

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«17» 02 2022р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«17» 02 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Дослідження характеристик камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ПМ-1-2М

Меланіч Єлизавета Валеріївна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Якимчук Микола Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

Олена Чепелюк

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

(підпис)

Київ – 2023р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут/факультет ННІТІ ім.акад.І.С.Гулого

Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

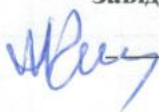
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ МПТ



Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

“7” 11 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Меланіч Єлизавети Валеріївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження характеристик камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування

керівник роботи Якимчук Микола Володимирович, д-р, проф

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від « 07 » 11 2023 року № 794-кв

2. Строк подання студентом роботи 24.01.2023

3. Вихідні дані до роботи

Заказовалом пристроїв різних виробників

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, огляд конструкцій та схем застосування пневмомускулів в мехатронних модулях пакування, математичні моделі роботи пневмомускулів, охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 07.11.2022р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Аналіз захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування</i>	<i>14.12.22</i>	<i>Виконано</i>
	<i>Розробка камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування</i>	<i>27.12.22</i>	<i>Виконано</i>
	<i>Дослідження камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування на комп'ютерній моделі</i>	<i>11.01.23</i>	<i>Виконано</i>
	<i>Охорона праці</i>	<i>15.01.23</i>	<i>Виконано</i>
	<i>Висновки</i>	<i>23.01.23</i>	<i>Виконано</i>

Здобувач


(підпис)

Єлизавета МЕЛАНІЧ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Микола ЯКИМЧУК
(прізвище та ініціали)

07.11.2022р

РЕФЕРАТ

Метою магістерської роботи “Дослідження характеристик камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування” є розроблення нових конструкцій захоплювальних пристроїв з метою зниження браку продукції, що виникає при транспортуванні легкоушкоджуваних виробів.

У сучасній пакувальній галузі випускається цілий ряд легкоушкоджуваних виробів, що володіють специфічними властивостями, які обмежують силовий вплив на них, оскільки надмірна силова дія може привести до руйнування або до пластичних деформацій і порушення необхідної геометрії упаковки. Висока чутливість до механічних впливів - одна з характерних і найпоширеніших ознак багатьох упаковок. Це обумовлено виготовленням виробів з еластичних або тендітних матеріалів, таких як пластик, скло, кераміка; особливостями конструкцій із малою товщиною стінок тощо.

Перший розділ присвячено аналізу конструкцій різних типів захоплювальних пристроїв у мехатронних модулях.

У другому розділі наведені розробки камерного захоплювального пристрою та його систем приводів для транспортування легкоушкоджених виробів.

У третьому розділі наведені експериментальні дослідження КЗП, реалізовано комп'ютерну модель захоплювального пристрою.

Четвертий розділ містить основні правила дотримання техніки безпеки та охорони праці.

У кінці роботи були зроблені остаточні висновки та надано список використаної літератури.

Основні результати роботи були отримані з використанням наукових положень пневматики, методів пошукового конструювання, планування експерименту, системного підходу, методу комп'ютерного моделювання.

Дипломний проект на тему містить 74 сторінок, 29 рисунків, 1 таблиця та 24 літературних джерела.

Ключові слова: камерний захоплювальний пристрій, мехатронний модуль, пакування.

SUMMARY

The purpose of the master's thesis "Investigation of the characteristics of camera gripping devices in mechatronic packaging modules" is the development of new designs of gripping devices in order to reduce product shortages that occur during the transportation of perishable products.

In the modern packaging industry, a number of easily damaged products are produced, which have specific properties that limit the impact of force on them, since excessive force can lead to destruction or plastic deformation and violation of the required geometry of the package. High sensitivity to mechanical influences is one of the characteristic and most common features of many packages. This is due to the manufacture of products from elastic or fragile materials, such as plastic, glass, ceramics; features of structures with small wall thickness, etc.

The first chapter is devoted to the analysis of designs of various types of capture devices in mechatronic modules.

In the second chapter, the developments of the chamber gripping device and its drive systems for the transportation of heavy easily damaged products are given.

In the third section, experimental studies of the CGD are given, and a computer model of the capturing device is implemented.

The fourth section contains the basic rules for compliance with safety and occupational health and safety techniques.

At the end of the work, final conclusions were made and a list of used literature was provided.

The main results of the work were obtained using scientific principles of pneumatics, methods of exploratory design, experiment planning, system approach, computer modeling method.

The diploma project on the topic contains 74 pages, 29 figures, 1 table and 24 literary sources.

Keywords: camera gripping device, mechatronic module, packaging.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування	9
1.1. Класифікація захоплювальних пристроїв	9
1.2. Камерні захоплювальні пристрої	15
1.3. Захоплювальні пристрої агрегатно - модульного типу	22
Висновки до розділу 1	30
2. Розробка камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування	29
2.1. Аналіз методів розробки приводів захоплювальних пристроїв	29
2.2. Методика пошуку технічних рішень	31
2.2.1 Розробка камерного захоплювального пристрою в мехатронних модулях пакування для захоплення та утримання легкоушкоджуваних виробів	32
2.2.2. Розробка системи приводів камерного захоплювального пристрою в мехатронних модулях пакування для транспортування легкоушкоджених виробів	38
Висновки до розділу 2	42
3. Дослідження камерних захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування на комп'ютерній моделі	44
3.1. Реалізація комп'ютерної моделі камерного захоплювального пристрою в мехатронних модулях програмним комплексом	45
3.2. Загальна методика планування експерименту	51
3.3. Результати комп'ютерного моделювання	60
Висновки до розділу 3	66
4. Охорона праці	67
4.1. Виробничий шум і вібрації	68
4.2. Електронезбезпека	69

4.3. Виробниче освітлення	70
Загальні висновки	71
Список використаної літератури	72

ВСТУП

Велике значення набуває розвиток інноваційного напрямку у пакувальній галузі, яке пов'язане зі створенням нових високоефективних технологій і устаткування пакування, сучасних принципів проектування систем приводів, прогресивних методів знаходження нових технічних рішень.

У сучасній пакувальній галузі випускається цілий ряд легкоушкоджуваних виробів, що володіють специфічними властивостями, які обмежують силовий вплив на них, оскільки надмірна силова дія може привести до руйнування або до пластичних деформацій і порушення необхідної геометрії упаковки. Висока чутливість до механічних впливів - одна з характерних і найпоширеніших ознак багатьох упаковок. Це обумовлено виготовленням виробів з еластичних або тендітних матеріалів, таких як пластик, скло, кераміка; особливостями конструкцій із малою товщиною стінок тощо.

Пакування легкоушкоджуваних виробів включає виконання транспортних операцій (захоплення, переміщення та укладання штучних виробів).

Для роботи з виробами зазначеного типу існують різноманітні захватні пристрої (ЗП) мехатронних модулів, включаючи камерні, вакуумні, струменеві та інші, що створюють розподілений силовий вплив на поверхню, що захоплюється. Проте дані пристрої призначені для роботи з жорсткими виробами.

Внаслідок відсутності пристроїв, які ефективно виконують транспортування легкоушкоджуваних виробів, наприклад, тонких полімерних упаковок, між технологічними операціями, вимушено застосовують важільні захоплювальні пристрої, що часто призводить до появи пластичних деформацій та браку продукції, що випускається. Застосування даних захоплювальних пристроїв мехатронних модулів істотно знижує економічні показники підприємств.

Таким чином, актуальним є дослідження існуючих конструкцій захоплювальних пристроїв і розробка нових, що знижують можливість появи

браку продукції, що випускається в процесі транспортування легкошкоджуваних виробів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ В МЕХАТРОННИХ МОДУЛЯХ ПАКУВАННЯ

1.1. Класифікація захоплювальних пристроїв

До захоплювальних пристроїв пред'являються високі вимоги щодо швидкодії, надійності, простоті конструкції, компактності, функціональним можливостям. Існує безліч маніпуляційних механізмів, кожен з яких тією чи іншою мірою задовольняє цим потребам, але має власні відмінні характеристики.

Захоплювальні пристрої класифікуються за ознаками, що характеризують конструктивні різновиди та технологічні особливості їхнього застосування (рис.1.1).

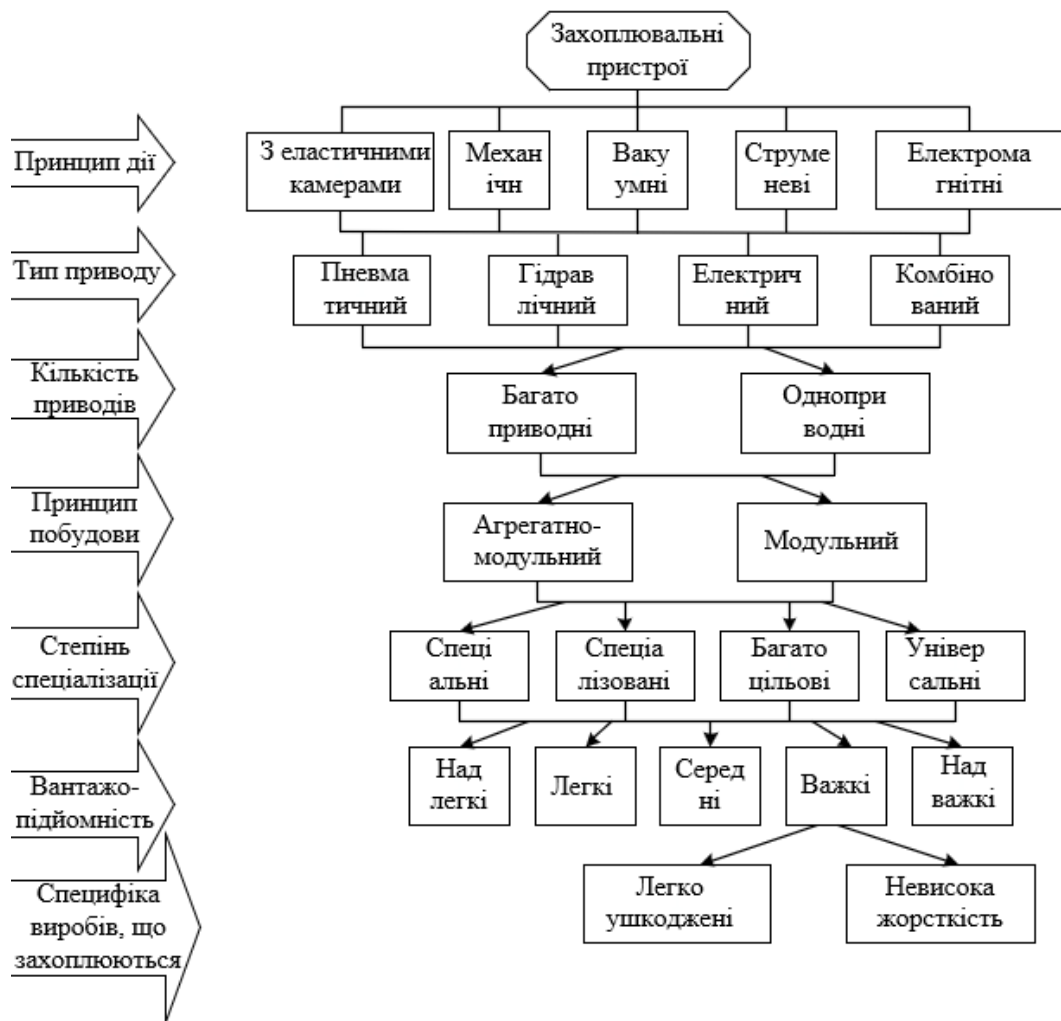


Рис.1.1. Класифікація захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування

За типом використовуваного приводу розрізняють: пневматичні ЗП, гідравлічні ЗП, електричні ЗП, комбіновані ЗП. За кількістю приводів: одноприводні ЗП, багатопривідні ЗП. За принципом побудови ЗП ділять на: модульні та агрегатно-модульні. За ступенем спеціалізації ЗП поділяю ся на: спеціальні, спеціалізовані, багатоцільові, універсальні. По вантажопідйомності ЗП діляться на: надлегкі, легкі, середні, важкі, надважкі.

За принципом дії захоплювальні пристрої діляться:

- механічні;
- електромагнітні;
- вакуумні;
- струменеві;
- з еластичними камерами.

1. Механічні захоплювальні пристрої.

До переваг цих механізмів відносять надійне захоплення та утримання виробів, що забезпечує їх велику вантажопідйомність. Однак, механічні ЗП створюють великий питомий тиск на поверхню, що захоплюється, що не гарантує збереження необхідної геомефії і поверхні виробу, що транспортується, що володіє тонкостінною структурою або невисокою жорсткістю матеріалу.

2. Електромагнітні ЗП, що притягують об'єкт завдяки феромагнітним властивостям.

Електромагнітні захоплення мають просту конструкцію - котушку і сердечник. Електромагнітні захоплення часто компонуються на базі невеликих електромагнітів, встановлених на загальній рамі. Такі захоплення часто застосовують для перенесення фасонних, круглих і ґратчастих поверхонь. Захоплювальні пристрої з постійними магнітами складні і не знайшли широкого застосування, зважаючи на обмеженість виробів, виконаних з матеріалу, що володіє феромагнітними властивостями.

3. Вакуумні, що притягують і утримують об'єкт (силою атмосферного тиску повітря) за рахунок створення розрідження у вакуумній камері, що притискається до поверхні об'єкта. Недоліками вакуумних захоплень є: неможливість використання їх тих виробів, які мають суцільних і досить рівних ділянок поверхонь; невелика вантажопідйомність.

4. Захоплення та утримання об'єктів струменевими ЗП здійснюються при впливі струменя повітря, що виходить під певним кутом до утворюючого робочого елемента. Струменеві ЗП широко при роботі з плоскими об'єктами, що володіють невеликими габаритними розмірами масою. До їх переваг відносять: можливість комплектації виробу або накопичення об'єктів; об'єднання виконання функції захоплення з орієнтуванням об'єктів; простота конструкції та зручність обслуговування.

5. Принцип роботи захоплювальних пристроїв з еластичними камерами ґрунтується на створенні притискного Зусилля за рахунок деформації еластичних камер, що розширюються під дією стисненого повітря. Застосування еластичних камер забезпечує велику площу поверхні контакту із захоплюючим виробом та розподілене Зусилля затискання. Сила стиснення пропорційна тиску газу в камері, що дозволяє регулювати Зусилля утримання залежно від крихкості виробу. Камерні захоплювальні пристрої (КЗП) створюють невеликий силовий вплив на поверхню виробу в процесі захоплення. Захоплюючі пристрої з еластично - охоплюючими камерами використовують при переміщенні тонкостінних і крихких виробів невеликої маси. Переваги даних ЗП: можливість захоплення легкоушкоджуваних виробів з мінімальним силовим впливом на поверхню, що захоплюється; ефективна робота з виробами, циліндричної форми з внутрішньою порожниною. КЗП характеризуються простотою конструкції та високою точністю .[1]

Аналіз сучасних захоплювальних механізмів виявив, що найбільш підходящими, для вирішення поставленої виробничої задачі є камерні захоплювальні пристрої. Вони мають найбільшу вантажопідйомність серед ЗП, що створюють

розподілене навантаження на поверхню виробів, що захоплюються, а також здатні працювати з циліндричними виробами з внутрішньою порожниною.

Камерні захоплювальні пристрої здійснюють захоплення та утримання виробів за внутрішню та зовнішню поверхню, ефективно працюючи з виробами циліндричної форми з внутрішньою порожниною (рис. 1.2).

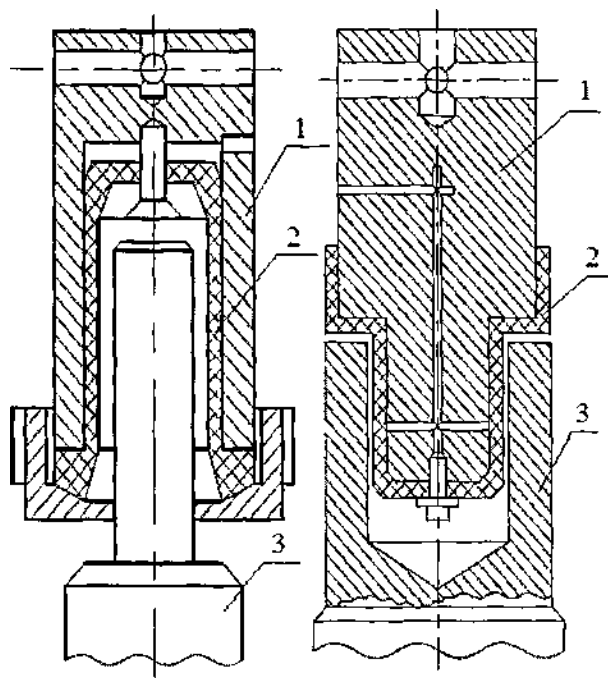


Рис. 1.2. Камерний захоплювальний пристрій із пневматичним приводом.

а) - захоплення за зовнішню поверхню виробу; б) - захоплення за внутрішню поверхню виробу

Принцип роботи камерних захоплювальних пристроїв із пневматичним приводом.

