

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)
Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«17» 02 2022р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Юліана КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
(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 роботи пневмомускулів в мехатронних модулях пакування

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

Войтюк Ярослав Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник Якимчук Микола Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(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»

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(шифр і назва)
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ МПТ _____

 Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

“7” 11 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Войтюка Ярослава Юрійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження роботи пневмомускулів в мехатронних модулях пакування

керівник роботи Якимчук Микола Володимирович, д-тм проф

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

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

2. Строк подання студентом роботи 24.01.2023

3. Вихідні дані до роботи

Пневмомускули різних виробників, мехатронні модулі пакування

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 7. 11. 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Огляд конструкцій та схем застосування пневмомускулів в мехатронних модулях пакування</i>	15.12.22	Виконано
	<i>Математичні моделі роботи пневмомускулів</i>	30.12.22	Виконано
	<i>Експериментальні дослідження</i>	15.01.23	Виконано
	<i>Охорона праці</i>	17.01.23	Виконано
	<i>Висновки</i>	20.01.23	Виконано

Здобувач

(підпис)

Ярослав ВОЙТЮК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Микола ЯКИМЧУК

(прізвище та ініціали)

7. 11. 2022 р.

Реферат

Метою роботи є дослідження роботи пневмомускулів в мехатронних модулях пакування.

В першому розділі роботи було проаналізовано конструкції та схеми застосування пневмомускулів в мехатронних модулях пакування, розглянуто пневмомускули таких світових гігантів як: Festo, Shadow Robot Company, Dirk Lefeber, описано статичні характеристики пневмомускулів та готові приклади використання в різних технологічних задачах: при підйомі, захопленні, накачуванні, регулюванні та розміщенні, транспортуванні, сортуванні, дозуванні та інших.

В другому розділі розроблено математичну модель роботи пневмомускулів в мехатронних модулях пакування. Запропоновано методику розрахунку пневмомускула оболонкового типу та схему розрахунку пневмомускула з ромбічною сіткою корду.

В третьому розділі описано експериментальні дослідження на виготовленому експериментальному стенді з метою отримання динамічних характеристик оболонкового силового безштокового пневмоциліндра односторонньої дії незворотного типу та порівняно з результатами, отриманими теоретичним шляхом.

В четвертому розділі розглянуто питання заходів безпеки на підприємствах де використовуються пневмомускули, а саме: виробничий шум, повітря робочої зони, електробезпека та пожежна небезпека.

Робота складається з 4 розділів, 68 сторінок, 38 рисунків та 2 таблиць

Ключові слова: пневмомускул, мехатронний модуль, пакування, пневмодвигун.

Скорочення:

СОЕ – силовий оболонковий елемент,

ЛАЧХ – логарифмічно амплітудно-частотна характеристика,

СБПЦ – силовий безштоковий пневмоциліндр,

ПЦ - пневмоциліндр

Abstract

The purpose of this work was to study the operation of pneumomuscles in mechatronic packaging modules.

In the first section of this work, the constructions and schemes of pneumomuscles in mechatronic packaging modules were analyzed, the pneumomuscles of such world giants as: Festo, Shadow Robot Company, Dirk Lefeber were considered, the static characteristics of pneumomuscles were described and ready-made examples of use in various technological tasks: during lifting, grabbing, pumping, regulation and placement, transportation, sorting, dosing and others.

In the second chapter, a mathematical model of the operation of pneumomuscles in mechatronic packaging modules is developed. A methodology for calculating a shell-type pneumomuscle and a scheme for calculating a pneumomuscle with a rhombic cord mesh are proposed.

In the third section, experimental studies were carried out on the manufactured experimental stand in order to obtain the dynamic characteristics of the shell power rodless pneumatic cylinder of one-way action of the irreversible type and compared with the results obtained theoretically.

In the fourth chapter, the issue of safety measures at enterprises where pneumomuscles are used was considered, namely: industrial noise, air in the working area, electronic safety and fire hazard.

The work consists of 4 chapters, 68 pages, 38 figures and 2 tables

Key words: pneumomuscle, mechatronic module, packaging, pneumomotor.

Abbreviation:

ESR – a power shell element,

LACH – a logarithmic amplitude-frequency characteristic,

PRPC – power rodless pneumatic cylinder,

PC – pneumatic cylinder

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Огляд конструкцій та схем застосування пневмомускулів в мехатронних модулях пакування	9
1.1. Аналіз та огляд конструкцій пневмомускулів	9
1.2. Приклади застосування пневмомускулів в мехатронних модулях	15
1.3. Огляд пневмомускулів компанії FESTO	24
1.4. Огляд пневмомускулів компанії Shadow Robot Company	27
1.5. Огляд пневмомускулів компанії Dirk Lefeber	30
Висновки до розділу 1 та постановка задачі дослідження	33
2. Математичні моделі роботи пневмомускулів	35
2.1. Методика розрахунку пневмомускулів	37
2.2. Розрахунок характеристики пневмомускула з ромбічною сіткою корду	41
Висновки до розділу 2	45
3. Експериментальні дослідження	46
3.1. Опис експериментальної установки	46
3.2. Результати експериментів	53
Висновки до розділу 3	60
4. Охорона праці	62
4.1. Виробничий шум	62
4.2. Повітря робочої зони	63
4.3. Електронебезпека	64
4.4. Пожежна небезпека	65
5. Висновки	66
6. Список використаної літератури	67

Вступ

Упаковка відіграє важливу роль у безпечному розповсюдженні продуктів у сучасному суспільстві та ланцюгах постачання. З огляду на споживання близько 40% пластику та 50% паперу в Європі, пакувальний сектор є великим споживачем матеріалів. Упаковка має великий вплив на навколишнє середовище, водночас вона також представляє значні витрати в поточній системі постачання. Тому створення систем автоматизованого управління в галузі мехатронних систем пакування є ключовим напрямком в розвитку цієї області. Сучасні моделі пакувального обладнання – це приклад складних технічних систем, які будуються на модульному принципі. Пневмомускули є невід'ємною частиною в мехатронних модулях пакування.

Важливими перевагами пневмоприводу завжди вважалася велика питома потужність (потужність на одиницю маси двигуна), можливість роботи від центральної пневмомагістралі, нечутливість до таких факторів, як великі перепади температур, а при діючій системі підготовки повітря – як забруднення середовища. У деяких галузях техніки важливі властивості пожежної безпеки (при роботі у вибухонебезпечних середовищах), санітарної безпеки (для підприємств харчової промисловості), екологічності. До негативних якостей пневмоприводу зазвичай відносять стисливість повітря, що значно ускладнює керування. Однак у останнє десятиліття з'явилися нові типи пневмоприводу. До них відносяться безштокові пневмоциліндри і транспортні системи, а також пневмомускул. Вони були винайдені досить давно, вони існували в макетах протягом десятиліть, але придатні для експлуатації конструкції на основі нових технічних рішень та застосування нових матеріалів були створені лише останніми роками, після чого деякі провідні фірми стали випускати їх серійно. Серійний випуск супроводжується рекомендаціями щодо вибору та застосування. Однак теорія подібних пневматичних пристроїв досі не була розроблена.

В магістерській роботі наводяться результати опрацьованої методології використання пневмомускулів в мехатронних модулях пакування, об'єднані ідеєю не традиційного використання (стосовно нових конструкцій та пристроїв) в пакувальній індустрії, саме тому робота є актуальною.

Розділ 1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА СХЕМ ЗАСТОСУВАННЯ ПНЕВМОМУСКУЛІВ В МЕХАТРОННИХ МОДУЛЯХ ПАКУВАННЯ

1.1 Аналіз та огляд конструкцій пневмомускулів

Останнім часом велике поширення в техніці стали знаходити конструкції із застосуванням силових м'яких оболонок. Надувні, найчастіше замкнуті, армовані оболонки можуть застосовуватися як нетрадиційні рішення силових частин приводів маніпуляторів та інших засобів автоматизації. Хоча такі конструкції відомі вже досить давно, з появою нових матеріалів та технологій виявилось можливим перейти від ідей до їхнього практичного здійснення.

Під гнучким приводом розуміється пневматича конструкція, що складається з еластичної оболонки, армованої гнучкими нерозтяжними зв'язками. Гнучкі зв'язки являють собою систему окремих ниток, тросів або сітки. Такі приводи в літературі називаються також: "пневматичні м'язи", "механічні м'язи", "двигуни оболонкового типу", "приводи з гнучкими або гнучко-еластичні елементи" і так далі. Принцип дії подібного двигуна полягає в тому, що при вступі до герметичної порожнини оболонки робочого тіла (зазвичай повітря), оболонка роздувається та спирається на гнучкі зв'язки. Створюються зусилля, що приводять у дію ланки виконавчих механізмів[1].

Найбільш відомим гнучким приводом є пневмомускул McKibbenMuscle. Цей пневмомускул був введений лікарем Джеррі Маккібеном для ортопедичних цілей у п'ятдесяті роки минулого століття через схожість характеристик «тягнуче зусилля-скорочення» між цим штучним м'язом і скелетним м'язом людини. Вона являє собою тонкостінну еластичну трубку 1, армовану сіткою-обплетенням 2, отриманою нитками, покладеними спіралью хрест-навхрест у вигляді набору ромбічних осередків (рис. 1.1). Краї оболонки герметично закріплені у приєднувальних елементах. При

підвищенні тиску в трубці (зазвичай до 0,5 - 0,8 МПа через обмежену міцність матеріалу), відбувається скорочення м'яза і зміна зусилля, що тягне[3].

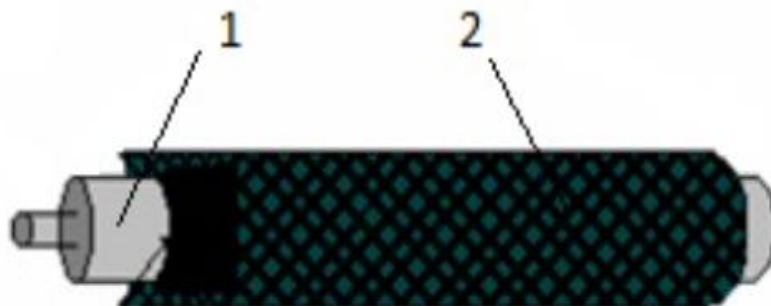


Рис 1.1 М'яз Маккібена; 1- тонкостінна еластична трубка, 2 – армована сітка-обплетення

Для кращого розуміння процесів, що приходять, скористаємося диференціальними рівняннями термодинаміки . За проміжок часу dt в оболонку пневмомускула, що знаходиться під відносним тиском p , подається нескінченно мала маса газу dm . В результаті обсяг оболонки збільшується на dV , а робота розширення визначається виразом:

$$dW_m = p dV \quad (1.1)$$

За той же час dt довжина пневмомускула змінюється на величину dl , а величина роботи з подолання зовнішнього навантаження F визначається:

$$dW_l = -F dl \quad (1.2)$$

Нехтуючи деформацією матеріалу еластичної оболонки та інерційними властивостями пневмомускула, прирівняємо величину роботи розширення (1) та роботи з подолання навантаження (2). Тоді зусилля пневмомускула, що тягне, можна записати:

$$F = -p \frac{dV}{dl} \quad (1.3)$$

Зазначимо очевидні закономірності, які виходять з рівняння (3):

1. Зусилля, що розвиваються, прямо пропорційні величині відносного тиску газу в оболонці.

2. Зусилля, що розвиваються, також залежать від зміни обсягу з урахуванням довжини. Якщо привод працює при надмірному тиску ($p > 0$), обсяг зростає із зменшенням довжини.

3. Вираз $-dV/dl$ має розмірність $m^3/m=m^2$. Порівнюючи залежність (3) з аналогічною залежністю для зусилля, що розвивається традиційним пневмоциліндром, вираз $-dV/dl$ можна вважати аналогом площі поршня і називати ефективною площею приводу. Зусилля в традиційному циліндрі залежить тільки від тиску і площі поршня, яка залишається постійною незалежно від переміщення. У той час, як у гнучкому приводі зусилля при постійному тиску буде залежати від ефективної площі.

У міру скорочення довжини пневмом'язів від l_{max} до l_{min} її об'єм збільшується від V_{min} до V_{max} ефективна площа приводу зменшується, а зусилля зменшується з F_{max} до нуля (рис. 1.2). Теоретично при нульовому скороченні для деяких типів пневмом'язів зусилля, що розвивається, може прагнути до нескінченності (рис. 1.3).

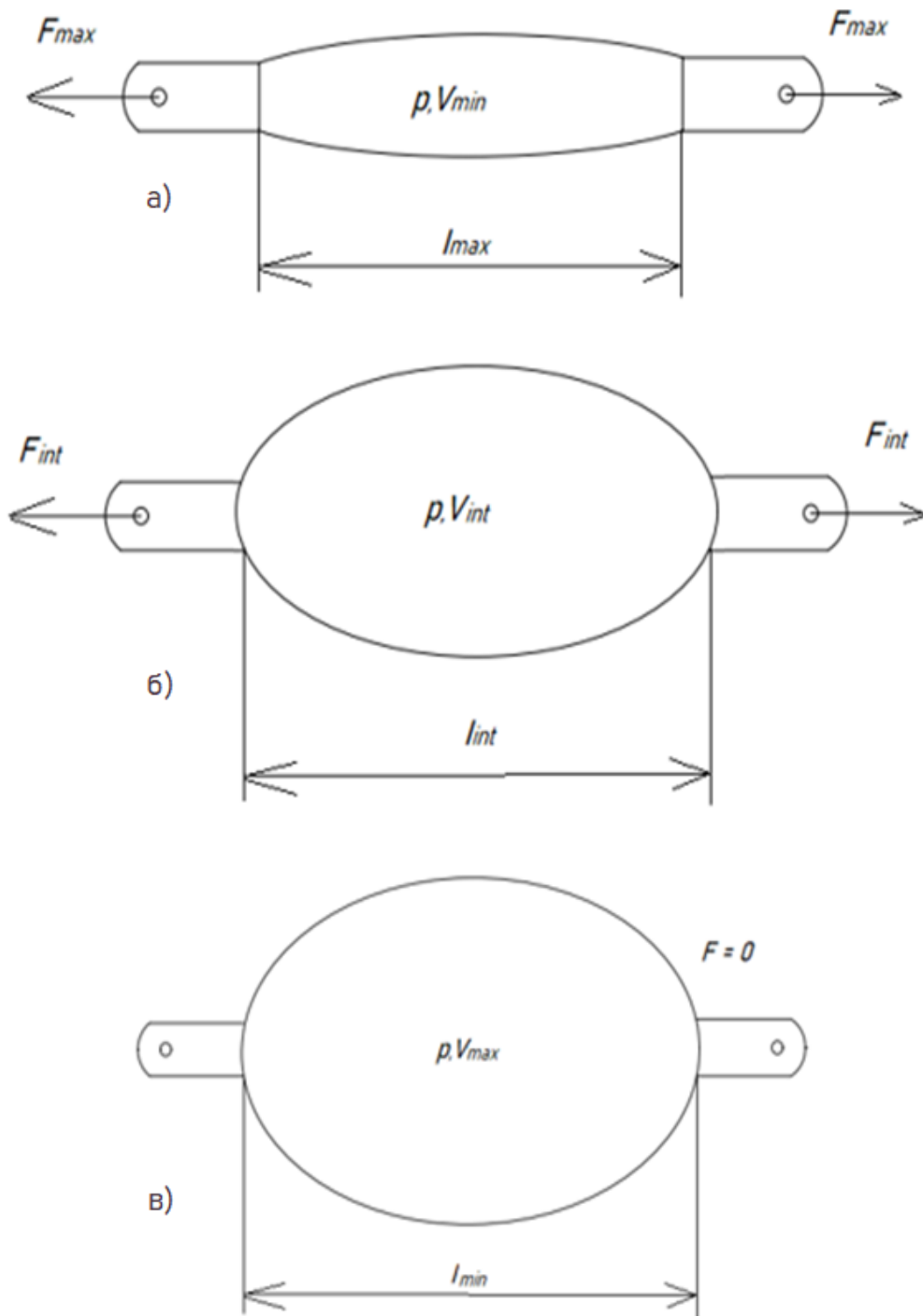


Рис 1.2 Робота довільного гнучкого приводу: а) при максимальному зусиллі F , максимальній довжині l та мінімальному об'ємі V ;

б) в робочому діапазоні зусилля F , довжини l та об'єму V ;

в) при нульовому зусиллі F , мінімальній довжині l та максимальному об'ємі V

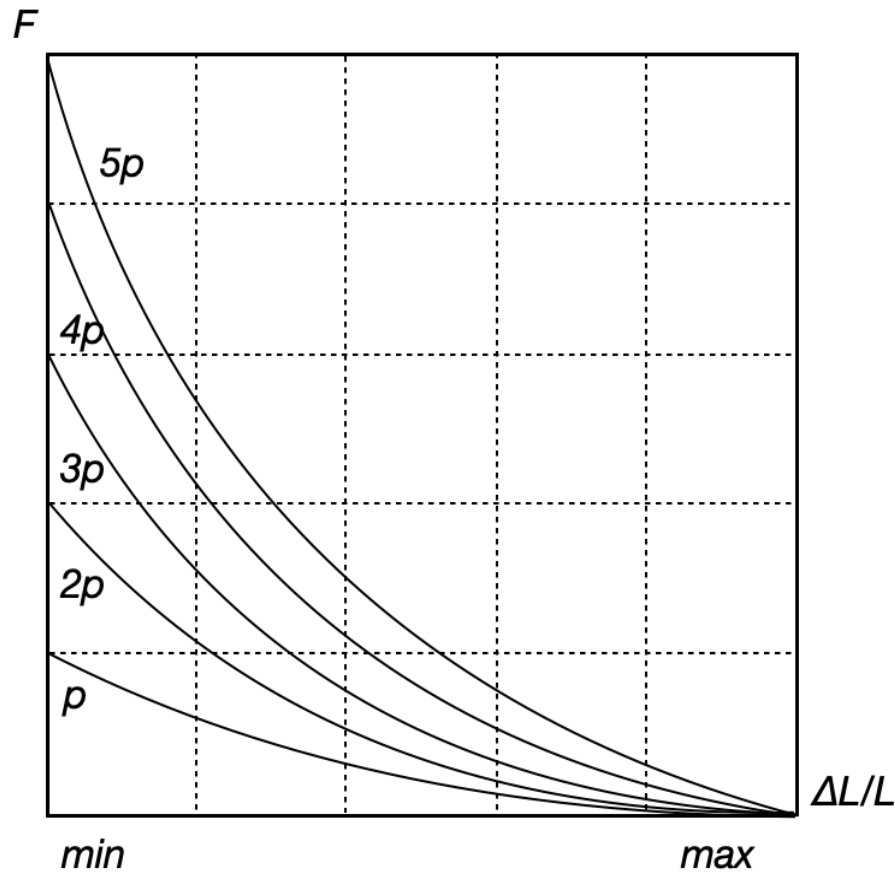


Рис 1.3 Статичні характеристики гнучкого приводу, де p – надлишковий тиск.

Жорсткість K , Н/м пневмом'яза, як впливає з рівняння (3):

$$K = \frac{dF}{dl} = -\frac{dp}{dV} \left(\frac{dV}{dp}\right)^2 - p \frac{d^2V}{dl^2} \quad (1.4)$$

Перша складова у виразі (4) визначається стисливістю газу. Друга визначається змінною ефективною площею $-dV/dl$ в умовах ізобарного процесу. Очевидно, що збільшення тиску збільшує його жорсткість приводу. Як і природні аналоги, пневмом'язи є приводами одностороннього впливу, які працюють на скорочення. Можливість двостороннього руху досягається застосуванням двох приводів, один із яких є антагоністом. Таке підключення приводів 1 та 2 можна називати антагоністичною парою, яка може бути поступальною (рис. 1.4) або обертальною.

