

Хмельницький національний університет

Факультет: інженерії транспорту та архітектури

Кафедра: Технології машинобудування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

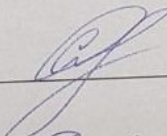
до дипломної роботи магістра

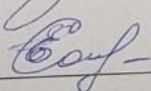
Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

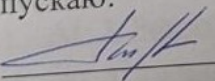
на тему: Модернізація конструкції та системи керування промислового робота

МП-9С

Виконав студент групи ПМТм-21-1  (Д.С. Кіт)

Керівник магістерської роботи:  (К.С. Соколан)

До захисту допускаю:

Зав. кафедри  (В.П. Ткачук)

_____ 2022_р.

Хмельницький – 2022 р.

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра Технології машинобудування
Спеціальність «Прикладна механіка»

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ
магістру Коту Дмитру Степановичу

Тема затверджена наказом ректора
№ 83 від " 1 липня " 2022 р.

Тема роботи: Модернізація конструкції та системи керування промислового
робота МП-9С

План роботи і терміни подання окремих розділів

Розділ I _____ 30.09.2022
Розділ II _____ 30.10.2022
Розділ III _____ 20.11.2022
Розділ IV _____ 10.12.2022
Розділ V _____ 15.12.2022

Перелік графічних матеріалів: 1. Промисловий робот МП-9С 1 лист – А1; 2. Система керування 1 лист – А1; 3. Розрахунок захватного пристрою 1 лист – А1; 4. Аналіз важеля в SolidWorks 1 лист – А1, 5. Захватний пристрій 1 лист – А1; 6. Кресленик важеля 1 лист – А1, 7. Розрахунково технологічна карта 1 листи - А1; 8. Створення програми в САМ Esprit 1 лист – А1, 9. Верстатний пристрій 1 лист – А1.

Зав. кафедри _____ В.П. Ткачук
Керівник _____ К.С. Соколан
Магістр _____ Д.С. Кіт

Анотація

Тема роботи: Модернізація конструкції та системи керування промислового робота МП-9С

Пояснювальна записка містить 88 сторінок і додатки (специфікації складальних креслень, комплект технологічної документації), графічна частина проекту складається з 9 листів формату А1.

Згідно із завданням необхідно було удосконалити систему керування промисловим роботом МП-9С та захватний пристрій з можливістю швидкого переналагодження.

В пояснювальній записці приводяться всі необхідні розрахунки, вона містить усі необхідні розділи та повністю відповідає встановленим вимогам.

У першому розділі (огляд літератури джерел) виконано огляд конструкцій промислових роботів та систем керування.

У другому розділі викладено модернізацію системи керування, а саме заміна пристрою управління ЕЦПУ - 6030, призначеного для управління маніпуляторами з позиціонуванням на упори, що функціонує за принципом синхронного програмного автомата з жорстким циклом управління на сучасну систему керування, яка реалізована на платі ArduinoMega 2560

У конструкторському розділі спроектовано захватний пристрій та виконано аналіз методом скінчених елементів найбільш навантаженої деталі - важеля.

У технологічному розділі проекту розроблено технологію виготовлення деталі важіль зубчастий та спроектовано верстатний пристрій.

Запропоновано заходи з охорони праці.

Автор проекту: Д.С. Кіт



Підпис/

2022 р.

Дата

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську випускную кваліфікаційну роботу

Магістра Кота Д.С.

на тему Модернізація конструкції та системи керування промислового
робота МП-9С

1. Актуальність і значення теми

Актуальність виконаного дослідження визначається тим, що неухильний ріст вимог до якості продукції і ефективності виробництва призводить до необхідності постійного удосконалення технологічного обладнання. Тому його удосконалення та модернізація є актуальною задачею.

2. Оцінка якості та достовірності проведених досліджень

Достовірність отриманих експериментальних результатів забезпечувалося використанням у роботі сучасних приладів, устаткування та перевірених методик дослідження, а також застосуванням загальновідомих методів теоретичного моделювання та обробки експериментальних даних.

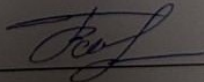
3. Оцінка запропонованих заходів та пропозицій .практичної цінності та ефективності

Запропонована конструкція промислового робота була апробована та продемонструвала свою ефективність та надійність.

4. Загальний висновок та оцінка

Робота виконана відповідно до завдання на достатньому науковому та інженерному рівні і заслуговує на оцінку відмінно

Опонент



О.П. Бабак

“ 26 ” грудня 2022 р.

Зразок заяви здобувача вищої освіти на перевірку кваліфікаційної роботи
на плагіат

Завідувачу кафедри

механізмів машинобудування
Віталію ТКАЧУК

здобувача вищої освіти (студента
ПБ, факультет, «курс», «група»)

Дмитро КСТЧ

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

20.12.2022

дата



підпис

Зміст

ВСТУП	7
1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ПНЕВМАТИЧНОГО МАНІПУЛЯТОРА МП-9С	8
1.1 Промисловий пневматичний маніпулятор МП-9С	8
1.2 Функціональна схема механізму підйому	11
1.3 Модуль повороту робота	13
1.4 Модуль поступального переміщення	14
1.5 Демпфер	15
1.6 Пневматичний привід маніпулятора МП-9С	16
2. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ МП-9С	19
2.1 Розроблення алгоритму управління промисловим маніпулятором	19
2.2 Апаратне забезпечення системи керування	23
2.3 Структурна схема системи управління	30
2.4 Програмне забезпечення системи управління	32
2.5 Комплектація шафи керування	32
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	44
3.1 Проєктні завдання	44
3.2 Кінематика механізму	44
3.3 Розв'язання задачі статички	45
3.4 Визначення конфігурації від діаметра деталі	49
3.5 Вибір приводу, встановлених гвинтів і підшипників	50
3.6 Підшипники та поверхневі напруження	57
3.7 Розрахунки методом скінчених елементів	59
4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	65
4.1 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки	65
4.2 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення	67
4.3 Проектування маршрутної обробки важеля	68

4.4 Створення керуючої програми для верста з ЧПК в САМ ESPRIT	71
4.5 Проектування верстатного пристрою для фрезерної операції 015	74
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	78
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	78
5.2 Електробезпека	81
ВИСНОВКИ	80
Перелік літературних посилань	86
Додатки	87

ВСТУП

Промислові роботи широко використовуються на виробництві, а саме в галузі машинобудування. Оскільки в наш час виробництво все більше автоматизується, тому з метою його вдосконалення використовують промислові роботи.

Промисловий робот — це автоматичний пристрій, який складається з маніпулятора та перепрограмованого пристрою керування, що застосовуються для переміщення об'єктів у просторі в різних виробництвах. Це частина роботизованого технологічного комплексу. Використання промислових роботів значно спрощує процес виробництва.

Промислові роботи замінюють людину там, де їй потрібна важка, монотонна праця. В умовах підвищеної вологості і підвищеної температури, вібрації, шуму, вибухонебезпечності. Промисловий робот являє собою перепрограмовану автономну машину, яка здатна виконувати аналогічні до людських рухові функції. Наприклад, такі, як переміщення предметів виробництва або технологічного оснащення.

Роботи сприяють заміні монотонної фізичної праці, підвищенню якості виробів, збільшенню їх випуску.

Використання промислових робіт у якості лабораторних стендів в навчальному процесі дозволяє студентам закріпити теоретичні знання, отримані в процесі вивчення лекційного матеріалу, шляхом виконання лабораторних і практичних робіт.

1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ПНЕВМАТИЧНОГО МАНІПУЛЯТОРА МП-9С

1.1 Промисловий пневматичний маніпулятор МП-9С

Пневматичний промисловий маніпулятор МП-9С призначений для виконання та орієнтування деталей в автоматизованому технологічному процесі збирання, штампування та ін.

З шести ступенів рухливості маніпулятора чотири забезпечують реалізацію транспортуючих (регіональних) рухів, а два – орієнтовних (локальних). Для переміщення об'єкта маніпулювання в необхідну позицію робочої зони достатньо лише три транспортуючі ступені рухливості, тому ще три ступені рухливості є надмірними. Їхнє використання дозволяє вирішити функціональні можливості робота. До основних ступенів рухливості даного маніпулятора слід віднести три транспортуючі:

- підйом рук;
- поворот рук;
- висування однієї з рук.

Надмірними ступенями рухливості слід вважати транспортуючий рух висування другої руки (наявність якої визначено конструктивним виконанням) та орієнтовні рухи:

- ротація руки;
- зсув схоплювання.

Крім того, варто зазначити, що маніпулятор оснащений пневматичним приводом, система управління забезпечує програмно-логічний спосіб управління, забезпечуючи ручне введення програми, і маніпулятор оснащений двома механічними універсальними схоплювачами кліщового типу. Основні параметри технічної характеристики промислового пневматичного робота МП-9С наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Характеристики промислового пневматичного робота МП-9С

Параметр	Значення
Номінальна вантажопідйомність	2,0 кг
Корисна вантажопідйомність	1,0 кг
Максимальна величина горизонтального переміщення	200 мм
Максимальний кут повороту в горизонтальній площині	120°
Максимальна величина вертикального переміщення (підйому) рук	65 мм
Максимальна величина зсуву схоплення	25 мм
Максимальний кут повороту схоплення навколо поздовжньої осі (ротація)	180°
Максимальний кут між руками	100°
Мінімальний кут між руками	20°
Габаритні розміри:	
- довжина	990 мм
- ширина	990 мм
- висота	445 мм
Робочий тиск пневможивлення	0,4...0,5 МПа
Напруга управління електропнеumo-розподільниками	Постійний
- вид струму	не більше
- сила струму	0,5 А
Маса маніпулятора	70 кг

Компонування маніпулятора реалізовано таким чином, що в стаціонарному каркасі (корпусі) змонтовано механізм підймання рук. Знизу до модуля механізму підйому кріпиться корпус модуля механізму повороту рук, що піднімається разом із ними. Зверху на модулі підйому один над одним (з кутом між ними горизонтальної площини) встановлені два поступальні модулі горизонтальних переміщень (висування рук). На стрижні цих модулів змонтовано модуль обертання (ротації) та модуль поступальний (зсуву)

схоплювання, до яких безпосередньо і кріпляться схоплювачі. Розташування інших елементів конструкції вузлів показано на рисунку 1.1.

1.2 Структура та робота основних частин маніпулятора МП-9С

Механізм підйом призначений для переміщення рук маніпулятора вздовж вертикальної осі Z. Модуль механізму підйому 1, згідно з рисунком 1.1, кріпиться до корпусу 2 маніпулятора вісьмома гвинтами 3. Також в корпусі закріплена напрямна циліндричної форми 4, на якій встановлений упор 5, що обмежує величину переміщення. На цьому ж рисунку показано встановлення в корпусі демпферів та механізму повороту.

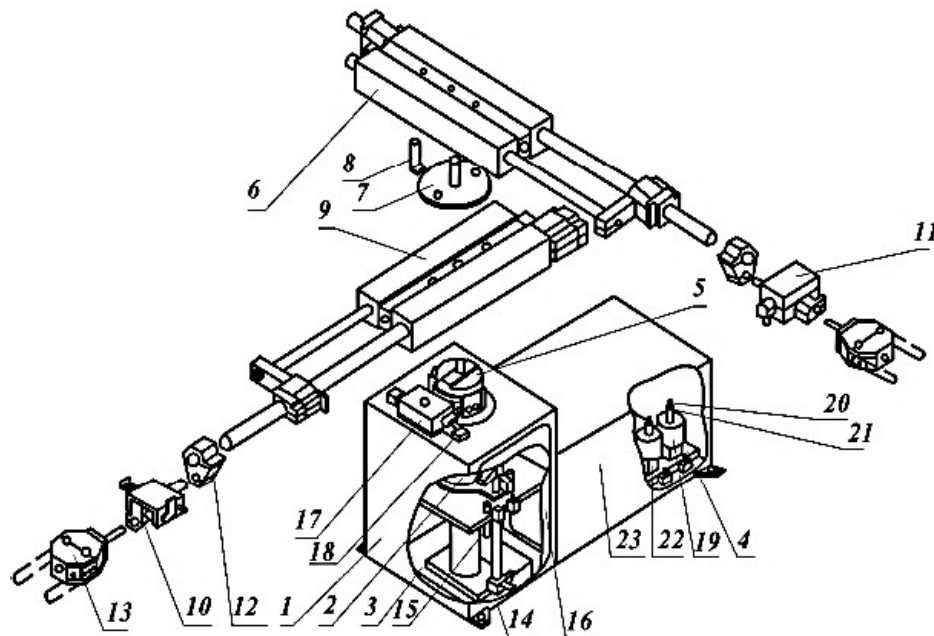


Рисунок 1.1 – Схема розташування основних вузлів та елементів пневматичного промислового маніпулятора МП - 9С 1 – корпус маніпулятора; 2 – механізм підйому; 3 – механізм повороту; 4 – розподільна плита; 5 – муфта зубчаста; 6,9 - модуль поступальний (рука); 7 – фланець кріплення рук; 8 – колонка фіксації рук щодо фланця; 10 - модуль поступальний рух схоплювача; 11 - модуль повороту (ротації) схоплювача; 12 – кронштейн; 13 - схоплювач; 14 - упор; 15 – демпфер; 16 – кришка корпусу, 17 – амортизатор механізму повороту, 18 – контакт магнітокерований КЕМ; 19 – електромагнітний регулятор (дросель); 20 – голка; 21 - гайка фіксації голки; 22 -пневмодросель; 23 - корпус пристрою розподілу повітря.

1.2 Функціональна схема механізму підйому

На рисунку 1.2 представлена схема функціонування модуля механізму підйому. Цей модуль складається з корпусу (циліндра) 1, порожнистого штока – поршня 2 з ущільнювальними манжетами

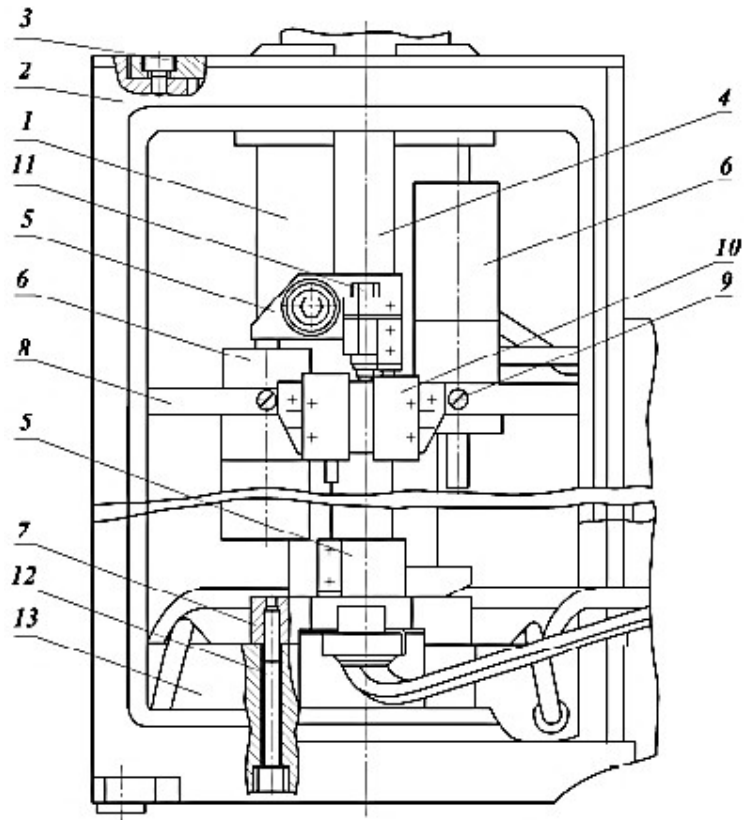


Рисунок 1.2 – Механізм підйому

1 – корпус модуля підйому пневмоциліндра; 2 – корпус маніпулятора; 3 – кріпильні гвинти; 4 – циліндрична напряна; 5 – упор; 6 – демпфер; 7 – пластина; 8 – перегородка корпусу; 9 – гвинт; 10 – блок електромагнітних контактів (КЕМ); 11 – гвинт тонкого регулювання положення упору; 12 – гвинт; 13 – корпус модуля повороту.

Представлений на рисунку 1.2 механізм забезпечує підйом і опускання рук маніпулятора.

У корпусі даного механізму встановлена циліндрична напрямна 4, до якої кріпляться упори 5. Демпфери 6 ввертаються в пластину 8 корпусу 2 і стопоряться гвинтами 9.

Для регулювання механізму підйому встановлюється величина вертикального переміщення рук маніпулятора та перевіряється спрацювання блоку перемикачів 10, для чого:

- підберемо положення мікрогвинта 11, при якому надійно спрацює перемикач 10;
- пересунемо упори 5 на необхідну величину, спочатку послабивши їхню затяжку до направляючої 4;
- затиснемо упори 5.

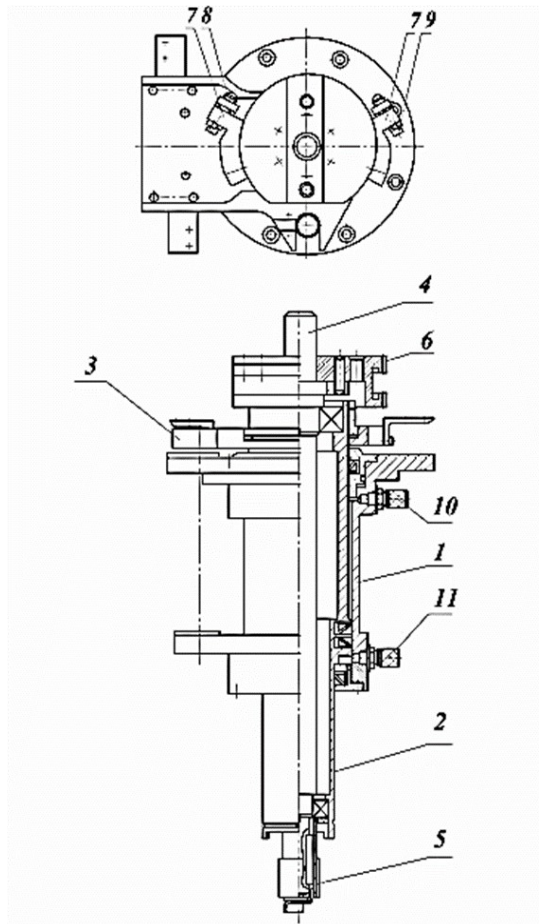


Рисунок 1.3 – Модуль підйому

1 – корпус пневмоциліндра; 2 – шток-поршень; 3 – кронштейн; 4 – вал механізму повороту; 5 — колесо зубчасте; 6 – муфта зубчаста; 7 – упори; 8,9 – гвинти регулювання положень упорів; 10,11 – штуцер

При подачі стисненого повітря через штуцер 10, зображений на рисунку 1.3, в нижню порожнину пневмоциліндра, відбувається переміщення шток-поршня, що розділяє порожнину циліндра на дві герметично ізольовані одна від одної частини, вгору підйом закріплених на ньому модулів і вузлів, подача стисненого повітря через верхній штуцер призводить до опускання шток-поршня. виготовлення штокових порожнин пневмоциліндра з різним перерізом обумовлено міркуваннями поліпшення динамічних показників роботи модуля.

Для встановлення та фіксації на даному модулі механізму повороту нижній кінець шток-поршня виконується з проточкою та виступом. На верхньому кінці шток-поршня встановлюється кронштейн 3 для закріплення амортизатора механізму повороту.