Камерний захоплювальний пристрій в мехатронних модулях пакування складається з корпусу 1 і еластичної оболонки 2. У камеру, утворену корпусом 1 і еластичною оболонкою 2, надходить стиснене повітря, що створює надлишковий тиск. Оболонка 2 під дією сил від цього тиску розширюється і контактує з поверхнею деталі 3. Об'єкт утримується захопленням за рахунок сили тертя між оболонкою 2 і

деталлю 3. Для звільнення об'єкту достатньо зняти надлишковий тиск повітря в камері оболонки 2. Камера займає вихідне положення за рахунок пружних сил. Бокове зміювання деталі, затиснутої в такому захопленні, не перевищує 0,01 мм. У цій конструкції ЗП використовується типова схема підготовки повітря (рис. 1.2)

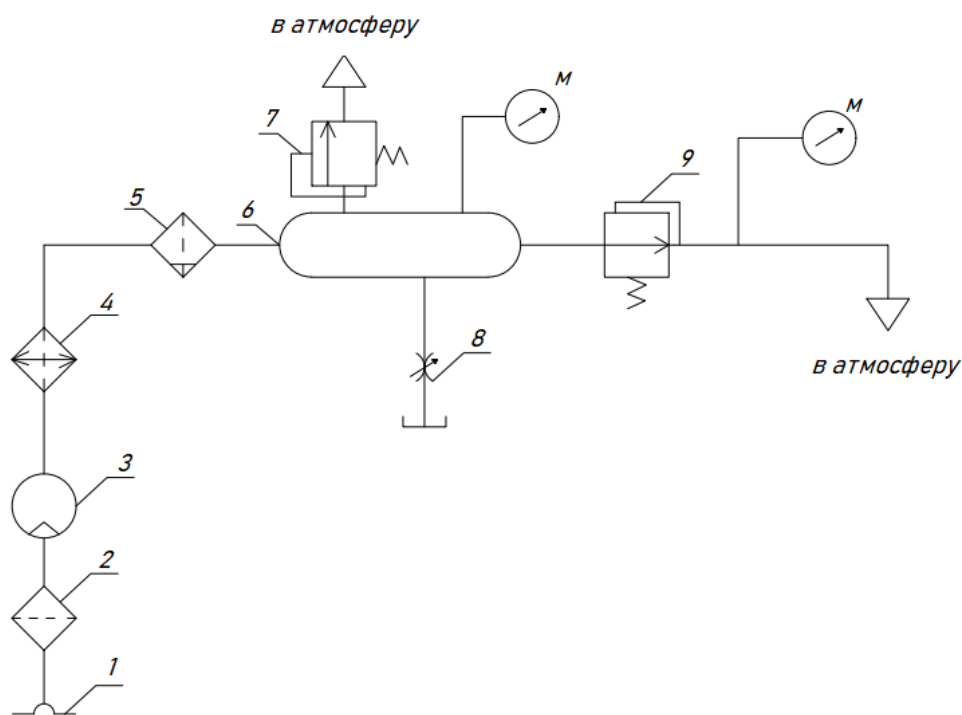


Рис. 1.3. Типова схема підготовки повітря для роботи камерного захоплювального пристрою,

1 - повітрязабірник; 2 - фільтр; 3 - компресор; 4 - теплообмінник; 5 - вологовідділювач; 6 - ресивер; 7 - запобіжний клапан; 8- дросель; 9 - редукційний клапан; М – манометр.

Повітря надходить у пневматичну систему через повітрязабірник. Через фільтр здійснюється очищення повітря з метою попередження пошкодження елементів приводу та зменшення їх зносу. Компресор створює стиснення повітря. Відповідно до закону Шарля, стиснене в компресорі повітря має високу температуру, перед подачею повітря споживачам (як правило, і пневмодвигунам) повітря охолоджують у теплообміннику (у холодильнику). Ресивер служить для створення запасу стисненого повітря, а також для згладжування пульсацій тиску в

пневмосистемі. Ці пульсації обумовлені принципом роботи об'ємних компресорів, що подають повітря до системи порціями.[3]

1.2. Камерні захоплювальні пристрої

До захоплювальних пристроїв модульного типу відносяться механізми, у яких кожен ступінь рухливості є окремим вузлом (модуль). Під модулем вважається універсальний агрегатний вузол, що володіє функціональною повнотою і конструкційною завершеністю. Модулі повинні задовольняти вимогам міцності і жорсткості, забезпечувати взаємну їх стику в різних поєднаннях і положеннях, простий і надійний монтаж. Цей вузол містить крім виконавчого механізму свою розподільну, регулюючу апаратуру, пристрої контролю станів вихідного елемента виконавчого механізму лінії зв'язку: комутаційні, енергетичні, інформаційні.

Захоплювальний пристрій (рис. 1.4) для виробів з отвором, що містить корпус, склянка, встановлена співвісно 30° з корпусом з можливістю їх відносного переміщення у вертикальній площині, порожнина якої з'єднана з джерелом стисненого повітря, гнучку оболонку, прикріплену до корпусу і що охоплює їх з утворенням порожнини, з'єднаної з атмосферою.

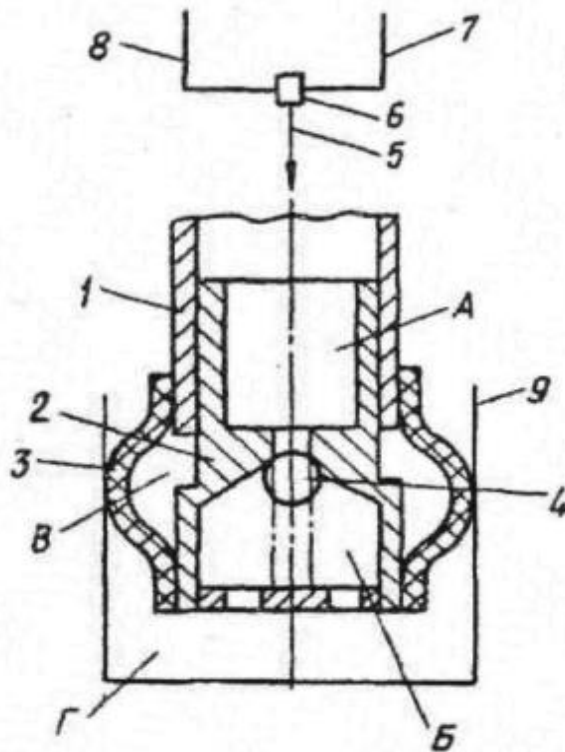


Рис. 1.4. Камерний захоплювальний пристрій;

- 1 - корпус; 2 - склянка; 3 - гнучка оболонка; 4 - зворотний клапан;
 5 - трубопровід; 6 - розділовий пристрій; 7 - магістраль стиснутого повітря; 8 - магістраль вакууму; 9 - виріб

Пристрій працює наступним чином.

Вантажопідйомний засіб вводить пристрій в порожнину виробу 9. Після цього розподільний пристрій підключає порожнину пристрою А через трубопровід живлення 5 до вакуумної магістралі 8. У вихідному стані клапан 4 закритий та ізолює порожнину А від порожнини Б, а через неї від атмосфери. Різниця між атмосферним тиском і розрідженням у порожнині А змушує склянку 2 переміщатися вгору. Оскільки порожнина В з'єднана з атмосферою, то пружний елемент утворює гофру, тим самим збільшуючись у поперечнику. При збільшенні пружного елемента в поперечнику виріб 9 захоплюється захватом вантажозахоплювального пристрою і надійно утримується на ньому доти, доти в порожнині А підтримується необхідне розрідження.

Після доставки виробу 9 на місце воно знімається із захвату наступним чином.

Розподільний пристрій 6 підключає порожнину А через живильний трубопровід 5 до магістралі 7 стиснутого повітря. При цьому повітря, надходячи в порожнину А, тисне на склянку 2 і змушує її переміщатися вниз. Гнучка оболонка -3 розпрямляється і набуває початкової форми. При подальшому підвищенні надлишкового тиску в порожнині А відкривається клапан 4. Стиснене повітря починає надходити в порожнину Б і далі в порожнину Г, утворену захватом і виробом 9, тисне на дно виробу 9 і знімає останнє із захоплення. Оскільки порожнина В з'єднана з атмосферою, ніщо не перешкоджає розгладжуванню гофри за рахунок пружних сил гнучкої оболонки 3.

Крім того, надлишковий тиск у порожнині А допомагає краще перемістити склянку 2 у вихідне положення і тим самим остаточно розпрямляє гнучку оболонку.

Перевагою даного захоплювального пристрою є розширення технологічних можливостей пристрою шляхом забезпечення знімання деталей у будь-якому його положенні.[18]

До недоліку даного пристрою можна віднести невелику вантажопідйомність.

Для утримання, контролю та сортування деталей використовується камерне захоплення, показане на рис. 1.5.

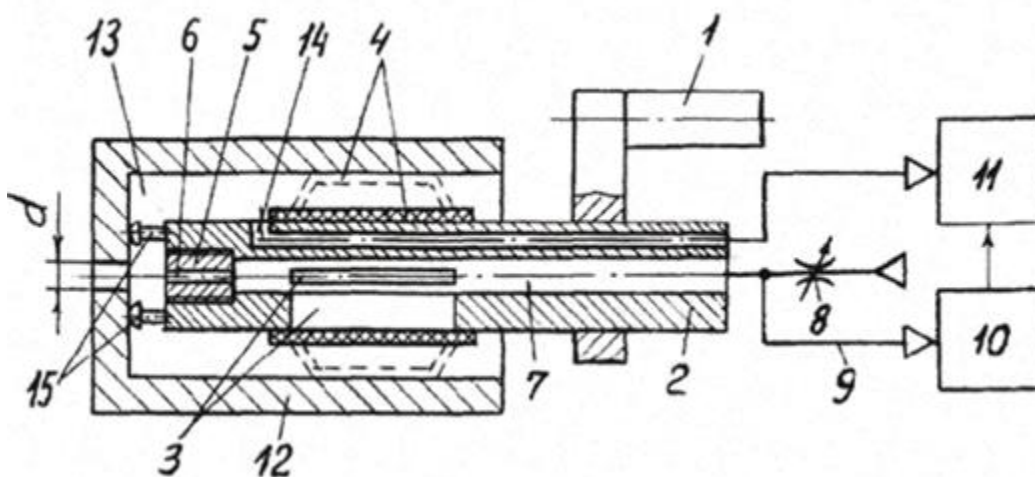


Рис. 1.5. Схема камерного захоплювального пристрою

Захоплення має корпус у вигляді трубки зі змінною втулкою на робочому торці. Втулка має сопло, з'єднане через порожнину трубки та регульований дросель із

джерелом стисненого повітря. На зовнішній бічній поверхні трубки закріплена еластична оболонка, поєднана з порожниною трубки. Трубка виконана з регульованим упором та вимірювальним каналом. Вхід каналу розміщений на зовнішній поверхні трубки між робочим торцем і еластичною оболонкою. Вихід каналу підключений до контрольного блоку. З останнім електрично пов'язане реле тиску, підключене до порожнини трубки. Датчик електрично пов'язаний із джерелом стисненого повітря. Кільце розміщено на зовнішній бічній поверхні трубки.

Пристрій працює наступним чином.

Захоплений пристрій, жорстко з'єднаний із рукою робота за допомогою державки 1, вводиться в порожнину 13 деталі 12 до контакту попередньо відрегульованих гвинтів 15 упору з її внутрішнім торцем. Стиснене повітря від стабілізованого джерела подається через регульований дросель 8 в порожнину 7 трубки 2. За допомогою дроселя 8 здійснюється налаштування на робочий тиск повітря, яке забезпечує надійне захоплення і утримання деталі 12 еластичною оболонкою 4, під яку стиснене повітря надходить через отвори 3. Якщо упор виконаний у вигляді кільця 19, то його попереднє регулювання, що визначає глибину введення трубки 2 в деталь 12, здійснюється осьовим переміщенням за рахунок різьбового з'єднання з трубкою 2. Захоплення вводиться до контакту упору із зовнішнім торцем деталі 12, при цьому спрацьовує датчик 20 положення і автоматично вмикає подачу стисненого повітря від стабілізованого джерела. Еластична оболонка 4 під впливом стисненого повітря роздувається і, досягнувши стінок деталі 12, контактує з їхньою внутрішньою поверхнею і захоплює її. Одночасно відбувається герметизація порожнини 13. Якщо еластична оболонка 4 виконана у вигляді набору порожнистих торів 16, то стиснене повітря надходить у кожен з них через отвір 17. Тори 16, роздуваючись, захоплюють деталь 12 і герметизують порожнину 13, одночасно вони упираються в кільцеві канавки 18, тим самим підвищуючи надійність кріплення. Коли тиск стисненого повітря в порожнині 7, а отже, і під еластичною оболонкою 4 досягає необхідного рівня, воно через трубопровід 9 викликає спрацьовування реле 10 тиску, що підтверджує захоплення деталі 12 і герметизацію порожнини 13 за допомогою еластичної оболонки 4. При

цьому реле 10 одночасно дає дозвільний сигнал в електричну схему контрольного блоку 11 про зняття блокування та початок контролю та сортування деталі 12 по діаметру отвору d . Оскільки діаметр каліброваного сопла 6 попередньо підібраний за допомогою перестановки на робочому торці трубки 2 змінної втулки 6 таким чином, що він гарантовано менше діаметра контрольованого отвору d , то величина тиску стисненого повітря в порожнині 13 деталі 12 залежить тільки від діаметра отвору d , через яке стиснене повітря виходить в атмосферу. При цьому тиск у порожнині 7 трубки 2 не залежатиме від діаметра отвору деталі 12, т. е. буде постійним за величиною і в еластичній оболонці 4, забезпечуючи тим самим надійне утримання деталі 12. При зменшенні діаметра отвору d порівняно з еталонним тиск в порожнині 13 зростатиме, при збільшенні діаметра - зменшиться. Ця зміна тиску передається за допомогою вимірювального каналу 14 з порожнини 13 деталі 12 в контрольний блок 11, попередньо налаштований за еталонними деталями, відповідно до яких підбираються і калібровані сопла 6. Після надходження дозвільного сигналу від реле 10 тиску контрольний блок 11 видає відповідний сигнал блоку управління промислового робота. При цьому операція сортування поєднується з транспортуванням та розкладкою деталей у накопичувачі придатної та бракованої продукції. При підході до відповідного накопичувача система управління відключає подачу стисненого повітря і захоплення відпускає деталь 12.[4]

Використання запропонованого захоплення в порівнянні з існуючими дозволяє істотно підвищити надійність утримання і контролю деталей за рахунок того, що порожнину трубки виконує тільки функцію каналу еластичну оболонку і каліброване сопло, що живить стисненим повітрям, тому тиск в ній не буде залежати від процесу контролю.

Пристрій підвищує надійність утримання та контролю деталей по діаметру отвору, а також розширює технологічні можливості за рахунок відділення вимірювального каналу від пневматичної лінії живлення еластичної оболонки та завдання в останній вищого стабільного тиску, що не залежить від процесу контролю, можливості підбору будь-якого діаметру каліброваного сопла

можливості контролювати та сортувати деталі з будь-яким розташуванням отвору та будь-якою формою їх внутрішнього торця.

Однак це захоплення обмежено за номенклатурою розмірів і мас виробів, що захоплюються.

Також для точної установки або складання деталей з контролем виконання операцій використовується камерний захоплювальний пристрій промислового виробництва (рис.1.6).[12]

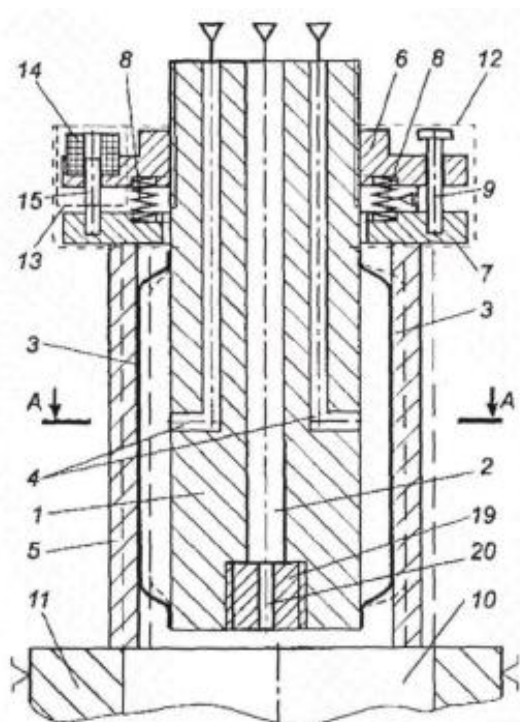


Рис. 1.6. Конструкція камерного захоплювального пристрою

Захоплення містить корпус, виконаний у вигляді трубки 1 з внутрішньою порожниною 2 і надувну еластичну оболонку, виконану у вигляді набору поздовжніх пневматичних камер 3, розташованих по периметру зовнішньої бічної поверхні трубки 1 і закріплених з клеєм, причому кожна каналом 4, виконаним у трубці 1. Таке розташування пневматичних камер 3 забезпечує надійний затискач деталі 5, а також можливість здійснювати її переміщення в напрямках, перпендикулярних осі трубки 1. На зовнішній бічній поверхні трубки 1 встановлений фланець 6, розташований між пневматичними камерами 3 та її торцем, протилежним робочому, з можливістю

регульованого переміщення, наприклад, за допомогою різьбового з'єднання. Між фланцем 6 і пневматичними камерами 3 співвісно трубці 1 розташовані натискна шайба 7, набір пружин 8 стиснення і набір напрямних штоків 9, котрі забезпечують її осьове переміщення відносно фланця 6. Напрямні штоки 9, скріплені з натискною шайбою 7 і встановлені у фланці 6 з можливістю осьового переміщення, дозволяють уникати перекосу натискної шайби 7 щодо трубки 1, а, отже, запобігати перекосу деталі 5 щодо осі отвору 10 деталі 11, у яке вона встановлюється при складанні. Фланець 6, натискна шайба 7, пружини 8 і напрямні штоки 9 утворюють регульований упор 12, зміна положення якого за допомогою різьбового з'єднання дозволяє налаштувати захоплення на необхідний розмір деталі 5, а також регулювати Зусилля, що надається їм на торець деталі 5 за рахунок зміни деформації 8. Регульований упор 12 забезпечений датчиком положення 13, соленоїд 14 якого закріпленій на фланці 6, при цьому в ньому встановлений сердечник 15 з можливістю взаємодії з натискною шайбою 7. Датчик 13 положення підключений до блоку 16 управління і дозволяє керувати роботою захоплення па основі інформації про величину зазору між фланцем 6 і натискною шайбою 7. Кожна пневматична камера 3 через канал 4 через відповідний нормально закритий клапанний елемент 17 і регульований дросель 18 приєднана до джерела стисненого повітря. У неробочому стані камери 3 пов'язані з атмосферою. Регульований дросель 18 забезпечує необхідну швидкість заповнення відповідної пневматичної камери 3, що забезпечує плавне наростання тиску в ній. На робочому торці трубки 1 встановлена змінна втулка 19, яка кріпиться за допомогою різьбового з'єднання. У змінній втулці 19 виконано сопло 20, яке через порожнину 2 і регульований дросель 21 з'єднаний з джерелом стисненого повітря, а через робочий вихід 22 пневморозподільника 23 - з пневмоелектроперетворювачем 24. Регульований дросель 21 забезпечує робочий тиск стисненого повітря в порожнині 2. При цьому контрольний блок 25 приєднаний до атмосферного входу 26 пневморозподільника 23. Пневморозподільник 23 дозволяє за сигналом від блоку 16 управління вибірково підключати порожнину 2 і сопло 20 або до контрольного блоку 25, або до пневмоелектроперетворювача 24, що дозволяє у першому випадку використовувати їх як вхідний перетворювач для

розмірного контролю та сортування, а в другому випадку - як датчик положення захоплення. Керуючі входи 27 і 28 відповідно клапанних елементів 17 і пневморозподільника 23, а також виходи 29 і 30 відповідно пневмоелектроперетворювача 24 і контрольного блоку 25 підключені до блоку 16 управління, що дозволяє оперативно керувати роботою всього захоплення.