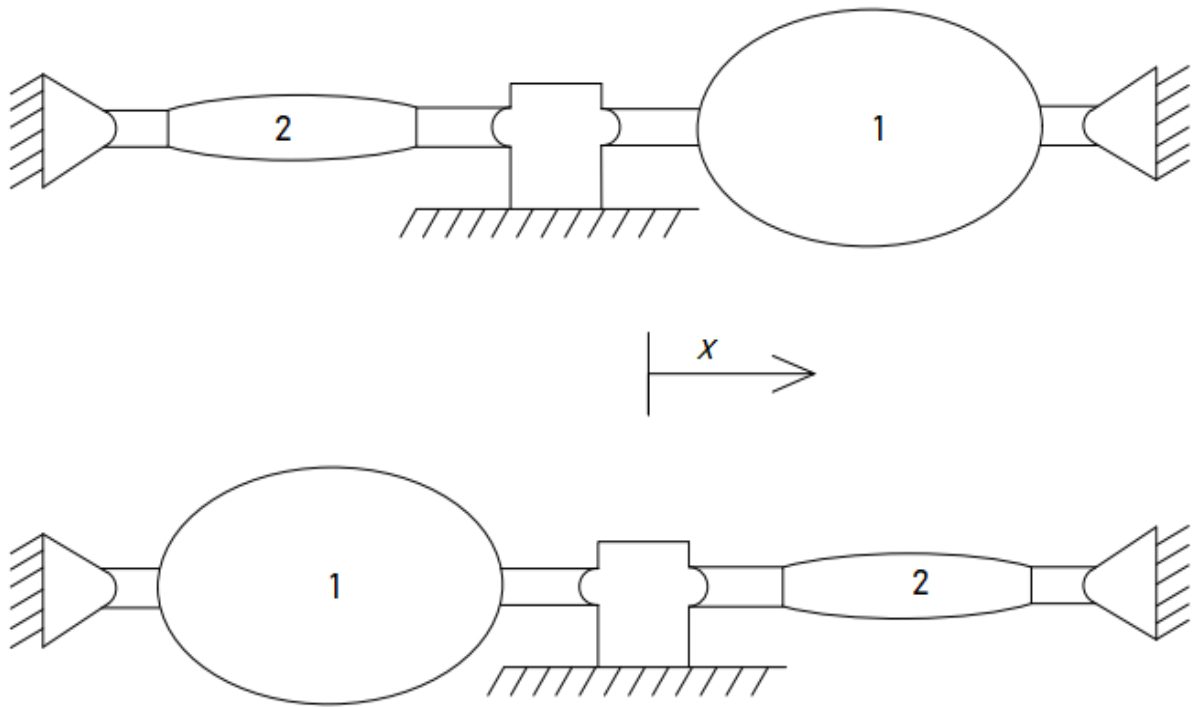


Рис. 1.4 Антагоністична пара

Положення антагоністичної пари визначається зовнішнім навантаженням, ставленням тисків та ефективною площею приводів. При зміні тиску p_1 і p_2 установка приходить в новий рівноважний стан, що визначається координатою x [2]. Позначивши початкову довжину м'язів позначивши початкову довжину м'язів l_{10} і l_{20} , а ефективну площу м'язів $-dV/dl$ через $f_i(l_i)$, визначимо зусилля кожного м'яза з рівняння (3):

$$F_1 = -p_1 f_1(l_{10} - x); F_{12} = -p_1 f_1(l_{10} + x) \quad (1.5)$$

У припущенні ідентичності обох приводів результуюча сила антагоністичної пари, що переміщує навантаження

$$F = F_1 - F_2 = -p_1 \frac{dV_1}{dl_1} + p_2 \frac{dV_2}{dl_2} = p_1 \frac{dV_1}{dx} + p_2 \frac{dV_2}{dx} \quad (1.6)$$

Жорсткість антагоністичної пари визначається

$$K = -\frac{dF}{dx} = -\frac{dp_1}{dV_1} \left(\frac{dV_1}{dx} \right)^2 - \frac{dp_1}{dV_2} \left(\frac{dV_2}{dx} \right)^2 - p_1 \frac{d^2V_1}{dx^2} - p_2 \frac{d^2V_2}{dx^2} \quad (1.7)$$

Рівняння (7) показує, що жорсткість антагоністичної пари зі збільшенням тиску зростатиме.

1.2 Приклади застосування пневмомускулів в мехатронних модулях

Замкнуті, армовані і, можливо, гофровані оболонки з пружного матеріалу (раніше використовувалося також найменування «штучний пневмом'яз») можуть застосовуватися як двигуни в різному устаткуванні, зокрема, в обслуговуючих (допоміжних) ПР із цикловим програмним управлінням, в умовах відсутності високих вимог щодо точності[4].

Принцип дії подібних двигунів полягає в тому, що при надходженні в порожнини (камери) оболонок робочого тіла (повітря) вони деформуються, створюють зусилля і надають руху ланки виконавчих механізмів. Очевидними перевагами надувних оболонок є простота, низька вартість та можливість повної герметизації внутрішньої порожнини[19]. Однак їм властиві суттєві недоліки: діапазон переміщень (хід) лінійного пневмодвигуна становить невелику частину (до 15%) від довжини оболонки, істотна нестабільність форми та недостатня довговічність матеріалів типу гуми або поліуретану при багаторазовому навантаженні що супроводжуються великими деформаціями, обмежений діапазон робочих температур.

Надувні оболонки із сильно деформованого матеріалу, які значно змінюють свою форму при заповненні камери, слід розглядати в першу чергу як специфічні технічні засоби, що іноді не мають конкурентів, коли використовується їхня властивість впливати на об'єкти безпосередньо своєю поверхнею, створювати розподілені навантаження, причому забезпечується висока рівномірність. в умовах, коли форма поверхонь об'єктів невизначена і може змінюватись у широких межах[20].

Відомі приклади самостійного використання надувних оболонок, наприклад, для підйому та вивішування великих та важких об'єктів з великими опорними поверхнями; Подушки безпеки використовуються в

автомашинах в аварійних ситуаціях при зіткненнях для м'якого притискання водія до спинки з метою виключення його переміщення вперед. Надувні оболонки використовуються і в промисловості, наприклад, в пристроях для притискання деталей при склеюванні по поверхнях великих площ, зсувних пристроях технологічного обладнання, як амортизаторів і так далі. У різних сферах застосування використовуються такі властивості: збереження форми, хоч і при невисокій жорсткості; адаптивність по відношенню до форм об'єктів, що змінюються при створенні розподілених зусиль; простота управління зусиллями, за певних умов, можливість отримання високої швидкодії при заповненні та випорожненні[5].

Інша сфера застосування тонких оболонок із малорозтяжних матеріалів. На надувних оболонках такого типу нині будуються аеростати та великі повітряні кулі, великі тимчасові споруди типу ангарів, аварійні трапи повітряних суден, атракціони у дитячих парках тощо. При великих розмірах номінальний необхідний надлишковий тиск невеликий, внаслідок чого неминучі протікання невеликі. Проте через неминучі протікання через сам матеріал і шви завжди потрібне безперервне підкачування повітря.

Важливою перевагою таких оболонок є малі габарити у складеному стані, тому вони добре пристосовані для транспортування та зберігання. У цих випадках суттєво властивість утримувати в заповненому стані в досить вузьких межах форму та розміри, що задаються викривками матеріалів; конструкції з таких елементів можуть мати пристойну жорсткість. Не виключено застосування подібних оболонок як елементів несучих конструкцій або навіть рухомих ланок механізмів, зокрема роботів різного призначення. Водночас очевидні й недоліки: неможливість отримання високої точності переміщень та розподілу тисків; небезпека проколу камер, невисока надійність, особливо при підвищених температурах тощо. Тому найчастіше вони використовуються лише як резервні або аварійні засоби.

Пневмомускули, які виконують функції двигунів, відрізняються тим, що форми і розміри обтяжок при надходженні повітря в камери змінюються цілком певним чином, ці зміни визначаються початковою формою і геометрією армування матеріалу оболонки спеціальним кордом. В принципі приводи на гнучко-деформованих оболонках можуть бути використані як позиційні: в квазістатичних режимах, які керуються тиском, можна задавати програмні переміщення[6]. Однак внаслідок нестабільності параметрів форми точність таких позиційних приводів буде низькою, і вони використовуються переважно для завдання переміщень «від упору до упору».

При реалізації розробок провідних фірм останніх років певні перспективи мають лінійні пневмодвигуни на пружних оболонках, у каталогах вони називаються пневмомускулами. Типові лінійні пневмомускули, які б не були їх форми, призначаються для створення осьової сили та (або) осьового переміщення; у таких двигунах, як це зазвичай прийнято, можна виділити основу та вихідну ланку. Нерідко конструкція є симетричною, тому вибір підстави і вихідної ланки довільний[21].

Розглянемо кілька прикладів застосування пневмомускулів: Внутрішні транспортні перевезення, як правило, включають транспортування упакованих товарів з метою зберігання та вилучення зі складу або тимчасового зберігання. У багатьох випадках для цього використовують стрічкові конвеєри. Незважаючи на те, що установки цього типу відносно прості в механічному відношенні, вони, тим не менш, потребують приводів і приводів натягу різних типів. Це також включає підтримку натягу шківів і конвеєрних стрічок. Якщо натяг встановлено неправильно, то фрикційне затування ременя порушується. На рис. 1.5 показано деякі рішення, де м'яз використовувався як приводний механізм.

Розглянуто використання м'язу для натягу ременя, оскільки він надзвичайно міцний і забезпечує адаптовану амортизацію.

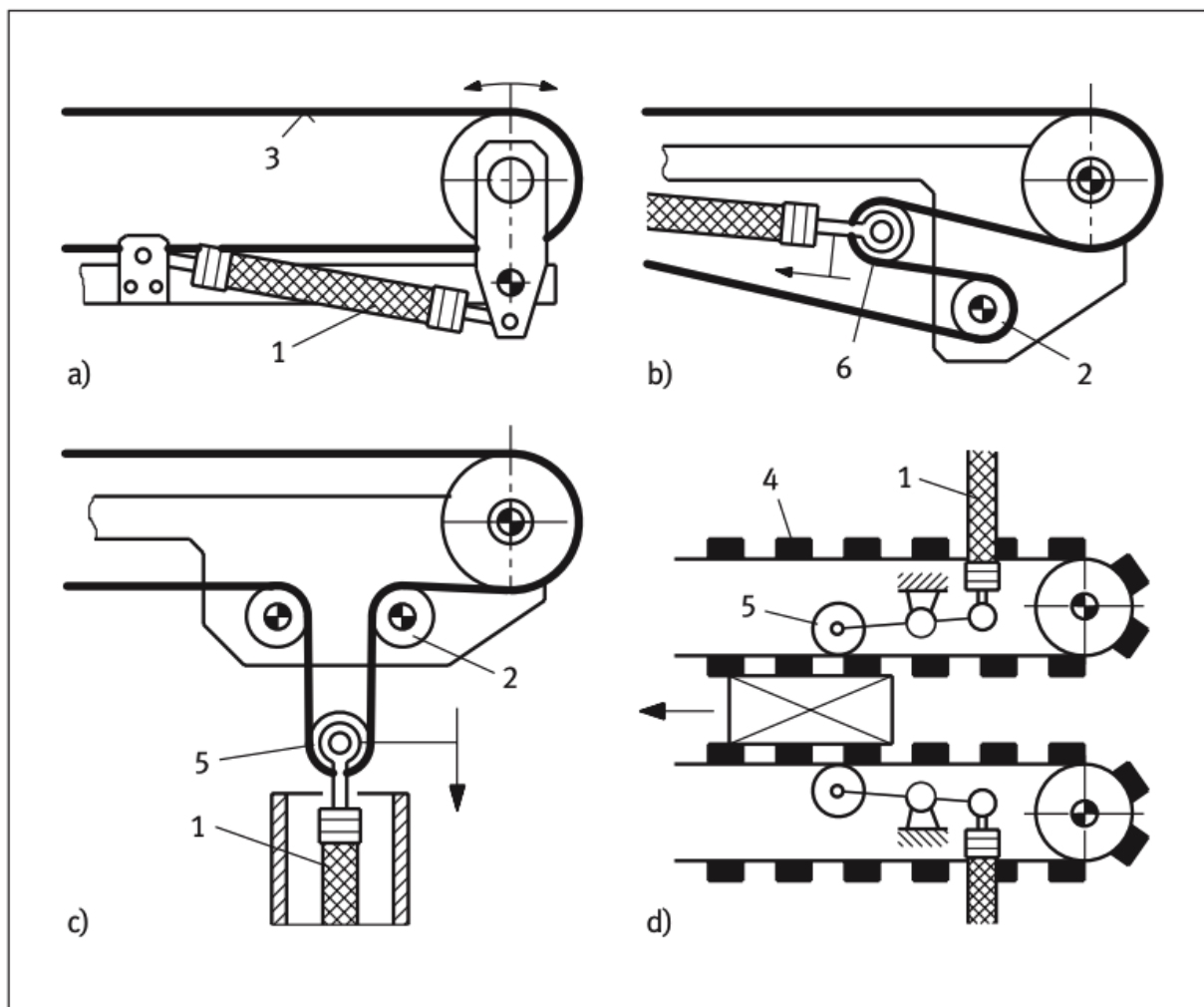


Рис. 1.5 Рішення для натягувачів стрічки конвеєра: а) Зміщення направляючого ролика; б) Привод натягу на опорі конвеєрної стрічки; с) Вертикальна тяга конвеєрної стрічки; д) Натягувач ремня; 1- м'яз, 2 - направляючий ролик, 3 - конвеєрна стрічка, 4 - ремінь з лопатками, 5 - натягувач ремня, 6 - натяжний ролик.

Проблема сил тертя також виникає у випадку уповільнюючого роликового конвеєра (рис. 1.6). Перевага конвеєрів цього типу полягає в тому, що об'єкти, що транспортуються, не створюють ніякої динамічної сили, якщо вони зупиняються на ділянці стрічки та накопичуються. Конвеєрна стрічка, показана в прикладі, використовується виключно для приводу конвеєрних роликів. Це відбувається під час тиску на м'яз. Коли транспортовані товари досягають датчика, стиснене повітря вимикається.

Контактні ролики на поворотних важелях роз'єднані, і приводна стрічка конвеєра більше не контактує з фактичними роликами конвеєра. Транспортування не продовжується, доки сигнал процесу не пройде в обхід датчика[7].

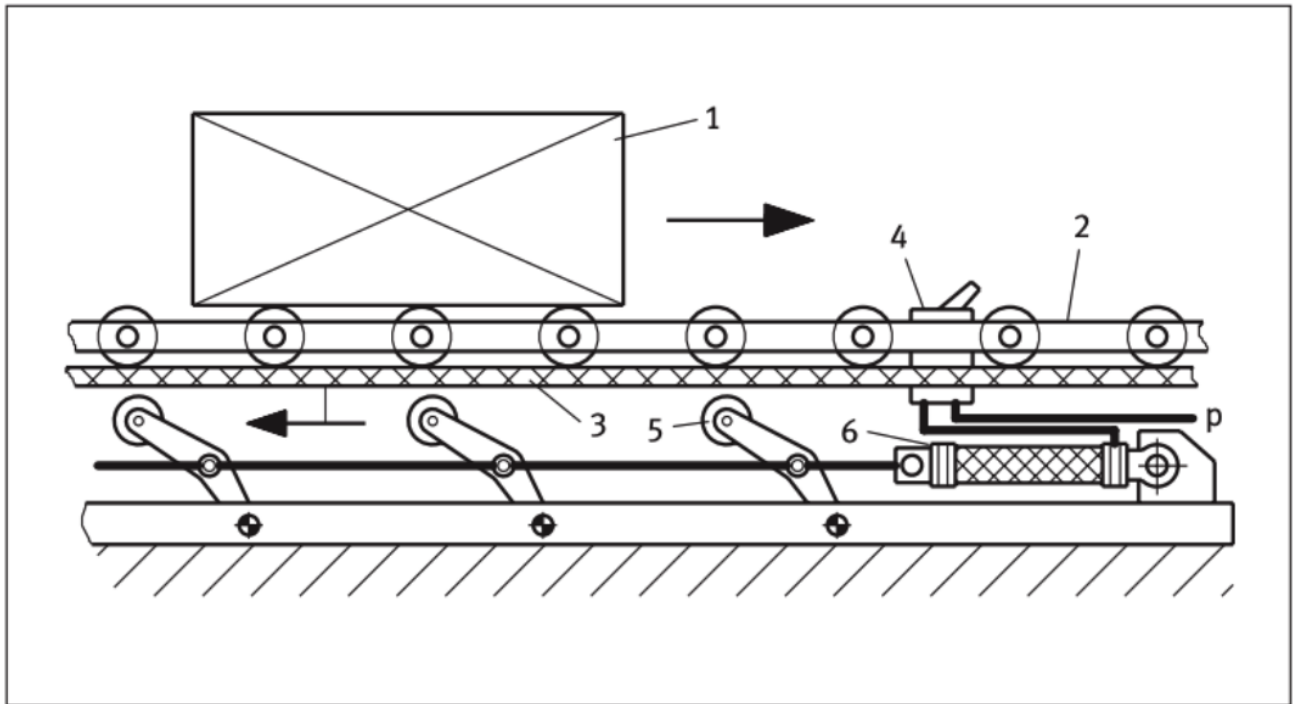


Рис. 1.6 Уповільнюючий роликовий конвеєр з пневматичним відключенням; 1 - товар, що транспортується, 2 - роликовий конвеєр, 3-приводний ремінь конвеєра, 4 - пневматичний датчик, 5 - контактний ролик, 6 - пневмомускул, р - магістраль стисненого повітря.

Розподіл потоків товарів може здійснюватися на горизонтальному рівні за допомогою паралельно налаштованих сортувальних ліній. Це також можливо вертикально, що означає економію дорогих виробничих площ. Однак різні рівні зберігання повинні бути індивідуальними. Принцип розподілу, організованого таким чином, можна побачити на рис. 1.7. На кожній стороні конвеєра встановлено пневмомускул, який за допомогою тиску встановлює конвеєр у трьох положеннях. Цей процес також можна здійснити автоматично, якщо, наприклад, лазерний сканер використовується для зчитування відкритої текстової інформації або графічних кодів і генерує

команди налаштування. Прикладене навантаження поворотного конвеєра можна трохи зменшити за допомогою балансуючої ваги або за допомогою сили пружини[8].

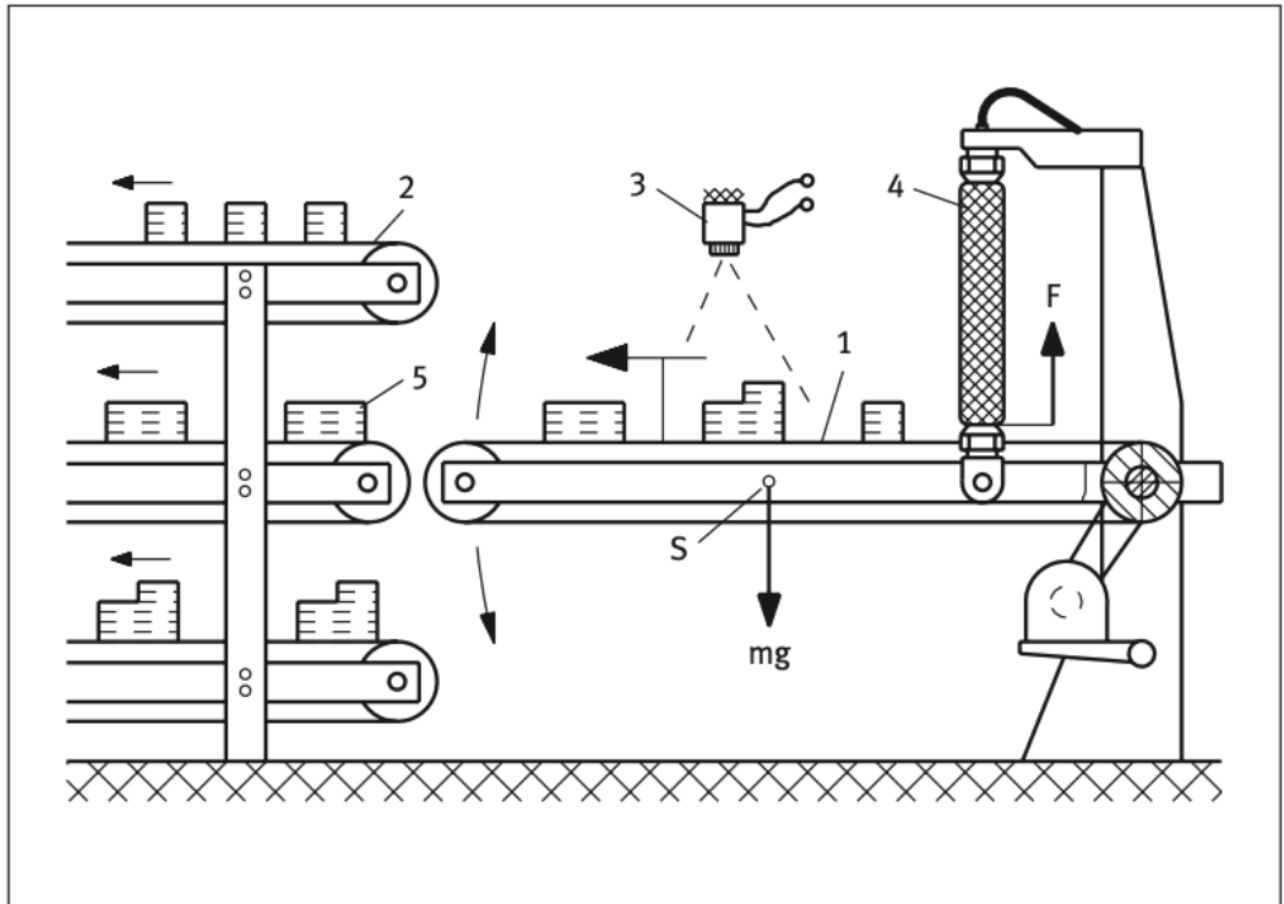


Рис. 1.7 Розподіл потоків товарів; 1 - конвеєр, 2 - сортувальний складський транспортер, 3 - зчитувач штрих-кодів, 4 - пневмомускул, 5 - транспортований товар, g - прискорення сили тяжіння, m - маса, S - центр ваги.

