisms of the future. The Summary of Technologies, № 2(6), 2001, p.37-42.
38. Цихош Э. Сверхзвуковые самолеты. Справочное руководство. Пер. с польск. -М.: Мир, 1983.-432 с.
39. Cheng, I-Chun, and Sigurd Wagner. “Overview of Flexible Electronics Technology.” Flexible Electronics: Materials and Applications, Springer Science+Business Media, LLC, 2009, pp. 1–10.
40. 11. Shynkarenko V., Makki A., Kotliarova V. and Shymanska A. Modular Principle in the Structural organization and Evolution of

Electromechanical Objects. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019. -P. 162-165

41. Jay Shendure and Joshua M. Akey. The origins, determinants, and consequences of human mutations // Science. 2015. V. 349. P. 1478–1483.

42. Князева Е.Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236 с.

43. Эбелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический подход / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель. –М.: Эдиториал УРССС, 2001. – 328 с.

44. Кузнецов Ю.М. Передача генетичної інформації в процесі еволюції металорізальних верстатів // Питання історії науки і техніки, №4, 2014. – С.3-10.

45. Шинкаренко В.Ф., Наний В.В., Котлярова В.В., Дунев А.А. Генетическая программа структурной эволюции электродвигателей с катящимся ротором // Електротехніка та електроенергетика, 2012. – № 2. – С. 42–48

46. Шинкаренко В.Ф. Розробки ОКБ ЛЕД лінійних електродвигунів і їх місце в еволюції нових видів електротранспорту. – Зб. наук. праць «Дослідження з історії техніки», Вип. 3, 2003. – С. 8 -31.

47. Фридкин П.А. Безредукторный дугостаторный электропривод.- М.:Энергия, 1970. 138 с.

48. Исследование линейных индукционных двигателей транспортных установок со сплошным ферромагнитным ротором / А.А.Сулима, В.Ф.Шавлак, С.В.Кисляков, Ю.А.Полетаев.- В сб.Разработка месторождений полезных ископаемых. Донецк, 1973, вып.32, с.106-110.

49. Коняев А.Ю. Исследование линейных асинхронных двигателей с массивной ферромагнитной вторичной частью.-Автореф. дис.на соискание ученой степени канд.техн.наук. Свердловск, 1979. - 22 с.

50. Моделируйте реальные системы, устройства и процессы с помощью продуктов компании COMSOL. Режим доступа URL: <https://www.comsol.ru/>

Перелік публікацій за темою магістерської дисертації

1. Красовський П.О., **Місан Н.А.**, Шинкаренко В.Ф. Макрогенетична програма і структурна еволюція електричних машин з поворотним статором // «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики». - Київ: ФЕА КІП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 245-248. – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/198461/198697>
2. В. Ф. Шинкаренко, В. В. Котлярова, П. О. Красовський, **Н. А. Місан**. Принципи структуроутворення просторово адаптивних електромеханічних систем зі змінною структурою і геометрією активної зони // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 62-70. – Режим доступу: http://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/wpcontent/uploads/sites/108/2020/03/Vestnik_2020.pdf
3. Красовський П.О., **Місан Н.А.** Інноваційний синтез модульної електромеханічної системи для роботизованого маніпулятора сталевих труб. Зб. тез XIII Міжнар. наук.-практ. конфер. «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси «ІРТК-2020», 22 – 23 травня, 2020 р. – К.: НАУ. - С. 48-52. – Режим доступу: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/2024-2020_v.1.1.pdf
4. Шинкаренко В.Ф., Красовський П.О., Місан Н.А., Структурні мутації в адаптивно-функціональній еволюції об'єктів техніки. Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2021)». (м.Чернігів, 26-27 травня 2021 р.): - Т.1. – Чернігів : ЧНТУ, 2021. – С
5. Заявка № а201911367 від 28.11.2019 на винахід «Електромеханічна система маніпулятора сталевих труб» /Шинкаренко В.Ф., Шимчак П., Красовський П.О., **Місан Н.А.**
6. Позитивне рішення по заявці № а201911370 від 28.11.2019 на корисну модель «Електромеханічна система маніпулятора сталевих труб» /Шинкаренко В.Ф., Шимчак П., Красовський П.О., **Місан Н.А.**

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"
(УКРПАТЕНТ)**

вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601, Україна Тел.: (044) 494-05-05 Факс: (044) 494-05-06
E-mail: office@ukrpatent.org