У середині порожнього шток-поршня закріплені опори кочення (підшипники) для встановлення в них валу 4 механізму повороту. На нижньому кінці валу закріплено зубчасте колесо 5, що взаємодіє зі шток-рейками механізму повороту. На верхньому кінці валу закріплена зубчаста муфта 6 для кріплення на ній та регулювання положень упорів 7, що визначають кут повороту рук маніпулятора.

1.3 Модуль повороту робота

На рисунку 1.4 зображено модуль повороту, призначений для повороту рук маніпулятор навколо вертикальної осі. Модуль утворений корпусом 1, в якому виконані порожнини двох пневмоциліндрів. У пневмоциліндрах встановлено шток-рейки 2, в зачепленні з якими прямозубе циліндричне колесо, закріплене нижньому кінці валу, зображеного рисунку 1.3.

Через вікно в днищі корпусу маніпулятора встановлюється модуль повороту, який за допомогою пластини 7, як показано на рисунку 1.2, кріпиться гвинтами 12 до штока модуля підйому. Циліндрична напрямна 4 одним кінцем закріплена в пластині 7, а другим – у кронштейні 3, зображеному на рисунку. В

результаті вона разом зі штоком модуля підйому і корпусом механізму повороту утворює жорстку замкнуту конструкцію. Таким чином, відбувається запобігання повороту штока модуля підйому. Демпфери 6 повертаються в горизонтальну перегородку 8 корпусу 2 і стопоряться гвинтами 9.

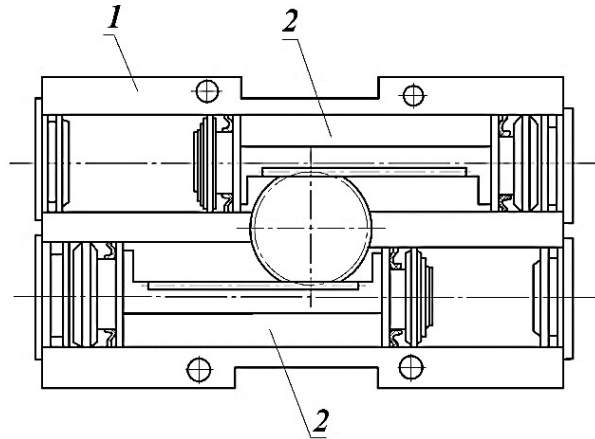


Рисунок 1.4 – Структура модуля повороту

1.4 Модуль поступального переміщення

Модуль поступальний або рука (рисунок 1.5), призначена для горизонтального переміщення (висування) схоплювача в процесі маніпулювання об'єктом. Модуль утворений корпусом 1, в якому розташований пневмоциліндр двосторонньої дії. Паралельно пневмоциліндру в корпусі рухомо закріплений стрижень 3. На стрижні з двох сторін встановлюються основні та регульовальні упори 4 і 5, відповідно. Упори, встановлені з боку схоплювача, пов'язані зі штоком-поршнем. Усі об'єкти, що переміщуються цим модулем, встановлюються на стрижні.

Порожнина циліндра розділена штоком-поршнем 2 на дві герметичні частини. Для подачі стисненого повітря в порожнині використовують шток-поршень, який з цієї причини виконаний порожнистим. При подачі через один із штуцерів 8 або 9 стиснутого повітря виконується переміщення штока-поршня 2 разом зі стрижнем 3 та упорами 4,5. Поблизу кінцевого положення упор 4 натискає на плунжер демпфера 6, що призводить до зменшення швидкості переміщення, забезпечуючи плавність виходу точку позиціонування. В кінці

ходу спрацьовує електромагнітний контакт 7, видаючи сигнал про завершення виконання руху.

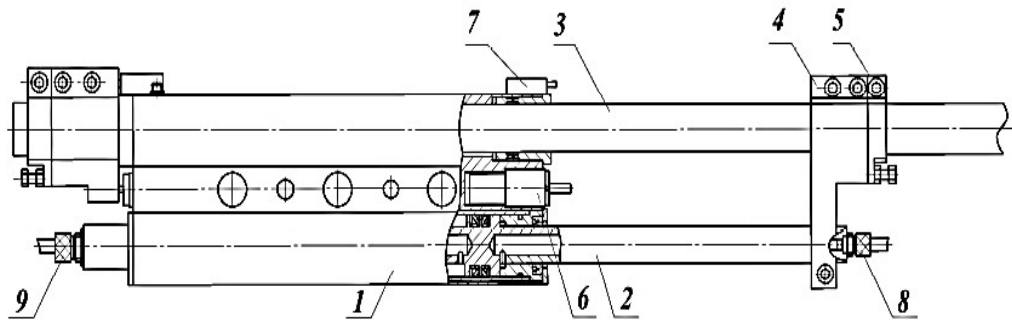


Рисунок 1.5 – Модуль поступальний (рука)

1 – корпус; 2 – шток-поршень; 3 – стрижень; 4 – наголос основний; 5 – упор регульовальний; 6 – демпфер; 7 – КЕМ (контакт електромагнітний); 8,9 – штуцер.

1.5 Демпфер

Демпфер, структура якого показана на рисунку 1.6, забезпечує м'який удар при виході на упор, сприяючи плавному виходу рухомої ланки у точку позиціонування. Демпфери такої конструкції встановлені на модулях горизонтальних переміщень (руках) і в механізмі підйому.

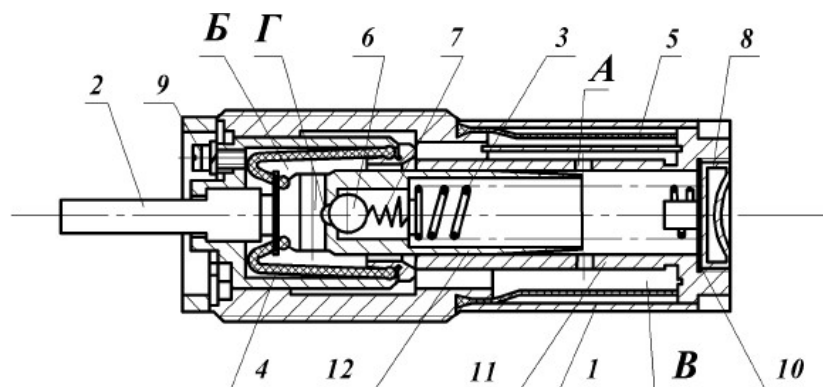


Рисунок 1.6 – Структура демпфера

1 – корпус; 2 – штовхач; 3 – пружина; 4 – ковпачок; 5 – кожух; 6 – кулька; 7 – пружина; 8 – пробка; 9 – гвинт; 10 – прокладання; 11 - нерухома (циліндрична) частина плунжера; 12 – рухлива (конічна) частина плунжера; А, Г – отвори; Б, В – герметичні порожнини.

Демпфер складається з корпусу 1, в якому встановлений плунжер, що підтискується пружиною 3 і має чотири лиски з різними кутами нахилу, ковпачок 4, кожух 5, герметично з'єднані плунжером і корпусом, утворюючи дві герметичних площин Б і В.

Так само в плунжері розташована кулька 6, яка підтримується пружиною 7, що забезпечує замикання перепускного отвору Г.

При дії на штовхач 2 рух передається рухомій конічній частині плунжера 12, яка переміщаючись всередину нерухомої циліндричної частини плунжера долаючи силу пружності пружини, скорочує об'єм порожнистої частини плунжера, в якій знаходиться масло.

1.6 Пневматичний привід маніпулятора МП-9С

Так як вантажопідйомність маніпулятора невелика, а система керування робота циклова, то для переміщення його елементів використовується пневматичний привід. Структура пневмоприводу утворена вузлом підготовки повітря, показаним на рисунку 1.7, вузлом розподілу повітря, що розміщується з тильного боку корпусу маніпулятора і закривається кришкою 23, як показано на рисунку 1.7 і сполучною арматурою (штуцери, шланги і т.д.).

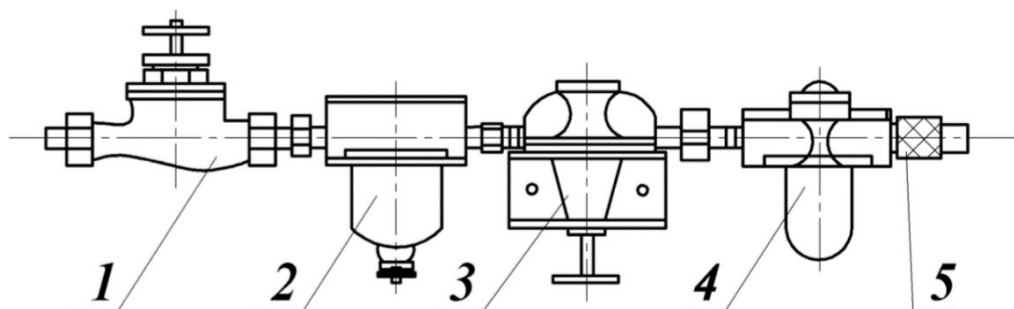


Рисунок 1.7 – Вузол підготовки повітря (УПВ)

Вузол підготовки повітря призначений для регулювання тиску стисненого повітря, що подається в маніпулятор, очищення повітря від твердих частинок і води та розпилення мастила для змащування тертьових частин пневмоциліндрів маніпулятора. Осушувач УВП забезпечує вологість стисненого

повітря, що не перевищує 80%. Очищувач видаляє всі механічні включення з розміром у поперечному перерізі понад 80 мкм. Пристрій мастила розпилює одну-дві краплі мастила на хвилину.

Вузол розподілу повітря утворений дванадцятьма пневмоциліндрами, позиція 22 рисунка 1.1 (позначені рисунку 1.8 символами «К1», «К2», ..., «К12»), встановленими на розподільчій плиті. На них встановлено електромагнітні регулятори (дроселі), позиція 19 на рисунку 1, позначені на рисунку 8 символами «ДР1», «ДР2», ..., «ДР12». Підключені вони відповідно до пневматичної принципової схеми, наведеної на рисунку 8. Електропневморозподільники реалізують спрацювання будь-якого ступеня рухливості шляхом під'єднання шлангів, що з'єднують відповідну порожнину пневмоциліндра з нагнітальною магістраллю через канали, виконані в розподільчій плиті. Крім того, вони дозволяють за допомогою дроселів, змінюючи вертикальні положення голок, позиція 20 рисунка 1, регулювати швидкості спрацювання по кожному з ступенів рухливості (окремо в кожному напрямі)

Принципова пневматична схема робота наведена рисунку 1.8.

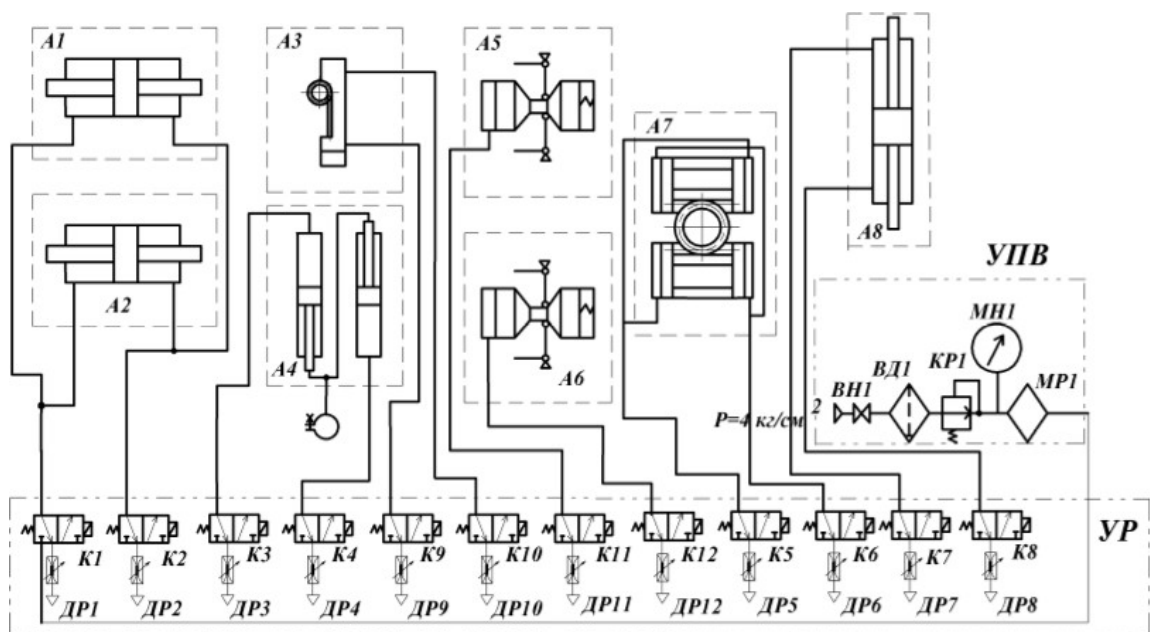


Рисунок 1.8 – Принципова пневматична схема пневматичного промислового маніпулятора МП – 9С

A1, A2 - модулі поступальні (руки); A3 – модуль обертальний (ротація схвата); A4 - модуль поступальний (зсув схоплювача); A5, A6 – схоплювач; A7 - механізм повороту; A8 – механізм підйому; УР — вузол розподілу; ДР1, ДР2,...ДР12 - дроселі; К1, К2, ... К12 - пневморозподільники; УВП – вузол підготовки повітря; ВН1 – вентиляний запірний, ВД1 – фільтр – вологовідділювач, КР1 – пневмоклапан, МН1 – манометр, МР1 – маслорозпилювач.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ МП-9С

2.1 Розроблення алгоритму управління промисловим маніпулятором

Для проведення лабораторних робіт було розроблено алгоритми функціонування промислового пневматичного маніпулятора. Кожен алгоритм — це певна послідовність роботи ланок маніпулятора.

Алгоритм 1 (робоча нижня рука)

Руки вперед → підйом маніпулятора → розтискання схоплювача → руки вправо → затиск схоплювача → руки вліво → опускання робота → ротація схоплювача → руки назад → розтискання схоплювача

Опис алгоритму управління маніпулятором МП-9С за першим сценарієм

1. При натисканні кнопки «Пуск» подається живлення на плату контролера.

2. Вмикається переміщення маніпулятора в горизонтальній площині.

При відкритті електропневмоклапану повітря подається до пневмоциліндра, доки упор не включить кінцевий вимикач. Відбувається перехід до наступного кроку програми. Якщо сигнал включення відсутній, то відбувається аварійна зупинка програми. Зазначені умови переходу до наступних кроків алгоритму аналогічні.

3. Далі дії виконуються у такому порядку:

- 1) включається переміщення маніпулятора у вертикальній площині;
- 2) включається розтискання схоплювача;
- 3) включається переміщення маніпулятора проти годинникової стрілки;
- 4) включається затискач схоплювача;
- 5) включається переміщення маніпулятора за годинниковою стрілкою;
- 6) включається переміщення маніпулятора у вертикальній площині;
- 7) включається ротація схоплювача;
- 8) включається переміщення маніпулятора у горизонтальній площині;
- 9) включається розтискання схоплювача.

Під час виконання останнього кроку програми відбувається перехід до початку програми.