В сільському господарстві, промисловості будівельних матеріалів і в хімічній промисловості сипучі матеріали часто вивантажуються і подаються з бункерів. Зазвичай вивантаження сипкого матеріалу має бути контрольованим. Об'ємний потік часто встановлюється досить приблизно за допомогою простих ковзанок або заслінок. Використання пневматичних циліндрів дозволяє лише вмикати/виключати налаштування, що зазвичай

недостатньо в наш час. Плавно регульовані слайди або клапани можуть бути легко реалізовані за допомогою приводу Fluidic Muscle. На рис. 1.8 показано рішення для подачі корму для тварин, де противага діє як сила скидання. На Muscle не впливає забруднення навколишнього середовища, яке відбувається в сільськогосподарських приміщеннях.

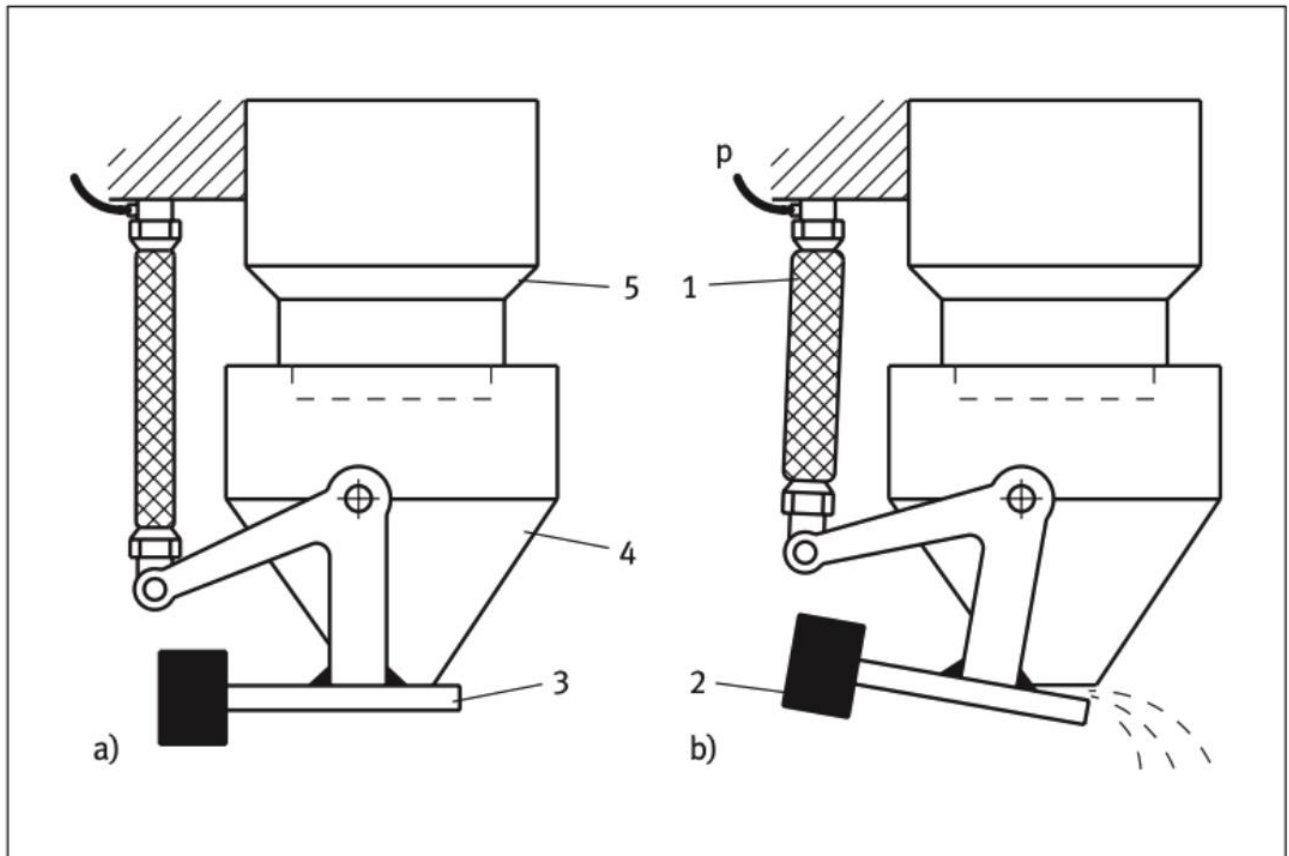


Рис. 1.8 Система управління заслінкою для подачі корму тваринам:
 а) Вивантаження заблоковане ; б) Об'єм вивантаження через контроль тиску, 1 - пневмомускул, 2 - противага, 3 - поворотний клапан,
 4 - бункер-контейнер, р - стиснене повітря.

Дещо іншої і технічно складнішої конструкції є гірка для подачі сипучого матеріалу, показана на рис. 1.9. Тут ковзання працює в межах лінійної напрямної. Вибираючи направляючу, слід переконатися, що вона не має тенденції накопичувати залишки порошку або грануляту, а натомість має

характеристики самоочищення (вертикальна направляюча, поворотні пластини)[9].

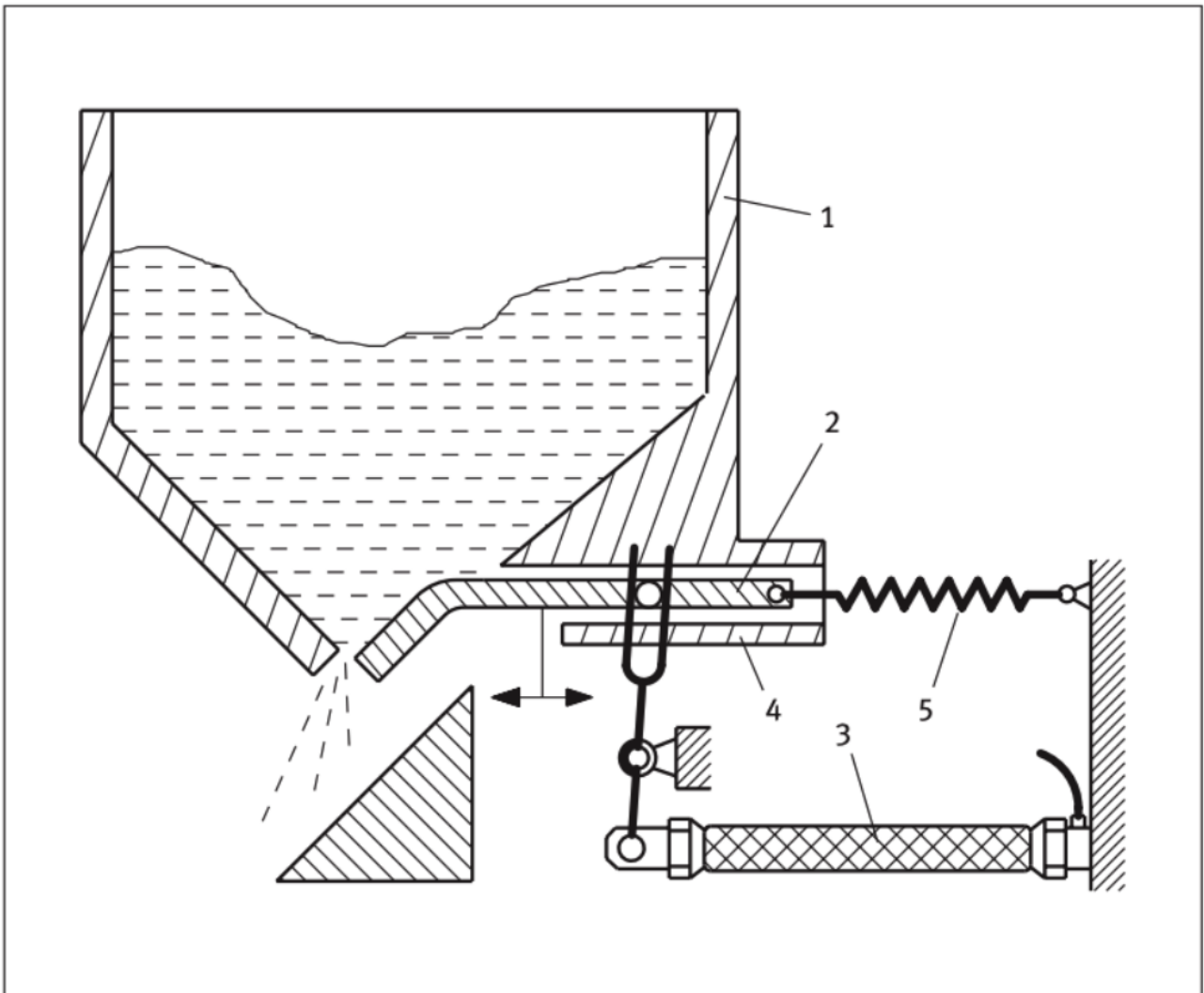


Рис. 1.9 Слайд-контроль для сипучих матеріалів; 1 - бункер, 2 - слайд-заслінка, 3 - пневмомускул, 4 - лінійна напрямна, 5 - пружина.

Рухи стають більш плавними і нагадують біологічний приклад. На рис. 1.10 показано шарнірні руки, здатні до площинного і просторового переміщення. проміжні положення можна легко запрограмувати з достатньою точністю за допомогою простого контролю тиску. Руки з

пневматичними приводами можуть у майбутньому також відігравати важливу роль у секторі сервісних робіт.

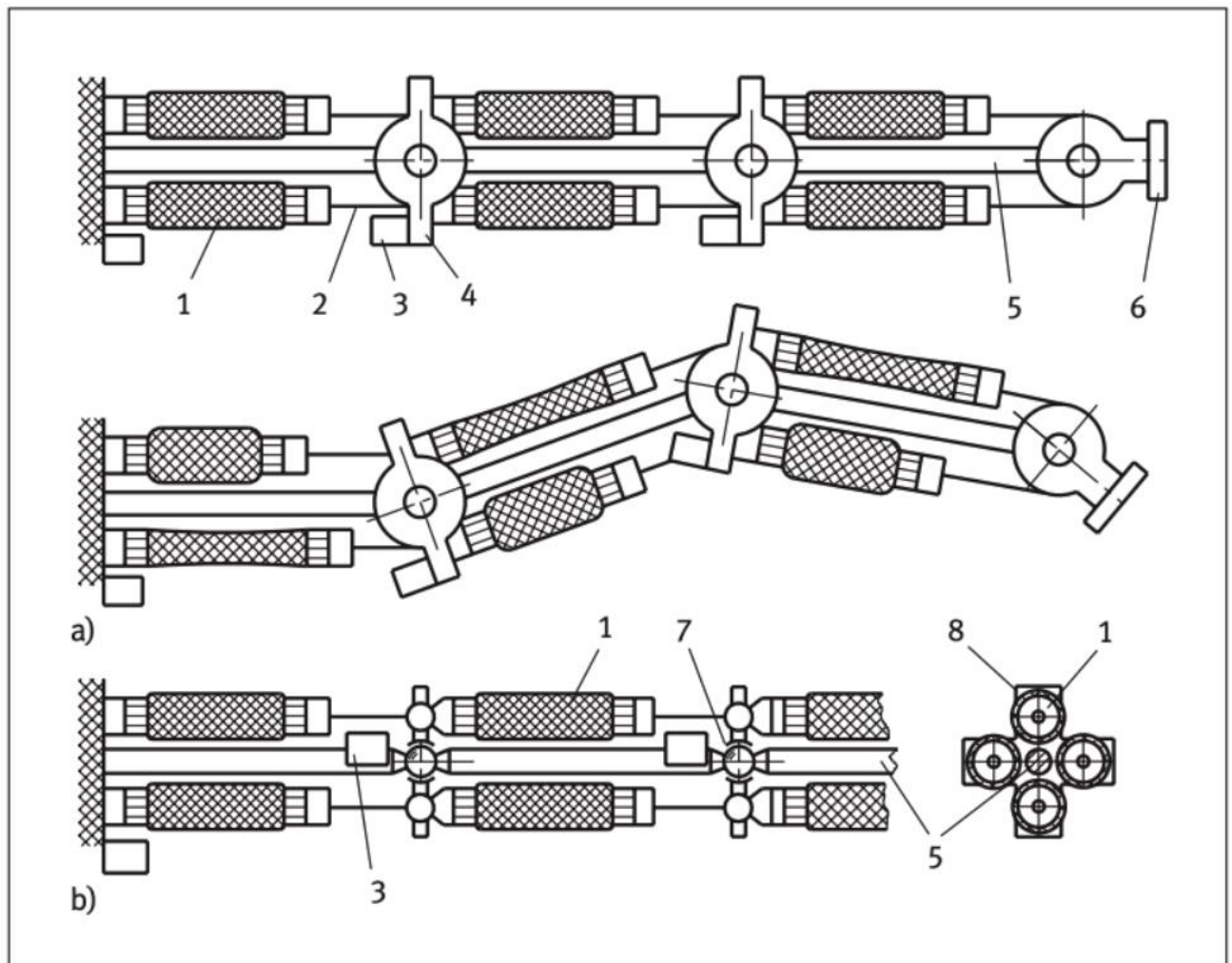


Рис. 1.10 Механізми руху на прикладі кінцівок:

а) Плоскорухома конструкція б) Просторово рухома конструкція

1 - пневмомускули, 2 - зубчастий ремінь, 3 - клапан, 4 - з'єднання рук,

5 - опорна труба, 6 - фланець для приєднання ефектора,

7 - кульовий шарнір, 8 - суглобова пластина

В індустрії розваг можна додати новий вимір до відеоігор і кінофільмів за допомогою простої пневматичної конструкції і таким чином підвищити якість досвіду. Одним з технічно можливих і ефективних рішень є заміна місць для сидіння на пневмомускули. Сидіння, зображене на рис. 1.11

спирається на центральну опору зі сферично рухомою головкою та опорною пружиною. Вільні рухи м'язів, що тягнуть-ковзають, і висока досяжна частота ударів дуже добре відповідають вимогам симуляції реальності.

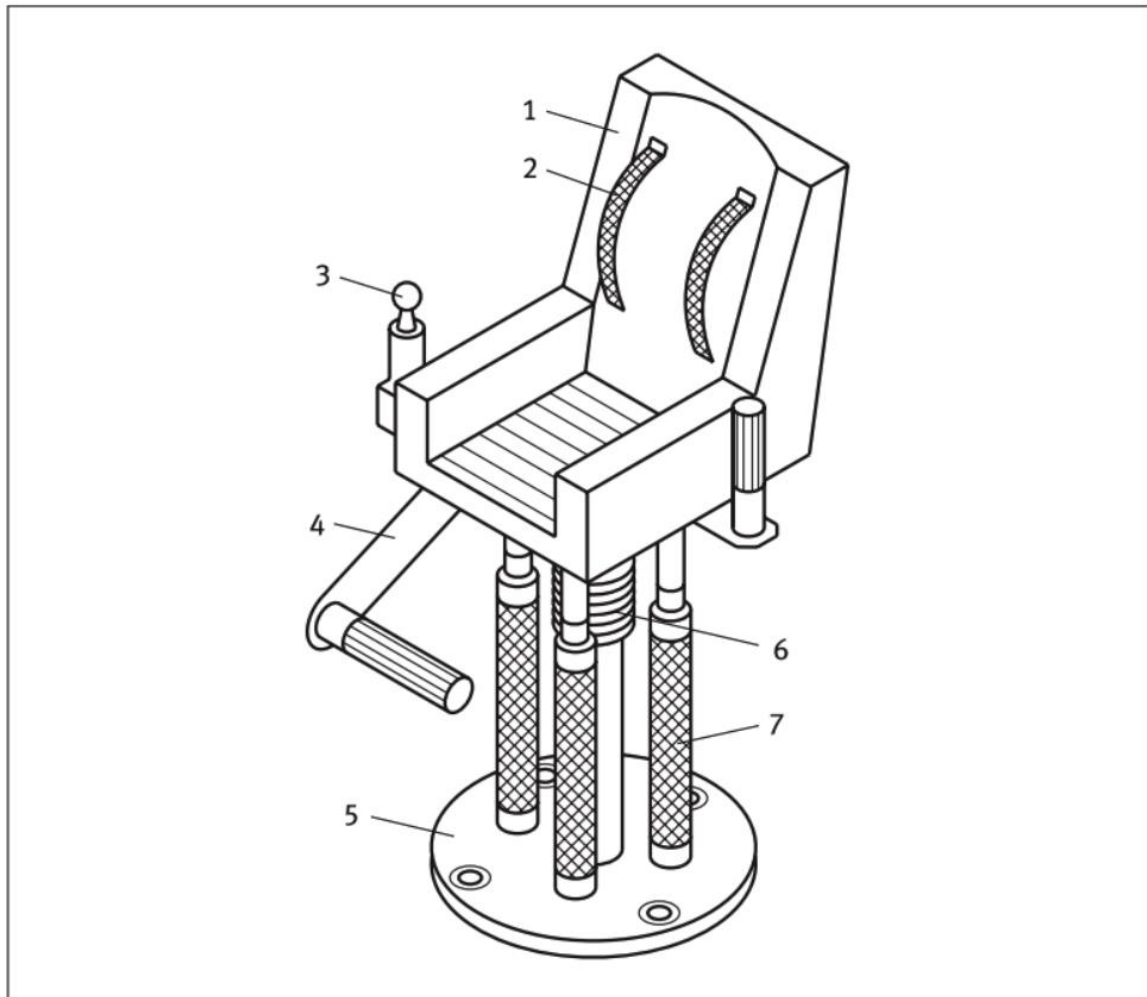


Рис. 1.11 Сидіння, що коливається, для симуляції, 1 - крісло, 2 - ремні безпеки, 3 - джойстик для керування кріслом, 4 - підставка для ніг, 5 - основна плита, 6 - центральна опора, 7 – пневмомускули.

1.3 Огляд пневмомускулів компанії FESTO

Наприкінці минулого століття фінансові перспективи від виробництва гнучких приводів призвели до того, що кілька наукових центрів майже одночасно розпочали роботу з розробки та виробництва таких приводів. У Німеччині таким центром став концерн FESTO, в Англії роботи

ведуться компанією Shadow robot company, США – компанією SRI International, у Японії Bridgestone Rubber Company[10]. У Бельгії роботи ведуть у Брюссельському Вільному університеті під керівництвом D. Lefeber. Лідером у виробництві гнучких приводів є німецький концерн FESTO, який утримує до 60% світового ринку пневматики . У концерн входить 58 незалежних компаній, має понад 250 філій та представництва ще у 39 країнах. У 176 країнах здійснюється післяпродажне обслуговування. Кількість співробітників близько 13 500, товарообіг 1,3 млрд євро. Під керівництвом В. Logens концерном FESTO розроблено конструкцію пневматичного м'яза MAS (рис. 1.12). При його виробництві використано високотехнологічний принцип створення об'ємної ромбічної сітки. Поверх тонкої трубки еластомеру наноситься тонкий шар полімеру, що підсилює, і укладається спіраллю армуюча нитка. Далі знову наносити шар посилюючого полімеру і укладається армуюча нитка протилежного напрямку. Отримана ромбічна мережа заливається остаточним шаром полімеру[11]. Тягові зусилля, що розвиваються на початку скорочення в 10 разів більше, ніж пневматичний циліндр того ж діаметру (рис. 1.13).