Схемне та конструктивне виконання пристрою розширює його функціональні можливості за рахунок надання деталі додаткового ступеня рухливості у вигляді її переміщення в захопленні у напрямках, перпендикулярних до осі трубки; підвищенні надійності утримання за рахунок набору пневматичних камер з роздільним живленням стисненим повітрям; підвищення економічності за рахунок скорочення витрати стисненого повітря через каліброване сопло із запірним елементом.

У промисловості також застосовується захоплення для вантажів із порожниною, що навішуються на вантажопідйомний механізм.

Приклад цього пристрою показано на рис. 1.7. Дане ЗП використовується для проведення транспортних операцій вантажів з внутрішньою порожниною та зниженим питомим тиском на поверхню, що захоплюється.

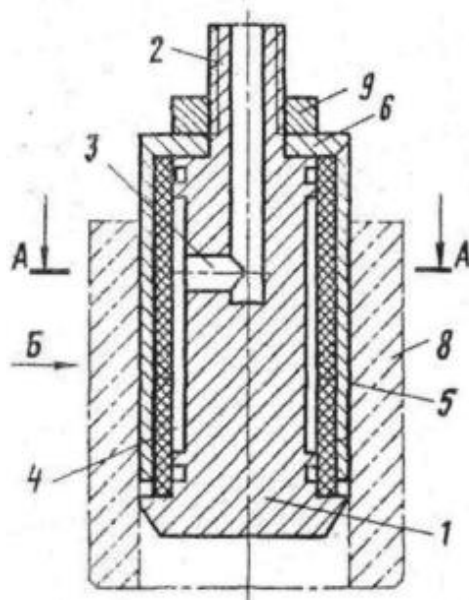


Рис. 1.7. Камерний захоплювальний пристрій для транспортування циліндричних виробів, у яких є внутрішня порожнина

Захоплення для вантажів з порожниною містить циліндричний корпус 1 з осьовим 2 і радіальним отворами 3 для подачі текучого середовища в кільцеву проточку 4, виконану на поверхні корпусу 1, манжетою 5 з еластичного матеріалу, закріпленої на корпусі 1, герметично закриває з двох сторін кільцеву проточку. Еластична манжета 5 охоплюється розтискною цангою 6 з рифленнями 7 на зовнішній поверхні для захоплення виробу 8 і кріпиться до корпусу 1 гайкою 9.

Пристрій працює наступним чином.

Корпус 1 з манжетою 5 і цангою 6 поміщають в отвір виробу 8. При подачі стисненого повітря від джерела живлення через осьове 2 і радіальне 3 отвори в кільцеву проточку 4 еластична манжета 5 роздувається, розтискаючи при цьому пелюстки цанги 6. Після закінчення операції повітря з корпусу 1 стравлюється в атмосферу, манжета 5 і цанга 6 повертаються у вихідний стан.[7]

До переваг даного ЗП в мехатронних модулях можна віднести можливість захоплення виробу за внутрішню поверхню з невеликим силовим впливом і простоту конструкції. Однак він не застосовується для роботи з важкими легкоповреждаємыми виробами.

Із зарубіжних аналогічних пристроїв найбільшого поширення набули пневматичні КЗП з еластичними камерами фірми Simrit (Німеччина), що розширюються (рис.1.8).

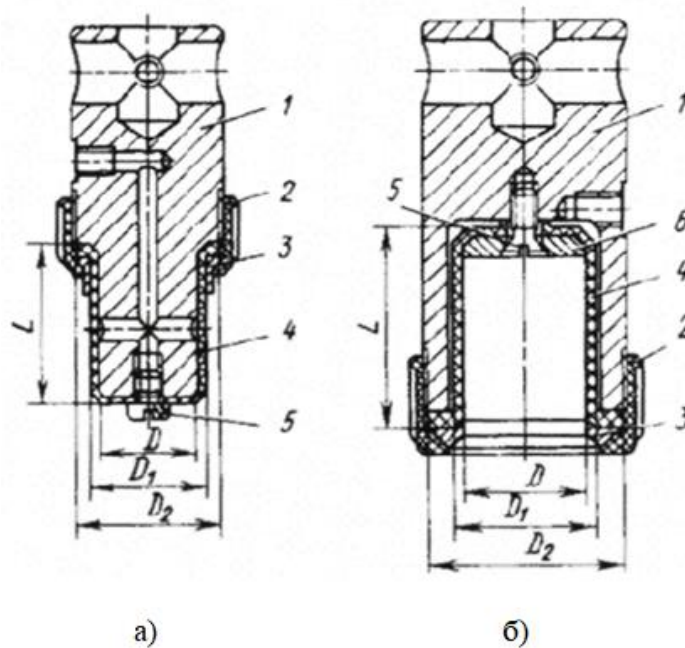


Рис. 1.8. Камерні захоплювальні пристрої фірми Simrit (Німеччина)
для захоплення об'єктів,

а) - за внутрішню поверхню; б) - за зовнішню поверхню

Пристрій працює наступним чином.

Камеру 4 кріплять до корпусу 1 через проміжне кільце 3 (або шайбу 6) гайкою 2 і гвинтом 5. Стиснене повітря подається в камеру через просвердлені отвори в корпусі 1. При подачі повітря камера роздувається і утримує деталь за внутрішню (рис. 1.8, а). або зовнішню поверхню (рис.1.8, б). У таблиці 1.1 наведено основні розміри ЗП фірми Simrit (Німеччина).

Основні розміри (мм) еластичних камер, що розширюються, в захоплюючих пристроях фірми Simrit (Німеччина).

Табл. 1.1

Розмір	Типорозмір ЗП						
	003	005	007	008	009	010	011
D	12	21	35	44	55	51	60
D ₁	15	24	39	49	62	57	68
D ₂	20,5	34,5	51,5	64,5	70,0	75,0	82,0
L	62	62	62	62	62	72	72

Технічні дані ЗП фірми Simrit (Німеччина) для утримання деталей за зовнішню поверхню. Таким чином, застосування існуючих камерних захоплювальних пристроїв обмежено по масі виробів, що захоплюються. Крім цього вони розроблені з використанням модульного принципу побудови і виконують лише функцію захоплення та утримання виробу, що обмежує їх функціональні можливості.[16]

1.3. Захоплювальні пристрої агрегатно - модульного типу

Створення камерних захоплювальних пристроїв, що відповідають сучасним вимогам, можливе на основі застосування та вдосконалення ефективних принципів, методів проектування та розробки інноваційних технологій та обладнання. Найбільш прогресивним є агрегатно - модульний принцип побудови, що дозволяє отримувати спеціалізовані захоплювальні пристрої, які найбільш повно відповідають вимогам конкретної технологічної задачі. Захопні пристрої, виконані за агрегатно - модульним принципом побудови, мають розширені функціональні можливості.

Агрегатно-модульний принцип побудови передбачає створення механізмів та технологій, побудованих з основних функціональних агрегатних вузлів. При даному підході модулі будуються за функціональним принципом і кожен з них може включати кілька ступенів рухливості і являє собою систему із взаємопов'язаних приводів. Агрегатна побудова дозволяє скоротити час і трудомісткість проектування спеціалізованих маніпуляційних механізмів, більш повно використовувати виконані раніше розробки, розширює гаму виробів шляхом додавання нових вузлів та їх комбінацій на базі раніше розроблених вузлів. Це призводить до збільшення надійності механізмів за рахунок спрацьованості вузлів, що входять до них, і найбільшої відповідності даному конкретному завданню; підвищення ремонтпридатності, поліпшення умов експлуатації, скорочення термінів підготовки обслуговуючого персоналу. Однак у маніпуляційних механізмах агрегатно - модульного типу часто виявляється надлишковий поділ на модулі і, відповідно, велика кількість вузлів стикування, що знижує ефективність розробленого механізму. Для агрегатно-модульного принципу побудови механізмів потрібні знання причинних

взаємозв'язків, що існують при функціонуванні об'єктів проектування для досить чіткого обґрунтування поділу функцій на модулі, які і скільки функцій повинен виконувати модуль, що розробляється.

Розглянемо один із прикладів вакуумних захоплювальних пристроїв, у якому реалізований даний принцип.

Вакуумний захоплювальний механізм, що виконує від однієї команди за функцію «взяти виріб», а від іншої - функцію «установити виріб», являє собою систему приводів, включаючи насосну присоску. Причому ущільнювальний елемент присоски виконаний з периферійною робочою камерою.

Пневмосхема пристрою представлена на рис. 1.9.[23]

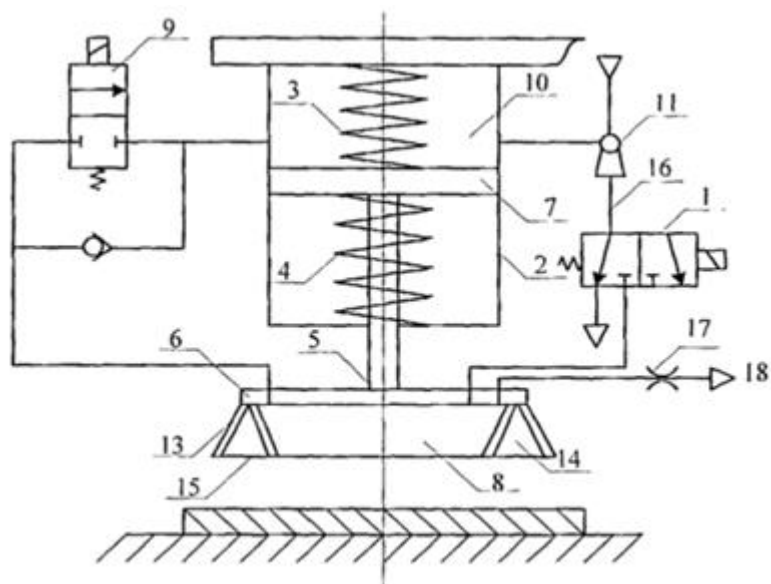


Рис. 1.9. Пневмосхема вакуумного захоплювального пристрою

Вакуумний захоплювальний пристрій в мехатронних модулях містить керований розподільник 1, силовий циліндр 2, на двосторонньо підпружиненому пружинами 3 і 4 штоку 5 якого встановлена присоска 6 і поршень 7. Робоча порожнина 8 присоска 6 з'єднана за допомогою клапана 9 з поршневою порожниною 10 циліндра 1. з джерелом розрідження, виконаному у вигляді ежектора 11. Паралельно керуючому клапану 9 встановлений додатковий зворотний клапан 12, відкритий у бік

присоски 6. По периметру присоски 6 закріплений ущільнювальний елемент 13, утворює кільцеву робочу порожнину 14 присоски 5 спільно з.

Вихлопна лінія 16 ежектора 11 має можливість підключатися через керований розподільник 1 до атмосфери або до порожнини 8 присоски 6. Крім того, кільцева робоча порожнина 14 присоски 6 з'єднана додатково встановленим дроселем 17 з додатковою лінією 18. Вакуумний захоплювальний пристрій працює наступним чином. У вихідному положенні лінія, що з'єднує центральну порожнину присоски з безштоковою порожниною циліндра, перекрита керованим клапаном 9, а зворотний клапан перекриває потік із порожнини 8 в безштокову порожнину. Безштокова порожнина герметична. Ежектору на вхід подається стиснене повітря, яке вихід лінією 16 з'єднаний через керований розподільник 1 з атмосферою. Поршень за рахунок розрідження, створюваного ежектором у безштоковій порожнині, знаходиться у верхньому положенні, тобто присоска піднята. При захопленні заготовки подають команду на включення керованого клапана, і він з'єднує безштокову порожнину з центральною порожниною 8 присоски. Так як порожнина 8 присоски з'єднана з атмосферою, то розрідження в безштоковій порожнині надає, і поршень йод дією пружини починає опускатися до виробу і притискає до неї присоску. Після герметизації порожнин присоски виробом розрідження в порожнинах починає рости. При досягненні достатнього розрідження для утримання заготовки поршень починає підніматися вгору, піднімаючи присоску з виробом.

При виконанні операцій опускання присоски з виробом на робочу позицію, відпускання заготовки, підйом присоски подають команду на включення керованого клапана і на включення розподільника, що керується. В результаті цього керований клапан займає вихідне положення, відокремлюючи безштокову порожнину від центральної порожнини присоски, а розподільник з'єднує вихлопну лінію ежектора з центральною порожниною присоски. У цьому випадку центральна порожнина присоски та безштокова порожнина циліндра з'єднуються між собою та з лінією стисненого повітря. При цьому в порожнинах зменшується розрідження, що призводить до опускання присоски з виробом на робочу позицію. Виріб утримується присоскою за рахунок розрідження в периферійній порожнині, так як вона з'єднана

з додатковою лінією вакууму 18 через дросель 17, що уповільнює наповнення порожнини 14. присоски зростає і, при перевищенні Зусилля утримання виробу периферійною порожниною присоски, відбувається відрив присоски від виробу. Центральна порожнина присоски розгерметизується та з'єднується з атмосферою. В результаті з атмосферою з'єднуються безштокова порожнина через зворотний клапан та вихлопна лінія ежектора. Надлишковий тиск знижується, поршень спочатку під дією пружини, а потім в результаті створення розрідження ежектором в безштоковій порожнині циліндра піднімається вгору і займає вихідне положення.[9]

Перевагою даного захоплювального пристрою є підвищення надійності та швидкодії за рахунок зменшення кількості керованих розподільників. У даному вакуумному захоплювальному пристрої завдяки агрегатно - модульному принципу побудови реалізована система приводів, причому, від однієї команди послідовно виконується функція «взяти виріб», а від іншої – функція «встановити виріб».

Агрегатно - модульний принцип побудови захоплювальних пристроїв має найбільшу ефективність за функціональними можливостями, простотою конструкції і розширюють сферу застосування даних механізмів.

Висновки до розділу 1.

Проведений аналіз захоплювальних пристроїв вітчизняних та закордонних виробів дозволяє зробити такі висновки:

- Найбільш ефективними при роботі з виробами, які мають тонкі стінки, є камерні захоплювальні пристрої.
- Здебільшого існуючі конструкції камерних захоплювальних пристроїв виконані із застосуванням модульного принципу побудови.

Мета та завдання дослідження

Завдання дослідження - є підвищення якості транспортування захоплювальними пристроями легкошкоджуваних виробів, що мають тонкостінну структуру, шляхом розробки нових захоплювальних пристроїв, що відрізняються невисоким питомим тиском на поверхню виробу, що захоплюється, та надійним його утриманням і плавністю опускання виробу на робочу поверхню.

Дана мета може бути досягнена при постановці задач дослідження:

- проведенням аналізу конструкцій сучасних захоплювальних пристроїв та виявленням можливості підвищення їх ефективності;
- визначити конструктивні особливості роботи камерних захоплювальних пристроїв;
- забезпечити високу надійність захоплення та утримання виробу;
- забезпечувати збереження необхідної геометрії упаковок виробів при виконанні транспортних операцій;
- розробити камерні захоплювальні пристрої в мехатронних модулях пакування;
- змоделювати та провести комп'ютерні розрахунки, що підтверджують працездатність та ефективність розробленого пристрою.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КАМЕРНИХ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ В МЕХАТРОННИХ МОДУЛЯХ ПАКУВАННЯ

2.1. Аналіз методів розробки нових конструкцій захоплювальних пристроїв

Методи пошуку нових технічних рішень виникли як інструменти, що забезпечують високу ефективність праці при виконанні характерної форми виробничої діяльності – удосконаленні техніки та технології.

Нині відомо понад 300 методів отримання якісно нових технічних рішень. Більшість з відомих методів пошуку технічних рішень належить до методів, які впорядковують, систематизують процес мислення. При цьому застосовують різноманітні прийоми.

Найбільш широку популярність у літературі та застосування на практиці отримав метод морфологічного аналізу, метод комплексного пошуку нових технічних рішень та алгоритм вирішення винахідницьких завдань.

Морфологічний аналіз являє собою етап системних досліджень, що включає дослідження всіх можливих варіантів, що впливають із закономірностей системи, що вдосконалюється, системний аналіз. Складність застосування цього методу полягає в утрудненні оцінки ефективності того чи іншого рішення.

До програмних методів розв'язання технічних завдань належить алгоритм розв'язання винахідницьких завдань. У даному методі через порівняння ідеального і реального об'єктів виявляються технічні протиріччя та їх причини, які потім усувають

ються за допомогою спеціальних прийомів усунення технічних протиріч.

Близькими до алгоритму вирішення винахідницьких завдань є комплексний метод пошуку нових технічних рішень.

Комплексний метод у повному обсязі призначений для вирішення складних завдань та для вироблення загальних навичок пошуку нових технічних рішень. У міру освоєння методу ряд операцій (наприклад, виявлення протиріччя) може здійснюватися «автоматично», і необхідність звернення до відповідних

операторів відпаде. Крім того, низка нескладних завдань може бути вирішена за допомогою засобів використання масивів інформації.

Близькими до морфологічного аналізу є:

1. Метод організуючих понять, найбільш близький за своєю сутністю до морфологічної скриньки і передбачає проведення роботи з вирішення конструкторської задачі в кілька етапів:

- встановлення організуючих понять та визначення їх відмітних ознак (під першими мають на увазі конструктивні морфологічні ознаки технічної системи);
- класифікація організуючих понять за рівнем їх важливості;
- проведення наочних зіставлень організуючих понять з їх відмінними ознаками та розробка на цій основі керівного матеріалу для всіх можливих рішень, що відповідають обраним обмеженням;
- оцінка ознак щодо їх відповідності спеціальним вимогам завдання;
- комбінація ознак різних організуючих понять на рішення.