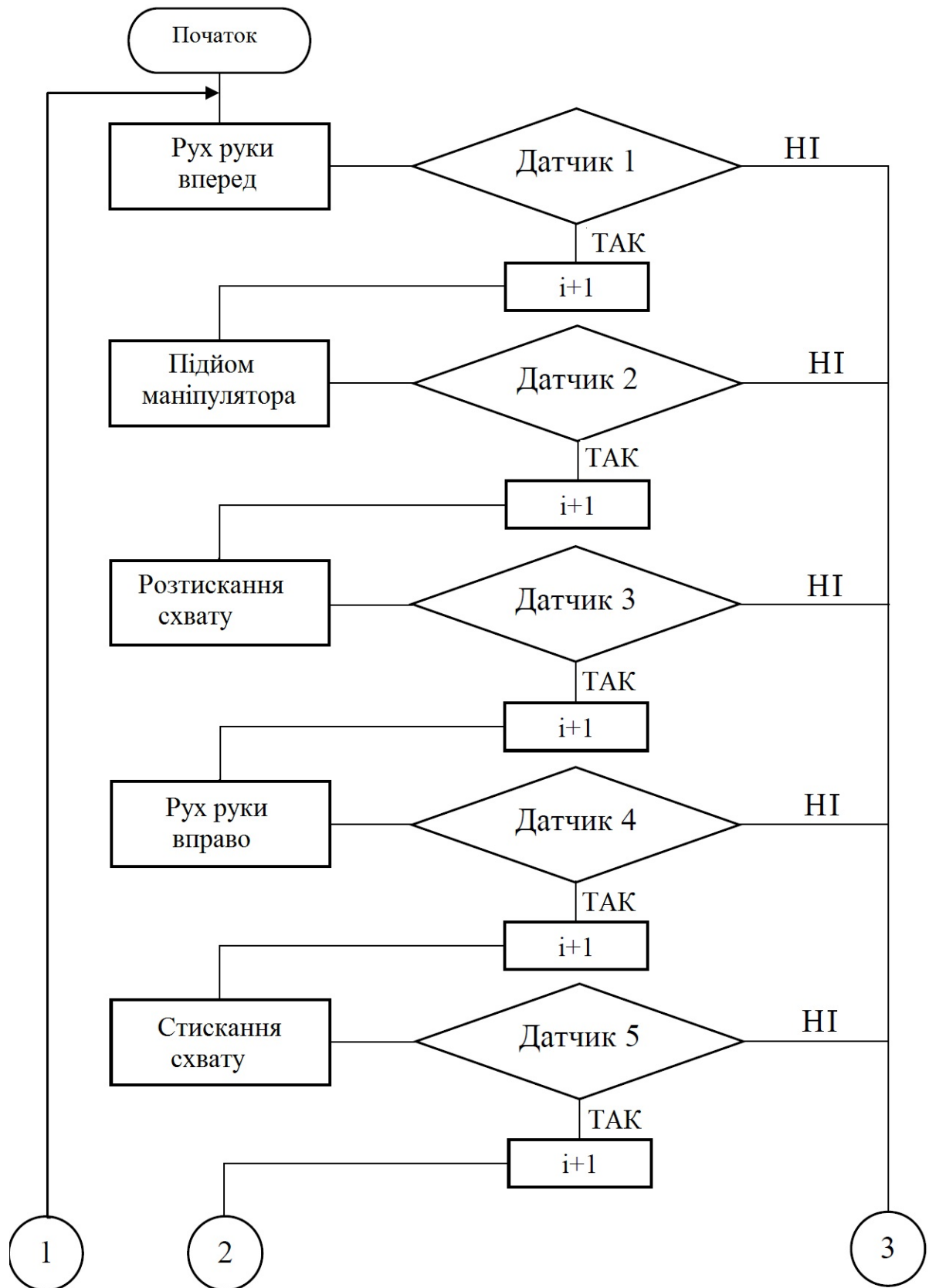


Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму 1

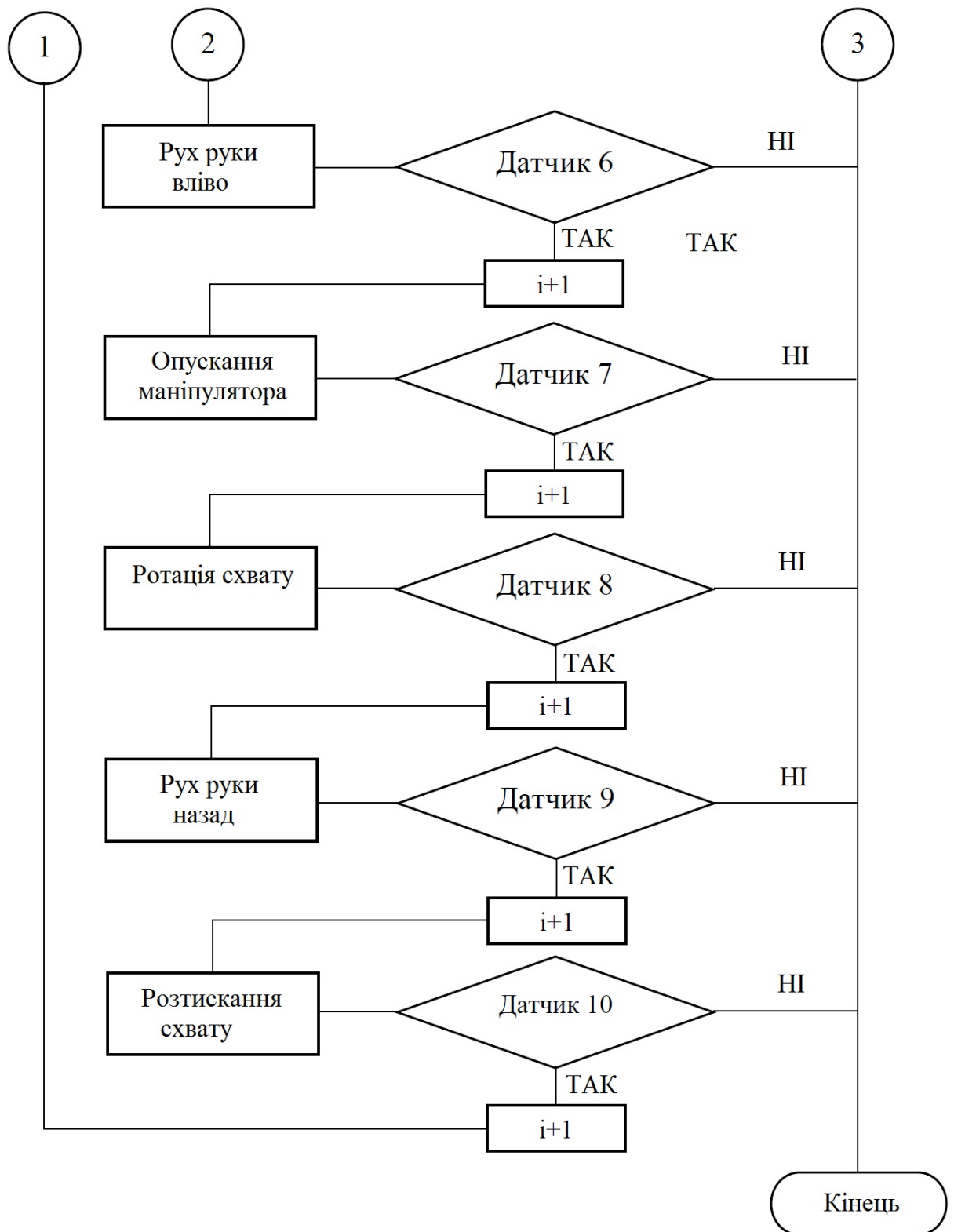


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму 1 (продовження)

Раніше управління промисловим пневматичним маніпулятором МП 9С здійснювалося за допомогою пристрою управління ЕЦПУ - 6030, призначеного для управління маніпуляторами з позиціонуванням на упори.

Функціональний склад пристрою та характерні зв'язки між блоками зображено на рисунку 19. Даний пристрій побудовано за принципом синхронного програмного автомата з жорстким циклом управління. Основні блоки та вузли пристрою керування:

- пульт управління, задає режими роботи пристрою, та здійснює ручне управління ланками маніпулятора;
- блок управління, обробляє інформацію по заданому режимі і видає керуючі на маніпулятор;
- блок підсилювачів, що видає керуючі команди на клапани маніпулятора;
- блок живлення, здійснює живлення системи управління та електропневмоклапанів;
- програмоносій, призначений для набору та зберігання потрібної програми роботи маніпулятора.

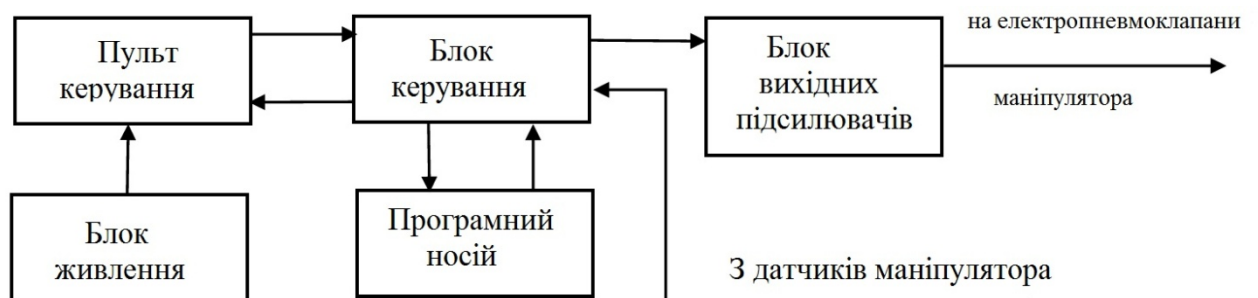


Рисунок 2.3 — ЕПЦУ-6030 схема структурна

З пульта управління задається один із наступних режимів роботи пристрою:

- ручний;
- команда;
- цикл;
- автомат.

Режим роботи «ручний»

Подача команд здійснюється з пульта управління, команди надходять на блок підсилювачів, а потім на маніпулятор для керування його рухомими органами. Контроль положення виконуючих органів маніпулятора здійснюється за допомогою табло індикації стану ланок маніпулятора.

Режим роботи «команда»

Пристрій забезпечує відпрацювання одного кадру програми, набраної на програмноносії. Після відпрацювання команд, заданих у кадрі, відбувається зупинка пристрою.

Режим роботи «цикл»

Пристрій здійснює одноразове відпрацювання всіх кадрів програми.

Режим роботи «автомат»

Пристрій здійснює багаторазове відпрацювання робочого циклу роботи. Штатний пристрій управління несправний, його відновлення в умовах розвитку автоматизації нерационально, тому в результаті аналізу прийнято рішення розробити систему управління на базі одного із сучасних мікроконтролерів.

2.2 Апаратне забезпечення системи керування

Розглянемо два сімейства контролерів AVR та PIC.

AVR-мікроконтролери, виготовлені фірмою ATMEL, – це сімейство 8-бітних і новіших 32-бітних мікроконтролерів з архітектурою RISC, які поєднують у собі обчислювальне ядро, Flash-пам'ять та різноманітну периферію (аналогові та цифрові входи та виходи, інтерфейси тощо) одному кристалі.

PIC (Peripheral Interface Controller) – контролери периферійних інтерфейсів, що випускаються фірмою MicroChip і є типовими представниками RISC-процесора.

Таблиця 2.2 - Порівняльні характеристики сімейств контролерів

Характеристики	PIC	AVR
Електричні параметри		
Напруга живлення (V)	2,0-5,5	2,7-6,0 4,0-6,0
Навантажувальна властивість портів В/В (ма)	25 8,5 -3,0	40 20,0 -3,0
Максимальна тактова частота (МГц)	40	16
Архітектура		
Організація процесора	RISC, Гарвардська	RISC. Гарвардська
Число тактів на один командний цикл	4	4
Стек	Апаратний, 8 рівнів для PIC 16 32 рівні для PIC 18	Програмний, обмежується ємністю ОЗУ
Типи пам'яті	РАМ, ROM	Регістри (32), РАМ, ROM
Доступ до пам'яті	сторінковий	повний
Переривання, спосіб визначення джерела	PIC 16 – програмний PIC 18 – векторний	Векторний
Рівень пріоритету переривань	PIC 16 – визначається програмою обробки PIC 18 – перемінний	Фіксований
Скидання прапорців переривань	Програмний	Апаратний, при переході по вектору.
Вкладеність переривань	PIC 16 – відсутня PIC 18 – наявна	Можлива
Прапорці ознак в регістрі станів	PIC 16 – C, Z, DC PIC 18 – C, Z, DC, OV, N	C, Z, N, V, S, H
Система команд		
Кількість інструкцій	PIC 16 – 35 PIC 18 – 77	AT90S -118 ATmega – 133
Кількість методів адресації	PIC 16 – 3 PIC 18 – 7	8
Можливість доступу до даних	PIC 16 – відсутній PIC 18 – повний	AT90S – частковий ATmega – повний

Мікроконтролери AVR набагато стійкіші до перешкод, надійніші в експлуатації, ніж мікроконтролери сімейства PIC. Мікроконтролери сімейства AVR виконують один командний цикл за один такт, а PIC – за чотири такти. AVR також має більшу кількість методів адресації.

Провівши аналіз існуючих мікроконтролерів (таблиця 2) необхідного рівня, було обрано найкращий варіант – контролер сімейства AVR. Система керування стендом реалізована на платформі Arduino. Апаратна платформа Arduino має широке застосування в проектах електронної автоматики. Вона дозволяє здійснювати керування зовнішніми пристроями (Реле, датчики, флеш-пам'ять, LCD-екрани, світлова індикація і т.д.). Таким чином, дана апаратна платформа поєднує все необхідне для розробки системи управління.

Розглянемо три найпоширеніші апаратні платформи Arduino, такі як Arduino UNO, Arduino LEONARDO, Arduino MEGA.

Arduino UNO – плата оснащена мікроконтролером ATmega328. Апаратна платформа має 6 аналогових входів, 14 цифрових вход/виходів, тактова частота 16 МГц, USB роз'єм, силовий роз'єм, ICSP роз'єм і кнопку перезавантаження. Для роботи платформу необхідно підключити до комп'ютера, використовуючи USB-кабель, або подати живлення за допомогою AC/DC адаптера чи батареї.

Arduino LEONARDO – плата оснащена мікроконтролером ATmega32u4. Платформа має 20 цифрових вход/виходів, тактова частота 16 МГц, мікро USB роз'єм, силовий роз'єм, ICSP-роз'єм та кнопку перезавантаження. Для роботи платформу необхідно підключити до комп'ютера за допомогою кабелю USB, або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC чи батареї.

Arduino MEGA – плата оснащена мікроконтролером ATmega2560. Плата має 16 аналогових входів, 54 цифрових входів/виходів, 4 послідовні порти UART, тактова частота 16 МГц, USB-конектор, роз'єм живлення, ICSP-роз'єм та кнопку перезавантаження. Для роботи платформу необхідно

підключити до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC чи акумуляторної батареї.

Таблиця 2.3 — Порівняльні характеристики платформ

Параметр	Arduino UNO	Arduino LEONARDO	Arduino MEGA
Мікроконтролер	ATmega328	ATmega32u4	ATmega2560
Робоча напруга	5 В	5 В	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В	7-12 В	7-12 В
Вхідна напруга (граничне)	6-20 В	6-20 В	6-20 В
Цифрові входи/виходи	14	20	54
Аналогові входи	6	12	16
Постійний струм через вхід/вихід	40 mA	40 mA	40 mA
Постійний струм для виведення 3,3 В	50 mA	50 mA	50 mA
Флеш-пам'ять	32 Kb	32 Kb	256 Kb
ОЗП	2 Kb	2 Kb	8 Kb
Енергозалежна пам'ять	1 Kb	1 Kb	4 Kb
Тактова частота	16 MHz	16 MHz	16 MHz

За даними, наведеними в таблиці 3, видно, що апаратна платформа Arduino Mega (рисунок 20) має найбільшу кількість цифрових входів/виходів, так само флеш-пам'ять, ОЗУ та енергонезалежну пам'ять. Виходячи з перерахованого вище для цього автоматизованого лабораторного стенда вибираємо апаратну платформу Arduino Mega 2560.

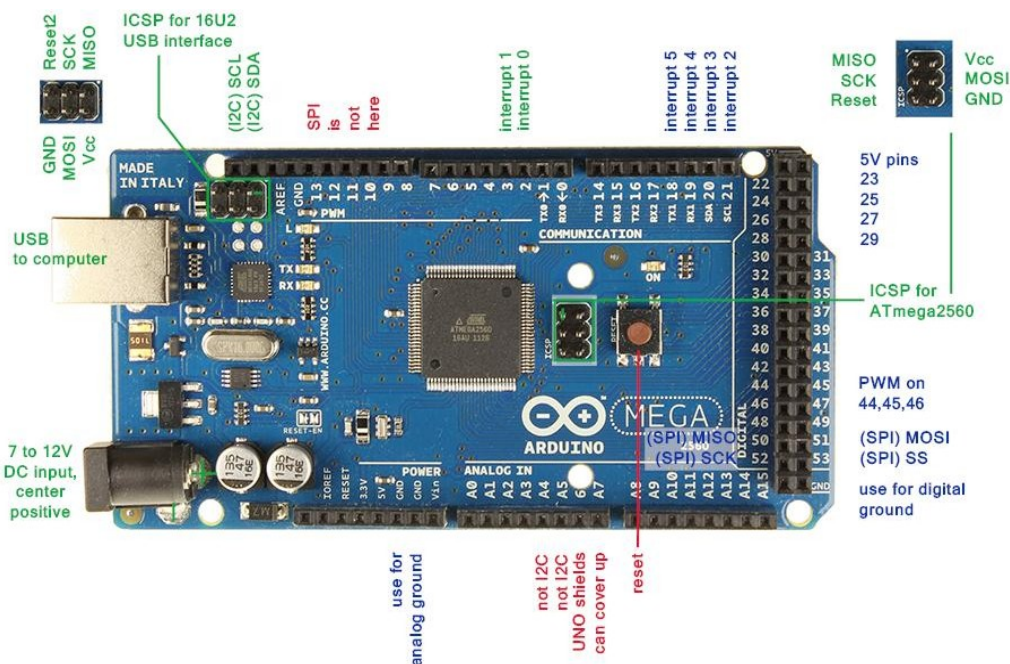


Рисунок 2.4 – плата ArduinoMega 2560

Таблиця 2.4 – Цифрові піни плати Arduino Mega 2650

Пін	Адресація в скетчі	Спеціальне позначення	ШИМ
Цифровий пін 0	0	RX (Serial)	
Цифровий пін 1	1	TX (Serial)	
Цифровий пін 2	2	Вхід для переривань 0	ШИМ
Цифровий пін 3	3	Вхід для переривань 1	ШИМ
Цифровий пін 4-12	4-12		ШИМ
Цифровий пін 13	13	Вбудований світлодіод	ШИМ
Цифровий пін 14	14	TX (Serial3)	
Цифровий пін 15	15	RX (Serial3)	
Цифровий пін 16	16	TX (Serial2)	
Цифровий пін 17	17	RX (Serial2)	
Цифровий пін 18	18	TX (Serial) Вхід для перер. 5	
Цифровий пін 19	19	RX (Serial) Вхід для перер. 4	
Цифровий пін 20	20	12C SDA Вхід для перер. 3	
Цифровий пін 21	21	12C SCL Вхід для перер. 2	
Цифровий пін 22-43	22-43		
Цифровий пін 44-49	44-49		ШИМ
Цифровий пін 50	50	MISO	
Цифровий пін 51	51	MOSI	
Цифровий пін 52	52	SCK	
Цифровий пін 53	53	SCL	

Аналогові піни

У плати Arduino Mega 16 аналогових входів. Кожен із них з'єднаний з 10-розрядним АЦП, тому в скетчі можна отримати 1024 рівнів значень за допомогою функції `analogRead()`. Діапазон значень напруги по відношенню до землі на аналогових пінах за замовчуванням дорівнює 0-5 В. Цей діапазон можна змінити за допомогою функції `analogReference()` та піна AREF.

З'єднання з комп'ютером

Підключення до комп'ютера та завантаження скетчу здійснюється стандартно для більшості плат сімейства Arduino. За допомогою мікросхеми ATmega16U2 пристрій визначається як COM-порт, через який можуть передаватися дані та здійснюється перепрошивка мікроконтролера.

Безпосереднє керування лабораторним стендом здійснюється за допомогою матричної клавіатури (рисунок 21).

Клавіатура виконана у вигляді матриці 4x4 (рисунок 21), кожна кнопка є областю повітряного зазору між двома діелектричними шарами з нанесеними на них струмопровідними покриттями. Доріжки струмопровідного покриття одного шару нанесені горизонтально (висновки 1-4), а іншого вертикально (висновки 5-8). Натискання на кнопку призводить до з'єднання доріжки одного шару з доріжкою іншого, і як наслідок, до замикання одного з висновків 1-4 з одним із висновків 5-8.

Таблиця 2.5 — Технічні характеристики

Параметр	Значення
Габарити, мм	68x77ч0,8
Робоча напруга, В	до 12
Максимальний струм, мА	100
Опір ізоляції, МОм	>100
Опір контактів, Ом	<200
Брязкіт контактів, мс	<5
Робоча температура, °С	від 0 до +70
Маса, г	10

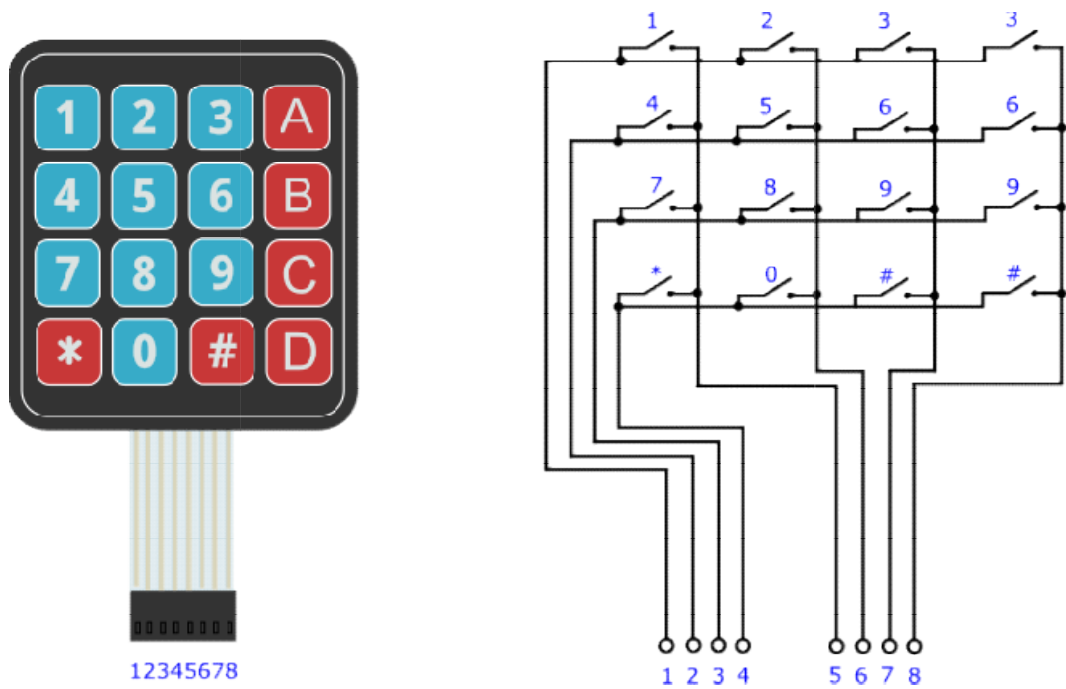


Рисунок 2.5 – Клавіатура керування маніпулятором

На рисунку 2.5 клавіші 0-9, *, # – рухи маніпулятора, А-D – сценарії роботи маніпулятора.