Рис. 1.12 Пневматичний мускул MAS Festo

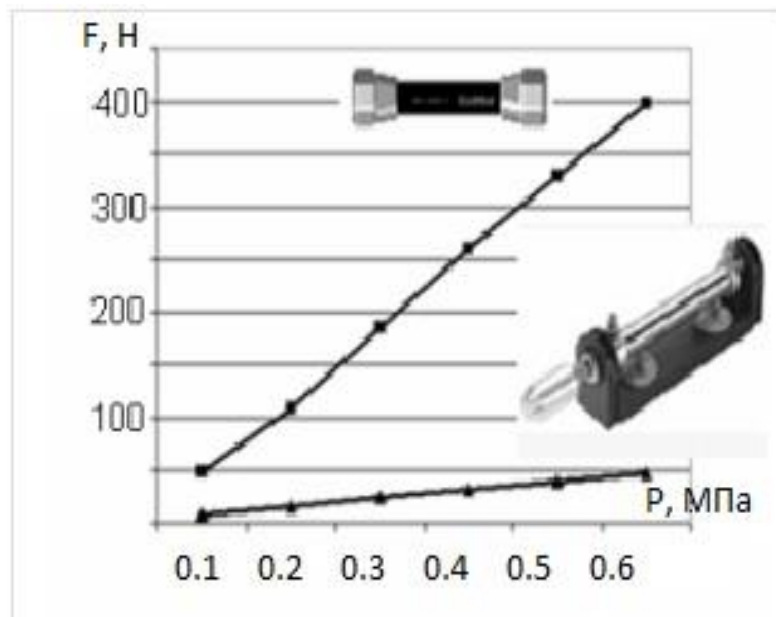


Рис. 1.13 Порівняльні характеристики MAS-10 і стандартного пневматичного циліндра того ж діаметра

У табл. 1.1 наведено основні характеристики м'язів MAS, що випускаються, діаметрами 10, 20 і 40 мм. Концерн FESTO активно використовує пневмомускули у власних технологіях (рис. 1.14).

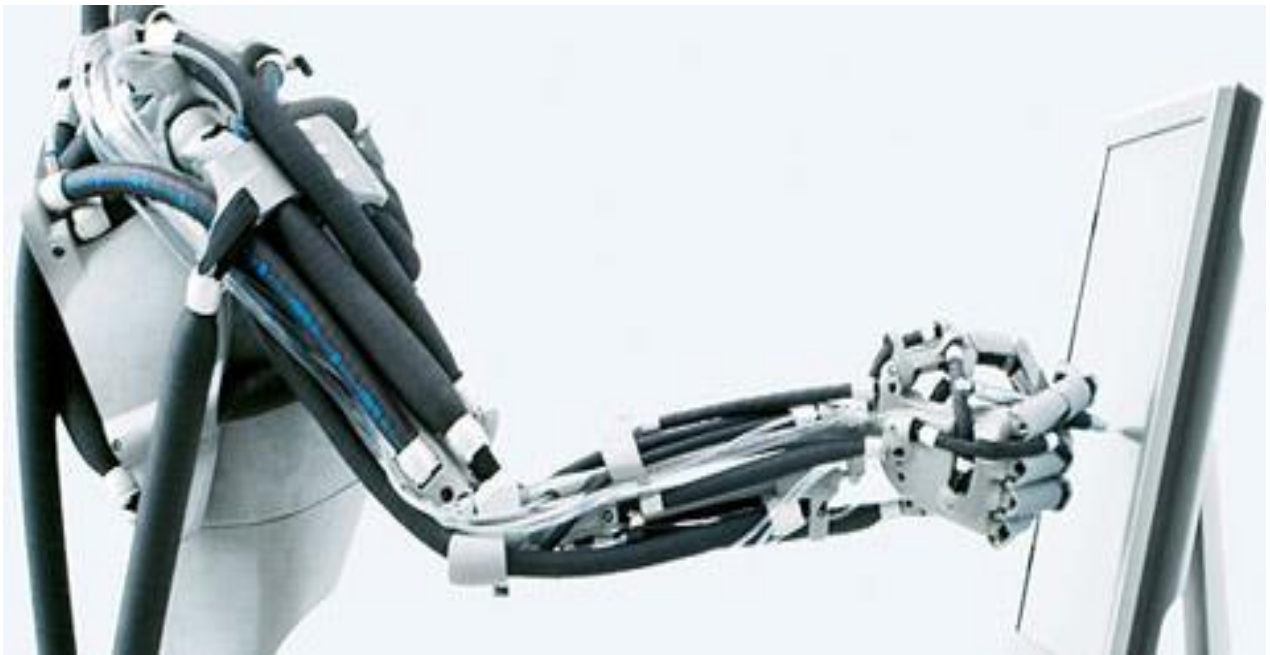


Рис 1.14 Робот концерну Festo

Таблиця 1.1

Характеристики пневматичних м'язів MAS

Типорозмір пневматичного м'яза MAS	Початковий діаметр трубки, мм	Максимальний допустимий робочий тиск, МПа	Максимальне скорочення, % номінальної довжини	Максимальне зусилля при тиску 0,6 МПа, Н
MAS-10	10	0,8	20	400
MAS-20	20	0,6	20	1200
MAS-40	40	0,6	25	4000

1.4 Огляд пневмом'язів компанії Shadow Robot Company

Британська Shadow Robot Company заснована Річардом Грінхіллом у 1987 році та розробляє повітряний м'яз Shadow Air Muscle з 1982 року[12]. М'яз виконаний з гумової трубки, покритої оболонкою у вигляді сітчастої панчохи (рис. 1.15)

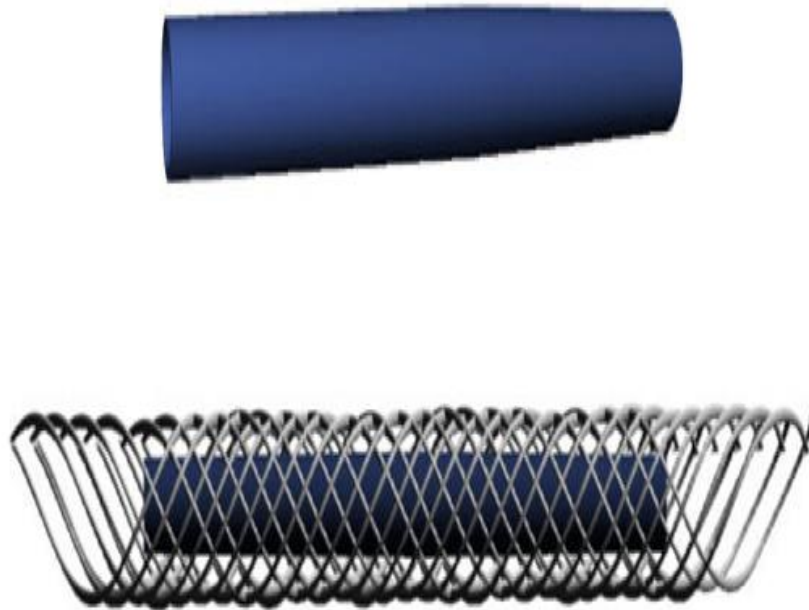


Рис. 1.15. Конструкція Shadow Air Muscle

Тиск стисненого повітря відносно невисокий і не перевищує 0,4 МПа. За рахунок невеликого попереднього розтягування трубки Air Muscle стискається до 40% своєї початкової довжини (рис. 1.16). Силві характеристики Shadow Air Muscle, що випускаються, відносно невисокі (табл. 1.2). Shadow Robot Company займається розробкою механічних рук для гуманоїдних роботів[13]. Одна з останніх моделей Dexterous Hand має 24 ступені свободи (рис. 1.17).








Рис. 1.16 Демонстрація роботи Air Muscle з деформації гвоздики



Рис. 1.17 Рука Shadow Dexterous

Характеристики Air Muscle

Типорозмір Air Muscle	Початковий діаметр трубки, мм	Довжина встановлення, мм	Діаметр фітинга	Зусилля при тиску 0.3 МПа, Н	Максимальне зусилля, Н
	6	150	4	30	70
	20	210	4	200	200
	30	290	4	350	700

1.5 Огляд пневмомускулів Dirk Lefebber

Dirk Lefebber з 1990-х років та інші дослідники з Брюссельського Вільного університету розробляють так звані плісовані або гофровані пневматичні штучні м'язи [14]. Особливістю цих м'язів є гофрована оболонка із поздовжніми складками, куди укладаються гнучкі нитки (рис. 1.18). При підвищенні тиску складки розгортаються, що знижує радіальну напругу в оболонці. Зазначається, що привод має можливість найбільшого скорочення та максимальні статичні характеристики щодо інших гнучких приводів (рис. 1.19).

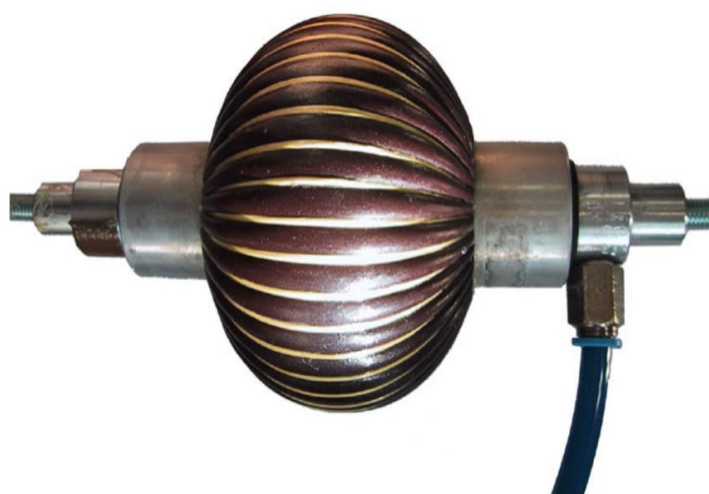


Рис. 1.18 Гофрований пневмомускул

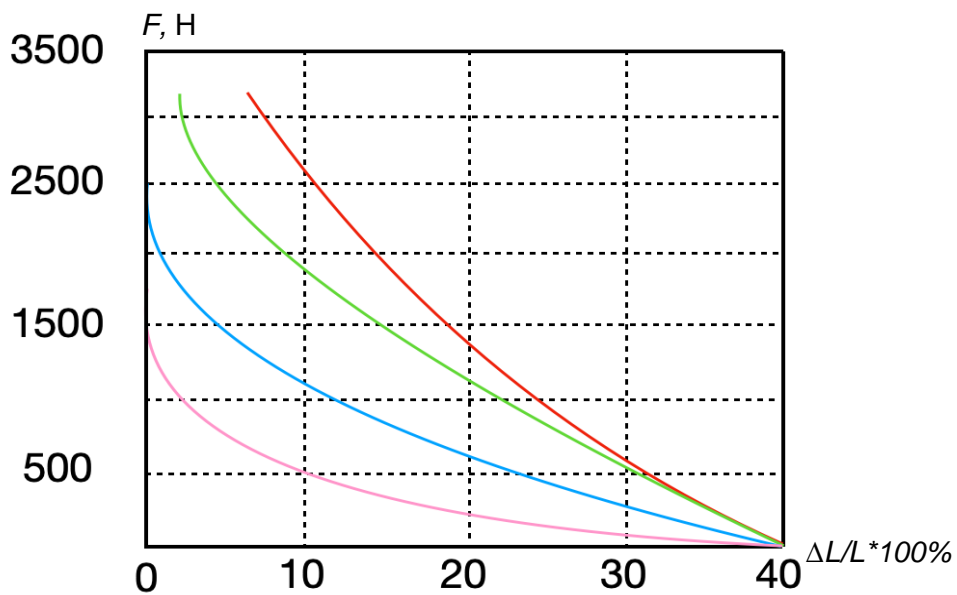


Рис. 1.19 Статичні характеристики гофрованого пневмомускула.

Розроблені гофровані пневмомускули застосовуються у приводі двоногого крокуючого робота Lucy (рис. 1.21). Це модульний робот із шістьма ступенями свободи, кожен суглоб приводиться в дію антагоністичною парою гофрованих пневмом'язів. Іншим проектом є копіювальний маніпулятор із вантажопідйомністю до 50 кг при власній вазі лише 25 кг (рис. 1.20)[15]. Привод здійснюється парами груп м'язів. Кожна група приводу розгиначів складається з чотирьох секцій м'язів, кожна група згиначів - з трьох. Таким чином, досягається великий діапазон переміщень.



Рис. 1.20 Копіюючий маніпулятор

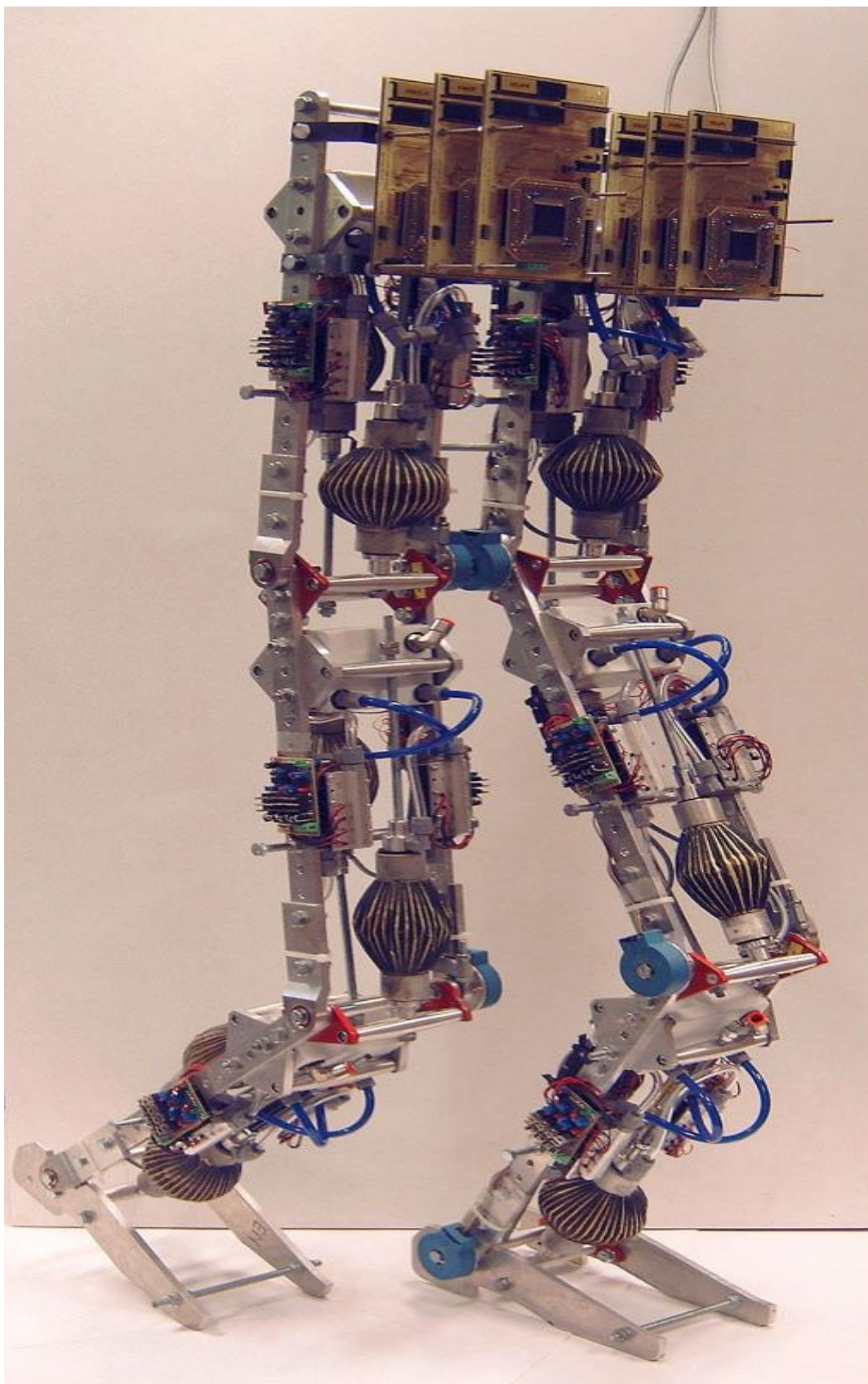


Рис. 1.21 Крокоучий робот Лусу

Висновки до розділу 1

В останнє десятиліття спостерігається значне збільшення промислового та наукового використання гнучких приводів в харчовій, переробній та пакувальній галузях[30]

Очевидними перевагами гнучких приводів у порівнянні з традиційними приводами на базі пневмоциліндрів є: значно більші зусилля, що розвиваються (особливо на початку діапазону скорочення), більший діапазон регулювання швидкостей, значно менше тертя між рухомими частинами приводу, істотно менша вартість, можливість повної герметизації внутрішньої порожнини, велика питома потужність, зменшення споживання газу, зниження експлуатаційних витрат. Однак їм властиві деякі недоліки: діапазон переміщень пневмомускула становить невелику частину від довжини, трохи менший діапазон робочих температур, і особливості: нелінійні характеристики виконавчого двигуна, є приводом односторонньої дії. Таким чином, гнучкі двигуни мають значні переваги над традиційними приводами, але їх використання все ще знаходиться в ранній стадії у зв'язку з відносною новизною. З появою багатьох нових видів упаковок постала необхідність в швидкому переналаштуванні пакувального обладнання, тому нове сучасне пакувальне обладнання на основі мехатронних модулів виробляється на базі модулів підйому, лінійного переміщення та зіштовхування – саме вони є основними складовими пакувальних комплексів та можуть використовуватися як робочі органи, що призводить до зменшення собівартості конструкції, а сервопневматичні схеми керування перетворюють їх на повноцінні мехатронні модулі.

Постановка задачі дослідження

- 1.** Розробити математичну модель роботи пневмомускулів та визначити оптимальну методику розрахунку пневмомускулів в мехатронних модулях пакування.
- 2.** Виготовити експериментальну установку та провести дослідження роботи пневмомускулу щодо його динамічних характеристик.
- 3.** Отримати та проаналізувати динамічні характеристики пневмомускулу.

Розділ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РОБОТИ ПНЕВМОМУСКУЛІВ

2.1. Методика розрахунку пневмомускулів.

Важливою додатковою перевагою лінійного приводу на деформованих оболонках при проектуванні конструкцій є те, що немає необхідності опрацьовувати кінематичні пари у вузлах з'єднання фланців пневмомускулів зі ланками: у досить широких межах можуть змінюватися кути поворотів та перекося[16]. Запропоновано велику кількість схем пневмомускулів на основі армованих оболонок. Найпростішою є схема рис. 2.1 гладкої однорідної циліндричної оболонки радіусу r і товщини t .



Рис 2.1 Схема однорідної циліндричної оболонки

При подачі надлишкового тиску p в камеру оболонки в середній частині оболонки за відсутності зовнішньої осьової сили кільцева та осьова нормальні напруги за безмоментною теорією визначаються виразами.

$$\sigma_k = \frac{pr}{t}; \sigma_o = \frac{1}{2}pr/t \quad (2.1)$$

Насправді є крайові ефекти, зумовлені тим, що торцеві частини є жорсткими і тому не можуть допускати радіальні деформації, так що форма оболонки після подачі тиску набуває такого вигляду, як показано на рис.2.1 пунктиром. Однак при достатній відносній довжині вплив крайових ефектів незначний і надалі ними нехтується.