19.12.2019 № 29481/ЗА/19

Стосується заявки № а 2019 11367
/ при листуванні просимо посилатися на цей № /

Адреса для листування
Шинкаренко Василь Федорович, вул.
Лятошинського, 4-а, кв. 272, м. Київ, 03191



Повідомлення

про встановлення дати подання заявки на винахід (корисну модель)

(21) Реєстраційний номер заявки а 2019 11367

(71) Заявник(и)

**ШИНКАРЕНКО ВАСИЛЬ ФЕДОРОВИЧ, ШИМЧАК ПЬОТР (PL), КРАСОВСЬКИЙ
ПАВЛО ОЛЕКСІЙОВИЧ, МІСАН НАЗАР АНДРІЙОВИЧ**

(54) Назва винаходу /корисної моделі/

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА МАНІПУЛЯТОРА СТАЛЕВИХ ТРУБ

Матеріали заявки відповідають вимогам ст. 13 Закону щодо встановлення дати подання
заявки на дату одержання Державним підприємством "Український інститут інтелектуальної
власності":

- матеріалів заявки

Дата подання заявки 22.11.2019

Начальник відділу

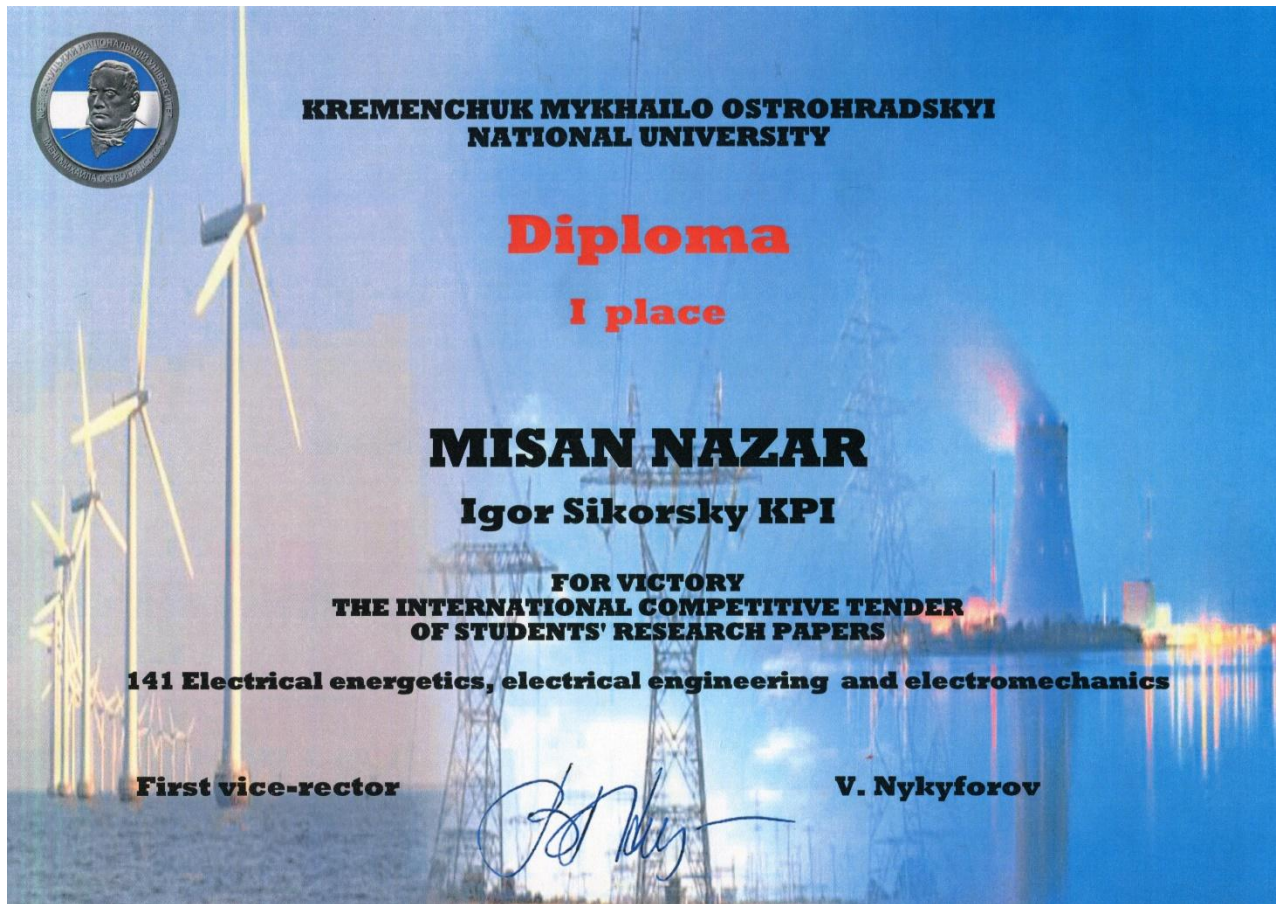
Л.М. Луценко

Виконавець
Телефон

Васько Т.Д.
494-05-98

К

Копія диплому за перемогу у Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт (2021 р.)