1 – Підйом маніпулятора

2 – Поворот маніпулятора ліворуч

3 – Поворот маніпулятора наліво

4 – Рух рук вперед

5 – Рух рук назад

6 – Розтискання верхнього

схоплювання

7 – Розтискання нижнього схоплювання

8 – Ротація схоплювання вправо

9 – Ротація схоплювання вліво

* – Рух верхнього схоплювання вліво

– Скидання

A – Сценарій 1

B – Сценарій 2

C – Сценарій 3

D – Сценарій 4

2.3 Структурна схема системи управління

Розроблено структурну схему управління промисловим маніпулятором МП-9С (рисунок 2.6).

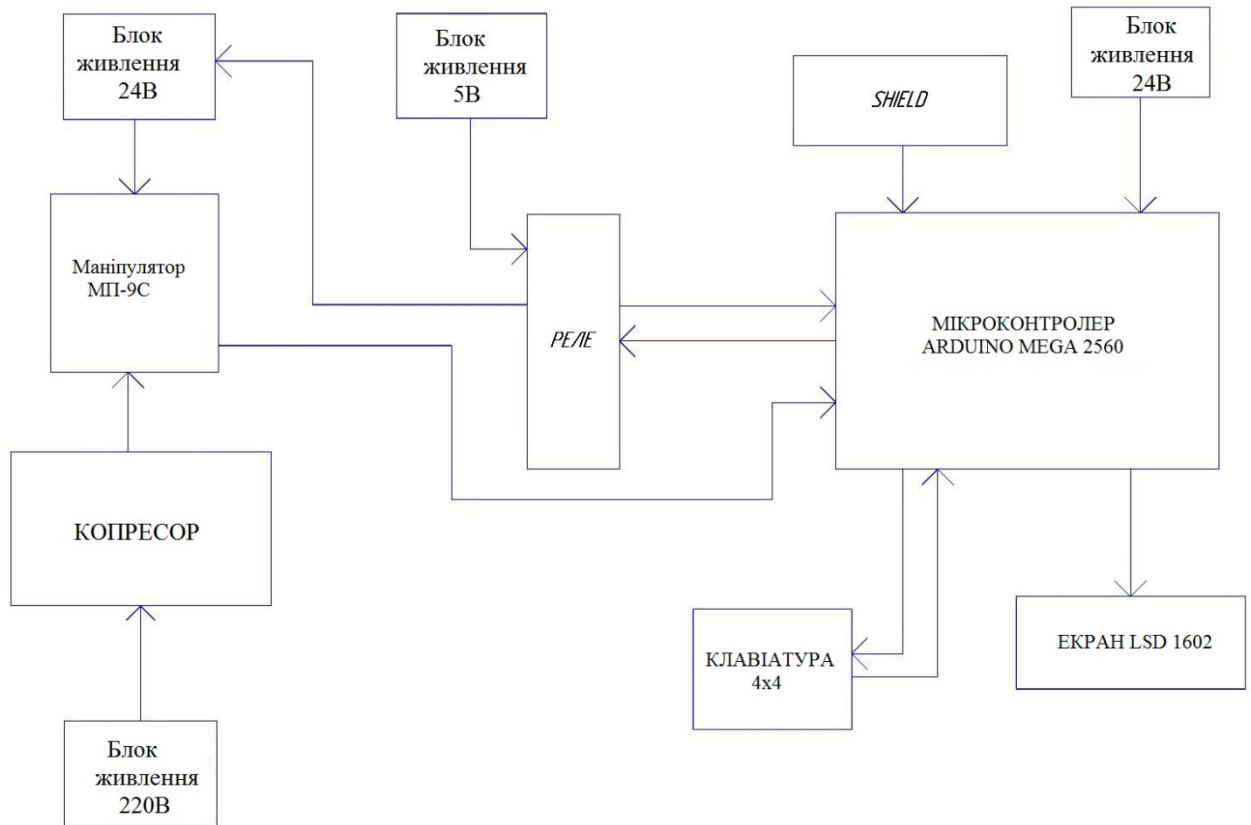


Рисунок 2.6 - Структурна схема управління пневматичним промисловим маніпулятором МП-9С

Компресор живиться від напруги 220В. Повітряні магістралі, що подають повітря на пневмоциліндри ланок маніпулятора, перемикаються з допомогою електропневмоклапанів (ЕПК), для живлення ЕПК необхідно 24В. Сигнал з ЕПК передається на мікроконтролер Arduino Mega 2560 для живлення плати необхідно 24В. За допомогою клавіатури на плату надходить сигнал про виконання якої-небудь дії, потім за допомогою двожильних проводів передається сигнал на реле, живлення яких 5В, далі сигнал передається на електропневмоклапани, виконується дія. До мікроконтролера

Arduino під ключ екран I2C, при натисканні кнопки на екрані відображається, яку дію обрано користувачем.

3.4 Принципова схема системи управління

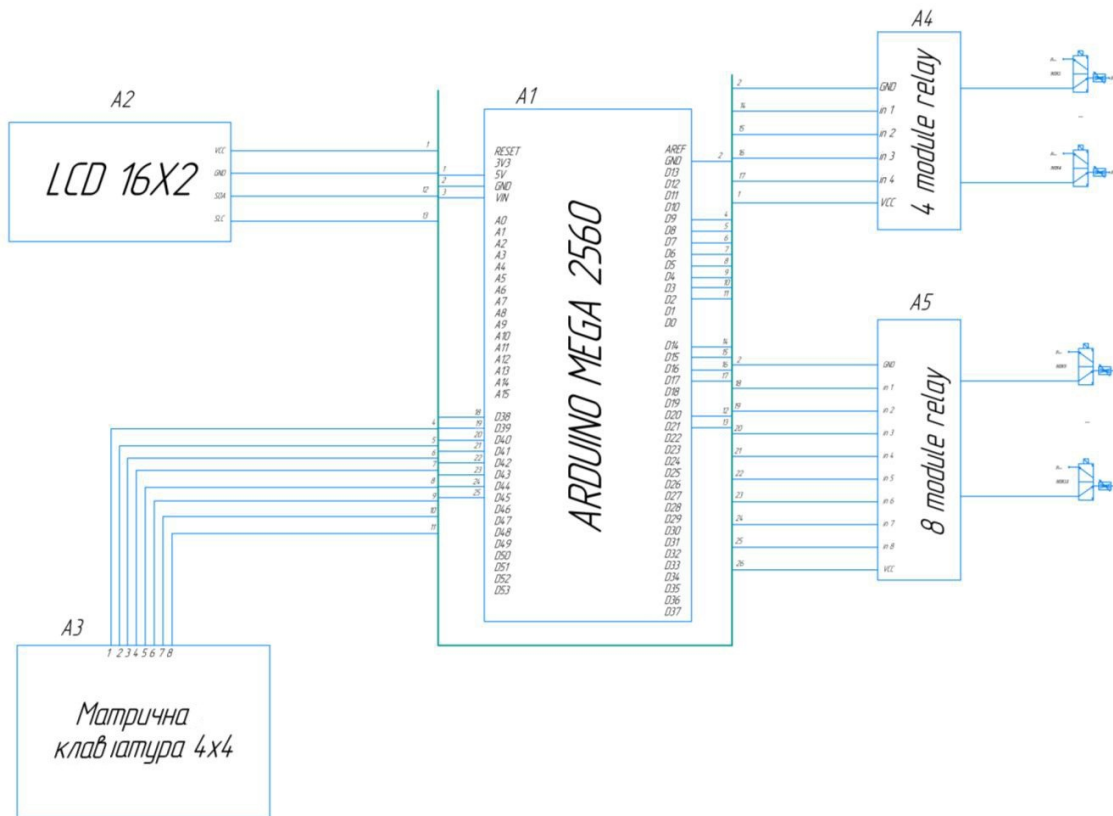


Рисунок 2.7 – Принципова схема управління пневматичним промисловим маніпулятором МП-9С

Мікроконтролер Arduino покроково здійснює виконання заданої програми. Виконання кожного кроку забезпечується контролем стану датчиків (кінцевих вимикачів). При переміщенні керованої ланки маніпулятора в крайню задану точку траєкторії, відповідний кінцевий вимикач замикається, на вході контролера з'являється керуючий сигнал, відбувається перехід до виконання наступної команди. Якщо сигнал кінцевого вимикача відсутній, виконання програми зупиняється. Вибір команди здійснюється оператором за допомогою матричної клавіатури. При натисканні на кнопку клавіатури виконується дія, або певний цикл, на екран виводиться вибрана дія. До мікроконтролера Arduino також підключені два

модулі реле (4 і 8 шт.). До даних модулів підключені електропневмоклапани промислового пневматичного маніпулятора МП-9С.

2.4 Програмне забезпечення системи управління

Плата Arduino програмується спеціальною мовою програмування, заснованою на C/C++. Мова програмування Arduino є різновидом C++, іншими словами, окремої мови програмування для Arduino немає. Справа в тому, що всі написані скетчі компілюються з мінімальними змінами програму мовою C/C++. Компілятор Arduino IDE значно спрощує написання програм для цієї платформи та створення пристроїв на Arduino стає набагато доступнішим, тим хто не має великих знань у мові C/C++. Нижче наведений код для керування лабораторним стенд.

2.5 Комплектація шафи керування

Мікроконтролер Arduino Mega 2560

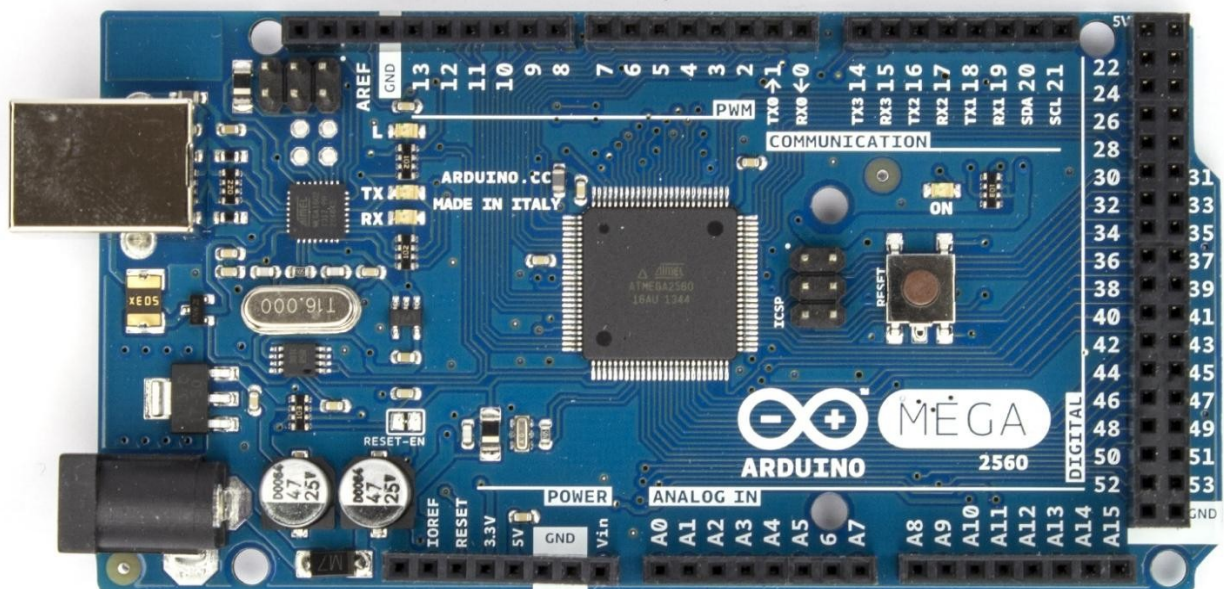


Рисунок 2.8 – Мікроконтролер Arduino Mega 2560

Технічні характеристики, цифрові та аналогові піни, підключення до комп'ютера були розглянуті у пункті 2.1.

Живлення апаратної платформи Arduino Mega 2560

Забезпечити живлення для платформи можна як через підключення USB, так і від зовнішнього джерела живлення. Джерело живлення вибирається автоматично. Зовнішнє живлення (не USB) може подаватися через перетворювач напруги AC/DC (блок живлення) або акумуляторною батареєю. Перетворювач напруги підключається за допомогою роз'єму 2.1 мм з позитивним полюсом на центральному контакті. Провід від батареї підключається до виводів GND та VIN роз'єму живлення (POWER).

Платформа може працювати при зовнішньому живленні від 6В до 20В. При напрузі живлення нижче 7В, вивід 5V може видавати менше 5В, при цьому платформа може працювати нестабільно. При використанні напруги вище 12В регулятор напруги може перегрітися та пошкодити плату. Рекомендований діапазон від 7В до 12В.

Апаратна платформа Arduino Mega 2560, на відміну від попередніх версій, не використовує FTDI USB мікроконтролер. Обмін даними по USB здійснюється за допомогою мікроконтролера Atmega8U2. Виходи живлення:

VIN. Вхід використовується для живлення від зовнішнього джерела. Подача напруги живлення відбувається через даний вихід. Якщо живлення подається на роз'єм 2.1 мм, на цей вхід можна подати живлення.

5V. Використовується для живлення мікроконтролера та компонентів на платі. Живлення може подаватися від виведення VIN через регулятор напруги, від роз'єму USB, або від іншого регульованого джерела напруги 5В.

3V3. Напруга на виході 3.3В, яке генерується мікросхемою FTDI на платформі. Максимальне споживання струму 50 мА.

GND. Виходи заземлення.

Arduino Sensor Shield

Shield досить простий – його основне завдання надати зручніші варіанти підключення до плати Arduino. Це здійснюється за рахунок додаткових роз'ємів живлення та землі, виведених на плату до кожного з

аналогових та цифрових пінів. Також на платі можна знайти роз'єми для підключення зовнішнього джерела живлення (для перемикання потрібно встановити перемички), світлодіод та кнопку перезавантаження.

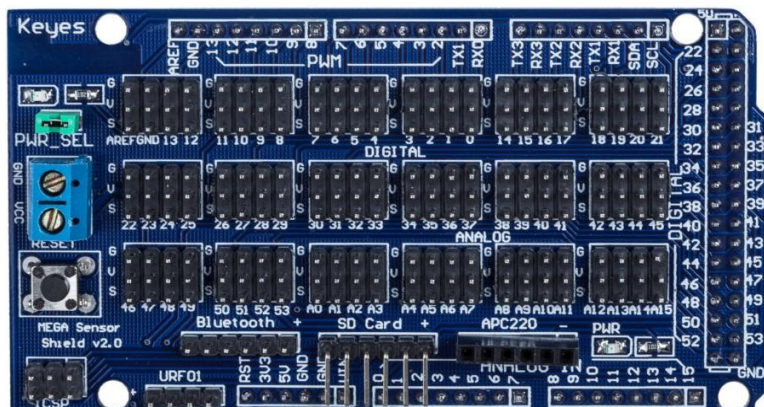


Рисунок 2.9 – Arduino Sensor Shield

Комутаційна плата Mega Sensor Shield V2.0 призначена для розширення функціональності контролерів на платформі Arduino Mega. Плата дозволяє полегшити підключення до контролера Arduino MEGA великої кількості простих периферійних пристроїв. Це зручно в проектах з використанням безлічі датчиків, світлодіодів, кнопок, двигунів, реле.

На платі передбачено кнопку скидання або перезавантаження RESET.

Є індикатор живлення, підписаний PWR.

Контактні майданчики Mega Sensor Shield V2.0 сумісні з Arduino Mega 2560 та Mega 1280.

Інтерфейс для підключення зовнішнього джерела живлення (блоку живлення, батареї). Позначення виходів: GND, VCC.

Колодка живлення Arduino, позначення виходів: RESET, 3V3, 5V, GND, VIN.

Встановлено 16 аналогових входів, що позначені 0 – 15.

Analog IO ports (інтерфейс аналогових входів-виходів) має 15 виводів. Позначення виходів: A0 – A15. Кожен вхід/вихід має 3 контакти GND, VCC, Signal.

ICSP (внутрішньосхемне програмування) – для підключення програматорів. Має 6 виходів, перший контакт позначений на схемі інтерфейсів плати.

Входи та виходи інтерфейсу RS232 (послідовна шина COM).

ACP220 wireless module interface (інтерфейс для підключення зовнішнього Wi-Fi модуля ACP220 має 6 входів. Позначення входів: GND, VCC, не задіяний, D18, D19, не задіяний).

Входи-виходи контролера Arduino, позначені: 0 – 13, GND, AREF. Вихід AREF (опорна напруга для аналогових входів).

Живлення плати здійснюється або з Arduino, або від зовнішніх джерел живлення (блоків живлення, батарей). Перемикання з джерела живлення Arduino на зовнішнє джерело здійснюється за допомогою перемички SEL_PWR. Для живлення плати потрібна напруга 5В.



Рисунок 2.10 – Плата реле (8 модулів)

Модуль побудований на базі реле JQC-3FF-S-Z. Проводи, що йдуть від реле, надійно закріплюються клемниками за допомогою гвинтів. За рахунок наявності на кожному клемнику трьох контактів, можна вибирати для кожного каналу початковий стан: нормально розімкнене (NO) або нормально

замкнуте (NC). Модулем можна керувати безпосередньо широким діапазоном мікроконтролерів, такими як для Arduino, AVR, PIC.

На виході каналу реле є три висновки, середній висновок завжди поєднаний з одним із сусідніх, а з яким саме, залежить від логічного рівня на ВХОДІ «IN» цього каналу:

Якщо на вхід «IN» каналу подати рівень логічної «1», то середній вивід виходу каналу буде з'єднаний так, як це намальовано на тильній стороні плати. Таке ж з'єднання буде за відсутності живлення модуля на висновках "VCC" і "GND".

Якщо на вхід «IN» каналу подати рівень логічного 0, то середній вивід виходу каналу буде з'єднаний НЕ так, як це намальовано на тильній стороні плати. Таким чином ви можете використовувати реле модуля: або як нормально замкнене, або як нормально розімкнене, або як перемикаюче.

Реле 4 relay module

Електромеханічне 4-х каналне реле здатне паралельно керувати 4-ма каналами, що не залежать один від одного. За допомогою такого реле стає можливим розмикання та замикання навантажувальних ланцюгів з напругою до 250 В та струмом до 10 А. Але рекомендується комутувати ланцюги зі струмом до 7 А. Модуль побудований на базі реле "SRD-05-VDC-SL-C", чим і забезпечується його комутаційна здатність.

Проводи, що йдуть від реле, надійно закріплюються клемниками за допомогою гвинтів. За рахунок наявності на кожному клемнику трьох контактів, можна вибирати для кожного каналу початковий стан: нормально розімкнуте (NO) або нормально замкнуте (NC). Модулем можна керувати, підключивши його до Arduino, рівень логічної «1» висновків якої дорівнює 5 В.

Основні переваги

1. Компактні розміри
2. Взаємодія з Arduino через будь-який цифровий контакт

На виході каналу реле є три виходи, середній вихід завжди поєднаний з одним із сусідніх, а з яким саме, залежить від логічного рівня на ВХІД «IN» цього каналу:

Якщо на вхід «IN» каналу подати рівень логічної «1», то середній вивід виходу каналу буде з'єднаний так, як це намальовано на тильній стороні плати. Таке ж з'єднання буде за відсутності живлення модуля на виходах "VCC" і "GND".