У припущенні справедливості закону Гука відносні подовження за вказаними напрямками дорівнюватимуть

$$\varepsilon_k = E^{-1}(\sigma_k - \mu\sigma_o) = pr(tE)^{-1}\left(1 - \frac{1}{2}\mu\right); \varepsilon_o = E^{-1}(\sigma_k - \mu\sigma_o) = pr(tE)^{-1}\left(1 - \frac{1}{2}\mu\right) \quad (2.2)$$

де E -модуль нормальної пружності, а μ - коефіцієнт Пуассона. Для матеріалів типу гуми коефіцієнт Пуассона $\mu = 1/2$. І тут при подачі тиску збільшується діаметр, а довжина мало змінюється, тобто. циліндрична оболонка з ізотропного матеріалу не може бути основою для пневмомускула. Добре відомою і поширеною була схема гофрованого сільфона (рис. 2.2 а). Сільфони, що виготовляються з бронзи та нержавіючої сталі, широко застосовувалися в приладах вимірювання тисків, на них можна будувати пневмомускули. Особливість пружних властивостей сільфона полягає в тому, що по відношенню до внутрішнього тиску він має малу осьову жорсткість, що визначається не розтягуванням, а вигин гофр[17]. Однак сільфон загалом при не дуже малій довжині має малу згинальну жорсткість, і при зусиллі осьового стиску легко втрачає стійкість особливо якщо він виконаний з матеріалу типу гуми.

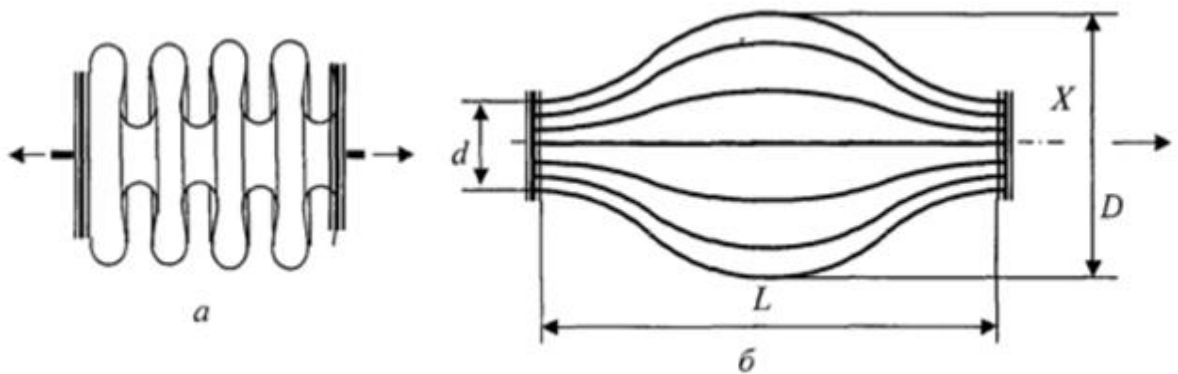


Рис. 2.2 а) схема гофрованого сільфона; б) пневматичний м'яз оболонкового типу.

Як пневмомускул, сільфон більше придатний при підключенні порожнини до вакууму, і тоді він буде створювати зусилля розтягування. При цьому, однак, має бути достатня жорсткість для того, щоб виключити зминання під зовнішнім надлишковим тиском.

Нові властивості пневмомускулам даного типу надає поєднання легкодеформованих оболонок з гнучким каркасом з нерозтяжних ниток. Цей каркас може бути зовнішнім, і тоді він є зовнішньою сіткою для оболонки. Однак кращим вважається внутрішнє армування пружних гумових оболонок кордом (капроновим або сталевим), цей прийом відкриває широкі можливості побудови пневмомускулів. Корд практично виключає деформації за певними напрямками і бере на себе відповідну напругу розтягування, створює бажану анізотропію пружних властивостей матеріалу оболонки, що дозволяє управляти у відомих межах деформаціями оболонок.

Найпростішою є схема циліндричної оболонки, в якій корд кільцевий або гвинтовий з малим кроком. Жорсткий або просто нерозтяжний корд практично виключає радіальне роздування оболонки (внаслідок цього виконується умова $\delta_k=0$), але не перешкоджає осьовим деформаціям і осьовому переміщенню. Таким чином, схема виявляється цілком придатною до створення аналога пневмоциліндра[18].

У літературі описується схема рис. 2.2 б. Тут оболонка значно відрізняється від циліндричної, у вихідному стані вона спучена, сильно роздута посередині. Корд тут поздовжній і тому вважатимуться, що довжина утворюють залишається незмінною. При подачі тиску в порожнину товщина збільшується, а внаслідок збереження довжин дуг, що утворюють, відбувається зменшення довжини. В описах зазвичай підкреслюється зовнішня схожість з м'язом людини при скороченні м'яз потовщується. Однак у даній схемі для отримання прийняттого зменшення довжини потрібно, щоб товщина була досить великою.

Виходячи з умови збереження довжин елементів корду, отримаємо для подібної оболонки кількісні співвідношення між осьовим скороченням ($-\Delta L$) по осі x і збільшенням ΔD) Початкового діаметра D_0 посередині. Вважаються заданими діаметр на кінцях та початкове значення довжини L_0 . Задамо

конкретне аналітичне рівняння лінії корду в площині XY . Відповідним є вираз:

$$y(x) = d + (D_0 + \Delta D) \left[1 - \frac{\cos 2\pi x}{L_0 - \Delta L} \right] \quad (2.3)$$

Передбачається, що у вихідному та кінцевому стані загальний вигляд залишається незмінним, але у кінцевому стані змінюються одночасно параметри і так що довжина дуги між початковою та кінцевою точками залишається незмінною. Умова збереження довжини дуги має вигляд

$$\int_0^{L_0 - \Delta L} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{1/2} dx = \int_0^{L_0} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)_0^2 \right]^{1/2} dx \quad (2.4)$$

де (dy/dx) - похідна при діаметру $(D + \Delta D)$, а $(dy/dx)_0$ - похідна при діаметрі D_0 .

Інтеграл у кінцевому вигляді не береться. Після чисельного обчислення інтеграла отримуємо шукану залежність ΔL як функцію ΔD . Ці залежності зручно уявити у безрозмірному вигляді, відносячи всі лінійні величини до довжини L . Виконано розрахунки залежностей відносного переміщення

$$\frac{\Delta L}{L_0} \text{ від } \frac{\Delta D}{D_0} \text{ і } \frac{\Delta D}{\Delta L} \text{ від } L_0/D_0$$

Вони представлені відповідно на рис. 2.3 а та 2.3 б

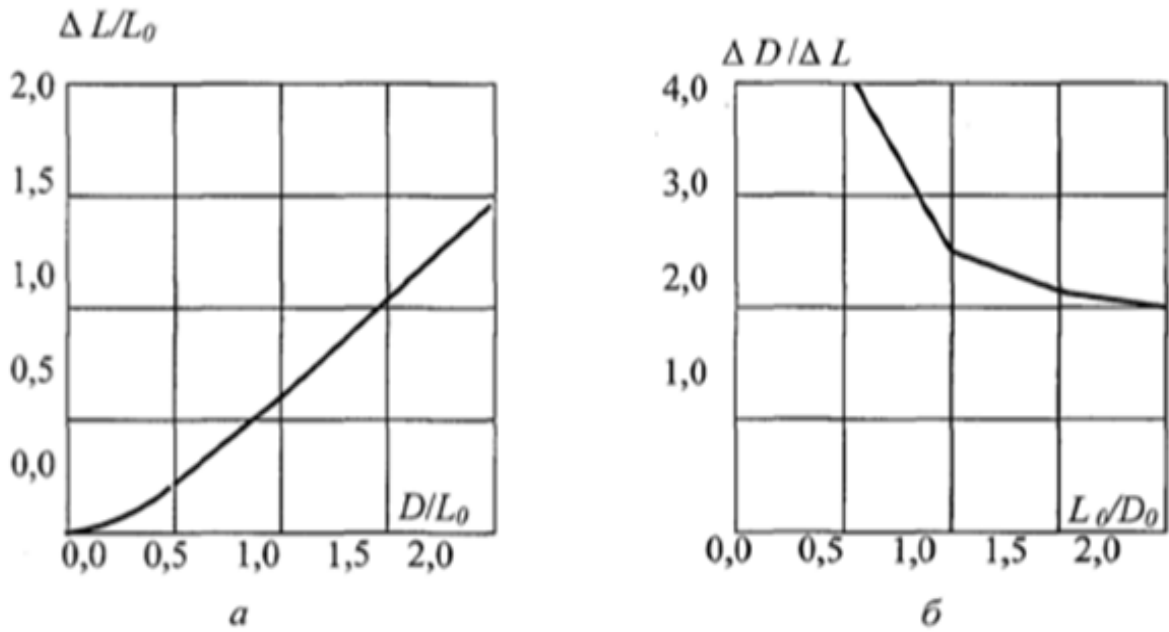


Рис. 2.3 Графік залежностей відносного переміщення: а) $\frac{\Delta L}{L_0}$ від $\frac{D}{L_0}$;

б) $\frac{\Delta D}{\Delta L}$ від $\frac{L_0}{D_0}$

Видно, що для отримання відносного подовження в десятки відсотків необхідно мати дуже товстий м'яз з ставленням найбільшого діаметра до довжини одиниці.

Пневмомускули розглянутого типу працюють зазвичай при малих подовженнях, що не перевищують 15-20%. Тому наближений розрахунок співвідношення між довжиною та розміром поперечного перерізу може бути здійснений за лінеаризованим співвідношенням, одержуваним (2.4). При лінеаризації задається мале збільшення похідної $\Delta dy/dx$ і малим вважається збільшення довжини - ΔL . З точністю до складових першого порядку малості отримуємо лінеаризоване співвідношення у загальному вигляді

$$\int_{L_0 - \Delta L}^{L_0} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)_0^2 \right]^{1/2} dx = \int_0^{L_0} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)_0^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{dy}{dx} \right)_0 \Delta \left(\frac{dy}{dx} \right) dx; \quad (2.5)$$

Прирошення похідної $\Delta(dy/dx)$ можна ставити, виходячи або з найпростіших гіпотез про характер деформування, або з вирішення задачі теорії пружності для оболонки, що деформується. Найпростіша гіпотеза полягає у припущенні, що кінці пневмомускула закладені і дотичні до

контуру паралельні осі, тобто. поблизу кінців $(dy/dx)_0 \sim 0$. Про що при деформації форма утворюють зберігається, але розміри пропорційно збільшуються. Тоді приймається $\Delta(dy/dx) = \alpha(dy/dx)_0$ і в цьому випадку одержуємо остаточно вираз для скорочення поздовжнього розміру у вигляді інтеграла:

$$\Delta L dx = \alpha \int \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)_0^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{dy}{dx} \right)_0^2 dx \quad (2.6)$$

Звідси виходить шукана лінійна залежність $\frac{\Delta L}{L_0} = \chi \frac{\Delta D}{D_0}$ відносного подовження $\frac{\Delta L}{L_0}$ від відносного збільшення $\frac{\Delta D}{D_0}$ поперечного розміру.

Безрозмірний коефіцієнт пропорційності χ залежить від відношення вихідних значень розмірів $\frac{D_0}{L_0}$. Отримана залежність представлена на рис. 2.4

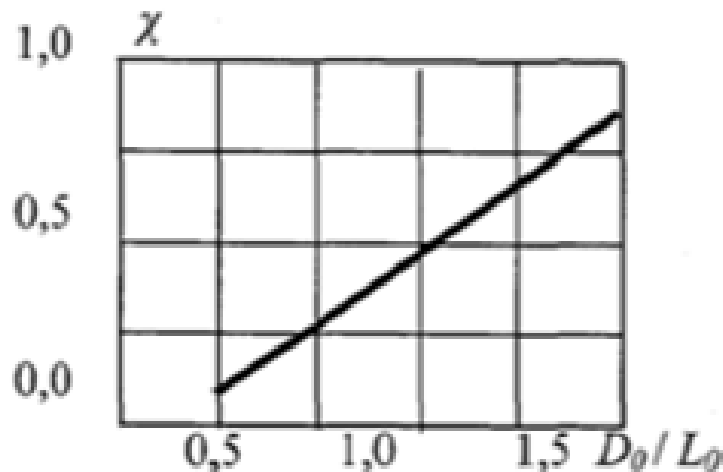


Рис. 2.4 Залежність координати пневмомускула χ від вихідних значень розмірів $\frac{D_0}{L_0}$.

2.2 Розрахунок характеристики пневмомускула з ромбічної сіткою корду

Фірмою SMC розроблено та випускається пневмомускул, середню частину якого утворює оболонка з пружного матеріалу (поліуретану, нейлону), з кордом, покладеним по ромбічній сітці так, як показано на рис. 2.5 а[19]. Точніше, слід сказати, що корд покладено по двох родин гвинтових ліній, що обертаються в протилежні сторони. При такому укладанні корду він однозначно визначає деформаційні можливості, а саме співвідношення між змінами довжини і діаметра, оскільки його жорсткість значно перевищує жорсткість оболонки. Розробники такого пневмомускула не наводять ні методики його розрахунку, ні результати експериментальних досліджень. На рис. 2.8 б зображено суцільною лінією елемент (комірка) цієї сітки у вихідному стані оболонки, а пунктирною лінією – у деформованому стані. Видно, що при осьовому подовженні товщина збільшується, а при стисканні зменшується. Як і у разі простої циліндричної оболонки, тут мають місце крайові ефекти (кінцеві частини оболонки пневмомускула замуровані і зміна діаметра неможлива. Надалі крайовими ефектами нехтується.

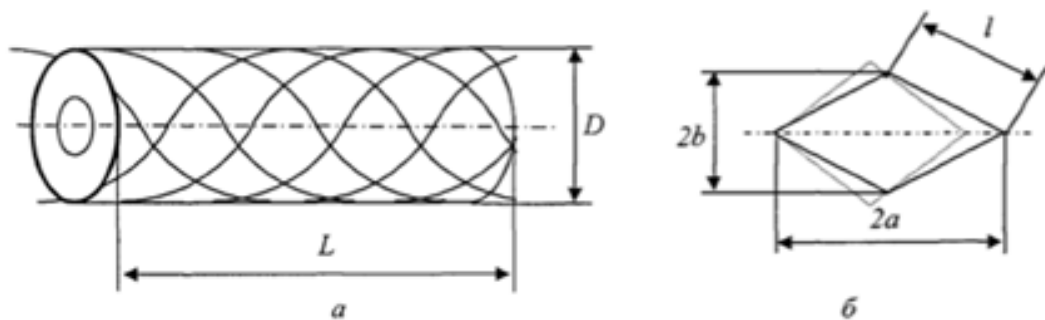


Рис. 2.5 Конструкція пневмомускула компанії SMC

Припускаючи елементи кордового набору нерозтяжними, отримуємо геометричне співвідношення між довжиною та діаметром циліндра

$$a^2 + b^2 = l^2 \quad (2.7)$$

В силу цієї умови при збільшенні довжини пневмомускула зменшується його діаметр і навпаки, при скорочення збільшується діаметр. Довжина L оболонки та довжина кола S оболонки пропорційні відповідним розмірам осередків:

$$L = 2ma, S = 2nb \quad (2.8)$$

де $2m$ і n - кількість осередків відповідно по довжині та по колу. У припущенні збереження циліндричності оболонки її об'єм виражається через a і b наступним чином

$$V = \frac{1}{4\pi^{-1}LS^2} = \pi^{-1}mn^2ab^2 \quad (2.9)$$

Після підстановки виразу для b із (3.7) остаточно отримуємо

$$V = \pi^{-1}mn^2a(l^2 - a^2) \quad (2.10)$$

Залежність відносного обсягу V/V_0 від безрозмірного параметра a/l має такий вигляд, як показано на рис. 2.6 а, близькі до нуля і l практично нереалізовані, тому відповідні ділянки кривої показані штриховими лініями.

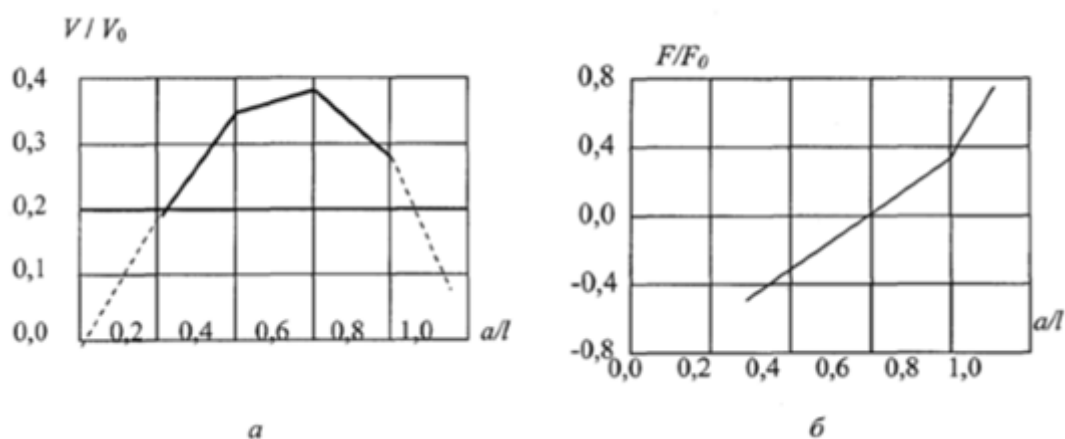


Рис. 2.6 а) Залежність відносного обсягу V/V_0 від безрозмірного параметра a/l ; б) Графік залежності відносної сили F/F_0 від відношення a/l .

Важливо, що залежність має максимум. Оцінимо силові властивості пневмомускула, як двигуна, нехтуючи жорсткістю самої оболонки. При

постійному тиску p у порожнині осьова сила F , що створюється пневмомускулом, визначається з принципу можливих переміщень

$$F = -\frac{pdV}{dl} = -\frac{pdV}{da\left(\frac{dL}{da}\right)^{-1}} = -\pi^{-1}pn^2(l^2 - 3a^2), 0 < a < 1. \quad (2.11)$$

Графік залежності відносної сили F/F_0 від відношення a/l , яка є основною силовою характеристикою пневмомускула, представлений на рис. 2.6, б. Позитивна сила пневмомускула, що він розвиває стягуюче зусилля, прагнучи зменшити свою довжину, негативна - що він створює розштовхує зусилля. Видно, що з малих значення a , тобто. в стислому стані, пневмомускул створює штовхаючу, розсувну силу, а при великих - стягуючу. При подовженні пневмомускула зусилля, що розвивається, зменшується. Це означає, що у пневмомускула, який при подачі тиску працює в режимі скорочення, корд повинен бути покладений з великим кроком. Залежність F/F_0 суттєво нелінійна, однак у діапазоні зміни відношення a/l від 0,4 до 0,75 відхилення від лінійності невеликі, вони не перевищують 20 %. При значенні $a = a^* = 3^{-1/2} l = 0,756$ і відповідному значенні $L=L^*$ сила обертається в нуль, для ненавантаженого пневмомускула. це положення рівноваги за наявності будь-якого тиску всередині порожнини. Вказане значення відношення відповідає куту нитки корда з напрямною (або віссю циліндра), що дорівнює $35,2^\circ$. Властивість відсутності змін у геометрії при подачі тиску використовується в інших випадках, а саме, якщо необхідно, щоб армований гнучкий трубопровід не переміщався. Важливо, що з прийнятих спрощення (нехтування жорсткістю оболонки) положення рівноваги залежить від тиску p у порожнини. При будь-якому фіксованому значенні відношення a/l сила пропорційна тиску p і площі поперечного перерізу, що притаманне звичайним пневмоциліндрам. Важливою характеристикою пневмомускула є його жорсткість, яка за сталості тиску p (передбачається, що порожнина

постійно залишається з'єднаною з магістраллю) визначається наступним чином:

$$C_0 = \frac{dF}{dL} = \frac{1}{2m^{-1}F} / da = 3(m\pi)^{-1}pn^2a \quad (2.12)$$

Таким чином, поздовжня жорсткість пневмомускула є змінною по діапазону переміщення, вона лінійно зростає зі збільшенням довжини, а і теоретично в межі досягає максимального значення.

$$C_{MAX} = 3(m\pi)^{-1}pn^2l \text{ при } a = l \quad (2.13)$$

Цей результат якісно відрізняється від того, що має місце для пневмодвигуна типу пневмоциліндра, для якого жорсткість по відношенню до сили, прикладеної до штока, при порожнині, в якій підтримується постійний тиск, що теоретично дорівнює нулю. При $p = 0$ з формули (2.11) начебто випливає, що у будь-якому

положенні має місце байдуже положення рівноваги; такий формальний висновок є наслідком зневаги до жорсткості оболонки.