2. Метод десяткових матриць пошуку включає пошук нових технічних рішень на основі аналізу результатів систематичного застосування десяти евристичних прийомів до кожного з десяти основних показників технічної системи.

Як основні виділені такі групи показників технічної системи:

- геометричні (довжина, ширина, висота, площа і т. д.);
- фізико - механічні (вага, міцність, корозійна стійкість, еластичність та ін.);
- енергетичні (вид енергії, к. п. д. та ін.);
- конструкційно-технологічні (технологічність, транспортабельність, складність та ін.);
- надійність та довговічність;
- експлуатаційні (продуктивність, точність, стабільність параметрів та ін.);
- економічні (собівартість, трудові витрати на виробництво та експлуатацію, втрати та ін.);
- ступінь стандартизації та уніфікації;

- зручність обслуговування та безпека (шум, вібрації, освітленість, температура та ін.);
- художньо - конструкторські (гармонічність, масштабність та ін.).

3. Метод матриць відкриття також схожий на морфологічний аналіз. Суть методу полягає у побудові таблиці, у якій перетинаються два ряди характеристик. Якщо в морфологічному аналізі всі вибрані характеристики відносяться до будови технічного об'єкта, то в цьому методі частина з них може стосуватися умов споживання, виробництва, експлуатації тощо. д. (матриця: потреби замовника - можливості підрядника). Сам метод не дає закінчених рішень, створює можливість для асоціацій, щодо становлення нових проблем, які іншим методом не були б помічені.

При конструюванні технічного об'єкта агрегатно - модульного модульного типу, модуль доцільно включати елементи, об'єднані причинними зв'язками.

Досліджуються взаємозв'язки між елементами потреб, функцій, фізичних явищ, як у самому технічному об'єкті, так і у зовнішньому середовищі.

Агрегатно - модульний принцип побудови маніпуляційних механізмів створений у зв'язку з потребою оптимізації ступеня універсальності механізмів даного типу. Уніфікація та нормалізація основних параметрів ЗП в мехатронних модулях та вузлів - одне з основних завдань при розробці агрегатно - модульних систем. ЗП піддаються нормалізації по вантажопідйомності, найбільшому розміру поверхні, що захоплюється об'єкта маніпулювання.

Маніпуляційні механізми створюються для роботи з основним і допоміжним технологічним обладнанням. Робота з транспортування виробів, що мають невисоку жорсткість поверхні та значну масу, визначає необхідність конструювання захоплювальних механізмів у взаємозв'язку з умовами застосування.

Істотним у предметі дослідження маніпуляційних механізмів агрегатно - модульного типу при пошуковому конструюванні є взаємозв'язки та сфера застосування технічного об'єкта, приведенням їх у відповідність можна отримати нове технічне рішення.

2.2. Методика пошуку технічних рішень

При вирішенні технічного завдання, створення камерного захоплювального пристрою, що забезпечує максимально можливе збереження виробу, що транспортується при виконанні операцій захоплення та установки, використовувався метод дослідження функціонально-фізичних зв'язків МДФФЗ, який заснований на виявленні причинних взаємозв'язків між потребами, функціями, фізичними явищами ність галузі застосування технічного об'єкта, що розробляється.

Пропонується методика, яка дозволяє знайти технічні рішення, що розширюють сферу застосування КЗП в мехатронних модулях:

- 1) Поділяють ТО на елементи (TO_i).
- 2) Визначають функції TO_i (Φ_i).
- 3) Визначають фізичні явища (J_i).
- 4) Формують структуру досліджуваного ТО (TO_d).
- 5) Виявляють суттєві причинні взаємозв'язки.
- 6) Виявляють технічні та фізичні протиріччя.
- 7) Синтезують нову структуру ТО (TO_n), усуваючи виявлені протиріччя.

2.2.1. Розробка камерного захоплювального пристрою в мехатронних модулях пакування для захоплення та утримання легкоушкоджуваних виробів

Одним із складових процесу транспортування циліндричних легко - ушкоджуваних виробів з внутрішньою порожниною, є виконання захоплюючими пристроями функцій «захопити» і «утримати» виріб. Мінімально можлива силова дія з боку захоплювального пристрою реалізується шляхом організації розподіленого навантаження, яке забезпечують КЗП. Однак область застосування сучасних КЗП обмежена по масі виробів, що захоплюються, що обумовлено деформацією еластичної камери, що розширюється, під вагою захоплюваного вантажу.

Приклад деформації еластичної камери у процесі підйому продукту пакування зображено на рис.2.2.

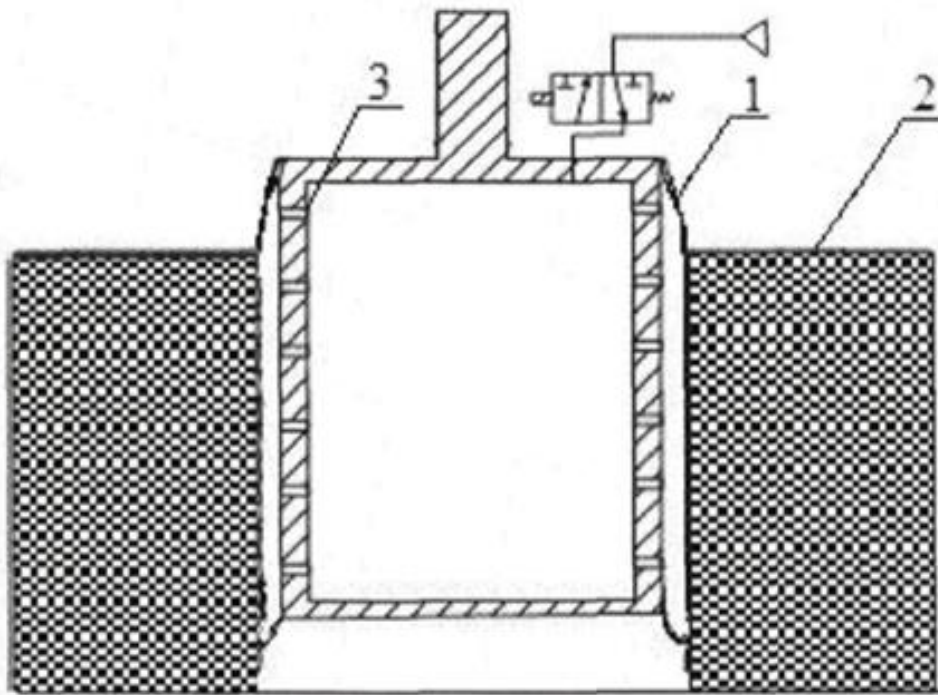


Рис.2.2. Підйом продукту пакування,

1 - еластична оболонка; 2- захоплювана упаковка; 3- корпус захоплювального пристрою

Для усунення зазначених недоліків проведено аналіз структури КЗП та функціональних можливостей елементів, що входять до складу досліджуваного пристрою.

Функціонально – фізична структура досліджуваного технічного об'єкта показана на рис.2.3.

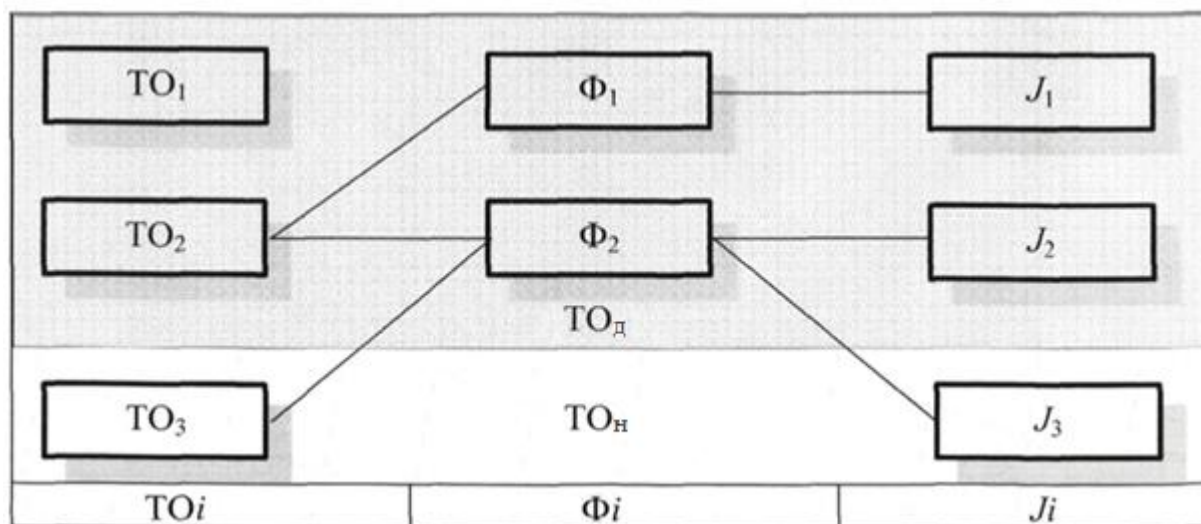


Рис. 2.3. Функціонально – фізична структура технічного об'єкта: камерного захоплювального пристрою

Досліджуваний об'єкт (TO_d) складається з корпусу (TO_i) і еластичної камери (TO_2). Камера виконує функції захоплення (Φ_1) та утримання (Φ_2) виробу. Для цього використовуються фізичні явища: (J_1) - нормальний силовий вплив на поверхню виробу, що захоплюється; (J_2) - пружні сили; (J_3) - перерозподіл навантаження з боку виробу на вантажонесучу сорочку.

Аналіз показав, що зменшення силового впливу на поверхню виробу, що захоплюється, шляхом зниження жорсткості камери призводить до зниження вантажопідйомності. Застосування більш жорстких камер збільшує грузопідйомність, а також і силовий вплив на поверхню, що захоплюється, т. е. для зниження браку необхідно зменшувати J_1 , що призводить до зменшення J_2 , отже, камера повинна мати низьку і одночасно високу жорсткість. Дані суперечливі характеристики камери усунути в новій структурі ЗП (TO_n), що відрізняється додатковим вантажонесучим елементом (TO_3), вантажонесучою сорочкою, нерозтяжною у напрямку силового впливу, яка перерозподіляє навантаження з боку виробу (J_3).

Деформацію еластичної камери ЗП планується усунути за допомогою елемента TO_3 - вантажонесучої сорочки, нерозтяжної у вертикальному напрямку. Установка в КЗП навколо камери вантажонесучої сорочки, закріпленої на корпусі і нерозтяжної в

напрямку силового впливу виробу, дозволяє значно розширити сферу застосування КЗП за масою виробів, що захоплюються. При цьому камера виконує функцію захоплення, а вантажонесуча сорочка - функцію утримання виробу.

Приклад реалізації пристрою показано на рис.2.4.

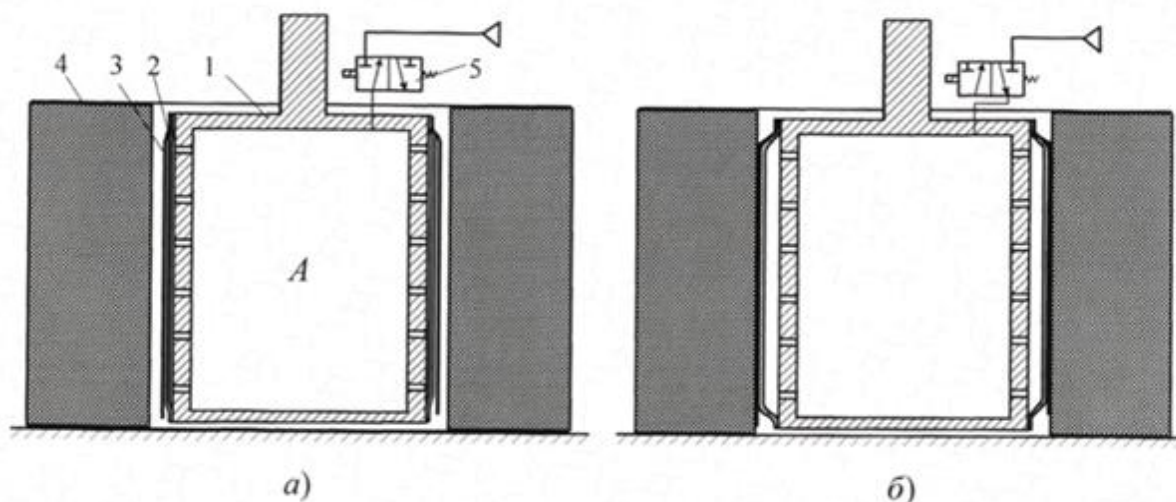


Рис.2.4. Схема камерного захоплювального пристрою з вантажонесучою сорочкою: а) - вихідне положення; б) - захоплення виробу

Пристрій складається з порожнистого корпусу 1, перфорованого по бічній поверхні. Камера 2 закріплена по бічній поверхні корпусу, герметизуючи робочу порожнину пристрою. Навколо камери на корпусі закріплена вантажонес - сорочка 3. Робоча порожнина А з'єднана з надлишковим тиском повітря через розподільник 5.

У вихідному положенні (рис. 2.5, а) розподільник 5 відключений, робоча порожнина з'єднана з атмосферою, камера 2 і вантажонесуча сорочка 3 не прилягають до бічної поверхні корпусу 1.

Для захоплення виробу 4 включають розподільник 5. При цьому робоча порожнина А з'єднується з надлишковим тиском повітря, камера 2 розширюється, прилягаючи через вантажонесучу сорочку 3 до внутрішньої бічної поверхні виробу 4. Виконується функція захоплення виробу. Силова

сорочка, нерозтяжна у вертикальному напрямку, що охоплює камеру ЗП, дозволяє виконувати загальні функції.

Для забезпечення надійності під час транспортування виробів захоплювальний пристрій виконано багатокамерним, у разі виходу з ладу однієї з камер.

Схема багатокамерного захоплювального пристрою наведена на рис.2.5.

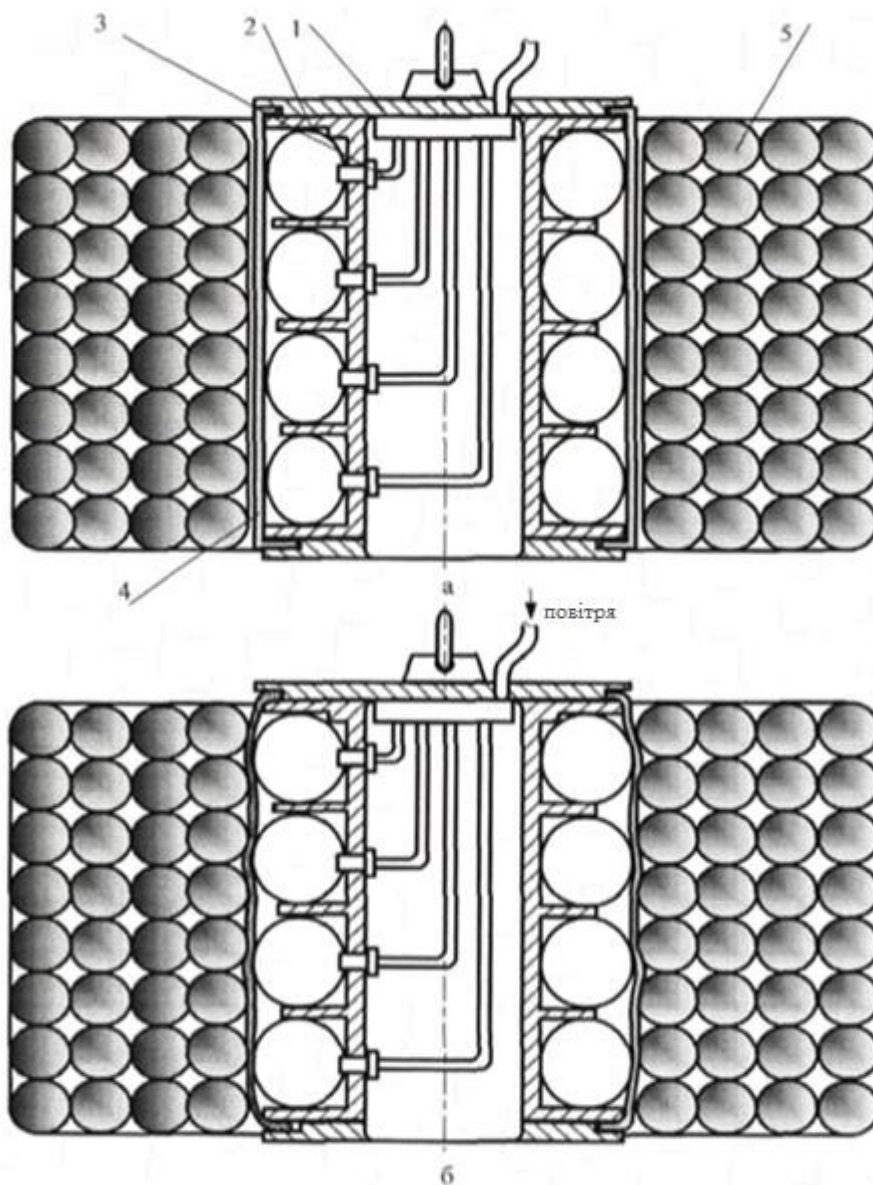


Рис.2.5. Схема багатокамерного захоплювального пристрою:

а) - вихідний стан; б) - захоплення бухти

Захопний пристрій містить несучий корпус 1. На несучому корпусі 1 жорстко закріплені герметичні еластичні оболонки 2. Порожнини оболонки 2 повідомлені

з джерелом стисненого повітря трубопроводами 3. На корпусі 1 жорстко закріплена охоплююча еластичні оболонки 2 фузонесуча, виконана нерастяжвантаж 5.

Пристрій працює наступним чином.