Інформаційна база даних для побудови моделі макроеволюції

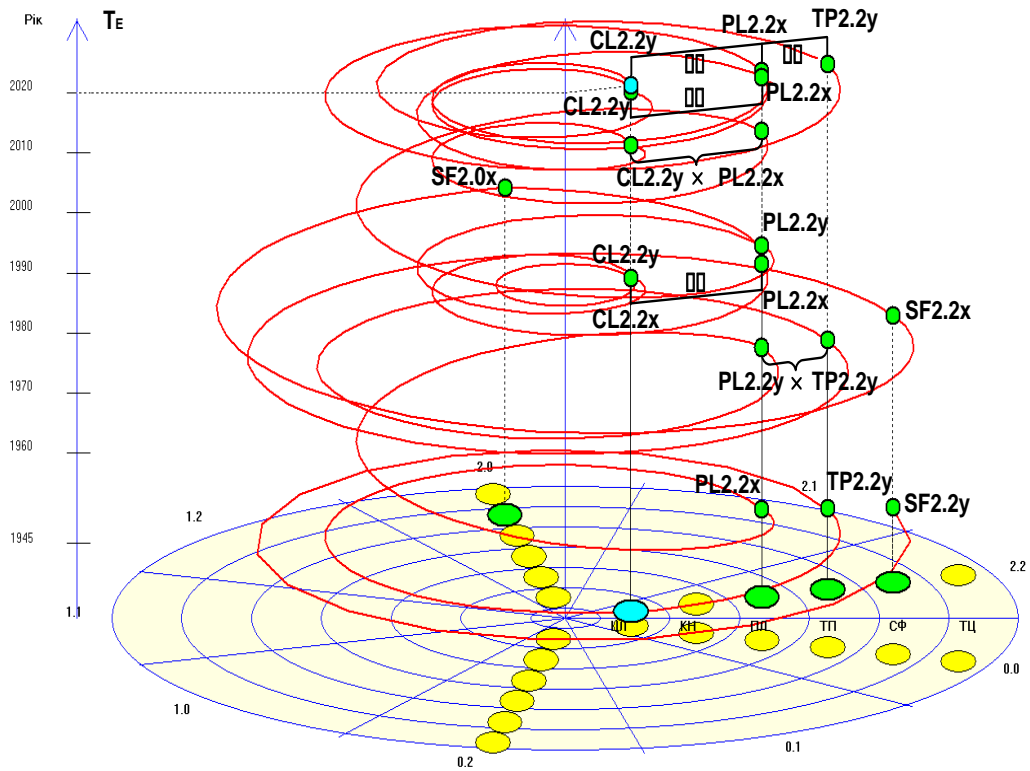


Рис. Модель макроеволюції ЕМПЕ зі змінною просторовою геометрією активної зони (час еволюції – 75 років)

Маса і розміри сталевих труб великого діаметру (до 1420мм)

Зов. діаметр, мм	Маса 1 метра труби (кг) при товщині стінки (мм)									
	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20
530	104,0	116,8	129,5	142,2	154,8	167,4	179,9	204,8	229,5	254,1
630	123,9	139,2	154,4	169,6	184,7	199,8	214,8	244,7	274,4	303,9
720	141,9	159,4	176,8	194,2	211,6	228,9	246,2	280,6	314,7	348,7
820	161,8	181,8	201,7	221,6	241,5	261,3	281,1	320,4	359,6	398,5
920	181,7	204,2	226,6	249,1	271,4	293,7	315,9	360,3	404,4	448,3
1020	201,6	226,6	251,5	276,5	301,3	326,1	350,8	400,1	449,2	498,1
1120	221,5	249,1	276,4	303,9	331,2	358,5	385,7	440,0	486,0	548,0
1220	-	271,5	301,3	331,3	361,1	390,8	420,5	479,8	538,9	597,8
1420	-	-	351,2	386,1	420,9	455,6	490,3	559,5	628,6	697,4