Покажемо, до чого призведе врахування жорсткості оболонки. Припускаючи, що до поздовжнього переміщення кінців пневмомускула оболонка проявляє себе, як лінійна пружна пружина жорсткості C . Вважатимемо, що ненапружений стан оболонки відповідає певному значенню $a_0 > a^*$ і $L_0 > L^*$. Тоді саме це положення є положенням рівноваги ненавантаженого пневмомускула при $p = 0$. При тиску p в порожнині пневмомускул скорочується, положення рівноваги за відсутності зовнішнього навантаження визначається рішенням квадратного рівняння

$$\pi^{-1}pn^2(l^2 - 3a^2) = C(a_0 - a) \quad (2.14)$$

Для наведеної жорсткості в даному випадку маємо

$$C_{ПР} = 3(m\pi)^{-1}pn^2a + C \quad (2.15)$$

Очевидно, що в цьому випадку відносна нелінійність характеристики стає менше. Характеристику пневмомускула можна змінити додатково,

ввівши лінійну пружину. При цьому жорсткість збільшується і відносна нелінійність знижується.

Пневмомускул у принципі працездатний при створенні в порожнині вакууму від вакуумного насоса або ежектора. Зазначимо загальні особливості роботи пневмомускула в такому режимі. При подачі вакууму в порожнину пневмомускул веде себе протилежно тому, що було при надмірному тиску, а саме, якщо $a_0 > a^*$, він прагне збільшити свою довжину, тобто. створює розсувну силу, і якщо $a_0 < a^*$, він прагне скоротитися, тобто. створює стягуючу силу.

В обох випадках в принципі можна використовувати пневмомускул як позиційний двигун з управлінням по тиску. Оскільки пружні властивості оболонки є нестабільними, без пружини точність такого приводу буде невисокою. Введення пружини дозволить суттєво підвищити стабільність. Однак при одному і тому ж тиску в тому самому діапазоні переміщень відносні зміни необхідні сили і, отже, тиску виходять великими. Пневмомускули можуть створювати зусилля, що розсувають, при цьому вони працюють на стиск. Оскільки при цьому можлива втрата стійкості прямолінійної осі, при цьому відбуватиметься витріскування убік, довжина пневмомускула, отже, повинна бути обмежена. Тому основним є випадок, коли пневмомускул прагне скоротитися, створює стягує зусилля та працює на розтяг. Через нестабільність його характеристик пневмомускул функціонуватиме досить надійно у двопозиційному приводі, при переміщеннях від упору до упору. Щоб у обох крайніх положеннях пневмомускул перебував у розтягнутому стані, необхідна пружина. Можливе встановлення пружин різної конфігурації: циліндричних, спіральних, пластинчастих та ін.

Розрахунок швидкодії пневмомускула з навантаженням простіше, ніж пневмоциліндра: є тільки одна порожнина з досить великим початковим об'ємом; при записі рівнянь заповнення робочим тілом або спорожнення

зміною обсягу можна нехтувати, і вважати його постійним; у самому двигуні (в даному випадку пневмомускула) відсутня сила сухого тертя.

Висновки до розділу 2

1. Як робочі органи в мехатронних модулях пакування перспективними видаються пневмомускули, армовані ромбічної сіткою корду, прості пристрої, що виключають протікання і дешеві при масовому виробництві. Вони можуть замінювати пневмоциліндри односторонньої дії.

2. Залежно від кута укладання корду пневмомускули можуть працювати або на стягування, або на розсування; у разі ставлення ходу до довжини має порядок 15 - 20 %.

3. У деяких випадках виявляється доцільним застосування в пневмомускулах низького вакууму замість стисненого повітря.

4. Як джерело низького вакууму в мехатронних модулях пакування найчастіше використовуються ежектори, однак для забезпечення роботи вакуумних захватів доцільно застосовувати сільфони, що деформуються при виконанні рухів останнього ступеня свободи основного механізму.

Розділ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Опис експериментальної установки

Ціллю проведених експериментальних досліджень було отримання динамічних характеристик оболонкового силового пневмомускула незворотного типу досвідним шляхом при різних значеннях внутрішнього тиску та рівнів вхідного сигналу з імітацією в'язкого тертя та без нього, а також їх порівняння з результатами, отриманими теоретичним шляхом. Для проведення експериментів був створений випробувальний стенд принципова пневматична схема якого наведена на рис. 3.1.

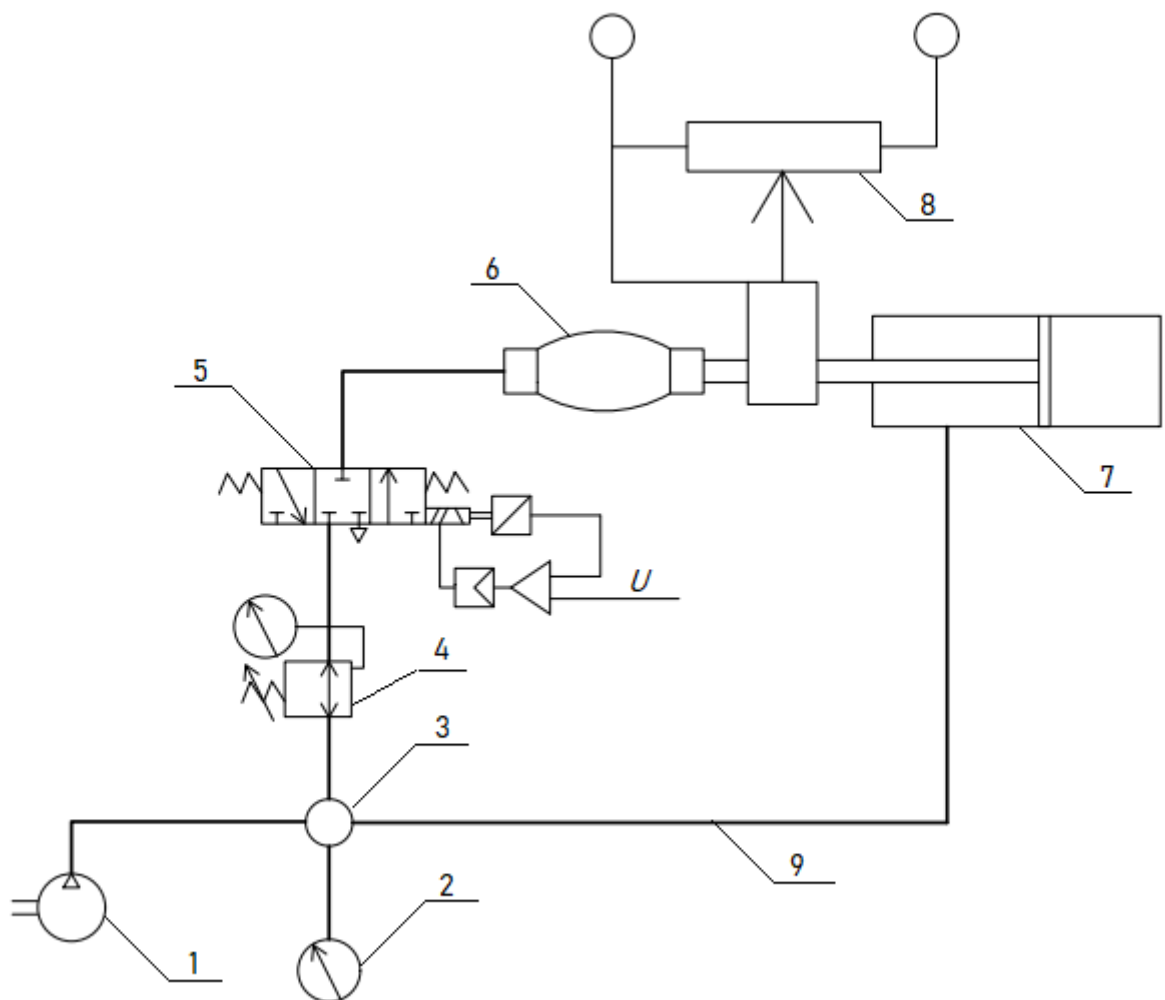


Рис. 3.1. Пневматична схема експериментального стенда; 1 - компресор Sun-Air sundsholmen 3-5 DK-9400 з регулятором тиску і ресивером; 2 - манометр QSF-1/8-EN; 3 - розгалужувач QSX-8; 4 - регулятор тиску LR-1/8-

D-mini з манометром QSF-1/8-8-B; 5 – електропневматичний розподільник з пропорційним керуванням MPYE-5- 1/8LF-010-B; 6-COE MAS-20-200-ED;

7 - пневмоциліндр DSNU-25-160-PPV-A; 8 – лінійний потенціометр MLO-POT-225- LWG; 9 – пневмомагістраль. Експериментальна установка складається з розподільника з пропорційним керуванням Festo MPYE-5-1/8LF-010-B, який зображено на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Розподільник з пропорційним керуванням Festo MPYE-5-1/8LF-010-B

Розподільник із пропорційним управлінням прямої дії має золотник, положенням якого можна керувати. Завдяки цьому аналоговий вхідний сигнал перетворюється на пропорційно відкриту частину поперечного перерізу на виходах розподільника. У комбінації із зовнішнім контролером позиціонування та датчиком переміщення можна створити точну пневматичну систему позиціонування. Також присутня функція регулювання витрати для зміни швидкості циліндра, витрата регулюється в діапазоні 100...2000 л/хв. На рис. 3.3 зображено графік зміни часу робочого циклу машини за рахунок швидкого перемикання значень витрати, що програмуються.

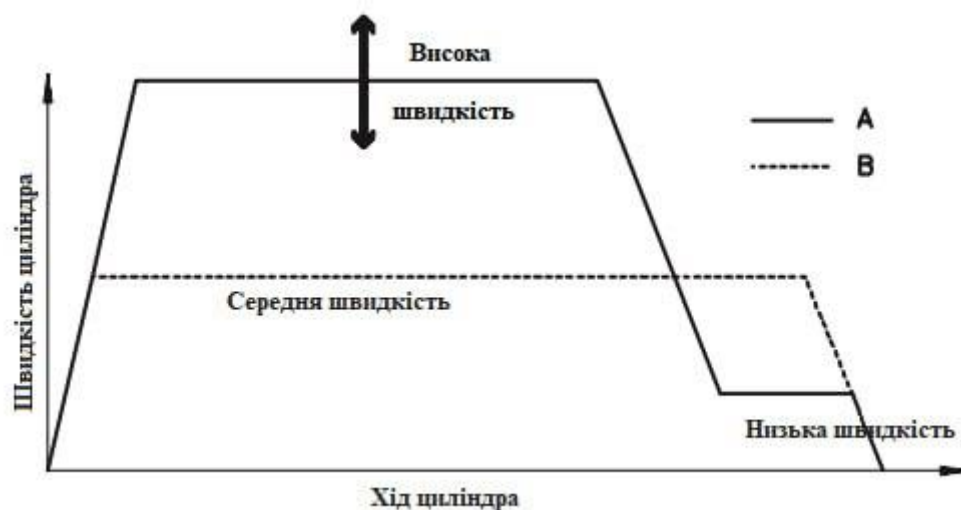


Рис. 3.3 Графік зміни часу робочого циклу машини; А - пропорційні розподільники забезпечують можливість завдання різних швидкостей та прискорень, Б - регулювання швидкості звичайними розподільниками складніше та здійснюється за допомогою дроселювання повітря на виході.

Зменшення часу машинного циклу досягається за рахунок оптимізації швидкості руху циліндра, це може бути корисно на харчових підприємствах, меблевих виробництвах, операціях збирання, тощо. На рис.3.3 зображено конструкцію розподільника в розрізі.

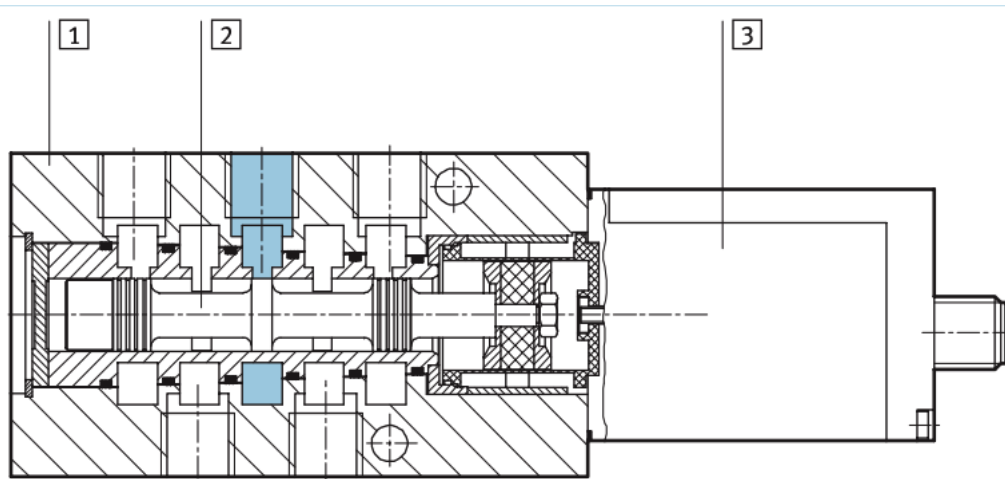


Рис. 3.3. Конструкція розподільника в розрізі; 1 – корпус виготовлений з анодованого алюмінію, 2 – золотник розподільника з спеціально обробленого алюмінію, 3 – корпус блока електроніки

Таблиця 3.1 основні технічні характеристики розподільника

Функція клапана	5/3 розподільники, нормально закриті
Спосіб керування	Електричне
Тип повернення	Механічна пружина
Тип керування	Пряме
Напрямок потоку	Нереверсивний
Живлення	17...30 В, DC
Максимальне споживання току	Проміжна позиція: 100мА
	Крайнє положення: 1100мА
Значення установки	0..10 В, DC
Клас захисту	IP65
Робочий тиск	0...10 Бар
Зовнішня робоча температура	0...50 °C
Тип монтажу	Через наскрізні отвори
Вага	290 грам

На рис. 3.4. зображено пневмоциліндр Festo DSNU-25-160-PPV-A



Рис.3.4. Пневмоциліндр Festo DSNU-25-160-PPV-A, DSNU – стандартний циліндр двосторонньої дії, 25 – поршень, мм, 160 – хід, мм, ppv

– регульоване двостороннє демпфування, А – визначення положення за допомогою датчика положення

Перевагами даного пневмоциліндра є дуже велика кількість можливих конфігурацій, що дає можливість застосовувати його в багатьох варіаціях.

На рис. 3.5. зображено приклад можливої периферії для даного пневмоциліндра

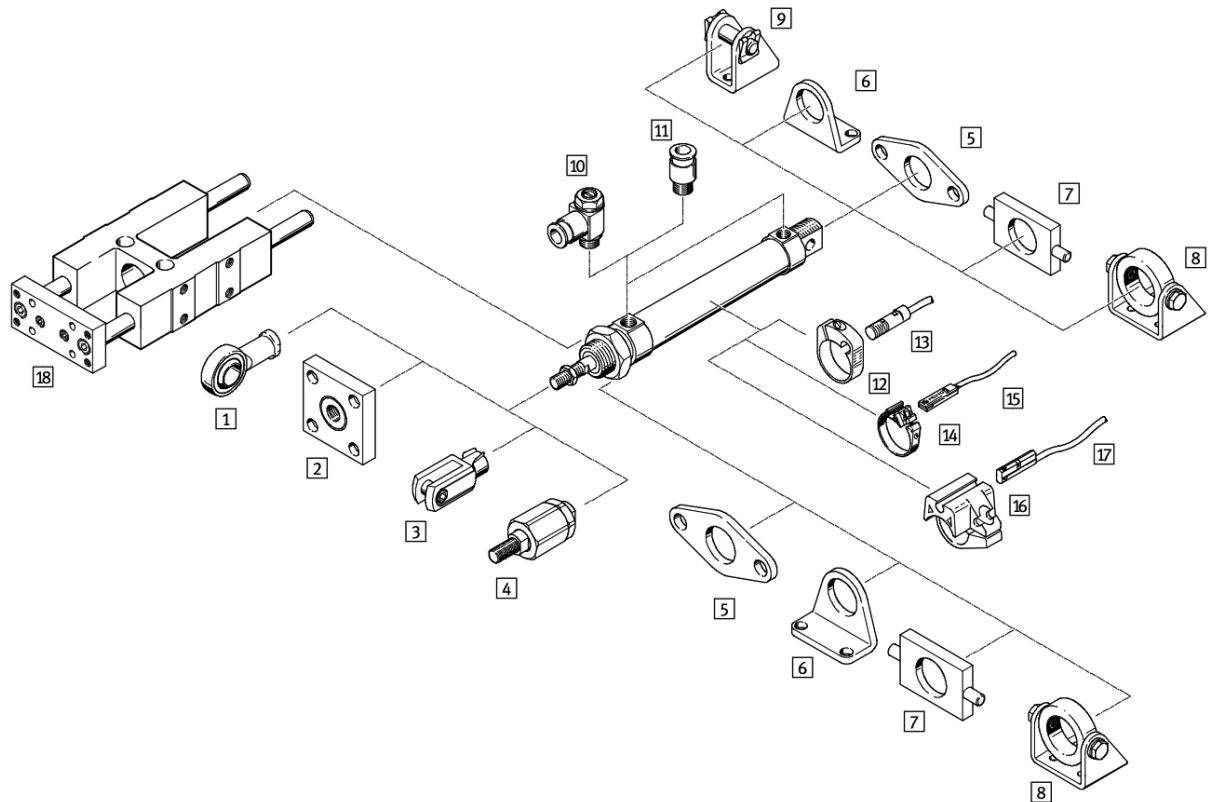


Рис.3.5. Можлива периферія для пневмоциліндра Festo DSNU-25-160-PPV-A; 1 – шарнірна головка, 2 – з'єднувальна деталь KSG/KSZ, 3 – вилка SG/CRSG, 4 – адаптер штока, який самоналаштується, 5 – монтажний фланець, 6 – монтажні лапи, 7 – цапфа WBN, 8 – цапфа SBN, 9 – опорна стійка, 10 – дросель зі зворотним клапаном, 11 – цанговий штуцер, 12 – монтажний набір датчика SMBR/CRSMBR, 13 – датчики положення SMEO/SMTO/CRSMEO-4, 14 - монтажний набір датчика SMBR-8, 15 – датчики положення SME/SMT-8, 16 – монтажний набір датчика SMBR-10, 17 - датчики положення SME/SMT-10, 18 – направляюча FEN.

На рис.3.6. зображена конструкція пневмоциліндра в розрізі.

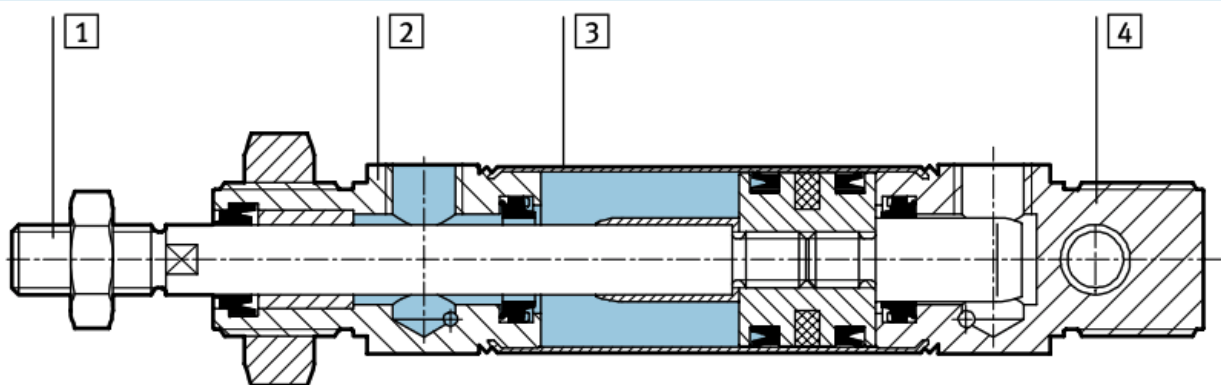


Рис. 3.6. Конструкція пневмоциліндра в розрізі; 1 – шток, 2 – передня кришка, 3 – корпус циліндра, 4 – задня кришка, ущільнення виконані з поліуретану, нітрилової гуми

На рис.3.7. зображено лінійний потенціометр Festo MLO-POT-225-LWG

Таблиця 3.2 Основні характеристики потенціометра

Конструкція	Безштоковий із захисною стрічкою і ковзним повзунком
Принцип вимірювання	Аналоговий датчик переміщення, контактний, абсолютне вимірювання
Розширення	0,01 мм
Максимальне прискорення	200 м/с ²
Положення монтажу	Будь-яке
Приєднання	4-х контактний штекер, тип А DIN 43650
Максимальне споживання струму	4мА
Опір приєднання	5 кΩ
Незалежна лінійність	0,07%
Інтерфейс	Аналоговий
Температурний коефіцієнт	5

Даний потенціометр має високий рівень захисту, довгий термін використання, абсолютні виміри з високим розширенням, штекерні з'єднання та хід від 100 до 750 мм.