Захоплення здійснюється за внутрішню поверхню отвору бухти, утвореної витками трубки, і має опуклості спіралеподібної форми. У вихідному положенні (рис.2.6, а) порожнини оболонок 2 з'єднані з атмосферою. Камери, утворені ними, стиснуті та Зусилля утримання вантажу 5 відсутня. Для захоплення вантажу 5 (рис.2.6, б) стиснене повітря подається по трубопроводах 3 в порожнини еластичних оболонок 2, які, розширюючись, притискають вантажонесучу сорочку 4 до поверхні виробу, що транспортується. Застосування кількох послідовно встановлених еластичних оболонок знижує питомий тиск захоплення на поверхню, оскільки Зусилля утримання перерозподіляється і на поглиблення між опуклостями. Після закінчення транспортних операцій повітря з порожнин еластичних оболонок 2 стравлюється і виріб звільняється. Виконання охоплює камерний механізм сорочки нерозтяжної, у напрямку силового впливу, виконує функції утримання виробу. Дане рішення підвищує вантажопідйомність виробів, що транспортуються, до 250 кг при збереженні необхідного мінімального питомого тиску на поверхню, розширюючи номенклатуру вантажів, що захоплюються. Для цього захоплювального пристрою можуть використовуватися стаціонарні, переносні та мобільні компресорні установки системи підготовки повітря.

Переміщення у вертикальному напрямку дослідного зразка камерного захоплювального пристрою з виробом відбувається за допомогою тельфера, закріпленого на крані мостового типу. Після закінчення транспортних операцій та постановки виробу на робочу поверхню можливі значні силові впливи на торцеву поверхню виробу, котрі можуть викликати незворотні пластичні деформації.

Аналіз функціональних можливостей розробленого КЗП виявив необхідність створення нового камерного захоплювального пристрою із застосуванням агрегатно - модульного принципу побудови, що знижує можливість виникнення брак у при встановленні на робочу поверхню виробу, що транспортується.

2.2.2. Розробка системи приводів камерного захоплювального пристрою в мехатронних модулях пакування для транспортування легкоушкоджених виробів

Створення підходів, методів отримання якісно нових технічних рішень, що дозволяють обґрунтовано вибрати параметри окремих модулів, що визначають їх кінематичні та динамічні характеристики, відкривають можливість значного підвищення їх ефективності.

При створенні ЗП має місце два основних напрямки, пов'язані зі спробами знаходження найбільш раціонального методу їх побудови з точки зору скорочення вартості ЗП та підвищення надійності. Один з цих напрямків - створення універсальних ЗП, що мають широкі можливості, а інше - створення спеціалізованих ЗП з меншими можливостями, але більш простих за конструкцією. До недоліків першого напрямку можна віднести складність конструкції ЗП, а до недоліків другого відносять збільшення номенклатури ЗП, що негативно позначається на серійності їх виробництва, а отже, на вартості.

Одним із шляхів, що сприяють вирішенню зазначених протиріч, є побудова ЗП на агрегатно - модульній основі. Цей принцип дозволяє конструктивно реалізовувати систему взаємозалежних приводів.

При вирішенні завдання зниження силового впливу, що виникають при встановленні виробу на робочу поверхню, що призводять до деформації нижніх витків мідної трубки в бухті, використовувалися наступні закономірності послідовності роботи захоплювальних пристроїв. Для всіх ситуацій після завершення функції захоплення виробу виконується функція його підйому, а також після завершення функції опускання виробу на робочу поверхню виконується функція відпускання виробу.

В якості приводу переміщення виробу обраний двомембранний привід (рис. 2.7, б) з жорсткими центрами, широко застосовується в пневмоавтоматиці в якості пневмомеханічного перетворювача систем управління. Це пов'язано з тим, що його конструктивне виконання дозволяє отримати необхідну силову

дію на штоку співвідношенням площ жорстких центрів при заданій величині надлишкового тиску повітря в робочій камері.

У пневмомеханічному перетворювачі (рис. 2.6, а) ефективна площа S плоскої мембрани з жорстким центром визначається як :

$$S = \frac{1}{3} \pi * (R^2 + R * r + r^2) \quad (2.1)$$

де : S - силовий вплив на шток від манометричного тиску; p - Манометричний тиск повітря; R і r - радіуси відповідно мембрани та жорсткого центру.

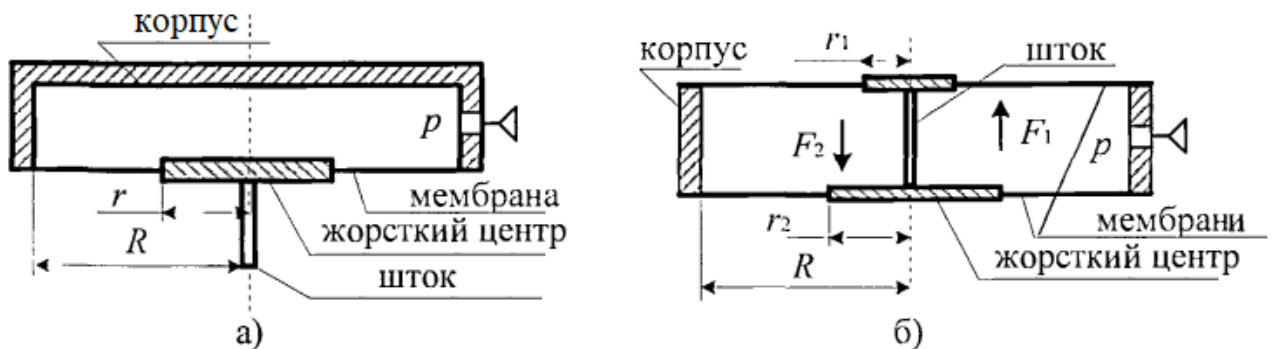


Рис.2.6 Схеми мембранних пневмомеханічних перетворювачів:

а) - одномембранний; б) - двомембранний

Для перетворювача з двома плоскими мембранами (рис. 2.6, б) вираз для величини силового впливу F_p на шток від тиску має вигляд :

$$F_p = F_2 - F_1 = p * \frac{1}{3} \pi (r_2^2 - r_1^2 + R(r_2 - r_1)) \quad (2.2)$$

де: F_1 і F_2 - сили, що діють на шток з боку мембран; p - надлишковий тиск у робочій камері; R - радіус мембрани; r_1 і r_2 - радіуси жорстких центрів.

Звідси для заданих величин надлишкового тиску p з урахуванням розмірів R , r_1 і r_2 , можна отримувати потрібне Зусилля щодо переміщення штока і корпусу перетворювача.

Максимально можлива величина ефективної площі S_{max} , коли $r_1 = 0$, а $r_2 = R$, тобто мембрана виконана у вигляді поршня, становить:

$$S_{emax} = \frac{2}{3} * S_{еп} \quad (2.3)$$

де : $S_{еп}$ - ефективна площа поршня.

Запропоновано схему (рис. 2.7) камерного захоплювального пристрою агрегатно - модульного типу, що складається з двох взаємозалежних приводів: камерного захоплення та мембранного приводу його переміщення.

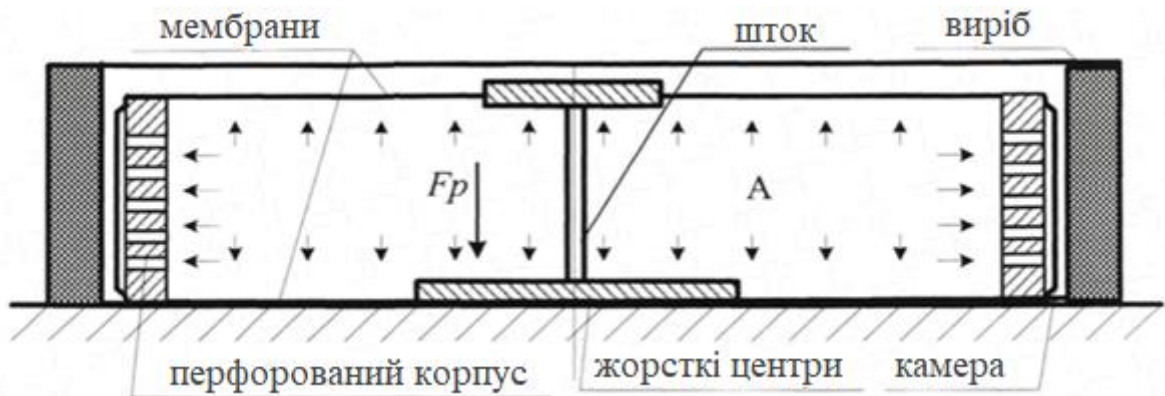


Рис. 2.7. Схема камерного мембранного захоплювального пристрою

Дане технічне рішення забезпечує усунення пошкодження торцевої поверхні виробу при його встановленні на робочу поверхню за рахунок організації необхідної швидкості переміщення виробу.

Для вирішення задачі ненаголошеної постановки легкошкодуваних виробів на робочу поверхню пропонується КЗП із системою взаємопов'язаних приводів: приводу захоплення та утримання, та приводу переміщення ЗП, виконаного за агрегатно - модульним принципом побудови (рис.2.8).

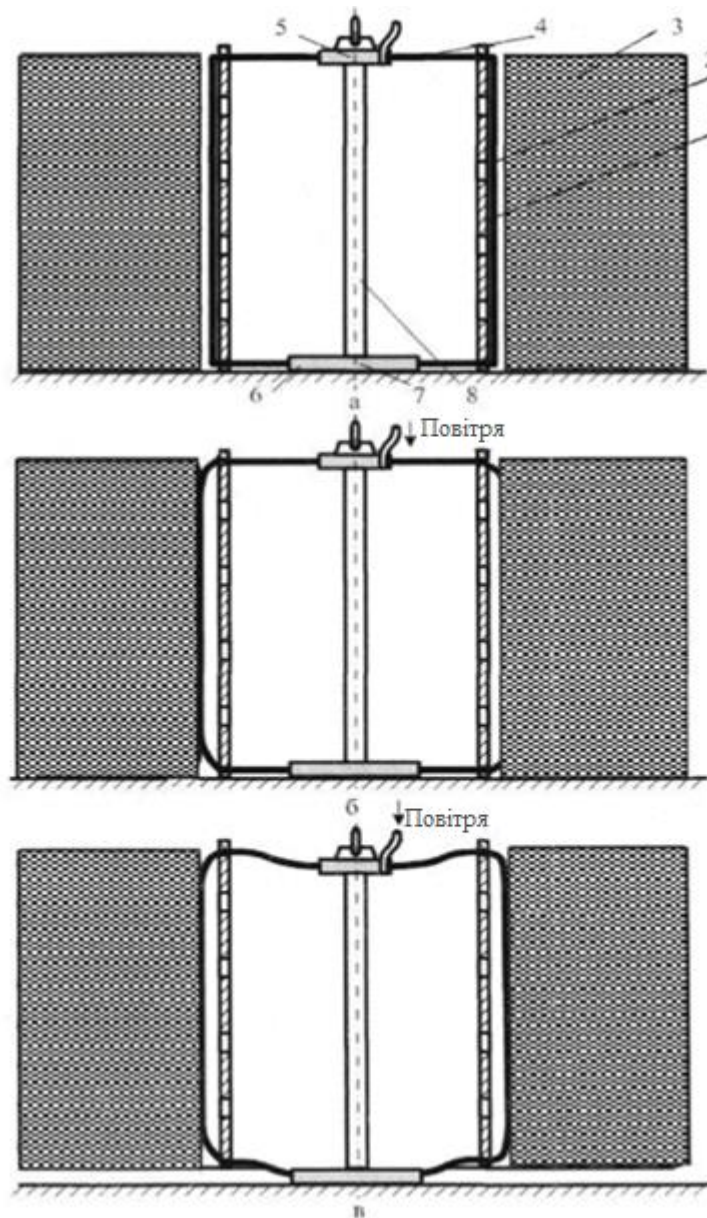


Рис. 2.8. Структурна схема камерного агрегатно - модульного захоплювального пристрою з двома приводами:

а) - вихідне положення ЗП; б) - «захоплення» виробу; в) - «підняття» виробу

Захоплювальний пристрій опускається в порожнину виробу. У вихідному положенні повітря з камери захоплення стравлене, еластична оболонка стиснута, зусилля утримання виробу відсутнє (рис.2.8, а). Для захоплення вантажу стиснене повітря подається по трубопроводу в камеру, яка, розширюючись, притискається до поверхні виробу, що транспортується (рис.2.8, б). Виконується функція захоплення виробу. При подальшому підвищенні величини

надлишкового тиску відбувається підняття вантажу захоплювальним пристроєм (рис.2.8, в). Підняття вантажу досягається тим, що в камерному захоплювальному агрегатному модулі, що містить навішуваний па вантажопідйомний механізм, що несе порожнистий корпус, виконаний з перфорованою бічною поверхнею і еластичною оболонкою, на торцевих поверхнях корпусу закріплені мембрани з жорсткими центрами, з'єднані між собою штоком. Функції «підняття» та «опускання» виробу захоплювальний пристроєм досягається регулюванням площ твердих центрів. Після закінчення транспортних операцій повітря з порожнини еластичної оболонки стравлюється, при цьому вантаж плавно опускається на робочу поверхню, виріб звільняється. Плавність опускання вантажу, що транспортується, досягається дроселюванням вихідного капала. Співвідношення площ верхньої та нижньої жорстких центрів мембран визначає величину питомого тиску на поверхню виробу.

У камерному агрегатно - модульному захоплювальному пристрої реалізована система взаємозалежних приводів, що послідовно виконують від однієї команди управління функції захоплення та підняття виробу, а від іншої – опускання та відпускання виробу. У цьому технічному рішенні система управління виражена в неявному вигляді, ознакою команди управління є величина надлишкового тиску порожнини камери. Величина надлишкового тиску, достатня для початку виконання підйому виробу після його захоплення, регулюється діаметрами твердих центрів.

Для визначення силового впливу на поверхню, що захоплюється, виробу камерним захоплювальним пристроєм проведені інженерні розрахунки.

Висновки до розділу 2.

У другому розділі даної магістерської роботи були проаналізовані методи розробки приводів захоплювальних пристроїв в мехатронних модулях пакування; розроблено та досліджено КЗП для захоплення і утримання легкоушкоджуваних виробів пакування, функціонально – фізичну структуру технічного об'єкту, схеми камерного захоплювального з вантажонесучою сорочкою, багатокамерного ЗП, камерного

мембранного захоплювального пристрою та камерного агрегатно-модульного захоплювального пристрою.

Із застосуванням МДФФЗ було отримано такі результати :

- запропоновано методику проектування систем приводів захоплювальних пристроїв;
- розроблено структуру та конструктивне виконання камерного захоплювального пристрою для захоплення та утримання легкоушкоджуваних пакувальних виробів.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КАМЕРНИХ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ В МЕХАТРОНИЧНИХ МОДУЛЯХ ПАКУВАННЯ НА КОМП'ЮТЕРНІЙ МОДЕЛІ

Синтезований із застосуванням методики пошукового конструювання камерний захват агрегатно - модульного типу має задовольняти конкретні вимоги. Тому необхідно провести комп'ютерне моделювання та дослідження комп'ютерної моделі пристрою з метою отримання необхідних конструктивних параметрів, що найбільше впливають на працездатність механізму.

Досліджуваний камерний захоплювальний пристрій агрегатно - модульного типу із системою взаємопов'язаних приводів повинен виконувати необхідні функції захоплення та встановлення виробу з мінімальним впливом на поверхню виробу, що транспортується.

При дослідженні характеристик камерного захоплювального пристрою агрегатно - модульного типу за допомогою комп'ютерної моделі розглядалися залежності висоти переміщення захоплювального пристрою з виробом від величини надлишкового тиску в порожнині камери ЗП при певних заданих параметрах діаметрів жорстких центрів і маси виробу.

3.1. Реалізація комп'ютерної моделі камерного захоплювального пристрою в мехатронічних модулях програмним комплексом

Комп'ютерне моделювання КЗП виконано у розрахунковому комплексі Ansys. Створено твердотільну модель камерного захоплення та проведено дослідження його роботи з різними значеннями надлишкового тиску, діаметрами жорстких центрів, маси виробу, що захоплюється.

ANSYS - універсальна програмна система кінцево - елементного аналізу, є досить популярною у фахівців у сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) та рішення лінійних та нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових завдань механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і

фізично нелінійні завдання контактної взаємодії елементів конструкцій), задач механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки. Моделювання та аналіз у деяких галузях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проектування – виготовлення – випробування» .

Програма ANSYS забезпечена великим набором засобів для створення геометричної моделі, що дозволяє легко та швидко будувати кінцево - елементну модель реальної інженерної системи. Існують три різні способи генерації моделі: імпорт моделі, твердотільне моделювання та безпосереднє створення моделі .

Задані навантаження та обмеження визначають граничні умови для розрахункової моделі. До навантажень відносяться обмеження ступенів свободи, зосереджені, розподілені, об'ємні та інерційні зусилля.

Область, у якій шукається розв'язання диференціальних рівнянь, розбивається кінцеве кількість підобластей (елементів). У кожному з елементів довільно вибирається вид апроксимуючої функції. У найпростішому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елементом апроксимуюча функція дорівнює нулю. Значення функцій на межах елементів (вузлах) є розв'язанням задачі та заздалегідь невідомі. Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай шукаються з умови рівності значення сусідніх функцій на межах між елементами (у вузлах). Потім ці коефіцієнти виражаються через значення функцій у вузлах елементів. Складається система лінійних рівнянь алгебри. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, у яких шукається рішення вихідної системи, прямо пропорційно кількості елементів обмежується лише можливостями електронно - обчислювальної машини (ЕОМ). Так як кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, система лінійних рівнянь алгебри має розріджений вигляд, що істотно спрощує її рішення.

Проведення дослідження об'єкта за допомогою ANSYS передбачає виконання наступних дій:

- 1) Формування моделі об'єкта за допомогою препроцесора.
- 2) Вибір типів кінцевих елементів, на які будуть розбиватися області об'єкта.

- 3) Завдання параметрів матеріалу, у тому числі складається об'єкт.
- 4) Розбиття області на кінцеві елементи.
- 5) Завдання крайових умов та навантажень.
- 6) Рішення

Перегляд результатів рішення за допомогою постпроцесора. У модулі Design Modeler була створена твердотільна модель камерного захоплення (рис. 3.1 а, б).