Якщо на вхід «IN» каналу подати рівень логічного 0, то середній вивід виходу каналу буде з'єднаний НЕ так, як це намальовано на тильній стороні плати.

Таким чином ви можете використовувати реле модуля: або як нормально замкнене, або як нормально розімкнене, або як перемикає.

Живлення: Вхідна напруга живлення 5В постійного струму подається на виводи «VCC» та «GND» модуля.

Додатково, на платі модуля є роз'єм з двох виводів: JD VCC і VCC, на якому встановлена перемичка. Якщо прибрати цю перемичку і подати окреме (додаткове) живлення 5В постійного струму на виводі «JD-VCC» та «GND», то живлення логіки модуля здійснюватиметься з виводів «VCC» та «GND», а живлення обмоток реле (каналів) модуля здійснюватиметься з виводів «JD-VCC» та «GND». Такий спосіб підключення дозволяє уникнути виникнення перешкод на шині живлення «VCC» і «GND», які можуть вплинути на роботу інших модулів на цій шині живлення.

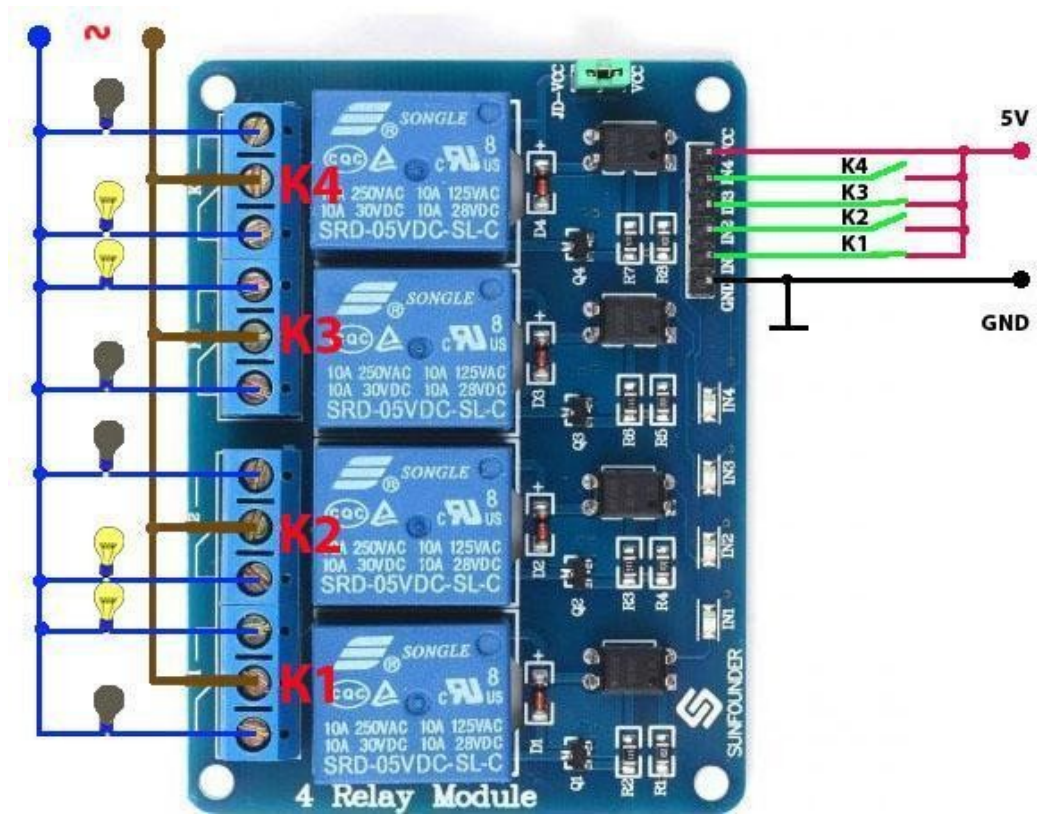


Рисунок 2.11 – 4 relay module

Характеристики:

Напруга живлення модуля: 5В постійного струму.

Струм, який споживається модулем: до 75 мА на кожен канал.

Вихідні ланцюги, що комутуються модулем: до 30В постійного струму
10 А; до 250В змінного струму 10 А.

Опір обмотки реле: $70 \pm 10\%$.

Опір ізоляції реле: вище 100 Мом

Час спрацьовування реле при включенні: 10 мс.

Час спрацьовування реле при вимиканні: 5 мс.

Швидкість механічних перемикачів: до 300 операцій/хв.

Матеріал контактів реле: AgCdO.

Робоча температура: $-25 \dots +70 \text{ }^\circ\text{C}$

Робоча вологість: 45 ... 85%

Матрична клавіатура 4x4



Рисунок 2.12 – Матрична клавіатура

Мембранна клавіатура 4x4 матриця може використовуватися для керування різними пристроями, наприклад, для набору кодів у кодових замках або для програмування.

Для роботи з мембранною клавіатурою її необхідно підключити до пристрою, яким потрібно керувати, створити програму управління і підключити живлення.

Принцип роботи — замикання певних пар проводів здійснюється при натисканні однієї з клавіш матричної клавіатури. Ця клавіатура має один керований інтерфейс для підключення до пристрою: 8-піновий інтерфейс типу "мама".

Живлення матричної клавіатури здійснюється від пристрою, яким потрібно керувати або від зовнішнього джерела. Струм, що споживається 100 мА, напруга живлення до 35 В.

Дисплей LCD

LCD дисплей – найчастіший гість у проектах Arduino. Але у складних схемах може виникнути проблема нестачі портів Arduino через необхідність

підключити екран, який має дуже багато контактів. Виходом у цій ситуації може стати I2C /ІС перехідник, який підключає практично стандартний для Arduino екран 1602 до плат Uno, Nano або Mega всього лише при допомозі 4 пінів.

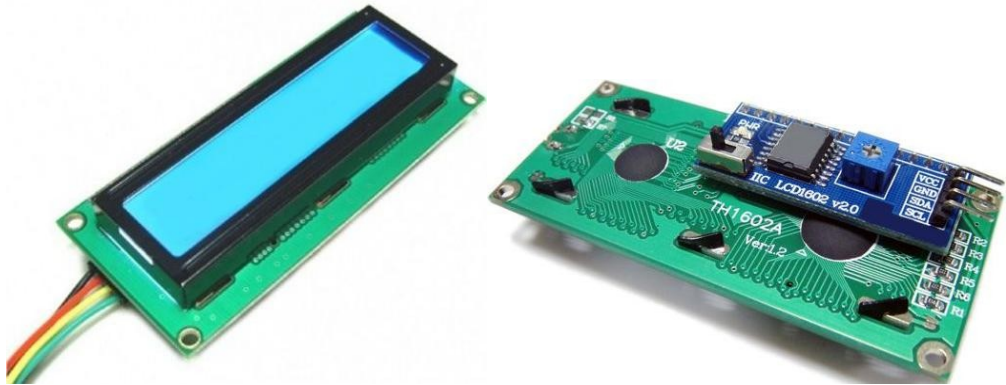


Рисунок 2.13 – Дисплей LCD

Технічні характеристики дисплея:

- Символьний тип відображення, є можливість завантаження символів;
- Світлодіодна підсвітка;
- Контролер HD44780;
- Напруга живлення 5В;
- Формат 16x2 символів;
- Діапазон робочих температур від -20°C до +70°C, діапазон температур зберігання від -30°C до +80°C; Кут огляду 180 градусів. Контакти на цьому дисплеї пронумеровано від 1 до 16. Вони нанесені на задній частині плати. Як саме вони підключаються до Arduino, показано на рисунку 2.14.

Дисплей 1602		Arduino	Дисплей 1602		Arduino
1	GND	GND	9	DB2	Не підключається
2	VDD	5V	10	DB3	Не підключається
3	Contrast	К GND через резистор	11	DB4	Пин 2
4	RS	Пин 0	12	DB5	Пин 3
5	R/W	GND	13	DB6	Пин 4
6	Enable	Пин 1	14	DB7	Пин 5
7	DB0	Не підключається	15	Back LED+	К 5V через резистор
8	DB1	Не підключається	16	Back LED-	GND

Рисунок 2.14 – Підключення контактів LCD 1602 до Arduino

З'єднувальні дроти мама-тата

Для з'єднання всіх комплектуючих системи управління автоматизованим лабораторним стендом на базі промислового пневматичного маніпулятора МП-9С здійснюється за допомогою двожильних проводів мама-тата (рисунок 2.15).

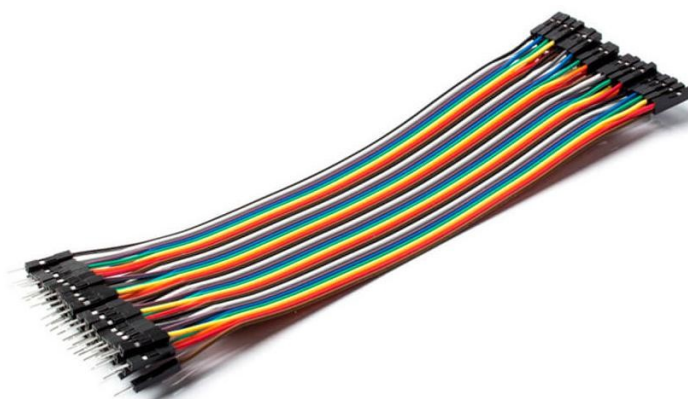


Рисунок 2.15 – З'єднувальні дроти мама-тата

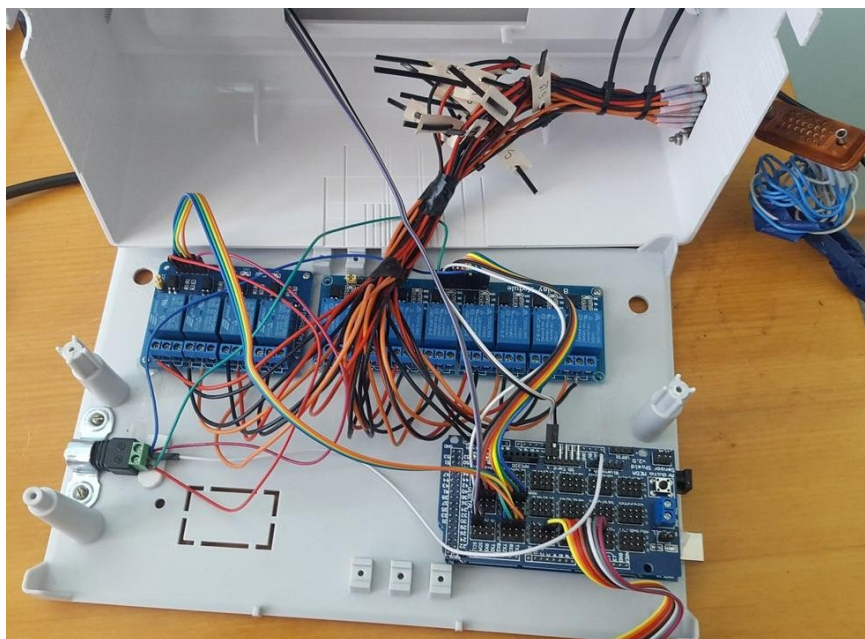


Рисунок 2.16 – Шафа керування автоматизованим лабораторним стендом (кришка відкрита)

Клапани промислового пневматичного маніпулятора МП-9С з'єднані з реле в шафі керування через роз'єм RS-232.

Характеристики RS-232:

підтримувана топологія з'єднання - "крапка-крапка";

напрямок передачі – дуплексна та симплексна;

режим обміну – асинхронний (у послідовних каналах ПЕОМ) та синхронний (реалізується за допомогою спеціальних адаптерів SDLС);

метод кодування інформації – NRZ;

використовуються сигнали — потенційні (несиметричні), рівень логічного нуля: 3..25В, рівень логічної одиниці: -3..-25В, у ПЕОМ використовуються рівні $\pm 12В$;

швидкість передачі інформації — від 110 біт/с до 115 200 біт/с;

кількість ліній передачі інформації та службових сигналів — до 25.

RS-232 – інтерфейс реалізації передачі з одного пристрою на інший на відстані до 20 м. Інформація передається по проводах з рівнями сигналів, які відрізняються від стандартних 5В, для забезпечення більшої стійкості до

перешкод. Асинхронна передача даних здійснюється із встановленою швидкістю при синхронізації рівнем сигналу стартового імпульсу.

Корпус шафи системи керування автоматизованим лабораторним стендом на базі пневматичного промислового маніпулятора представлено рисунку 2.17.



Рисунок 2.17 – Корпус шафи керування

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проєктні завдання

Предметом проєкту є захват, призначений для перенесення деталей з циліндричним контуром. Вага деталі не перевищує 52 Н, висота – 200 мм, діаметр – в межах $\varnothing \in \langle 67 \text{ мм}; 90 \text{ мм} \rangle$. Схема проєкту представлена на рисунку 3.1.

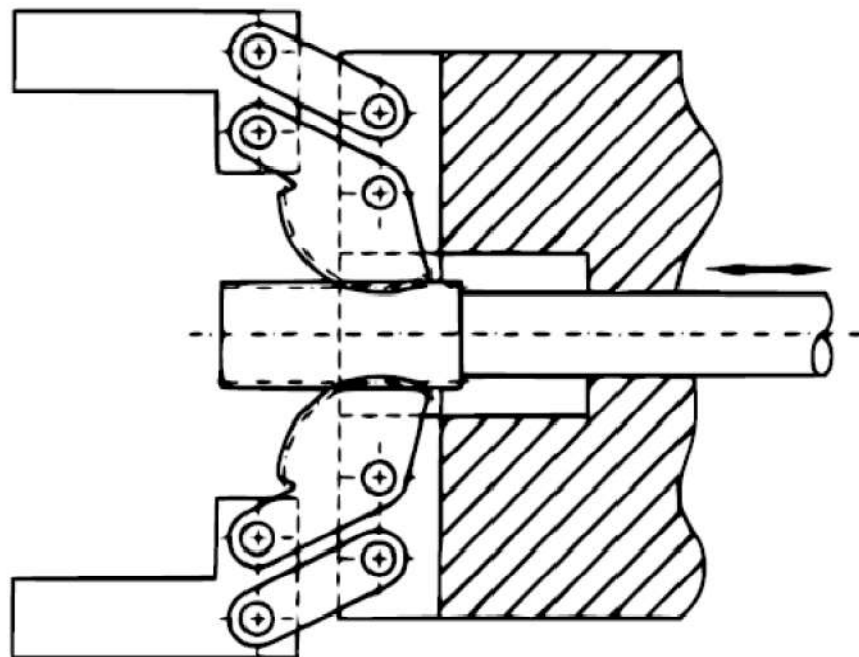


Рисунок 3.1 – Схема захвату

Для виконання проєкту використовуються прилади M10iA фірми Fanuc1. Система керування реалізована у вигляді пневматичного приводу.

3.2 Кінематика механізму

Механізм можна розглядати як плоский, оскільки жодна з кінематичних пар не дозволяє частинам переміщатися за межі площини рисунку. Механізм (у його плоскій версії) не має пасивних обмежень, тому його мобільність можна визначити за допомогою формули Грублера [1]:

$$\omega = 3n - p_5 - 2p_6$$

де: ω – рухливість, n – кількість доданків, p_i – кінематична пара i -го класу

$$\omega = 3 \cdot 7 - 0 - 2 \cdot 10 = 1$$

Насправді можна помітити (див. рис. 2.1), що він складається з двох чотирикутників та двох шарнірних з'єднань (1), можливість обертання яких забезпечується парами типу зубчасте колесо/рейка зубчата із сегментом (2) мають один ступінь свободи (з'єднані з корпусом прогресивною парою).

Рухливість механізму дорівнює 1, тому потрібен лише один привід.

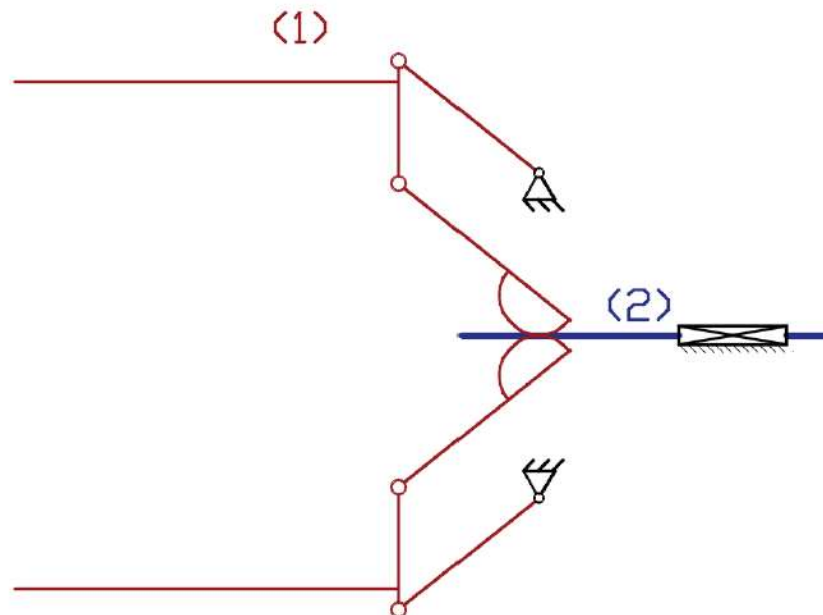


Рисунок 3.2 - Спрощена схема захвату

Рівна довжина протилежних сторін шарнірних чотирикутників забезпечує однакову орієнтацію губок захвата протягом усього руху.

3.3 Розв'язання задачі статички

Рівняння рівноваги

Наступним кроком є врівноваження статичної рівноваги механізму.

Це дозволяє розрахувати сили в критичних областях. Розташування (показано на рисунку 3.3) симетричне відносно горизонтальної осі, тому

можна розглядати лише верхню половину. Сили тиску N на губки мають забезпечувати силу тертя, яка врівноважить вагу заготовки $Q = 52\text{Н}$.

Прийнятий коефіцієнт тертя сталі по гумі $\mu = 0,8$ (таблиця коефіцієнтів тертя).

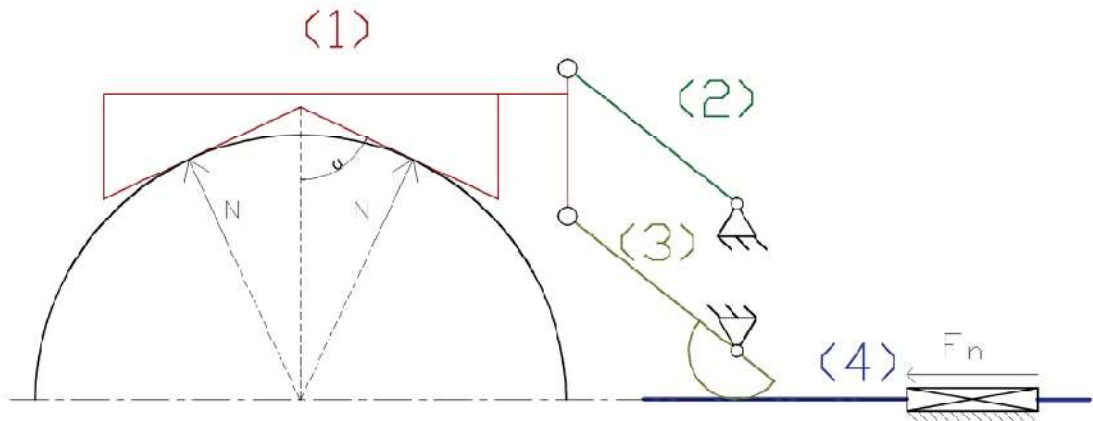


Рисунок 3.3 – Розглянута половина

Весь механізм буде в рівновазі, якщо всі його частини знаходяться в рівновазі.