Експериментальна установка працює наступним чином: у порожнині зворотно-навантажувального пневмоциліндра 7 підтримується постійний тиск для імітації постійного навантаження на силовий безштоковий пневмоциліндр. Тиск у порожнині силових частин циліндра 6 змінюється за допомогою регулювання потоків робочого середовища через електропневматичний дросельний розподільник 5. Для фіксації величини початкового тиску, що відповідає необхідному значенню робочої точки, використано регулятор тиску 4. Для вимірювання величини переміщення застосований потенціометр 8, жорстко пов'язаний зі штоком пневмоциліндра, що навантажує. Як джерело стисненого повітря задіяний компресор "Sun-Air sundsholmen 3-5 DK-9400" з регулятором тиску та ресивером 1.

3.2 Результати експериментів

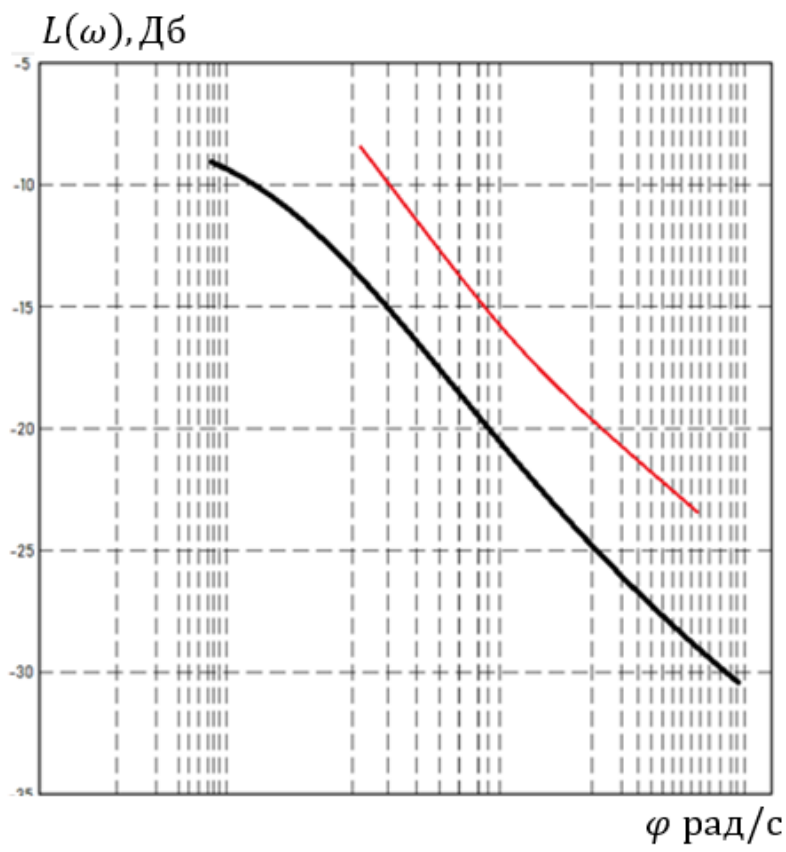
Шляхом проведення розрахунків було отримано наступні характеристики:

- Логарифмічно амплітудно-частотні характеристики (ЛАЧХ) силового безштокового пневмоциліндра незворотного типу для різних тисків без імітації в'язкого тертя.

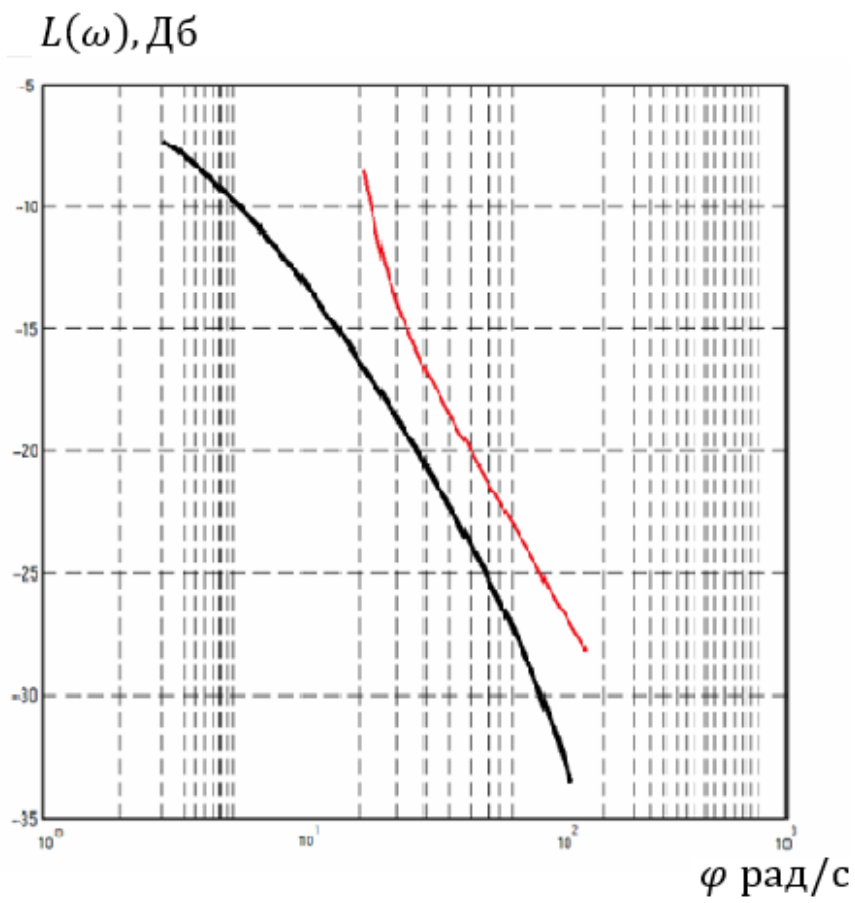
- Логарифмічно амплітудно-частотні характеристики (ЛАЧХ) силового безштокового пневмоциліндра незворотного типу для різних тисків з імітацією в'язкого тертя.

Досліджуваний силовий оболонковий елемент мав такі параметри: $L_n = 200$ мм, $d_n = 20$ мм.

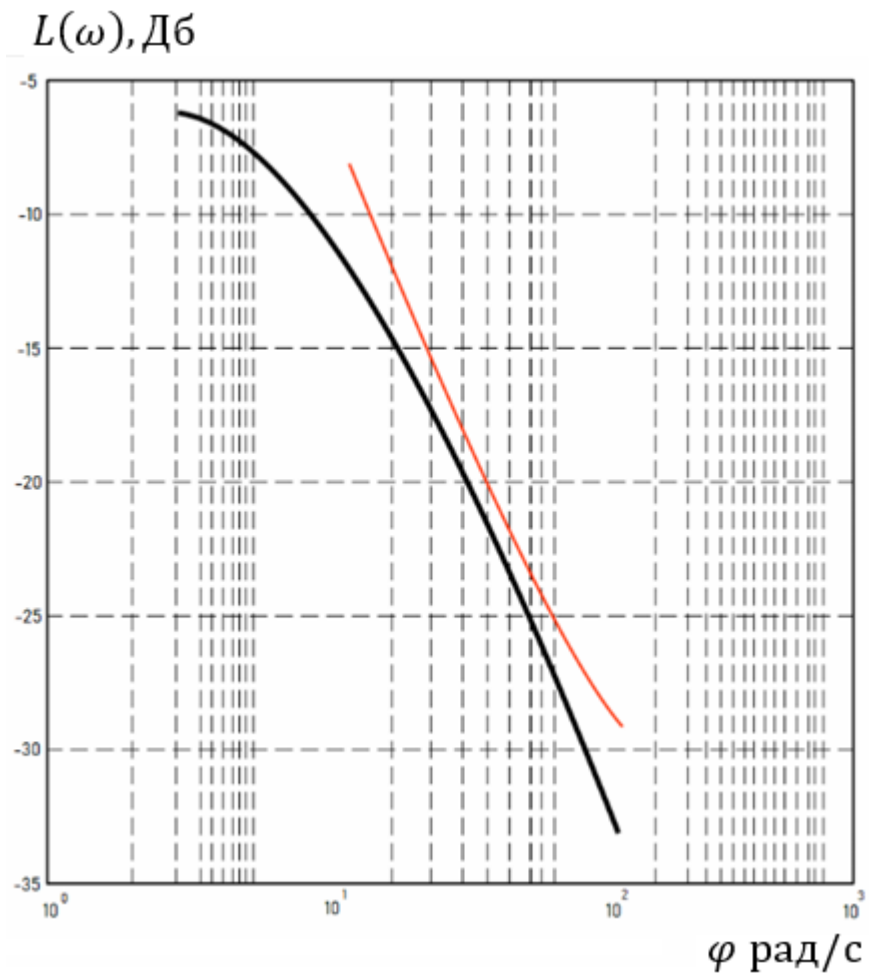
За результатами випробувань були отримані наступні логарифмічно амплітудно-частотні характеристики рис. 3.1 та рис.3.2:



а)



б)

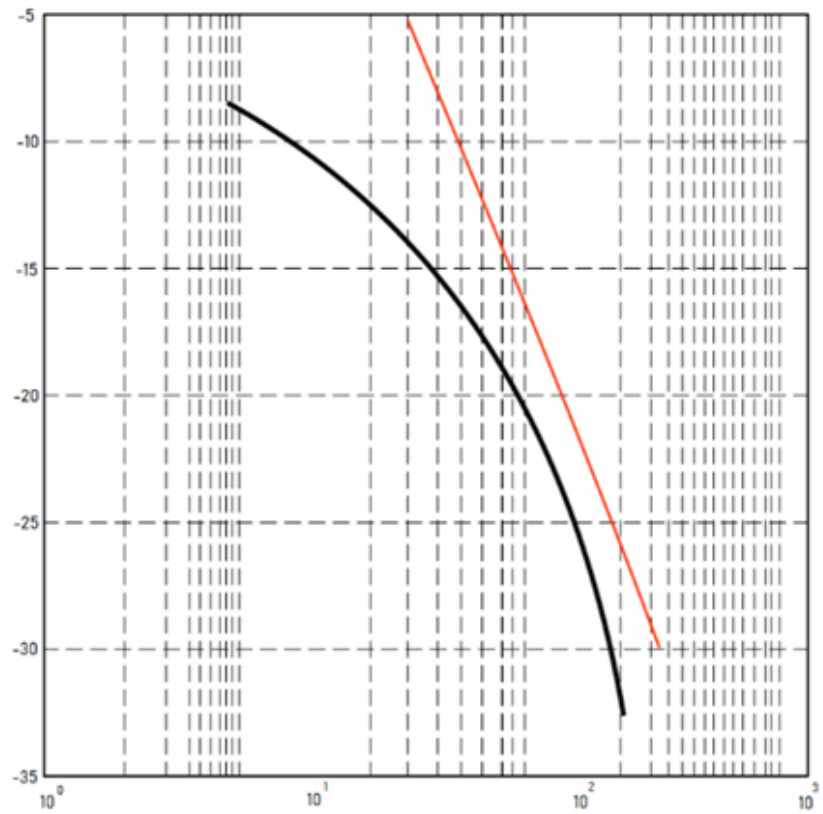


в)

Рис. 3.1 Логарифмічно амплітудно-частотні характеристики пневмомускула отримані без імітації в'язкого тертя при тиску: а) 4,5 бар, б) 6 бар, в) 7,5 бар.

— експериментально отримана характеристика,
 — розрахункова характеристика

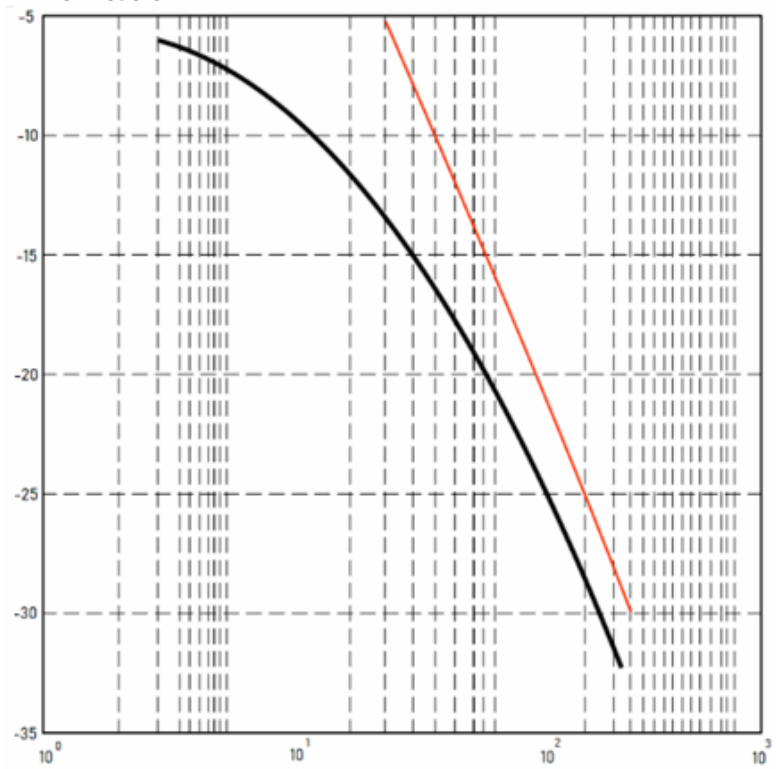
$L(\omega), \text{Дб}$



φ рад/с

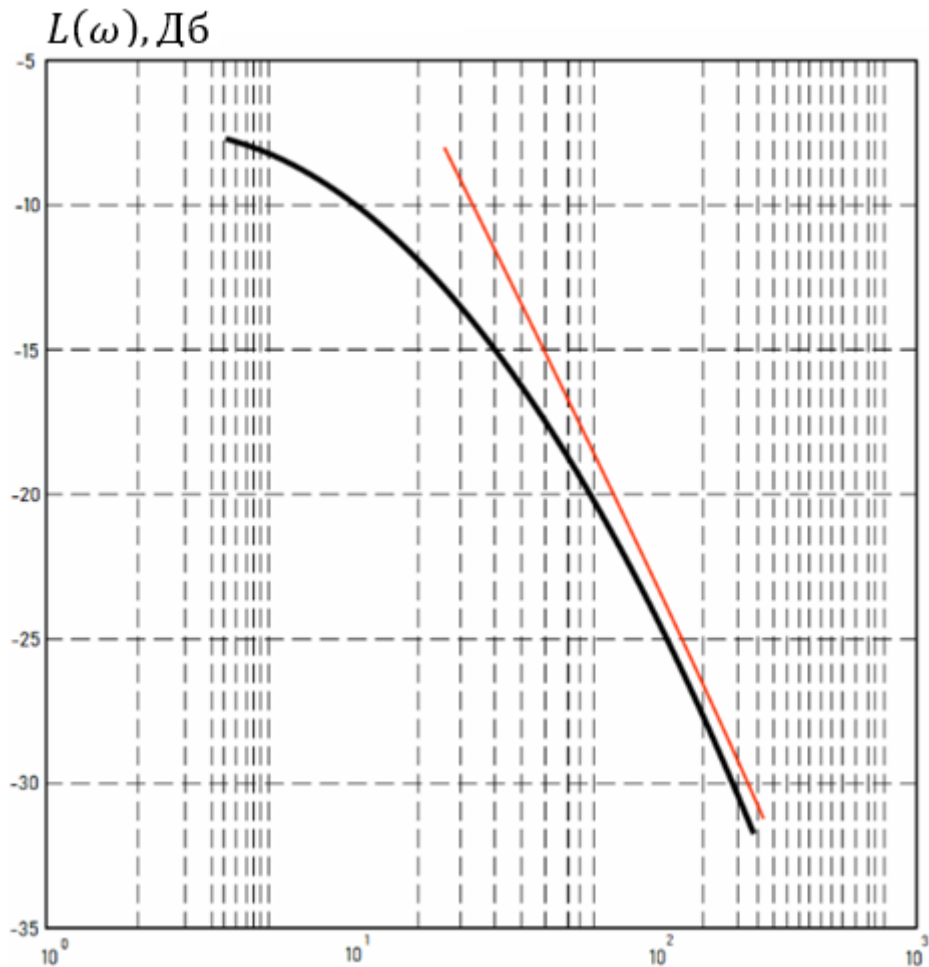
a)

$L(\omega), \text{Дб}$



φ рад/с

б)



в)

Рис. 3.2 Логарифмічно амплітудно-частотні характеристики пневмомускула отримані з імітацією в'язкого тертя при тиску: а) 4,5 бар, б) 6 бар, в) 7,5 бар;

— експериментально отримана характеристика

— розрахункова характеристика

Перевірено коректність застосування теорії оболонок та розробленої на її основі ітеративної процедури для розрахунків статичних характеристик силового оболонкового елемента (СОЕ). Для було використано експериментальні дані, отриманими при випробуваннях механічного м'яза АМ 20-200-3. На рис. 3.3 наведено експериментальні силові статичні характеристики $F_{\text{СОЕ}}(0.4 \text{ МПа})$ і $F_{\text{СОЕ}}(0.5 \text{ МПа})$ для механічного м'яза при тисках повітря в порожнині СОЕ, рівним 0.4 МПа та 0.5 МПа відповідно. На

цьому рисунку також наведено теоретичні статичні силові характеристики F_{COE}^i (0.4 МПа) і F_{COE}^i (0.5 МПа) для COE такого ж типорозміру, але у припущенні абсолютної еластичності матеріалу оболонки. Керуватимемося такими міркуваннями: Як видно з наведених графіків, величина зусиль, що розвиваються, що розвиваються COE, менше розрахункової. Цю різницю можна пояснити так: під час скорочення COE, матеріал, з якого виконана оболонка, відчуває пружні деформації. Наслідком цього є те, що частина сили, що розвивається COE витрачається на підтримку конфігурації цієї оболонки, і в цьому випадку можна вважати, що реальні COE мають ще й властивості зворотної пружини з нелінійною залежністю сили, що розвивається.