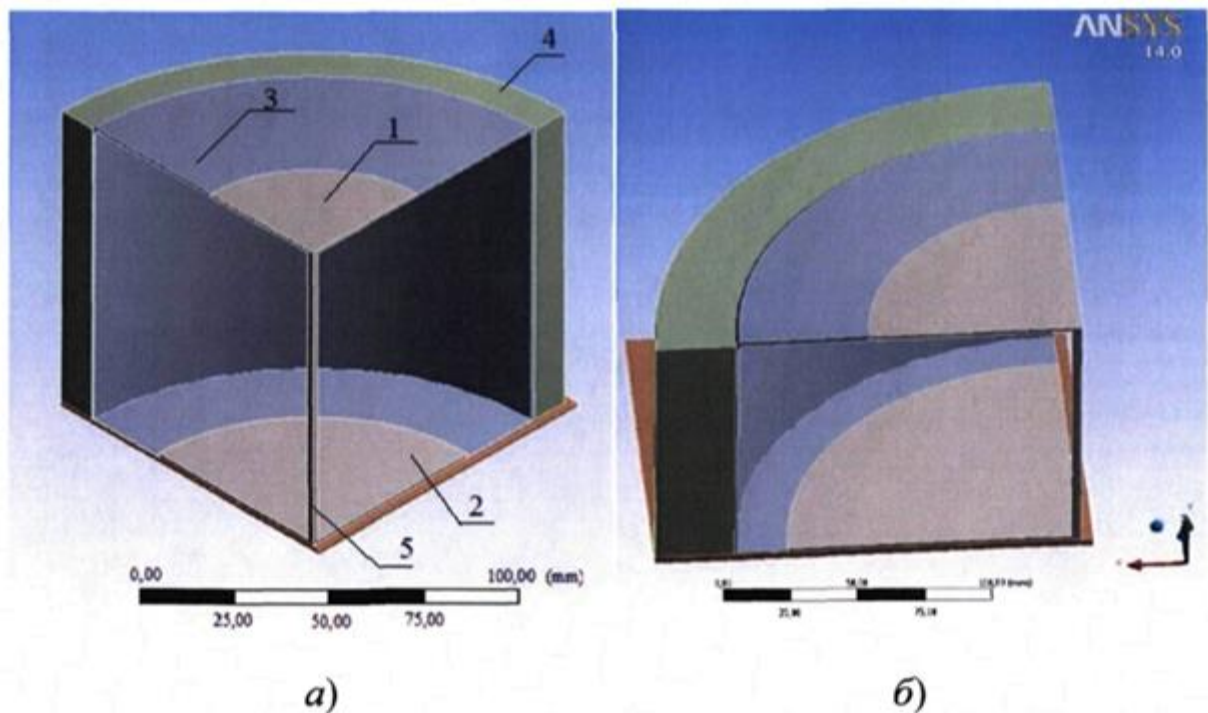


Рис.3.1. Твердотільна модель камерного захоплення виробу:

- 1 - верхній жорсткий центр; 2- нижній жорсткий центр; 3 - мембрана; 4 - виріб;
5 - шток

Внаслідок симетрії для вирішення задачі моделюється лише один сектор (90 градусів).

Як матеріал оболонки камерного захоплення був заданий матеріал - гума з нелінійними властивостями : щільність 1000 кг/м^3 ; модуль Юнга - $6, 1 \text{ МПа}$; коефіцієнт Пуассона – $0, 49$; межа плинності при розтягуванні - $9, 2 \text{ МПа}$; межа міцності на розтяг - $13, 7 \text{ МПа}$. Матеріал вантажу – мідь, щільністю - $8, 89 * 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Для отримання чисельного рішення геометрична модель розбивається кінцево - елементною сіткою. Ця процедура виконується в модулі симуляції Mechanical. У параметрах генерації сітки було виставлено такі значення параметрів: щільність сітки - 0; розмір елемента - 5 мм. Розмір елементів задає середню довжину ребра елементів. Сітка з великою кількістю елементів дозволяє знаходити більш точне рішення, але збільшує розрахунковий час та обсяг пам'яті. Подрібнення сітки не компенсує припущення фізичної моделі та помилки вхідних даних. Схема кінцево - елементної сітки показана на рис.3.2.

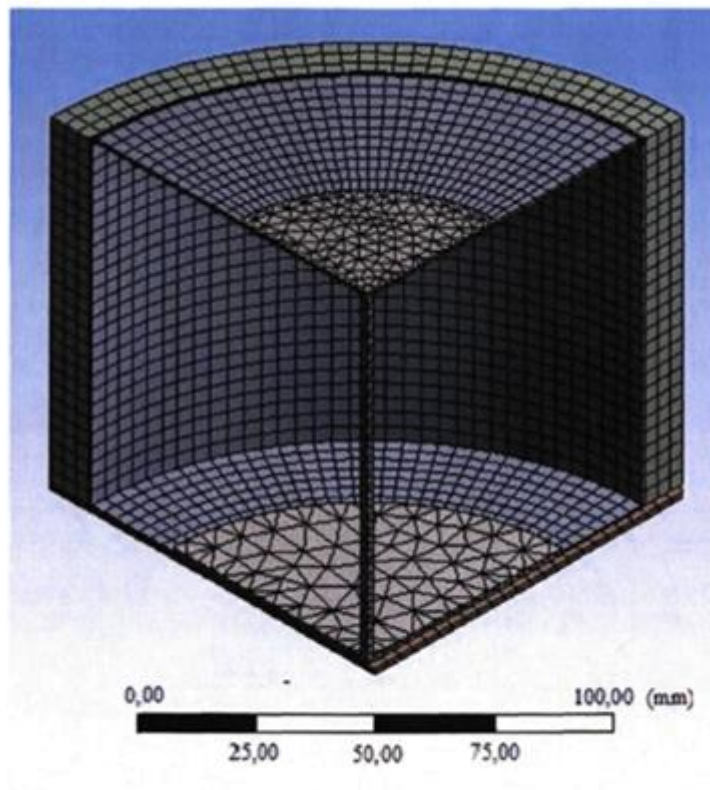


Рис.3.2. Схема кінцево - елементної сітки

Кількість вузлів сітки – 34326, кількість елементів – 6391. Після генерації сітки кінцевих елементів необхідно задати навантаження та граничні умови. Задані навантаження та граничні умови показані на рис.3.3.

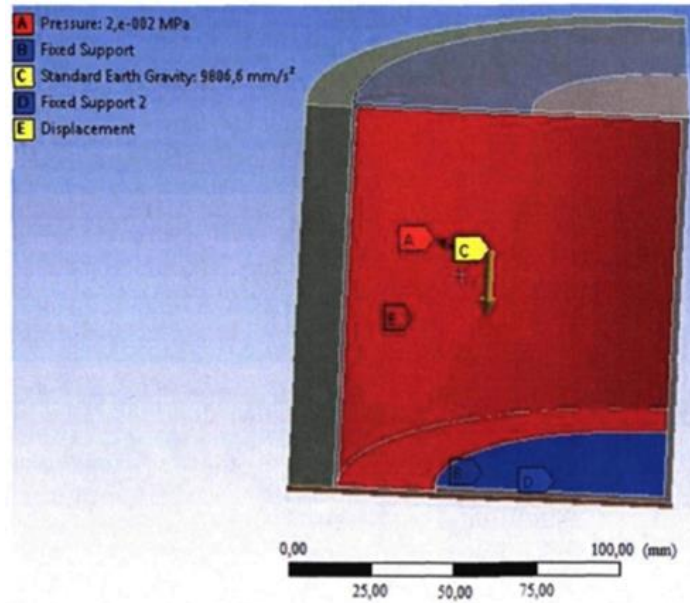


Рис.3.3. Схема навантажень та граничних умов

Графічне відображення роботи КЗП за допомогою комп'ютерної моделі (рис.3.4).

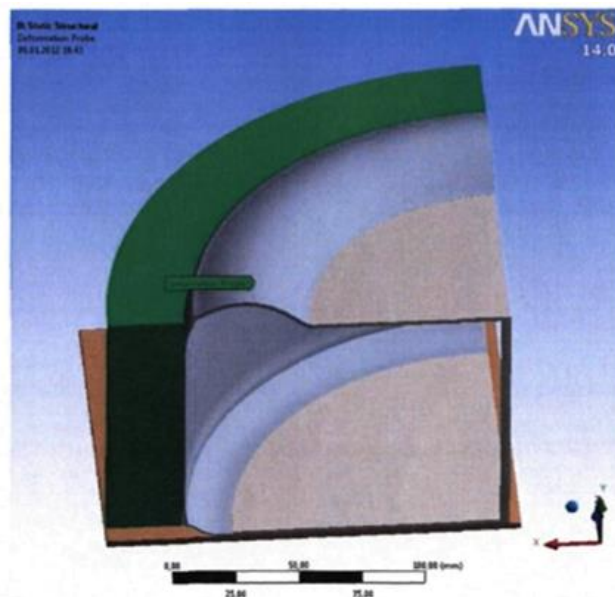


Рис.3.4. Графічне відображення роботи КЗП в мехатронних модулях пакування
 Приклад розрахунку комп'ютерної моделі ANSYS показаний на рис.3.5.

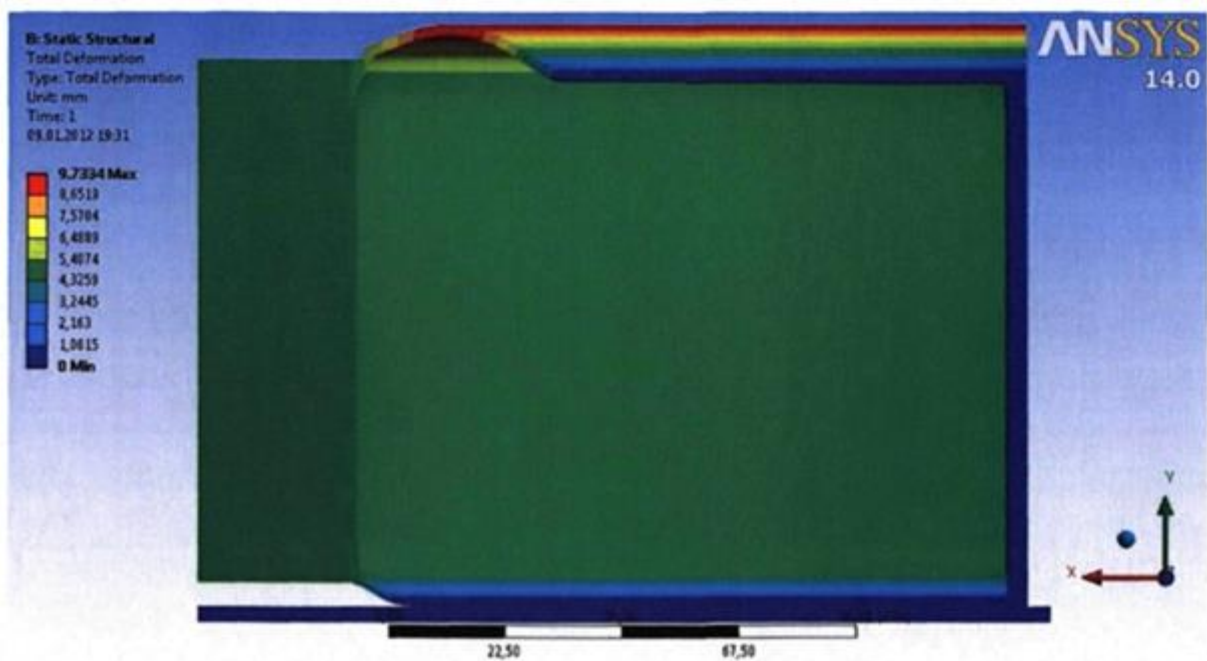


Рис.3.5. Результат розрахунку комп'ютерної моделі в ANSYS

3.2. Загальна методика планування експерименту

Необхідно провести оптимізацію параметрів камерного захоплювального агрегатно - модульного пристрою з погляду виконання транспортних операцій з мінімальним браком на виході, тобто необхідно підібрати значення параметрів пристрою, що задовольняють даним вимогам. За наявності безлічі параметрів пристрою, що впливають на транспортування виробу, що захоплюється, досить складно достовірно виявити оптимальні значення всіх параметрів, так як проведення дослідів з усіма можливими комбінаціями даними параметрами призводить до величезної кількості експериментів. Тому для того, щоб отримати більш точні результати і істотно скоротити кількість вироблених дослідів і час роботи в даному напрямку, необхідно впорядкувати хід досліджень. Для цього скористаємося методом планування експерименту.

Планування експерименту, як і будь-яке планування, передбачає пошук раціональної послідовності отримання даних про властивості об'єктів, що вивчаються, або явищ. У науково - дослідній роботі раціональна схема експерименту (план експерименту), природно, повинна складатися таким чином, щоб

при мінімальній витраті часу і коштів отримувати максимум інформації про об'єкт, що цікавить. Саме в цьому сенсі можна говорити, що наукові методи планування експерименту дають можливість експресного досягнення поставленої мети дослідження, скорочуючи витрати часу як на власне експеримент, так і на статистичну обробку результатів.

Планування експерименту - це процедура вибору числа та умов проведення дослідів, необхідних та достатніх для вирішення поставленої задачі з необхідною точністю. При цьому суттєво наступне :

- мінімізація загальної кількості дослідів;
- одночасне варіювання всіма змінними, що визначають процес, за спеціальними правилами;
- використання математичного апарату, що нормалізує багато дій експериментатора;
- вибір чіткої стратегії, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів.

Пошук оптимальних умов (оптимізація) є одним із найпоширеніших науково - технічних завдань. Вони необхідні тоді, коли встановлено можливість проведення процесу, і потрібно знайти найкращі умови його реалізації. Необхідно чітко сформулювати в якому випадку умови мають бути оптимальні. Цим визначається вибір мети дослідження.

В даному випадку необхідно провести планування експерименту для пошуку оптимальних умов, за яких камерний захоплювальний пристрій в мехатронних модулях буде найбільш повно задовольняти потребам виробничого процесу.

Важливим етапом у постановці будь-якого експерименту, зумовленим природним бажанням експериментатора отримати достовірні уявлення про досліджувану властивість, є оцінка необхідної кількості спостережень. Вирішення цього питання має очевидне практичне значення, дозволяючи обґрунтувати витрати часу та коштів на те чи інше дослідження.

«... Вибір основних елементів дослідження. Це завдання є найважчим, і від успіху вибору елементів залежить успіх дослідження. Варто пам'ятати, що будь-

яке явище надзвичайно складне і визначається безліччю елементів, з яких треба вибрати тільки необхідні і достатні » .

Проблема достовірності в експериментальних роботах завжди була і є актуальною, що пов'язано з неминучою похибкою методу виміру.

Планування екстремального експерименту - це спосіб вибору кількості та умов проведення дослідів, мінімально необхідних для пошуку оптимальних умов, тобто для вирішення поставленого завдання.

У даному методі, як і в багатьох інших методах планування експерименту, завдання вирішується поетапно. На першому етапі, варіюючи в кожному досвіді відразу всіма факторами, дослідник шукає лише напрямок руху до області екстремуму. Для цього поверхню відгуку вивчають тільки на невеликій ділянці і будують для цієї ділянки лінійну модель :

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k.$$

Метод крутого сходження по поверхні відгуку дає можливість досить достовірно й економічно (при мінімальній витраті сил і часу) визначати оптимум за двома - чотирма факторами. Для скорочення числа факторів, що підлягають вивченню, у деяких роботах використовується так званий метод

відсіювальних експериментів, мета якого - ранжування чинників за рівнем їхнього впливу вихід і виключення з розгляду тих, вплив яких у цьому експерименті виявилось статично незначним.

Метод Бокса - Вілсона дозволяє отримувати комп'ютерні моделі процесів, використовуючи факторне планування, регресійний аналіз та рух за градієнтом.

Припускаємо, що:

- безліч визначальних факторів задано (обмежено);
- кожен з факторів керуємо;
- аналізу дослідів відтворюються (для експерименту на об'єкті);
- вирішується завдання пошуку оптимальних умов;
- комп'ютерна модель процесу заздалегідь невідома.

Для опису об'єкта дослідження скористаємося уявленням про кібернетичну систему, яка схематично зображена на рис. 3.6. Таку кібернетичну систему називають «чорним ящиком».

Стрілки праворуч зображують чисельні характеристики цілей дослідження – параметри оптимізації. Параметр оптимізації (критерій оптимізації, цільова функція) - це ознака, за якою необхідно оптимізувати процес.