Фрагментація цілого дозволить чітко визначити сили між частинами, а також розташування системи, що дорівнює їх визначенню. Натискання N на одній губці призводить до сили F_{ch} , прикладеної до висоти осі деталі.

$$F_{ch} = 2N \sin \alpha = \frac{Q \sin \alpha}{2\mu} \mu$$

F_{ij} - сила, з якою i -й член діє на j -й (0 символізує корпус)

$$F_{ij} = -F_{ji}$$

r_{ij} - вектор прикладення сили F_{ij}

вузол ij – вузол, що з'єднує член i -тий з j -тим

На рисунку 3.4 показано сили, а на рисунку 3.3 показано вектори, які використовуються для побудови наступного, який дорівнює

$$F_{ch} = \begin{bmatrix} 0 \\ F_{ch}^y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_n^x \\ 0 \end{bmatrix}$$

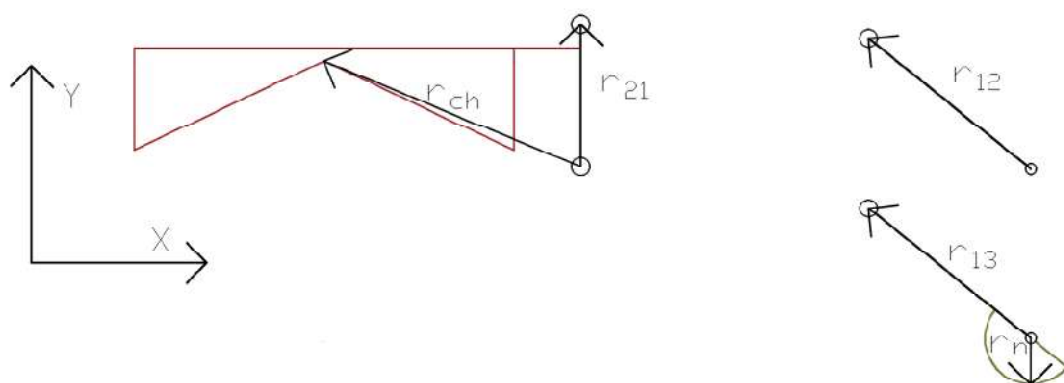
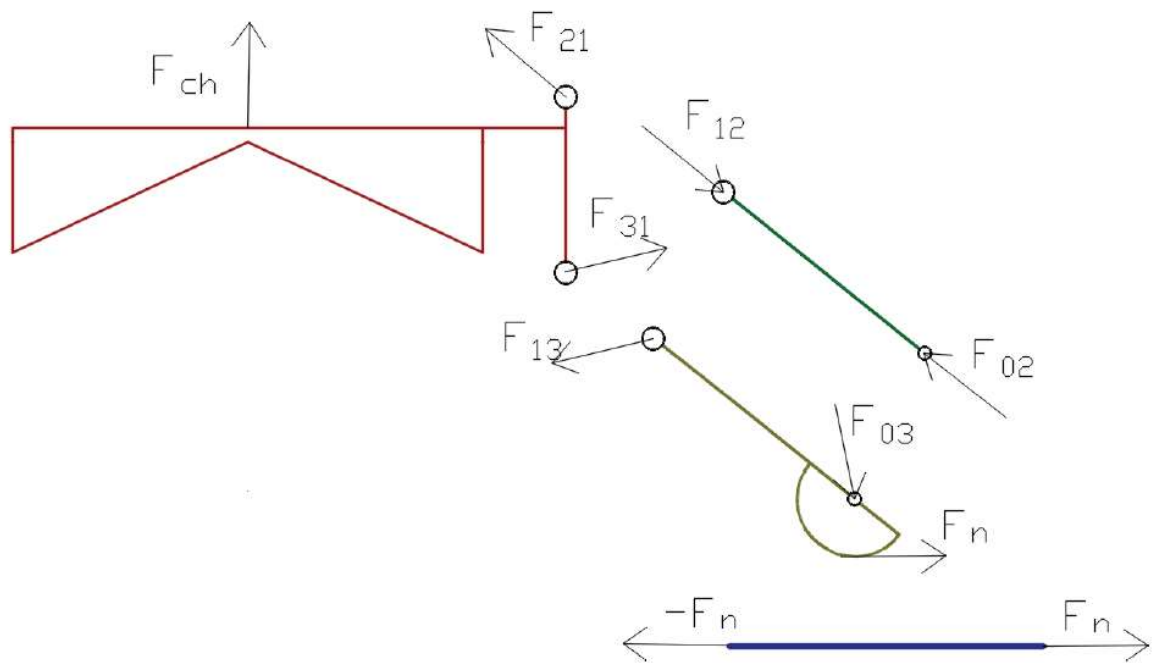


Рисунок 3.4 – Вузлові сили

$r_{13} = r_{12}$ - залежно від діаметра зачепленої деталі

Рівняння рівноваги члена 1:

$$F_{ch} + F_{21} + F_{31} = 0 \quad (3.1)$$

Припускаючи полюс у вузлі 31:

$$r_{ch}^x F_{ch}^y - r_{21}^y F_{21}^x = 0 \quad (3.2)$$

Рівняння рівноваги члена 2:

$$F_{12} + F_{02} = 0 \quad (3.3)$$

Припускаючи полюс у вузлі 02:

$$r_{12}^x F_{12}^y - r_{12}^y F_{12}^x = 0 \quad (3.4)$$

Рівняння рівноваги члена 3:

$$F_n + F_{13} + F_{03} = 0 \quad (3.5)$$

Припускаючи полюс у вузлі 03:

$$r_{13}^x F_{13}^y - r_{13}^y F_{13}^x - r_n^y F_n^x = 0 \quad (3.6)$$

З рівняння (3.2):

$$F_{12}^x = \frac{r_{ch}^x F_{ch}^y}{r_{21}^y}$$

З рівняння (3.3):

$$F_{12}^y = \frac{r_{12}^y F_{12}^x}{r_{21}^x} = \frac{r_{12}^y r_{ch}^x F_{ch}^y}{r_{12}^x r_{21}^y}$$

$$F_{12} = F_{ch}^y \begin{bmatrix} \frac{r_{ch}^x}{r_{21}^y} \\ \frac{r_{12}^y r_{ch}^x}{r_{12}^x r_{21}^y} \end{bmatrix}$$

Підставляючи в рівняння (3.1):

$$F_{13} = F_{ch}^y \begin{bmatrix} -\frac{r_{ch}^x}{r_{21}^y} \\ 1 - \frac{r_{12}^y r_{ch}^x}{r_{12}^x r_{21}^y} \end{bmatrix}$$

Підставляючи в рівняння (3.3):

$$F_{02} = -F_{ch}^y \begin{bmatrix} \frac{r_{ch}^x}{r_{21}^y} \\ \frac{r_{12}^y r_{ch}^x}{r_{12}^x r_{21}^y} \end{bmatrix}$$

Користуючись рівнянням (3.6):

$$F_n = F_{ch}^y \frac{r_{12}^x r_{21}^y - r_{12}^y r_{ch}^x + r_{13}^y r_{ch}^x}{r_{21}^y r_n^y} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Підставляючи в рівняння (3.5):

$$F_{03} = \frac{F_{ch}^y}{r_{12}^x r_{21}^y r_n^y} \begin{bmatrix} r_{ch}^x r_{12}^x r_n^y + r_{12}^x (r_{12}^y r_{ch}^x - r_{12}^x r_{21}^y) - r_{12}^y r_{12}^x r_{ch}^x \\ r_n^y (r_{12}^y r_{ch}^x - r_{12}^x r_{21}^y) \end{bmatrix}$$

3.4 Визначення конфігурації від діаметра деталі

Залишалося визначити, яку конфігурацію приймає захват залежно від діаметра деталі. Для цього слід сформулювати рівняння, у яких вектор r_{12} залежатиме лише від відомих розмірів механізму.

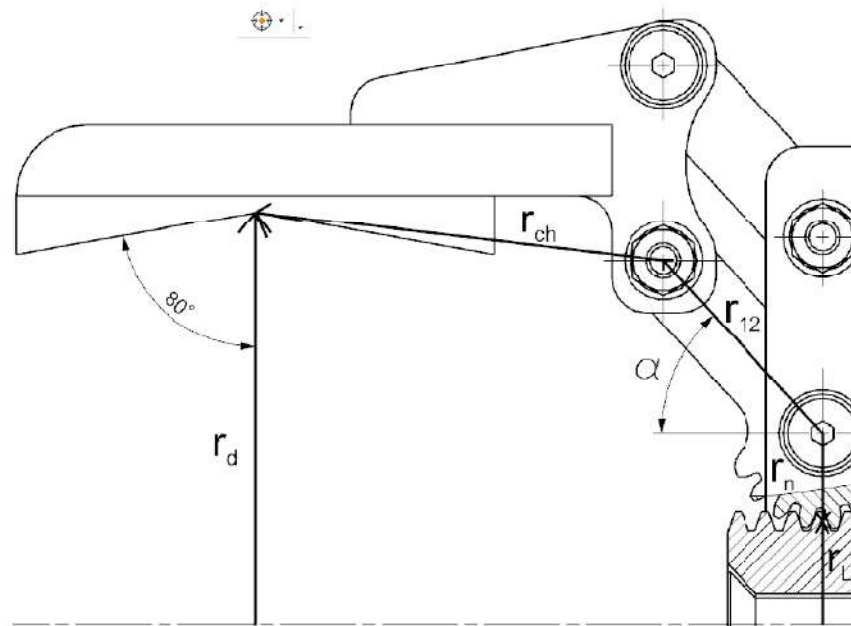


Рисунок 3.5 – Орієнтація механізму

Як ви можете бачити на рисунку 3.5, новими векторами є r_d і r_L . Інші були описані в попередньому розділ 3.1.

$$r_d = \frac{D}{2 \sin 80^\circ} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$r_L = \frac{H}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

де D - діаметр деталі, H - висота стійки між лініями проділу.

На основі рисунка 3.4 можна скласти рівняння:

$$r_d^y = r_L^y - r_n^y + r_{12}^y + r_{ch}^y \quad (3.7)$$

$$r_{12}^y = r_{Ld}^y + r_n^y - r_{ch}^y - L$$

Вектор r_{12} знаходиться у 2-му квадранті і його норма постійна, тому:

$$r_{12}^x = \sqrt{\|r_{12}\|^2 - (r_{12}^y)^2}$$

Отриманий таким чином вектор r_{12} використовується для визначення вузлових сил у п.п 3.1. Знаючи, що $r_n^y = 10$ мм, $r_{ch}^y = 5,5$ мм, $\|r_{12}\| = 27$ мм, $H=24$ мм можна визначити діапазон кута α .

$$\alpha = \tan^{-1} 2(r_{12}^y - r_{12}^x)$$

Підставляючи граничні діаметри (100 мм було прийнято як максимум для можливості захоплення найбільших деталей) у формули з цього розділу

$$\alpha \in \langle 14^\circ; 60^\circ \rangle$$

Як видно, запас для окремих позицій є. Натомість для кута $\alpha=63^\circ$ відбувається зіткнення з каналом.

3.5 Вибір приводу, встановлених гвинтів і підшипників

Виконавчі та вузлові сили

На підставі виведених формул і обраної конструкції захвату можна визначити сили, що передаються у вузлах (діаграми 3.6, 3.7, 3.8, 3.9) і мінімальну силу, яку повинен забезпечити привід для правильного функціонування захвату (схема 3.6). Прийнятий коефіцієнт безпеки $n=2, 3$.

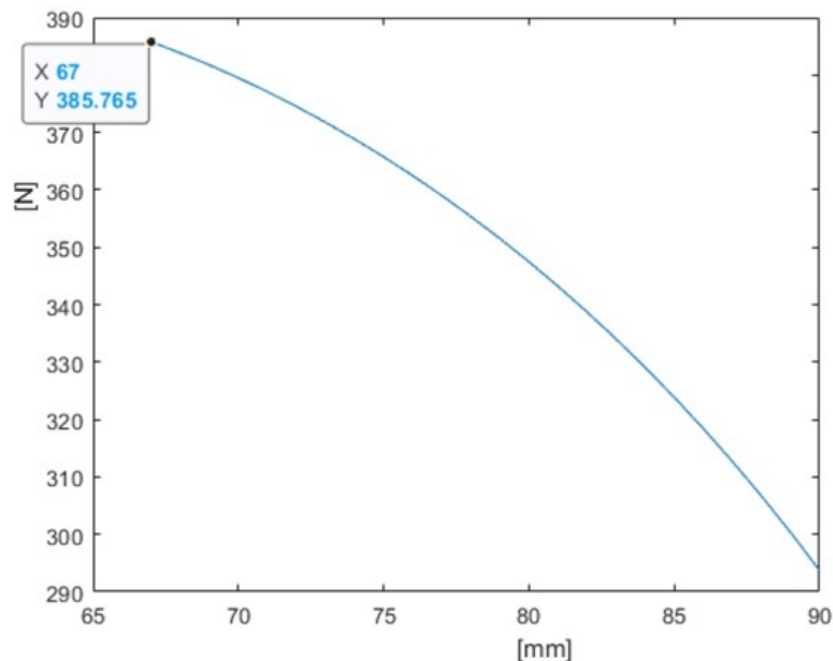


Рисунок 3.6 – Рушійна сила

На основі схеми 3.6 обрано пневмопривід FESTO ADN-32-10-I-P-A-
"M6"K5 із серії ADN [2]. Він забезпечує до 415 Н рушійної сили.