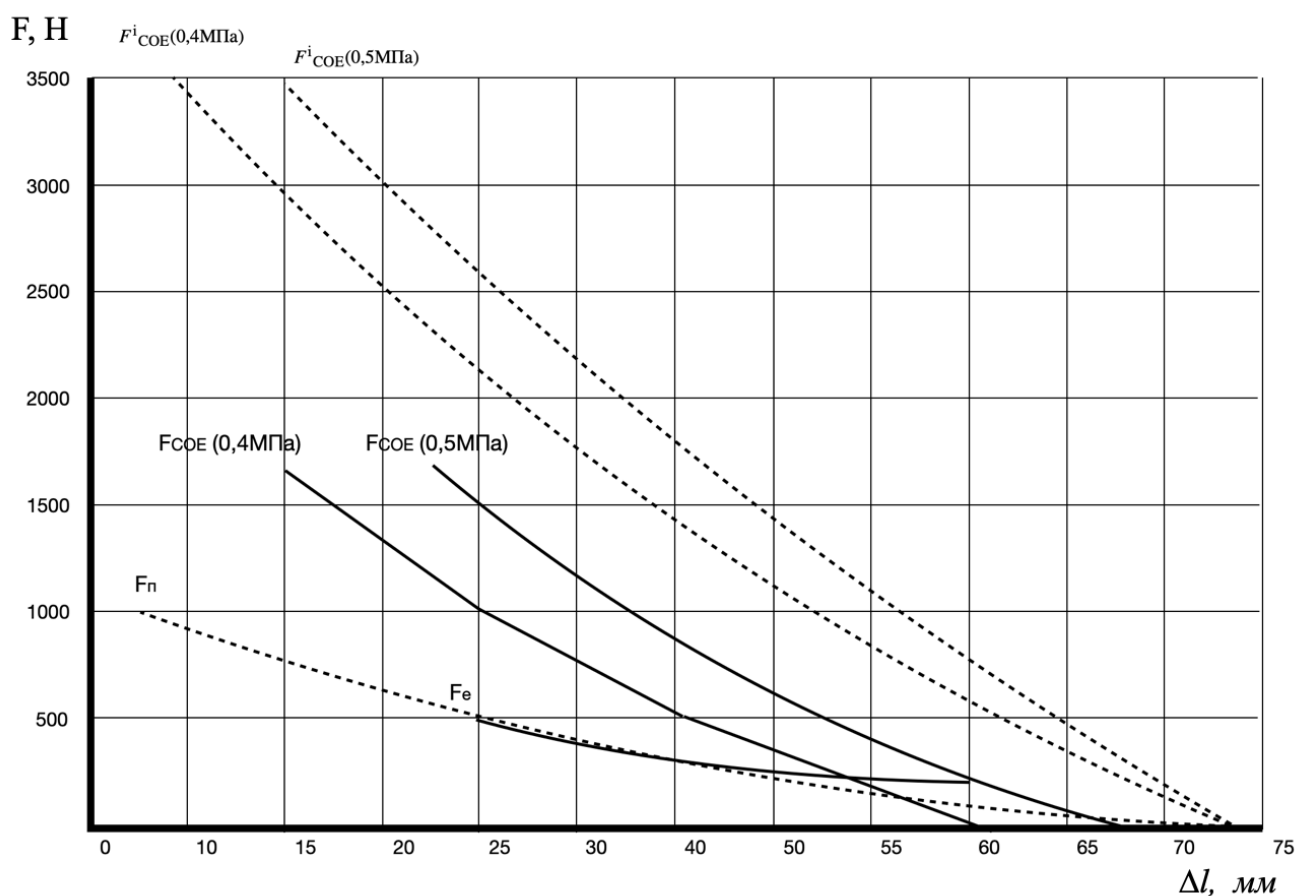


Рис. 3.3 Статичні силові характеристики пневмомускула MM-20-200-3

Величина втрат зусилля, що розвивається (поворотних сил) визначається тільки величиною деформації (конфігурацією) оболонки і,

тому, не залежить від тиску робочого середовища, що знаходиться в порожнині СОЕ. Таким чином, процедура розрахунку сили $P_{СОЕ}$, що розвивається, справедлива для СОЕ або з оболонкою нескінченно малої товщини, або виготовленої з абсолютно еластичного матеріалу (ідеальної оболонки). Реальні СОЕ мають оболонку кінечної товщини і виконані з цілком визначеного матеріалу, тому зусилля, що розвиваються реальними СОЕ, будуть дещо меншими за розрахункові. Таким чином у силових статистичних характеристиках має бути поправка, яка враховує втрати, пов'язані з отриманням деформації матеріалу оболонки $F_{п}(\Delta l_{сое})$.

Отже, функція $F_e(\Delta l_{сое}, \Delta p = const)$, отримана в результаті віднімання двох експериментальних статичних силових характеристик реальної СОЕ повинна збігатися з функцією $F_T(\Delta l_{сое}, \Delta p = const)$, отриманої в результаті віднімання аналогічних розрахункових (такі ж тиску в порожнинах СОЕ: p і $p + \Delta p$) силових статичних характеристик такого ж за розмірами ідеального СОЕ. Отримані функції різниць силових статичних характеристик відображають збільшення зусилля СОЕ, що тягне, викликаного зростанням тиску робочого середовища в порожнині СОЕ на величину Δp . На рис. 3.1 представлено збільшення сили (F_T і F_e) викликане зміною тиску робочого середовища на 0.1 МПа при скороченні СОЕ, що дорівнює $\Delta l_{сое} = 35$ мм, обчислене за теоретичними та експериментальними силовими характеристиками відповідно. Видно, що залежно від $F_e(\Delta l_{сое}, \Delta p = const)$ і $F_T(\Delta l_{сое}, \Delta p = const)$ на всьому діапазоні скорочень СОЕ Δl мм.

Висновки до розділу 3.

1) Зробивши порівняльний аналіз експериментальних і теоретичних результатів, які були представлені в розділі 2 математична модель СОЕ, можна стверджувати, що розбіжність знаходиться в межах 5%.

2) Найбільшу похибку у величину розбіжності логарифмічно амплітудно-частотних характеристиках, отриманих розрахунковим та

дослідним шляхом, вносить похибка, пов'язана з лінеаризацією силової статичної характеристики та характеристики, що зв'язує зміну тиску Δp із збільшення відносного скорочення $\Delta \delta$ при виборі координат робочої точки. Слід зазначити, що для силового безштокового пневмоциліндра двосторонньої дії похибка такої лінеаризації менша, оскільки при зустрічному включенні сумарні різниці силові характеристики та характеристики, що пов'язують зміну тиску Δp із збільшенням відносного скорочення $\Delta \delta$, більш лінійні. Це призводить до того, що, розрахункові та експериментальні логарифмічно амплітудно-частотні характеристики практично збігаються.

3) Похибка, що вноситься прийнятими припущеннями та лінеаризацією при описі геометричних параметрів оболонки, а також характеристики, що зв'язує зміну величини тиску p зі зміною величини щільності робочого середовища ρ при визначенні координат робочої точки, робить свій внесок у величину розбіжності, але істотно менший, ніж вищезгадані фактори.

4) Величина тертя, що не залежить від тиску, що має місце в зворотно навантажувальному пневмоциліндрі, при побудові розрахункової логарифмічно амплітудно-частотної характеристики не враховувалася, оскільки вона не була відома, а досвідченим шляхом визначити її в умовах даного експерименту важко. Це неврахування робить відповідний негативний внесок у підсумкові результати при порівнянні експериментальних і розрахункових логарифмічно амплітудно-частотних характеристик.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Підвищення продуктивності харчового виробництва та якості вихідної продукції, збільшення швидкості та потужності машин може призвести до підвищення нервово-психічного навантаження на операторів, та, як наслідок, до збільшення частоти виникнення нещасних випадків і появи професійних захворювань. Тому на всіх харчових підприємствах мають приділяти значну увагу заходам з охорони праці.

Відповідно до теми дипломного проекту були розроблені спеціальні заходи які гарантують безпеку обслуговуючого персоналу під час експлуатації пакувального обладнання. Оскільки керуванням процесу займається оператор, розглянемо можливі небезпечні фактори та засоби захисту саме для даного працівника виробництва. При обслуговуванні системи автоматизації, оператор знаходиться в операторській. Площа операторської 48 м², висота 3 м, у операторській працюють 2 оператори. На одного працюючого приходиться 24 м² площі та 72 м³ повітря. На робочому місці оператора можливі наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- Виробничий шум;
- Повітря робочої зони;
- Електробезпека;
- Пожежна безпека.

4.1. Виробничий шум

Шум – це хаотичне поєднання звуків різної частоти та інтенсивності. Він може викликати різні загально-біологічні роздратування; тривала дія інтенсивного шуму викликає патологічні зміни, функціональні розлади і механічні пошкодження. Джерелом шуму у виробництві є мотори, конвеєри, роботи, тощо. Шум погіршує точність виконання робочих операцій, ускладнює прийом і сприйняття інформації, знижує продуктивність праці, збільшує брак в роботі, створює передумови до виникнення нещасних випадків. Для протидії цьому негативному явищу застосовуються

індивідуальні та колективні заходи. До індивідуальних належить спеціальний інвентар: навушники, каски, вушні вклади. До колективних відносяться акустичні (звукоізоляція та віброізоляція приміщення операторської за допомогою спеціальних матеріалів: трипласт, пластобетон, войлок і т.д), архітектурно-планувальні (раціональне розміщення технологічного устаткування, машин і механізмів, робочих місць) та організаційно-технічні (застосування малошумних машин і установок). Завдяки використаним заходам фактичний шум не перевищує рівень звукового тиску в 65 дБА, що цілком відповідає нормам ДСН 3.3.6.037-99.

4.2. Повітря робочої зони

На виробництві можливе не значне виділення шкідливих парів та теплове випромінювання. До засобів нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць відносяться пристрої вентиляції, кондиціонування й очищення повітря, опалення. Додатково до технологічних заходів системами опалення й вентиляції повітряне середовище в приміщеннях доводиться до вимог санітарних норм і правил техніки безпеки. Робота операторів на виробництві етану відноситься до легкої фізичної роботи через те, що більша частина роботи відбувається сидячи з частковою необхідністю обходу виробництва. Енерговитрати за таких умов праці складають близько 110 ккал/год У зв'язку з цим передбачено можливість відпочинку персоналу в закритому приміщенні. Фактичні параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні для даної категорії робіт наведені у таблиці.

Таблиця 6.1 – Фактичні параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні

Сезон року	Категорія робіт – 1а		
	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
	Фактична	Фактична	Фактична

Холодний	21-23	40-65	0,1
Теплий	22-24	40-70	0,1

Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70-80°C, а в теплий час року вентиляцією. Вентиляція відбувається за рахунок центральної системи вентиляції цеху, яка була розроблена відповідно до норм. Параметри повітря робочої зони відповідають і ДСН 3.3.6.042-99.

4.3. Електробезпека

Відповідно до правил улаштування електроустановок цех виробництва за безпекою електротравм відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки. В приміщенні застосовується трифазна чотирипровідна мережа напругою 380 В з глухозаземленою нейтраллю. У цьому випадку захисне заземлення не є досить надійним захистом щодо профілактики електротравм. Більш ефективним засобом попередження електротравм при замиканні на корпус у даному випадку вважається занулення – навмисне електричне з'єднання неструмовідних елементів електроустановки, які можуть опинитися під напругою в результаті замикання на корпус, з нульовим проводом.

- Система технічних засобів і заходів з електробезпеки.

Основні технічні засоби і заходи що застосовуються для забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок в цеху включають:

ізоляція струмовідних частин – забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок;

недоступність струмовідних частин – застосовуються захисні огороження, закриті комутаційні апарати, неізольовані струмовідні частини розміщуються на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них

інструментом, різного роду пристосуваннями, обмежується доступ сторонніх осіб в електротехнічні приміщення;

блокування безпеки – унеможливають доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попереджують помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допускають порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання;

засоби орієнтації в електроустановках – дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям.

- Система електрозахисних засобів.

Основні електрозахисні засоби для роботи з електричним обладнанням в цеху: ізолювальні штанги, зольовальні кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги, діелектричні рукавички, інструмент з ізолювальним покриттям, діелектричне взуття, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення. Перечисленні вище заходи задовольняють вимоги норм ДСТУ 7237:2011.

4.4. Пожежна небезпека

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- Порушення елементарних правил пожежної безпеки;
- Несправність електроустаткування, електромереж;
- Порушення електротехнічних правил;

Пожежна безпека забезпечується:

- Системою запобігання пожежі;
- Системою протипожежного захисту;
- Організаційно-технічними заходами.

Для запобігання пожежі прийняті наступні заходи:

- Розеточна мережа захищена пристроями диференційного захисту від короткого замикання і струмів тривалих перевантажень;

- Розподільна мережа напругою (380/220) В виконана проводами у негорючих поліпропіленових трубах, прокладених приховано в стінах і підлозі;

- Не застосовуються проводи і кабелі з ізоляцією з вулканізованої гуми;
- На двері вивішується план евакуації людей і правила пожежної безпеки
Дотримуються наступні запобіжні заходи:

- Несправне устаткування негайно відключається;

- Після закінчення роботи всі електроустановки відключаються;

При експлуатації технічних засобів автоматичної пожежної сигналізації передбачено:

- Використання пожежних сповіщувачів згідно умов їх експлуатації;

- Гучномовне оповіщення персоналу про пожежу;

- Світлозвукове оповіщення персоналу про пожежу.

Допустима відстань від самого віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу – 7,5 м. З коридору повинно бути, як правило, не менше 2- ох евакуаційних виходів. Враховуючи об'єми приміщень, категорію пожежної небезпеки виробництва і ступень вогнестійкості будівлі, визначаємо необхідну ширину евакуаційних виходів. Для проходів – не менше 1 м, коридорів – 1,4 м, двері – 0,8 м і марші – 1,05 м, площадка сходів – 1,05 м. Висота дверей і проходів на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівлі (СНиП 2.09.02-85).

Для гасіння електропроводок і електроустаткування під напругою передбачені порошкові вогнегасники САМ-6 – 4 шт та ручні порошкові вогнегасники ВП-2(ОП-2) в кількості 2 шт. При виникненні пожежі необхідно терміново викликати пожежну охорону, відвести в безпечне місце людей і приступити до гасіння пожежі засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопата, багор, відро), дотримуючись правил техніки безпеки.

Приміщення операторської обладнане електричною системою датчиків оповіщувальних типу ДЛТ, з'єднаних з прийомною станцією по променевій системі. При підвищенні температури легкозаймистий шар, що з'єднує кінці двох дротів, розплавляється, розривається електричний ланцюг і спрацьовує сигналізація. Також у операторській передбачений прямий телефонний зв'язок з пожежною охороною підприємства. Паління дозволяється у відведених для цих цілей місцях. Підходи до аварійних шаф, пожежних оповіщувачів, телефонів, пожежного інвентарю не допускається огороджувати сторонніми предметами, утримувати їх необхідно в чистоті та у справному стані.

Загальні висновки

Основні результати магістерської роботи сформульовані наступним чином:

- 1) Визначено переваги пневмомускулів у порівнянні з традиційними приводами на базі пневмоциліндрів, а саме значно більші зусилля, що розвиваються (особливо на початку діапазону скорочення), більший діапазон регулювання швидкостей, значно менше тертя між рухомими частинами приводу, істотно менша вартість, можливість повної герметизації внутрішньої порожнини, велика питома потужність, зменшення споживання газу, зниження експлуатаційних витрат.
- 2) Розглянуто будову та проаналізовано характеристики пневмомускулів від передових світових виробників.
- 3) Визначено, що як робочі органи в мехатронних модулях пакування перспективними видаються пневмомускули, армовані ромбічної сіткою корду, прості пристрої, що виключають протікання і дешеві при масовому виробництві. Вони можуть замінювати пневмоциліндри односторонньої дії.
- 4) Як джерело низького вакууму в мехатронних модулях пакування найчастіше використовуються ежектори, однак для забезпечення роботи вакуумних захватів доцільно застосовувати сільфони, що деформуються при виконанні рухів останнього ступеня свободи основного механізму.
- 5) Зробивши порівняльний аналіз експериментальних і теоретичних результатів, які були представлені в розділі 2 математична модель силового оболонкового елемента, можна стверджувати, що розбіжність знаходиться в межах 5%.
- 6) Найбільшу похибку у величину розбіжності логарифмічно амплітудно-частотних характеристик, отриманих розрахунковим та дослідним шляхом, вносить похибка, пов'язана з лінеаризацією силової статичної характеристики та характеристики, що зв'язує зміну тиску Δp із збільшення відносного скорочення $\Delta \delta$ при виборі координат робочої точки. Слід зазначити, що для силового безштокового пневмоциліндра двосторонньої дії

похибка такої лінеаризації менша, оскільки при зустрічному включенні сумарні різницеві силові характеристики та характеристики, що пов'язують зміну тиску Δp із збільшенням відносного скорочення $\Delta \delta$, більш лінійні. Це призводить до того, що, розрахункові та експериментальні логарифмічно амплітудно-частотних характеристики практично збігаються.

- 7) Запропоновано заходи техніки безпеки з метою запобігання нещасних випадків на підприємствах харчової галузі при використанні пакувального обладнання з мехатронними модулями.

Список використаної літератури

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част.: навч. посіб. для ВНЗ / Під заг. ред. Ю.М. Кузнецова. – Частина 1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. – Кіровоград, 2003. – 422 с.
2. Klute G. K., Hannaford B. Accounting for elastic energy storage in McKibben artificial muscle actuators // Journal Dynamics Systems, Measurement, and Control. 2000. Vol. 122(2). P. 386–388. [G. K. Klute, B. Hannaford, “Accounting for elastic energy storage in McKibben artificial muscle actuators”, in Journal Dynamics Systems, Measurement, and Control, vol. 122, no. 2, pp. 386-388, 2000.]
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И. Анурьев – М.: Машиностроение, 2001.
4. 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.
5. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для групового пакування / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2007. – 136 с.
6. 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.
7. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: підручник. 5-е вид. / Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О.; за ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.
8. Готлиб Б.М. Введение в мехатронику: учебное пособие / Б.М. Готлиб. – Екатеринбург, 2007. – 782 с.
9. Губарев О.П. Мехатроніка: циклічно-методичний підхід до вирішення практичних задач автоматизації/ О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова . – Київ :КПІ, 2016. – 160 с.
10. Tondu B., Lopez P. Modeling and control of McKibben artificial muscle robot actuators // IEEE Control System Magazine. 2000. V. 20(2). P. 15–38. [B. Tondu, P. Lopez, “Modeling and control of McKibben artificial muscle robot actuators”, in IEEE Control System Magazine, vol. 20, no. 2, pp. 15-38, 2000.]
11. Егоров О.Д. Конструирование мехатронных модулей: ученик / О.Д. Егоров, Ю.В. Подураев. – М.: ИЦ МГТУ "СТАНКИН", 2004. – 360 с.
12. Казмиренко В.Ф. Электрогидравлические мехатронные модули движения. Основы теории и системное проектирование : учеб. пос. / В.Ф. Казмиренко. – М. : Радио и связь, 2001. – 211 с.
13. Кривопляс-Володіна Л.О. Основи наукових досліджень 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.

14. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебн./ А.П.Лукинов – М.: Лань, 2012 -308с.

15. Марчевський В.М. Конструкторська документація курсових і дипломних проєктів: навч. посіб. / Марчевський В.М. – К.: Норіта-плюс, 2006. –280 с.

16. J. Sarosi, et. al. Accurate position control of PAM actuator in Lab VIEW environment // 7th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 09), Subotica, Serbia, 25 September. 2009. P. 301–305. [J. Sarosi, et al., “Accurate position control of PAM actuator in Lab VIEW environment”, in 7 th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 09), Subotica, Serbia, 25 September, pp. 301-305, 2009.]

17. 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.

18. Моделирование 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.

19. Отений Я. Н. Выбор и расчет захватных устройств промышленных роботов : учебное пособие / Я.Н. Отений, П.В. Ольштынский. – Волгоград : ВолГТУ, 2000. – 64 с.

20. KyoungKwan Ahn, Tu D. C. T. Improvement of the control performance of pneumatic artificial muscle manipulators using an intelligent switching control method // KSME International Journal. 2004. V. 18(8). P. 1388–1400. [K. Ahn, D.C.T. Tu, “Improvement of the control performance of pneumatic artificial muscle manipulators using an intelligent switching control method”, in KSME International Journal, vol. 18, no. 8, pp. 1388-1400, 2004.].

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

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

23. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие / Ю.В. Подураев. – Москва: Машиностроение, 2007. – 256 с.

24. Попов Д.Н. Динамика й регулювання гідро- й пневмосистем: учебн./ Д.Н.Попов. – М.: 2001 – 210с.

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

26. Регламент перевірки на академічний плагіат кваліфікаційних робіт студентів, рукописів дисертацій та монографій, рукописів статей, поданих до публікування у періодичних наукових виданнях, у національному університеті

харчових технологій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/118-L4qSFHZV-trj6w24s9fCvE7RRuGe/view>

27. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин: монографія / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук та ін. ; за ред. О. М. Гавви ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Сталь, 2015. — 547 с.

28. 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.

29. Jouppila V., Gadsden S. A., Elman A. Experimental comparisons of sliding mode controlled pneumatic muscle and cylinder actuators // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. 2014. Vol. 136(4). [V. Jouppila, S. A. Gadsden, A. Elman, “Experimental comparisons of sliding mode controlled pneumatic muscle and cylinder actuators”, in Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, vol. 136, no. 4, 2014.]

30. Чернов М.Е. Упаковка сыпучих продуктов: учебное пособие / Чернов М.Е. –М.: ДеЛи, 2000. – 163 с.

31. Sarosi J. New approximation Algorithm for the Force of Fluidic Muscles // 7th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2012), Timisoara, Romania, 22–24 May. 2012. P. 229–233. [J. Sarosi, “New approximation Algorithm for the Force of Fluidic Muscles” in 7th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2012), Timisoara, Romania, 22-24 May, pp. 229-233, 2012.]