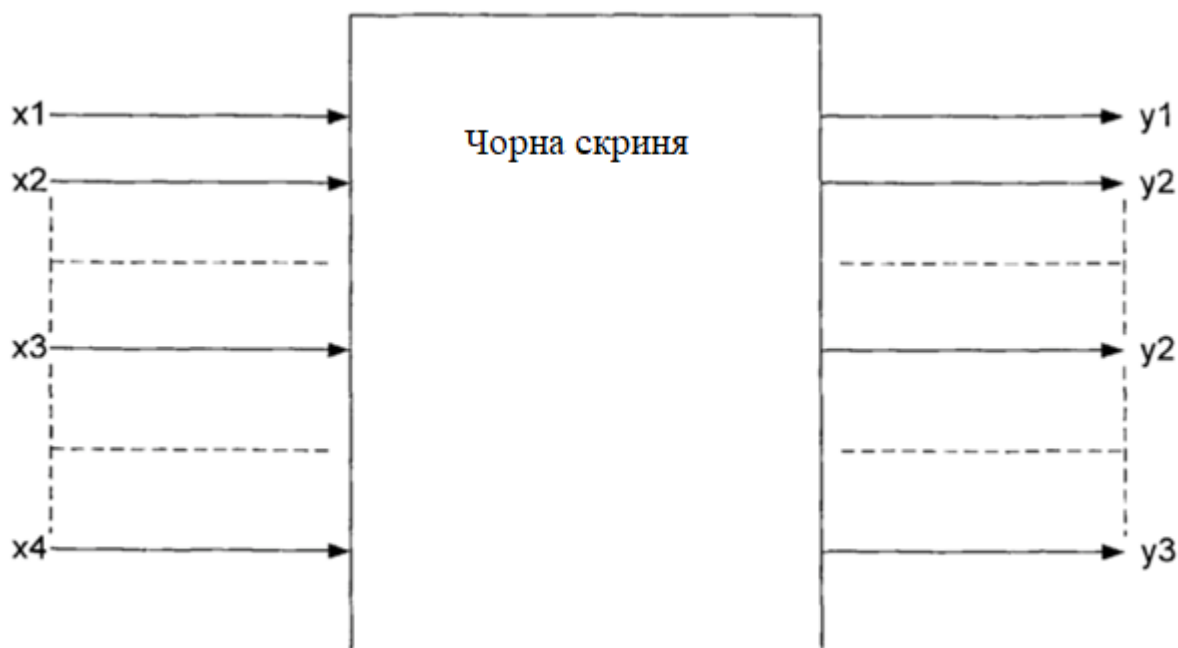


Рис.3.6. Схема «чорної скриньки»

Для проведення експерименту необхідно мати можливість впливати на поведінку «чорної скриньки». Стрілки зліва зображують усі способи такого впливу - фактори. Чорна скриня

Параметр оптимізації є реакцією (відгуком) вплив чинників, які визначають поведінка аналізованої системи. При вирішенні поставленого завдання будемо використовувати комп'ютерні моделі об'єкта дослідження. Під комп'ютерною моделлю розуміють рівняння, яке пов'язує параметр оптимізації з факторами. Це рівняння у вигляді можна записати таким чином:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

де: y - параметр оптимізації, x_1, x_2, \dots, x_k - фактори;

Кожен фактор може приймати в досвіді одне з кількох значень - рівень. Фіксований набір рівнів факторів (тобто встановлення кожного фактора на певний рівень) визначає один із можливих станів «чорної скриньки». Одночасно це є умова проведення одного з можливих дослідів. Якщо перебрати всі можливі набори станів, то отримаємо безліч різних станів даної «скриньки». Одночасно це буде кількість можливих різних дослідів.

Щоб визначити число різних станів, достатньо число рівнів (якщо воно для всіх факторів однаково) звести до ступеня числа факторів k : p^k , де p - число рівнів. Сукупність усіх можливих станів визначає складність «чорної скриньки» та загальну кількість можливих дослідів.

Завдання вибору необхідних для експериментів дослідів, методів комп'ютерної обробки їх результатів та прийняття рішень є завданням планування експерименту. Окремий випадок цього завдання - планування екстремального експерименту, тобто експерименту, поставленого з метою пошуку оптимальних умов функціонування об'єкта.

При плануванні екстремального експерименту важливим етапом є визначення параметра, який необхідно оптимізувати. До параметра оптимізації пред'являються певні вимоги.

Параметр оптимізації повинен бути:

- кількісним і виражатися одним числом;
- ефективним з погляду досягнення мети;
- статистично ефективним;
- існуючим для всіх розбірних станів;
- універсальним;
- мати фізичний зміст;
- простим і легко обчислюваним.

З безлічі параметрів, які характеризують об'єкт досліджень, лише один, часто узагальнений, може бути параметром оптимізації. Інші параметри розглядаються як обмеження. Побудова узагальненого параметра оптимізації пов'язана із створенням єдиної ознаки, що визначає кількісне функціонування досліджуваного об'єкта з

багатьма вихідними параметрами. Введемо безрозмірну шкалу, в якій використано числову множину елементів - 0 (незадовільна якість) і 1 (задовільна якість). У ситуації, коли кожен перетворений приватний відгук приймає лише два значення 0 або 1, узагальнений відгук повинен приймати одне з цих значень, причому так, щоб значення 1 мало місце тоді, і тільки тоді, коли всі приватні відгуки в цьому досвіді набули значення 1. У цьому випадку для побудови узагальненого відгуку необхідно скористатися виразом:

$$Y_i = \sqrt[n]{\prod_{n=1}^n y_{ni}} \quad (3.1)$$

де : Y_i - узагальнений відгук i - тому досвіді; n - кількість приватних відгуків;

Надалі необхідно розглянути способи впливу на об'єкт - фактори, що оптимізується. Фактори визначають як сам об'єкт, так і його стан. До факторів пред'являються такі вимоги, як керованість та однозначність.

Управління фактором - означає встановити потрібне значення і підтримувати його постійним протягом досвіду або міняти за заданою програмою. У цьому полягає особливість «активного» експерименту.

Так само як і параметр оптимізації, кожен фактор має область визначення - сукупність всіх значень, які в принципі може приймати даний фактор. Сукупність значень фактора, яка користується в експерименті, є підмножиною з безлічі значень, що утворюють область визначення.

Далі необхідно перейти до вибору моделі. Вибір моделі полягає у виборі виду функції відгуку. Комп'ютерна модель потрібна для передбачення напрямку градієнта, тобто напрямку, в якому величина параметра оптимізації покращується швидше, ніж у будь-якому іншому напрямку. Така модель дозволяє уникнути повного перебору станів об'єкта і тим самим зменшити кількість дослідів, необхідних пошуку оптимуму. Завжди, коли це можливо, модель краще шукати серед поліномів.

Побудова поліномів можливе на околицях будь-якої точки факторного простору, тобто там, де знаходиться поверхня відгуку, оскільки вважаємо, що функція є аналітичною. Вважатимемо також, що вона має єдиний екстремум. Використовуючи дані передумови, можна застосувати процедуру пошуку оптимуму, засновану на покроковому принципі. Цей принцип передбачає: проведення серії дослідів, побудова комп'ютерної моделі за їх результатами, використання моделі для оцінки градієнта, постановка нових дослідів тільки в цьому напрямку. Виходить циклічний процес, який закінчується при попаданні в область, близьку до оптимуму.

Вибрана комп'ютерна модель повинна відповідати конкретним вимогам. До них належать адекватність та простота.

Вважатимемо алгебраїчні поліноми найпростішими. Крім того поліном лінійний щодо невідомих коефіцієнтів, що спрощує обробку результатів.

Першій серії дослідів передують етап неформалізованих рішень, спрямованих на вибір локальної області факторного простору. При цьому оцінюються межі областей визначення факторів, що задаються або важливими обмеженнями, або техніко - економічними міркуваннями, або конкретними умовами проведення процесу. Встановлення області пов'язане з ретельним аналізом апріорної інформації про зміну параметра оптимізації.

Локальну область проведення експерименту вибираємо у два етапи: визначення основного (нульового) рівня та інтервалів варіювання. Побудова плану експерименту зводиться до вибору експериментальних точок, симетричних щодо основного рівня. При встановленні основного рівня необхідно розглядати різні ситуації. Ситуації задаються формацією про найкращі точки і визначають рішення.

Наступний етап - вибір інтервалів варіювання факторів. Для кожного фактора визначаємо два рівні, на яких він варіюється в експерименті - верхній та нижній. Інтервал варіювання факторів - це деяке число (своє для кожного фактора), додавання якого до основного рівня дає верхній, а віднімання - нижній рівень.

На вибір інтервалів варіювання накладаються обмеження знизу (він може бути менший за помилку фіксування рівня фактора) і зверху (верхній ні нижній рівні не повинні виходити за область визначення).

Всі поєднання рівнів факторів в експерименті записуються у вигляді матриці планування, де рядки відповідають різним дослідом, стовпчики - значенням факторів. Незалежно від числа факторів, матриці планування повинні задовольняти певним вимогам, тобто мати наступні властивості:

- симетричність щодо центру експерименту. Тобто алгебраїчна сума елементів вектора - стовпця кожного фактора дорівнює нулю.

$$\sum_{i=0}^N x_{ji} = 0,$$

де j – номер фактору, $j = 1, 2, \dots, k$;

N – число експериментів.

- Умова нормування. Сума квадратів елементів кожного стовпця дорівнює числу дослідів.

$$\sum_{i=0}^N x_{ij}^2 = N,$$

- Ортогональність. Сума почленних творів будь-яких двох вектор - стовпців матриці дорівнює нулю.

$$\sum_{i=0}^N (x_{ij} * x_{ui}) = 0,$$

де j, u - вектор - стовпці матриці, $j \neq u$; $j = 0, 1, 2, \dots, k$; $u = 0, 1, 2, \dots, k$

- Ротабельність. Точки в матриці планування підбираються так, точність передбачення значень параметра оптимізації однакова на рівних відстанях від центру експерименту і не залежить від напрямку. Експеримент, у якому реалізуються всі можливі поєднання рівнів є повним факторним

експериментом. Коефіцієнти, обчислені за результатами експерименту, вказують на силу впливу факторів. Ефект фактора чисельно дорівнює уд військовому коефіцієнту.

Для обчислення невідомих коефіцієнтів регресії скористаємося рівняннями:

$$b_1 = \frac{\sum(x_{ji} * y_1)}{N}; \quad (3.2)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}; \quad (3.3)$$

де : j - номер фактора, $j = 1, 2, \dots, k$, N - число дослідів.

Так як кожен фактор (крім x_n) варіюється на двох рівнях $+1$ і -1 , то обчислення зводяться до приписування стовпцю у знаків відповідного фактора стовпця і складення алгебри отриманих значень. Розподіл результату число дослідів у матриці планування дає шуканий коефіцієнт.

Для того щоб зробити висновки про результати експерименту, необхідно виконати перевірку значущості коефіцієнтів моделі та перевірку адекватності моделі

Перевірка значущості коефіцієнта проводиться незалежно. Її можна здійснювати двома рівноцінними способами: перевіркою за t - критерієм.

Стьюдента або побудовою довірчого інтервалу. З використанням повного факторного експерименту довірчі інтервали всім коефіцієнтів рівні одне одному.

Необхідно знайти дисперсію (середнє значення квадрата відхилення величини від її середнього значення) коефіцієнта регресії $S_{\{b_j\}}^2$, тобто дисперсію коефіцієнта функції відгуку y . У нашому випадку вона визначається за формулою

$$S_{\{b_j\}}^2 = \frac{S_{\{y\}}^2}{N}$$

де : $S_{\{y\}}$ - дисперсія відтворюваності; N - число дослідів.

Дисперсія відтворюваності – це середній розкид у точках щодо лінії регресії. З формули видно, що дисперсії всіх коефіцієнтів дорівнюють один одному, оскільки вони залежать тільки від помилки досвіду та числа дослідів.

Побудуємо довірчий інтервал (Δb_1)

$$\Delta b_1 = \pm t S_{\{b'\}} \quad (3.5)$$

де : t - табличне значення критерію Стьюдента при числі ступенів свободи, з якими визначалася $S_{\{y\}}^2$ та обраному рівні залежності (зазвичай 0, 05). $S_{\{b'\}}$ - квадратична помилка коефіцієнта регресії

$$S_{\{b'\}} = \pm \sqrt{S_{\{b_j\}}^2}$$

Формулу для довірчого інтервалу можна записати в наступній еквівалентній формі :

$$\Delta b_j = \pm \frac{t S_{\{y\}}}{N}$$

Коефіцієнт значущий, якщо його абсолютна величина більша за довірчий інтервал. Довірчий інтервал задається верхньою та нижньою межами $b_j + \Delta b_j$ та $b_j - \Delta b_j$.

Для проведення перевірки значущості коефіцієнтів за t - критерієм необхідно скористатися формулою :

$$t = \frac{|b_j|}{S_{\{b_0\}}}$$

(3.8)

Обчислене значення t -критерію порівнюється стабільним при заданому $\alpha = 5\%$ (α - рівень значущості) та відповідному числі ступенів свободи.

Після обчислення коефіцієнтів моделі та перевірки їхньої значущості необхідна перевірка придатності моделі, тобто її адекватності.

Для перевірки гіпотези про адекватність можна використовувати F -критерій або критерій Фішера :

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{y\}}^2}$$

де : $S_{ад}^2$ - дисперсія адекватності; $S_{\{y\}}^2$ - дисперсія відтворюваності; F - критерій Фішера.

Дисперсія відтворюваності обчислюється за формулою :

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{2 * \sum_1^N \Delta y_i^2}{N}$$

Дисперсія адекватності :

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_I^N (y_{розрах} - y_{експ})^2}{f_2} = \frac{S * S_{ад}}{f_2}$$

де : N - число дослідів; $y_{розрах}$, $y_{експ}$ - значення відгуку в I-м досвіді; f_2 - число ступенів свободи, що визначається як :

$$f_2 = N - k'$$

де : k' - число залишених коефіцієнтів рівняння, N - число дослідів.

Таким чином, F - критерій, що представляє собою відношення дисперсії адекватності та дисперсії досвіду, по суті відповідає на питання, у скільки разів модель передбачає гірше в порівнянні з досвідом.

При русі до точки оптимуму розглядаємо лінійну модель :

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

Після проведення кожної серії експериментів для подальшої роботи з пошуку оптимальних значень факторів необхідно знайти значення невідомих коефіцієнтів моделі, оскільки величина коефіцієнта відповідає вкладу конкретного фактора у величину параметра оптимізації при переході фактора з нульового на верхній або нижній.

Необхідно провести перевірку адекватності моделі після обчислення коефіцієнтів. Скористаємося виразом (3.12) та даними таблиці (3.2), отримаємо, що з відповідною довірчою ймовірністю модель можна вважати адекватною.

3.3. Результати комп'ютерного моделювання

За допомогою комп'ютерної моделі була виявлена залежність висоти переміщення виробу від наступних параметрів: маси виробу, що захоплюється, діаметрів жорстких центрів, величина надлишкового тиску в камері ЗП.

Приклади отриманих результатів комп'ютерної моделі камерного агрегатно - модульного захоплювального пристрою (рис.3.8-3.11).

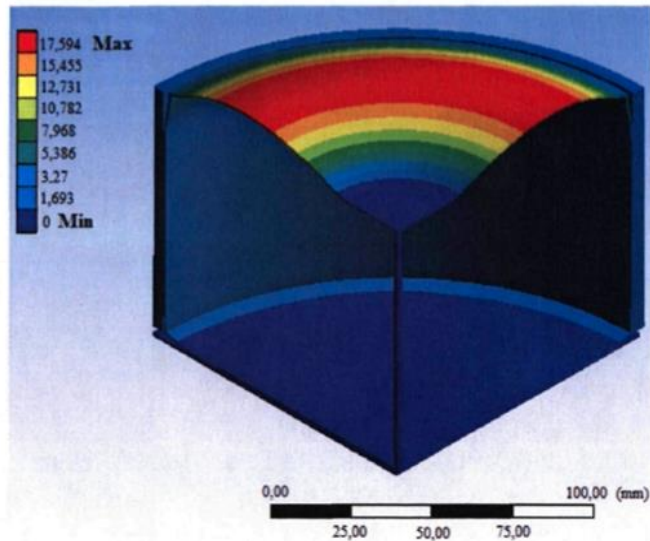


Рис.3.8. Результат розрахунку комп'ютерної моделі камерного захоплювального пристрою для операцій «захопити» і «підняти» виріб за заданими параметрами:

М (вироби) - 12 кг; діаметр верхнього жорсткого центру - 50 мм; діаметр нижнього жорсткого центру - 150 мм; тиск Р - 0, 15 МПа

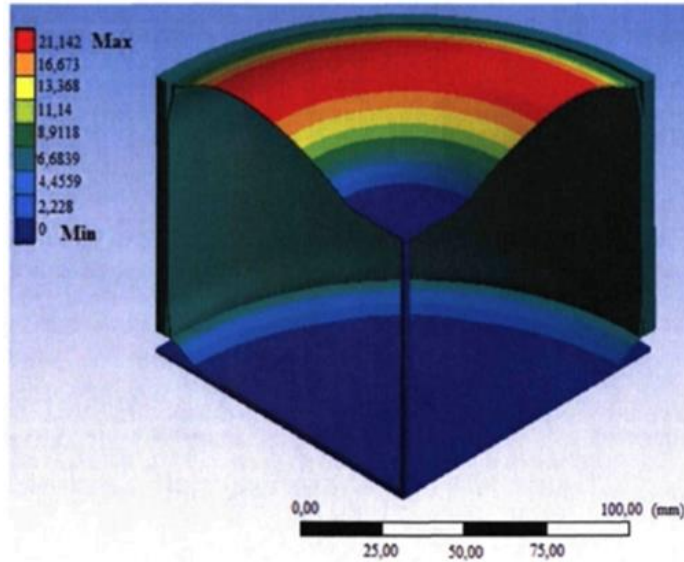


Рис.3.9. Результат розрахунку комп'ютерної моделі камерного захоплювального пристрою для операцій «захопити» і «підняти» виріб при заданих параметрах:

М (вироби) - 12 кг; діаметр верхнього жорсткого центру - 50 мм; діаметр нижнього жорсткого центру - 150 мм; тиск Р - 0, 2 Мпа

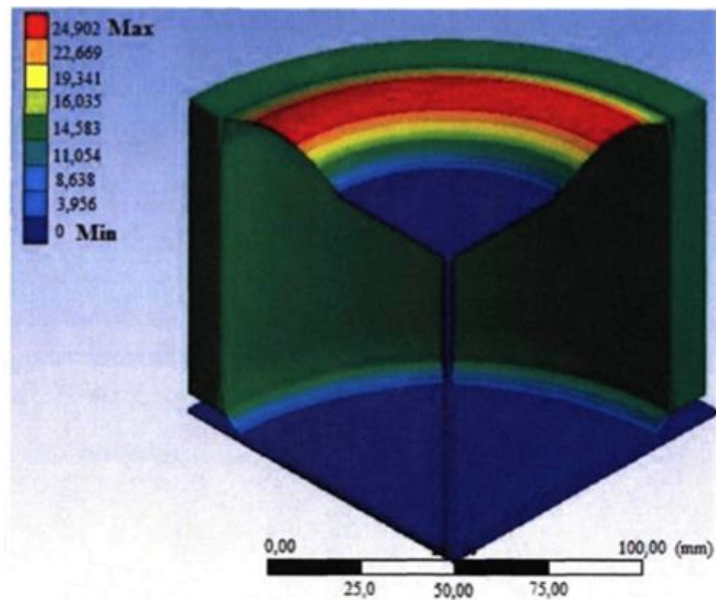


Рис.3.10. Результат розрахунку комп'ютерної моделі камерного захоплювального пристрою для операцій «захопити» і «підняти» виріб при заданих параметрах: М (вироби) - 12 кг; діаметр верхнього жорсткого центру - 50 мм; діаметр нижнього жорсткого центру - 150 мм; тиск Р - 0, 25 Мпа

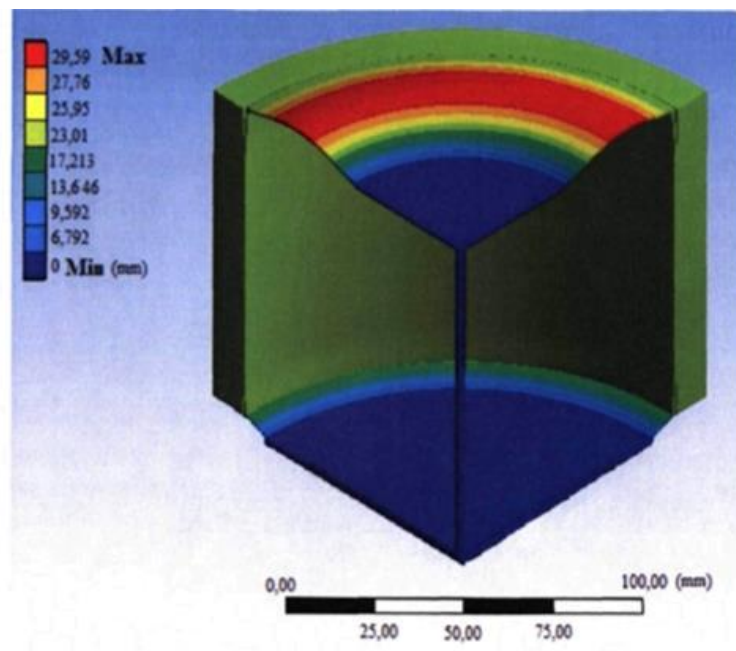


Рис.3.11. Результат розрахунку комп'ютерної моделі камерного захоплювального пристрою для операцій «захопити» і «підняти» виріб при заданих параметрах: М (вироби) - 12 кг; діаметр верхнього жорсткого центру - 50 мм; діаметр нижнього жорсткого центру - 150 мм; тиск Р - 0, 3 Мпа

Комп'ютерним моделюванням виявлено залежність висоти підняття виробу камерним захоплювальним пристроєм від тиску всередині камери (рис.3.12).