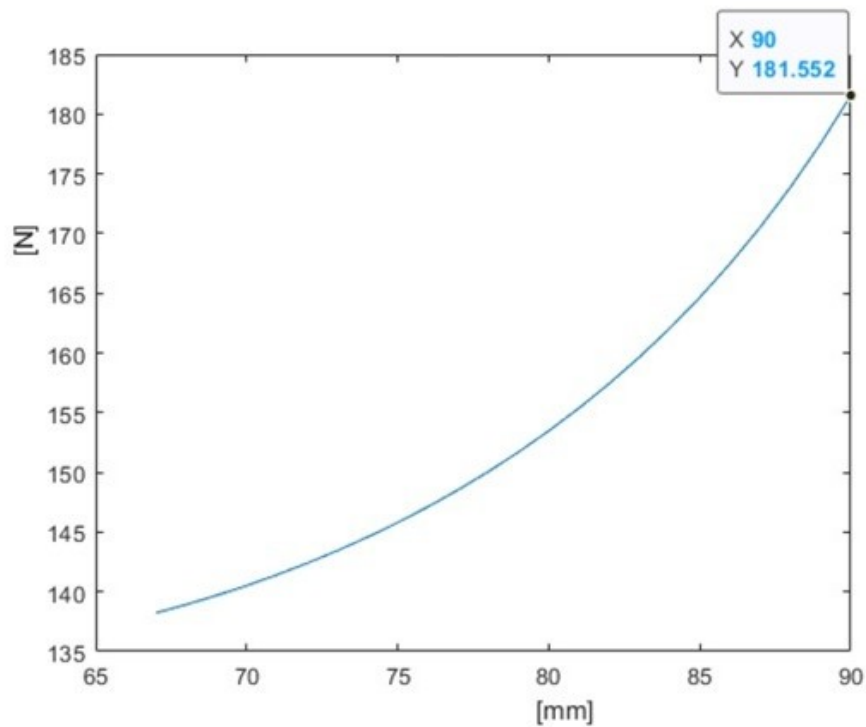


Рисунок 3.7– Зусилля що передається через вузол 12

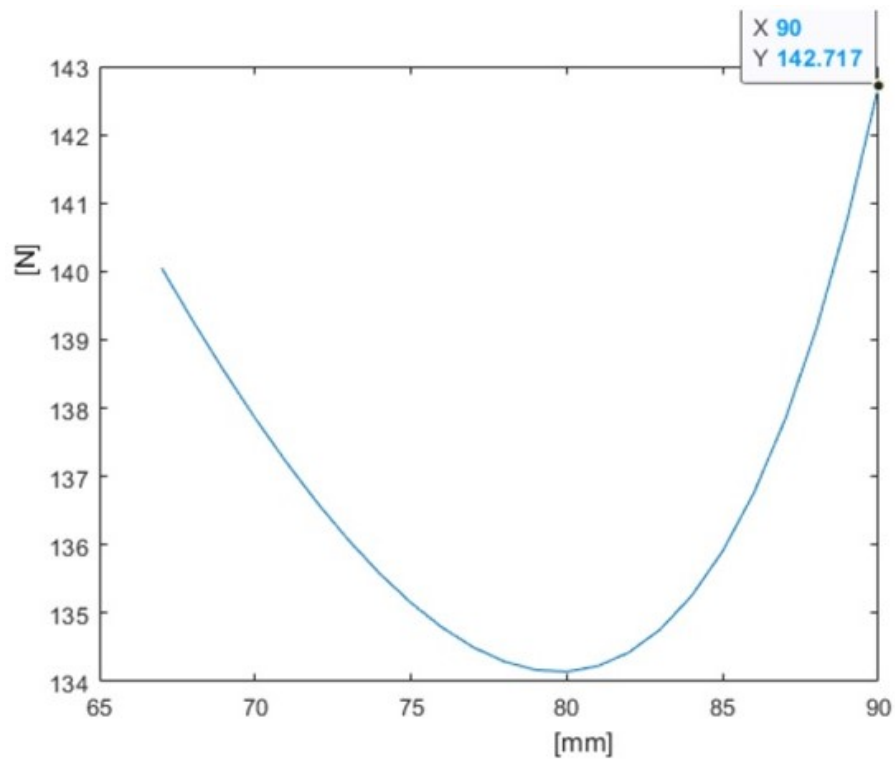


Рисунок 3.8– Зусилля що передається через вузол 13

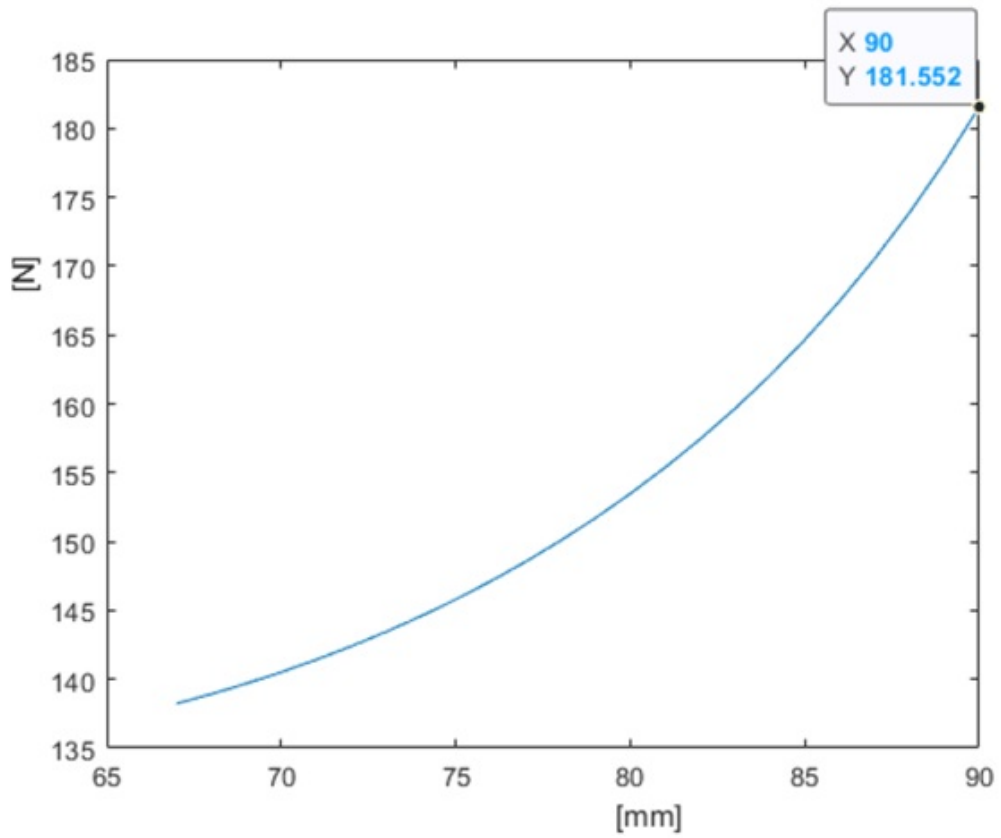


Рисунок 3.9– Зусилля що передається через вузол 02

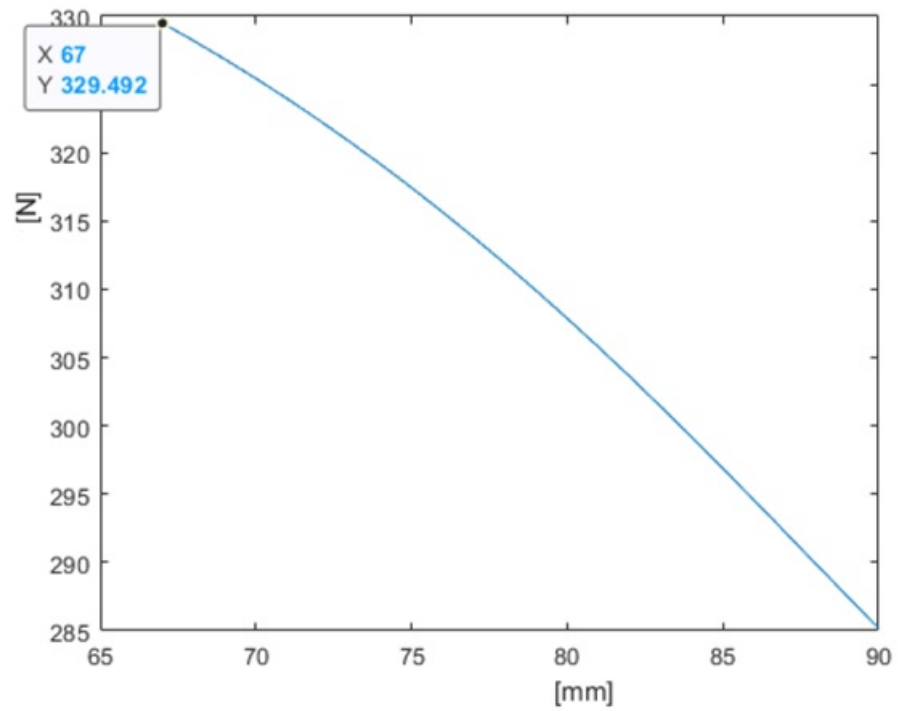


Рисунок 3.10– Зусилля що передається через вузол 03

На рисунку 3.9 показана найбільша міцність вузла $F_{03}^{max} = 329,5\text{H}$, що відбувається для деталі з найменшим діаметром. На рисунках 3.7 і 3.8 показано однакові залежності сили від діаметра.

Механізм має два типи розташування підшипників, зображені на рисунках 3.11 і 3.12.

Навантаження було спрощено до моделі балки, яка згинається на кінцях із силами F і в середині з силами $2F$.

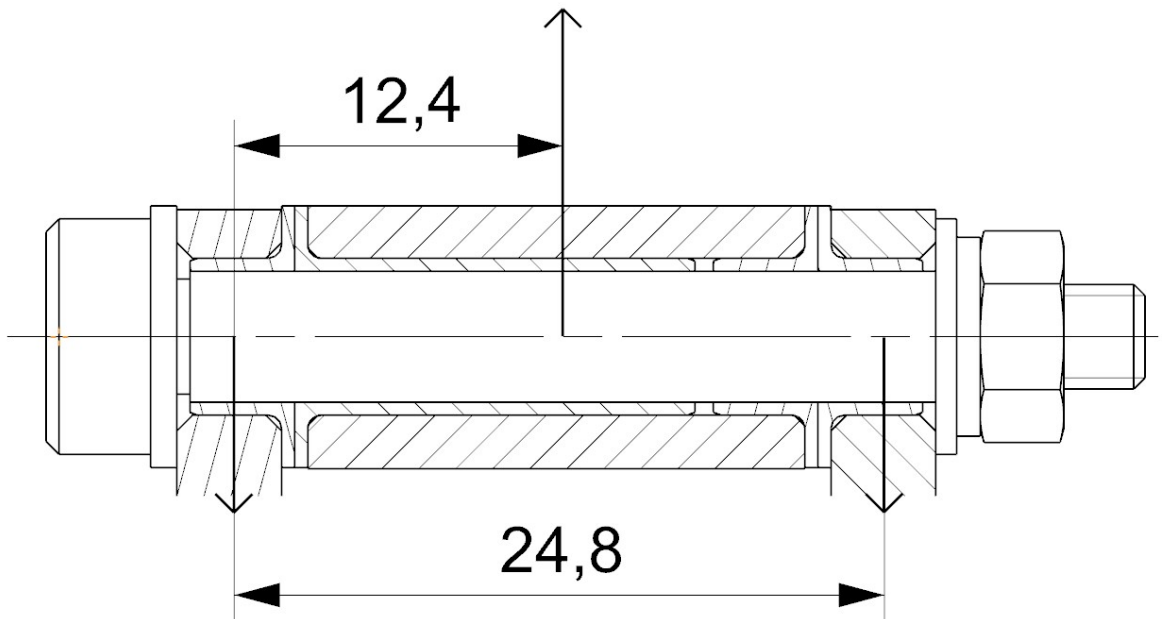


Рисунок 3.11 – Підшипник 1

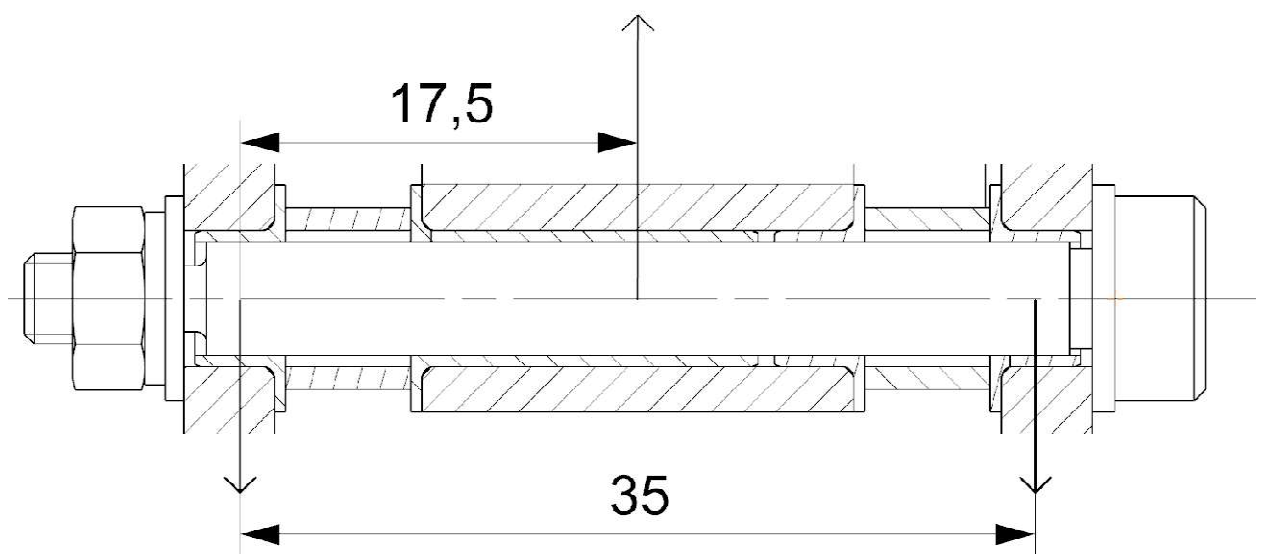


Рисунок 3.12 – Підшипник 2

Розрахунок можна обмежити підшипниковим вузлом 2, показаним на рисунку 3.11. Те саме навантаження призведе до вищих напруг, і таке розташування використовується у вузлі 03, де відбувається найбільше навантаження.

Відповідні болти вибрано згідно з ISO 7379 з діаметром $D=5$ мм. Для підшипника 1 довжиною $l_1= 30$ мм і для підшипника 2 довжиною $l_2=40$ мм поперечний переріз:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Коефіцієнт міцності на згинання:

$$W_z = \frac{\pi D^3}{32}$$

Дотичні напруги, спричинені силою зсуву T :

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{4T}{\pi D^2}$$

Максимальні нормальні напруги від згинального моменту M_g

$$\sigma = \frac{M_g}{W_z} = \frac{32M_g}{\pi D^3}$$

Зменшені напруження за гіпотезою Хубера:

$$\sigma_{зменшене} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \frac{4}{\pi D^3} \sqrt{64M_g^2 + 9D^2T^2}$$

На основі наведених вище формул були побудовані такі графіки: 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17.

З рисунків 3.14 і 3.15 можна зробити висновок, що напруження зсуву є незначними. Насправді, порівнюючи рисунки 3.16 і 3.17, єдина різниця полягає в тому краї, де переважає зсув.

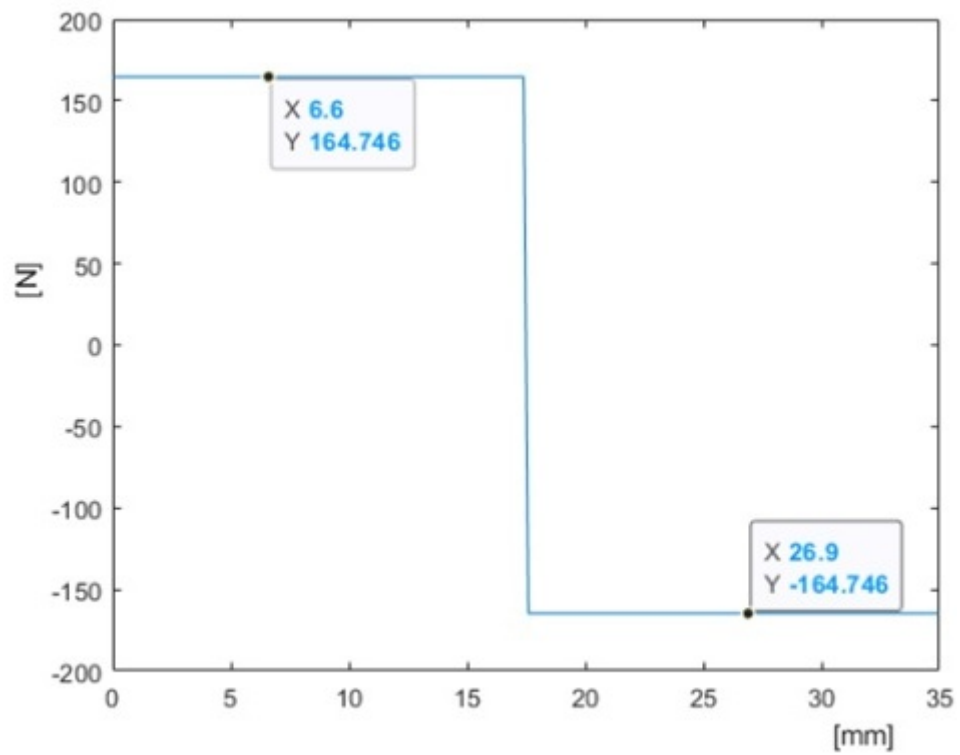


Рисунок 3.13 – Сила зсуву T

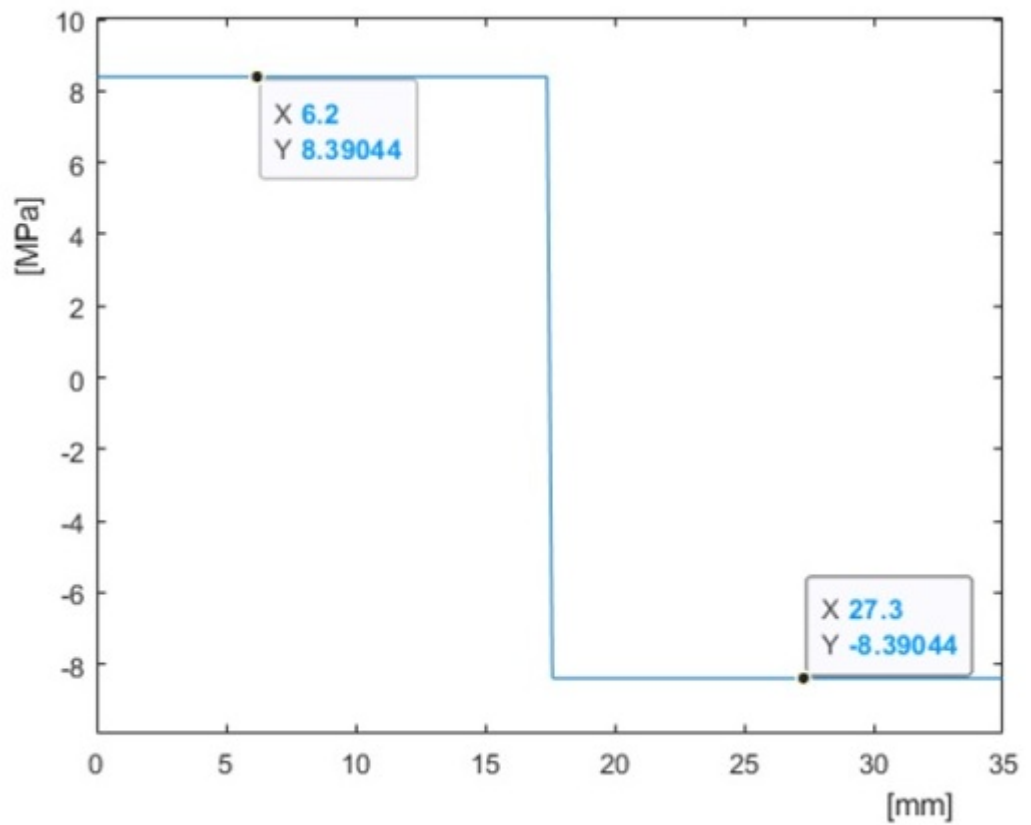


Рисунок 3.14 – Напруження зсуву τ

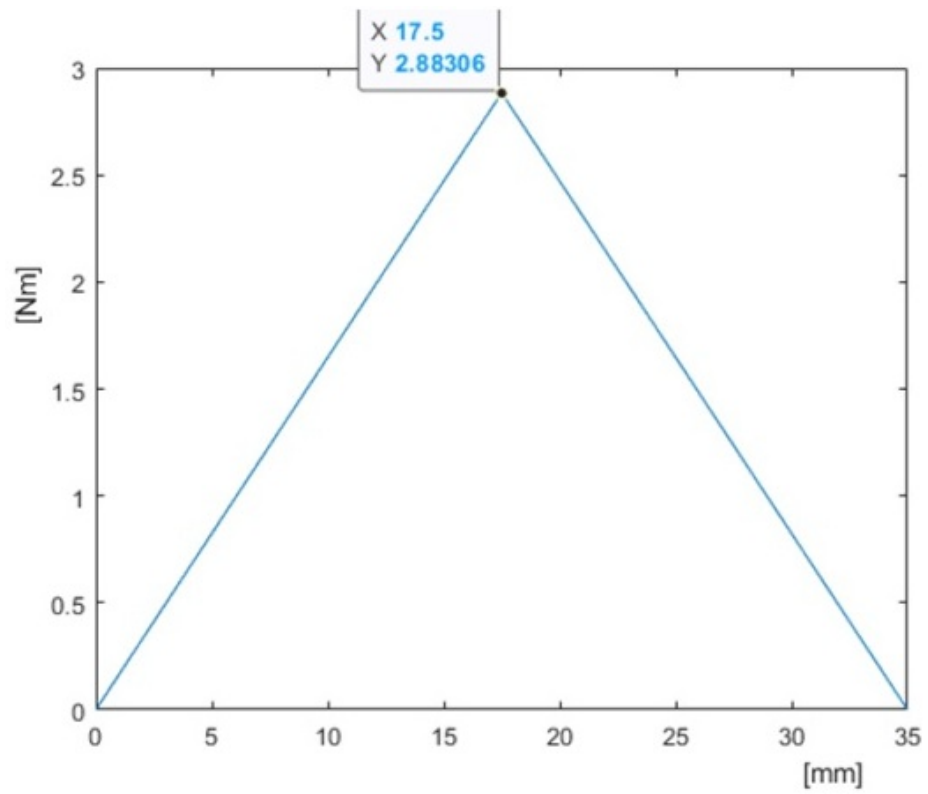


Рисунок 3.15 – Максимальний згинальний момент M_g

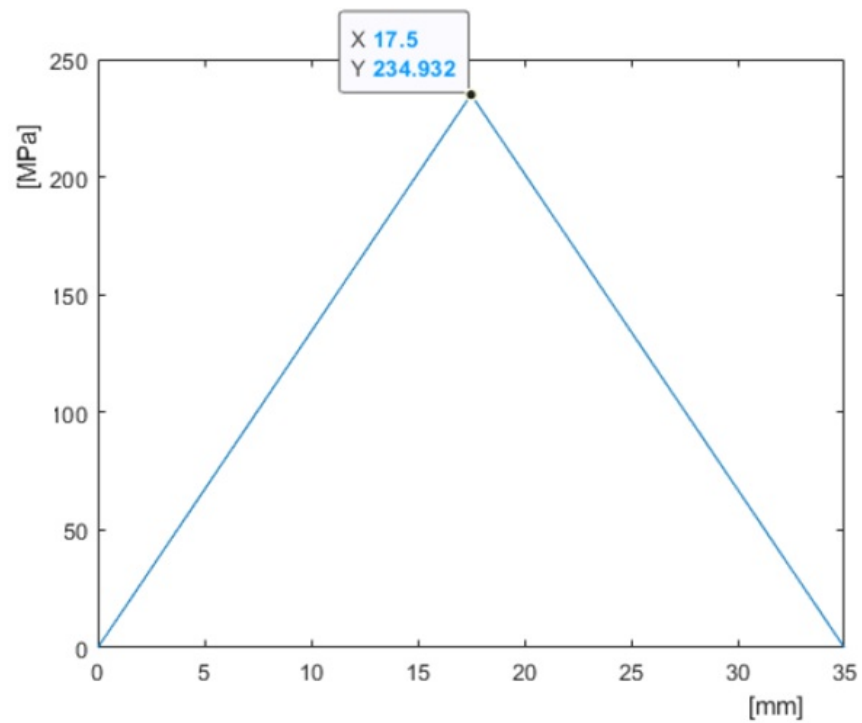


Рисунок 3.16 – Нормальні напруження σ

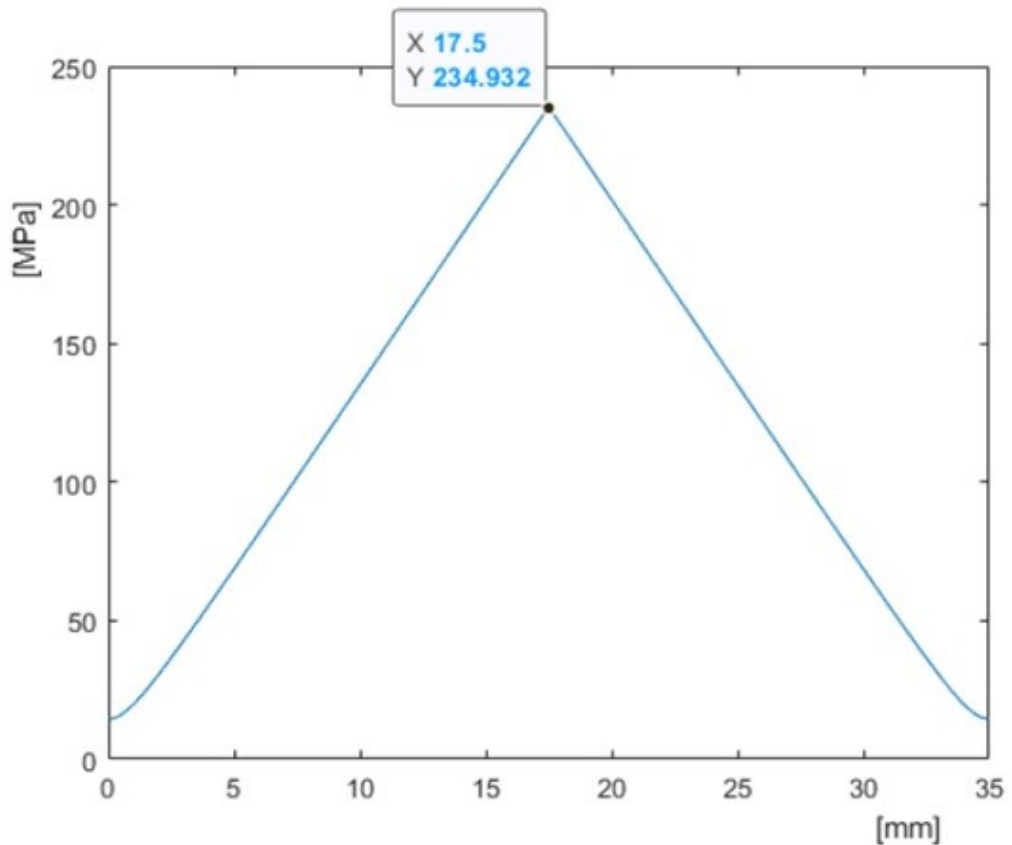


Рисунок 3.17 – Зменшення напруження

Вибрані болти мають клас 12,9, тому межа текучості R_e 1080 МПа.