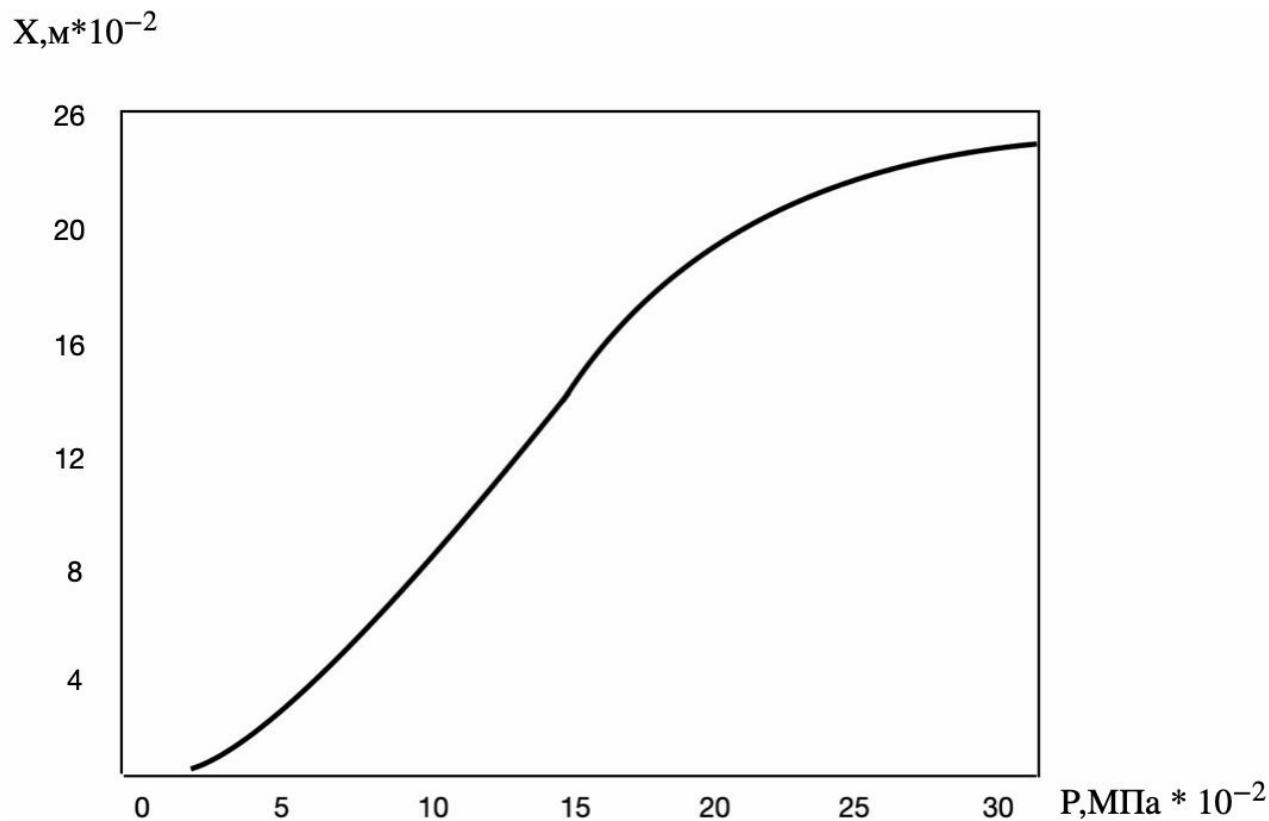


Рис.3.12. Графік залежності висоти підняття виробу, що захоплюється, від тиску в камері ЗП в мехатронних модулях

Комп'ютерне моделювання показало, що максимальна висота переміщення захоплюваного виробу становить 23 мм, при заданих параметрах: діаметр верхнього жорсткого центру 50 мм, діаметр нижнього жорсткого центру 150 мм, тиск 0,3 МПа, маса виробу 12 кг і обмежена максимальною величиною розтяжок як мембрана захоплювального пристрою.

Висновки до розділу 3.

Комп'ютерним моделюванням встановлено наступне:

1. На працездатність камерного захоплювального пристрою агрегатно - модульного типу впливають параметри: діаметри жорстких центрів, величина надлишкового тиску в камері ЗП, маса виробу, що захоплюється.
2. Найбільш істотний вплив на висоту переміщення виробу мають співвідношення діаметрів жорстких центрів мембран.
3. Максимальна висота переміщення виробу становить 23 мм, за наступних параметрів: діаметр верхнього жорсткого центру 50 мм, діаметр нижнього жорсткого центру 150 мм, тиск живлення 0,3 МПа, маса виробу 12 кг.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Відповідно до закону України «Про охорону праці», підприємство зобов'язане забезпечити усьому персоналу безпечні та нешкідливі умови праці і несе відповідальність за шкоду, заподіяну їх здоров'ю та працездатності. Забезпечення безпеки праці реалізується як при проектуванні технологічних процесів, так і при їх впровадженні.

Для подальшого вдосконалення умов праці необхідно покращити якість контролю виконанням вимог діючих норм стандартів, правил, інструкцій та інших документів з техніки безпеки, що підлягають виконанню в процесі проектування. Вірно виконані заходи з охорони праці та навколишнього середовища при незначних додаткових затратах на них, в порівнянні з витратами на будівництво всього об'єкту, надійно захищають його, людей, котрі на ньому працюють, а також підвищують експлуатаційні показники при зменшенні шкідливого впливу на навколишнє середовище.

На робочому місці оператора можливі наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- виробничий шум і вібрації;
- пожежна небезпека;
- електронебезпека;
- виробниче освітлення.

4.1 Виробничий шум і вібрації

Для протидії шкідливому для людини явищу виробничому шуму застосовуються індивідуальні та колективні заходи. До індивідуальних належить спеціальний інвентар: навушники, каски, вушні вкладки. До колективних відносяться акустичні (звукоізоляція та віброізоляція приміщення операторської за допомогою спеціальних матеріалів: трипласт, пластобетон, войлок і т.д). Амортизатори вібрацій виготовляють зі сталевих пружин чи гумових прокладок. Фундаменти під відцентрові насоси ізолюють азбестом, для зменшення вібрації.

Застосовують також звукопоглинаючі матеріали, такі як скловолокно, поролон для повітропроводів і облицювання вентиляційних систем.

Завдяки усім цим заходам шумоізоляції рівень шуму на даному об'єкті складає $L = 60$ дБА., що не перевищує допустимі значення, відповідно до ДСНЗ.3.6.037-99.

4.2 Електробезпека

Приміщення операторської відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою по ступеню ураження електричним струмом, так як працівники мають справу з металевими корпусами електроустаткування та приладів, а також струмопровідних поверхонь. В операторській встановлені прилади, що працюють під напругою 220/380 В, частотою 50 Гц; мережа з ізольованою нейтраллю. В частині приміщення, де знаходиться силова частина системи автоматики, всі електричні шафи мають закриті виконання, що виключає випадкове доторкання до струмоведучих частин.

Основними причинами електротравматизму є:

1. Ушкодження струмопровідних ліній електрокабелів, порушення ізоляції і заземлення щитів, пультів і електроустаткування;
2. Неправильна експлуатація переносного освітлення;
3. Порушення правил електробезпеки при експлуатації електричного устаткування і освітлення;
4. Робота на несправному устаткуванні;
5. Дотик до відкритих провідок струмопровідних частин;
6. Пробій на установці (напруга дотику);
7. Крокова напруга;
8. Електрична дуга.

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується:

1. Конструкцією електроустановок;
2. Технічними засобами захисту;
3. Організаційними заходами.

До організаційних заходів захисту від ураження електричним струмом відносяться:

1. Призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
2. Оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
3. Організація нагляду за проведенням робіт;
4. Перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До технічних заходів захисту від ураження електричним струмом відносяться:

1. Ізоляція в електроустановках: поверхню струмоведучих елементів покривають спеціальним шаром діелектрика з опором не менше 0.5 МОм.
2. Орієнтація в електроустановках: засоби орієнтації дозволяють персоналу орієнтуватися при виконанні робіт і застерігають його від помилкових дій; ними є маркування частин електрообладнання.
3. Захисне заземлення в аварійному режимі: захист від високого потенціалу і статичної електрики виконуються шляхом приєднання на вводах у будівлі усіх металевих трубопроводів та металевих частин будівельних конструкцій до пристрою заземлення ПУЕ-2017.
4. Мала напруга: для живлення систем автоматики використовується однофазна мережа 24 В змінного струму, яка забезпечується завдяки однофазним трансформаторам 380/24 В.
5. Попереджувальна сигналізація.
6. Забезпечення недосяжності неізольованих струмопровідних частин: в частині приміщення, де знаходиться силова частина системи автоматики, всі електричні шафи мають закрите виконання, що виключає випадкове доторкання до струмоведучих частин.

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади.

Перечисленні вище заходи задовольняють вимоги норм ДСТУ 7237:2011.

4.3 Виробниче освітлення

Роботи, виконувані в операторській, зв'язані зі зняттям показань з контрольновимірної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт

Система штучного освітлення: загальна і комбінована. Проектом передбачене робоче, евакуаційне, аварійне і ремонтне освітлення. Передбачається штучне освітлення у всіх приміщеннях і на всіх площадках установки, по ДБН В.2.5-28:2018 освітленість відповідна III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах повинна бути $E_{\text{нор}} = 250 \text{ лк}$. Для освітлення приміщення приймаємо лампи ДРЛ250 потужністю 100 Вт, напругою 220 В, світловий потік $\Phi = 11000 \text{ лм}$, кількістю 14 шт. $E_{\text{фак}} = 300 \text{ лк}$. Для освітлення кімнати користувача використаємо світлодіодні лампи з потужністю 12 Вт, напругою 220 В, світловий потік 1200 лк, $E_{\text{фак}} = 300 \text{ лк}$, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені теоретичні дослідження щодо підвищення ефективності роботи пневматичних приводів дозволили отримати ряд нових результатів та зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз існуючих конструкцій захоплювальних пристроїв, який показав, що найбільш ефективними при роботі з виробами, що легко ушкоджуються, є камерні захоплювальні пристрої;
2. Аналіз роботи сучасних захоплювальних пристроїв виявив необхідність їх вдосконалення з метою зниження браку, що виникає під час виконання операцій транспортування легкоушкоджуваних виробів;
3. Запропоновано методику проектування систем захоплювальних пристроїв для легкоушкоджуваних пакувальних виробів;
4. Розроблено структуру та конструктивне виконання камерного захоплювального пристрою для захоплення та утримання легкоушкоджуваних виробів;
5. Запропоновано новий камерний захоплювальний пристрій із додатковою закріпленою на його корпусі сорочкою, нерозтяжною у вертикальному напрямку і виконує вантажонесучу функцію, що дозволяє ефективно використовувати його для захоплення та утримання легкоушкоджуваних виробів.
6. Експериментально виявлено, що на працездатність камерного захоплювального пристрою агрегатно - модульного типу впливають параметри: діаметри жорстких центрів, величина надлишкового тиску в камері ЗП, маса виробу, що захоплюється; найбільш істотний вплив на висоту переміщення виробу мають співвідношення діаметрів жорстких центрів мембран.
7. Розроблено заходи з охорони праці стосовно правил дотримання безпеки на робочому місці, де використовуються захоплювальні пристрої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И. Анурьев – М.: Машиностроение, 2001.
2. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для групового пакування / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2007. – 136 с.
3. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2008. – 436 с.
4. Гавва О.М., Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2006. – 96 с.
5. Егоров О.Д. Конструирование мехатронных модулей: учебник / О.Д. Егоров, Ю.В. Подураев. – М.: ИЦ МГТУ "СТАНКИН", 2004. – 360 с.
6. . Казмиренко В.Ф. Электрогидравлические мехатронные модули движения. Основы теории и системное проектирование : учеб. пос. / В.Ф. Казмиренко. – М. : Радио и связь, 2001. – 211 с.
7. Кривопляс-Володіна Л.О. Основы научных исследований у прикладних задачах: навч. посіб. для студ. вищ.навч.зак./Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Яровий В.Л., Токарчук С.В. – К.: Сталь, 2016. – 271 с.
8. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебн./ А.П.Лукинов – М.: Лань, 2012 -308с.
9. Мехатроніка: конспект лекцій для студ. спец. 7.05050206 «Машини і технологія пакування» та 7.05050207 «Машини і ресурсозберігаючі технології переробки упаковки» денної форми навч. / Л. О. Кривопляс-Володіна, М. В. Якимчук. – К. : НУХТ, 2015. – 114 с.
10. Моделювання процесів пакування: підручник / А.І. Соколенко, В.Л. Яровий, В.А. Піддубний, К.В. Васильківський; за ред. А.І. Соколенка ; НУХТ. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 272 с.
11. Отений Я. Н. Выбор и расчет захватных устройств промышленных

роботов : учебное пособие / Я.Н. Отений, П.В. Ольштынский. – Волгоград : ВолгГТУ, 2000. – 64 с.

12. Охрана труда на предприятиях пищевых производств: Учеб. пособие / В. В. Осокин, Ю. А. Селезнева. — Донецьк : ДонГУЭТ, 2005. — 146 с.

13. Пакувальне обладнання: підруч. / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. — Київ : ІАЦ "Упаковка", 2010. – 744 с.

14. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості: підручник / А. І. Соколенко, В. С. Костюк, К. В. Васильківський та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Кондор, 2015. — 396 с.

15. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів./ М.В. Якимчук, О.М. Гавва, А.П.Беспалько та ін. – К: Видавництво «Сталь», 2017. – 515 с.

16.. Хайманн Б. Мехатроника: Компоненты, методы, примеры: учебное пособие / Хайманн Б., Герт В., Попп К., Репецкий О.; под ред. О.В. Репецкого. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 602 с.

17. Якимчук М.В. Обладнання для переробки використаної упаковки: конспект лекцій. / М.В. Якимчук, А.П. Беспалько. – К.: РВЦ НУХТ, 2009. -79 с.

18. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И. Анурьев – М.: Машиностроение, 2001.

19. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда: учеб. пособие / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Н. Л. Пономарев, Н. И. Сердюк. — М. : Высш. шк., 2001. — 431 с.

20. Готлиб Б.М. Введение в мехатронику: учебное пособие / Б.М. Готлиб. – Екатеринбург, 2007. – 782 с.

21. Губарев О.П. Мехатроніка: циклічно-методичний підхід до вирішення практичних задач автоматизації/ О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова . – Київ : КПІ, 2016. – 160 с.

22. Деталі машин: зб. завдань та прикладів розрахунків / В. О. Малащенко, В. Т. Павлице. — Львів : Новий Світ-2000, 2009. — 136 с.

- 23.Казмиренко В.Ф. Электрогидравлические мехатронные модули движения. Основы теории и системное проектирование : учеб. пос. / В.Ф. Казмиренко. – М. : Радио и связь, 2001. – 211 с.
- 24.Марчевський В.М. Конструкторська документація курсових і дипломних проєктів: навч. посіб. / Марчевський В.М. – К.: Норіта-плюс, 2006. – 280 с.
- 25.ANSYS 10.0 Complete User's Manual Set, SAS IP Inc., 2005.
- 26.Choudary R.B., Introduction to Ansys 10.0/ I.K. International Publishing House Pvt. Ltd., New Delhi, 2009 - 128 p. - ISBN 9380026145.
- 27.Cory L. Clark, Lab VIEW Digital Signal Processing: and Digital Communications/McGraw-Hill, 2005-205 p. - ISBN0071444920.
- 28.Riccardo De Asmundis, Labview - Modeling, Programming and Simulations/InTech, 2011 - 306 p. - ISBN 9789533075211.
- 29.Woon-SengGan, Embedded Signal Processing with the Micro Signal Architecture/Woon-SengGan, Sen M. KuoWiley-IEEE Press, 2007 - 486 p.- ISBN0471738417.
- 30.Jack Zecher, ANSYS Workbench/ Jack Zecher, FereydoonDadkhah, Schroff
31.Development Corporation, 2009-256 p. -ISBN 1585035815.