Відношення максимальних напруг до межі текучості:

$$\frac{\sigma_{\text{зменшене}}^{\text{max}}}{R_m} = 0,218$$

Одностороннє, пульсуюче згинання є домінуючим навантаженням, для якого допустимі напруження від $0,35R_e$ до $0,45R_e$, тому болти були підібрані правильно.

3.6 Підшипники та поверхневі напруження

Поверхневі напруження розраховується за формулою [4]:

$$\sigma = \frac{F}{lD} \quad (8)$$

де F – зусилля, що передається через з'єднання, D – діаметр штиря, l – довжина з'єднання.

Вибрані підшипники [IGUS]: GFM-0506-04, GFM-0506. Потенційно небезпечні контакти виникають між коротшим підшипником і плечовим болтом та між коротшим підшипником і фіксатором губки у вузлі 03.

У першому випадку виникають більш високі напруження (менший діаметр штифта).

Тому передбачалося, що вони рівні без втрати безпеки.

Довжина підшипника без фланця $l=3,5$ мм, внутрішній діаметр підшипника $D=5$ мм, максимальна сила $F = \frac{F_{03}^{max}}{2}=164,75$ Н (пункт 3.12).

Підставляючи в рівняння (3.8):

$$\sigma = \frac{F}{lD} \quad (3.8),$$

де F – зусилля, що передається через з'єднання, D - діаметр штиря, l - довжина з'єднання.

Вибрані підшипники фірми [IGUS]: GFM-0506-04, GFM-0506-15 (показано на рисунках 3.13 і 3.14). Потенційно небезпечні контакти виникають між коротшим підшипником і установчим гвинтом, а також між коротшим підшипником і кріпленням губки у вузлі 03. У першому випадку виникають більш високі напруження (менший діаметр штифта). Тому передбачалося, що вони рівні без втрати безпеки.

Довжина підшипника без фланця $l=3,5$ мм, внутрішній діаметр підшипника $D=5$ мм, максимальне зусилля $F = \frac{F_{03}^{max}}{2}=164,75$ Н. (див. 3.5).

Підставляючи в рівняння (3.8):

$$\sigma=9,41 \text{ МПа}$$

Максимальний рекомендований тиск підшипника становить 280 МПа. Кріплення губки виконано зі сплаву сталь 40Х, межа текучості якого від 310 МПа (в залежності від загартування). У найбільш напружених місцях механізму тиск не перевищує небезпечних значень. Для даної сталі вона не перевищує 10% (див. додаток 2). Підшипники підібрані правильно.

3.7 Розрахунки методом скінчених елементів

Аналіз методом кінцевих елементів проводився для 3 частин: губки (3.19), муфти (3.22) та зубчастої муфти (3.24). Як ви можете бачити на рисунках 3.27, 3.28, 3.33, для всіх елементів використовувалася тетраїдна сітка. Метою аналізу є показати приблизні напруження та їх розподіл (спостереження, де відбувається концентрація напруг). Тому примітивна сітка тетраедрів не є проблемою.

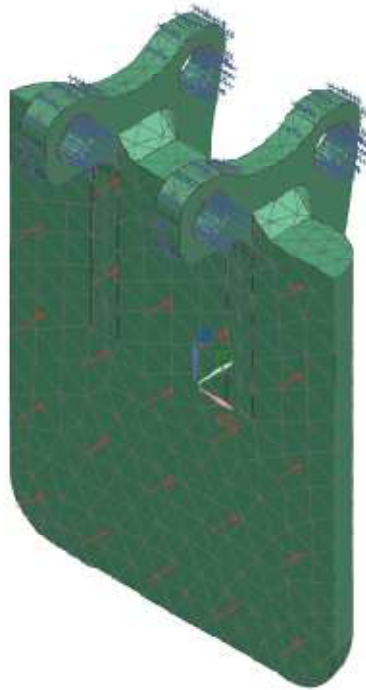


Рисунок 3.18 – Граничні умови та сітка для щелепи

На рисунку 3.18 показано використані обмеження (обертальні пари) і прикладене навантаження. Пластина, до якої приклеєна гумова шайба, була навантажена рівномірно розподіленою силою $F = \frac{52 \cdot 2,3}{0,8 \cdot 2} = 74,75$ Н. Насправді цей розподіл не є рівномірним, а набагато більше концентрується поблизу центру пластини.

CHFG-700-01_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Stop 1
Stress - Elemental, Von-Mises
Min : 0.003, Max : 10.518, Units = MPa
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

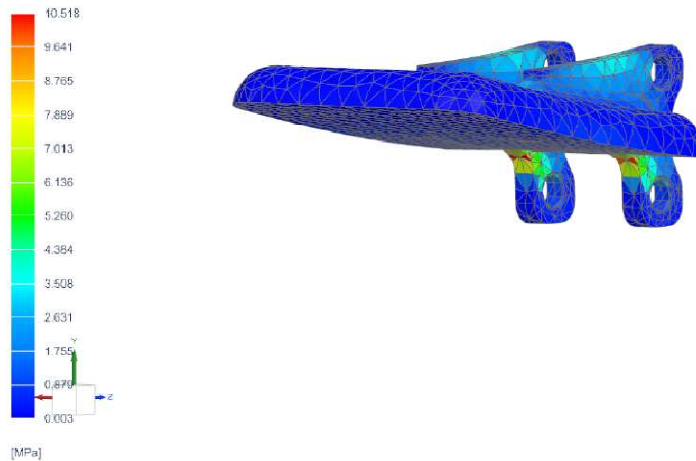
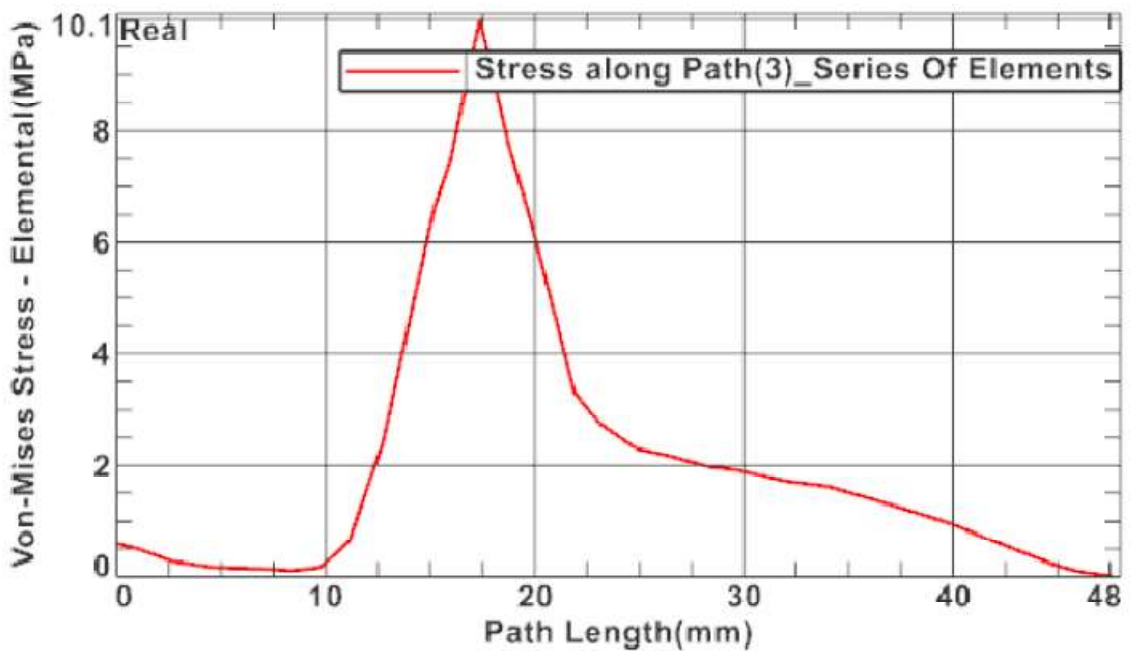


Рисунок 3.19 – Зменшені напруження в губці захвату

Найбільші напруження виникають у **виїмці**, де губка кріпиться до арматури. Напружена шляху згину від нижнього вушка через виїмку до пластини показано на рисунку 3.20.



Page 1 of 1

Рисунок 3.20 **5.3** – Діаграма еквівалентного напруження поблизу найбільшого зусилля

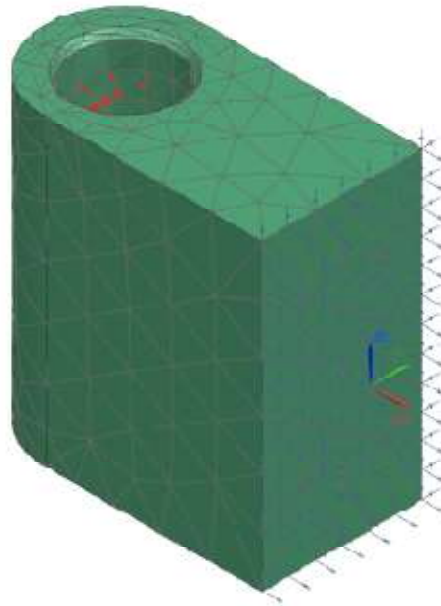


Рисунок 3.21 – Граничні умови та сітка для роз'єму

Для важеля через симетрію розглядалася лише одна половина, що накладало обмеження симетрії.

Обмеження також було накладено на проксимальний край перехрестя, щоб забрати всі ступені свободи. Навантаження на підшипник прийнято як сила $F = F_{12}^{max} = 181,6 \text{ H}$ (див. 3.2).

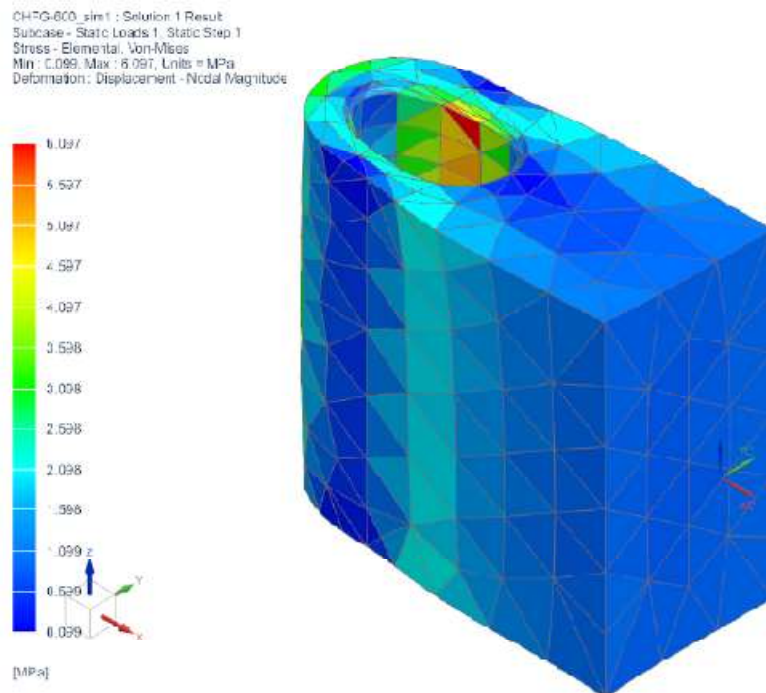


Рисунок 3.22 – Зменшені напруження в з'єднувачі

Найвищі напруження знаходяться в районі посадкового отвору підшипника (найменший поперечний переріз і ефект надрізу).

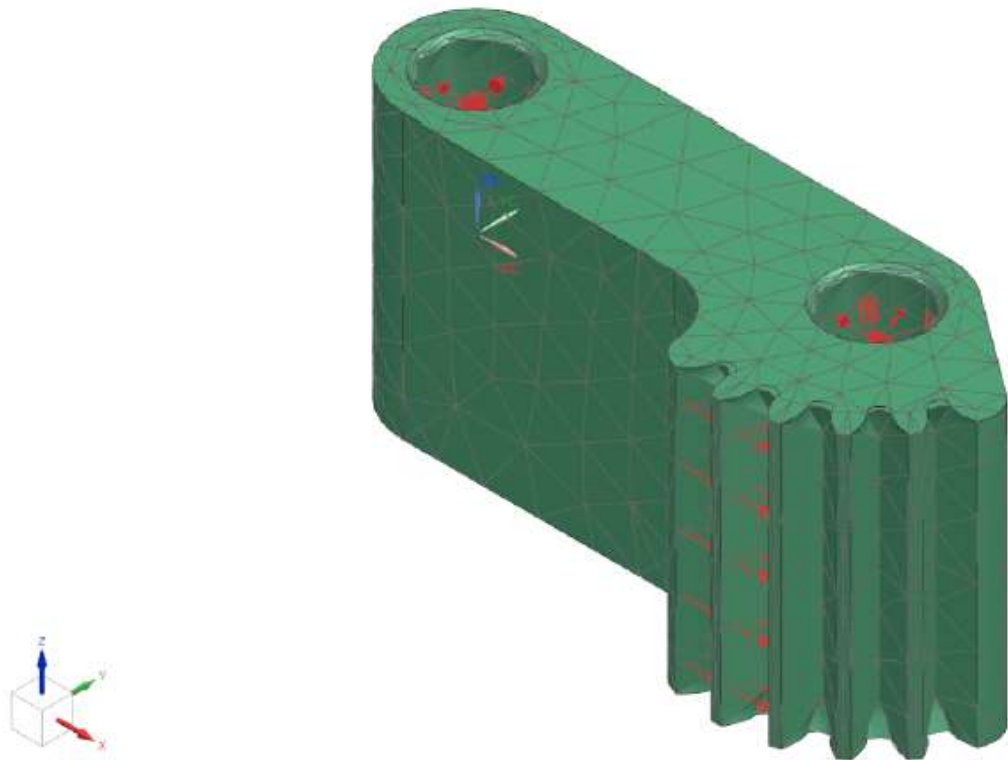


Рисунок 3.23 – Граничні умови та сітка для зубчастого важеля з'єднувача

Для зубчастого важеля, показаного на рисунку 5.6, була прийнята конфігурація, що відповідає найбільшому зусиллю, яке передається важелем на корпус. Зусилля від підшипників $F_{13} = \begin{bmatrix} 134 \\ 40 \end{bmatrix}$ і $F_{03} = \begin{bmatrix} -327 \\ -40 \end{bmatrix}$.

Крім того, перші два зуби були навантажені силою $F_n = \begin{bmatrix} 193 \\ 0 \end{bmatrix}$.

Були прийняті обмеження, що позбавляють ступенів свободи як крайовий обмежувач (вертикальний для орієнтації на рисунку 5.6) в отворах на підшипниках.

CHFG-500_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Von-Mises
Min : 0.010, Max : 11.579, Units = MPa
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

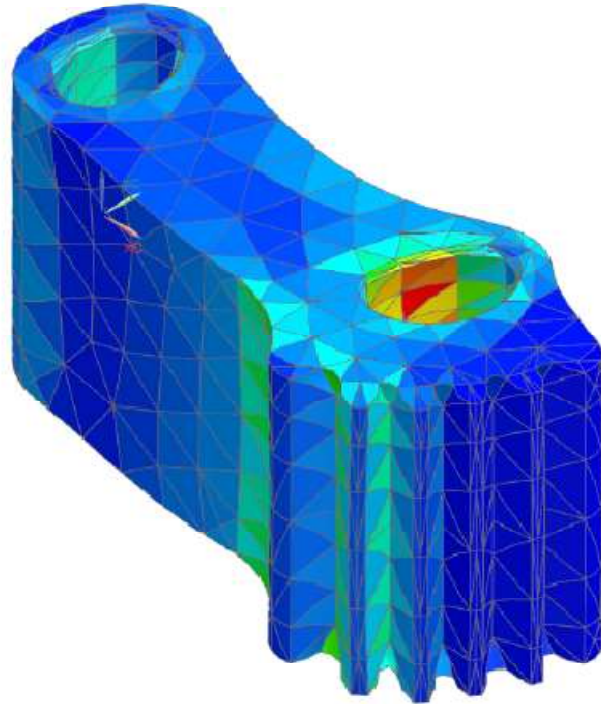


Рисунок 3.24 – Зменшені напруження у зубатому важелі

Найбільша напруга спостерігається в районі опорного отвору 03.

Аналітичні розрахунки, виконані в розділі 3 і аналіз кінцевих елементів свідчать про те, що вибраний матеріал не використовується повністю. Перша зміна, яку потрібно буде зробити – це зменшити всі частини. Болти, які використовуються для сполучних з'єднань, можна замінити болтами коротшого та меншого діаметру, подвоївши кількість кріплень (одночасно зменшивши їх ширину). Це дозволить уникнути використання розпірних гільз. Ще одним недоліком є поганий доступ до приводу. Навісне обладнання легкодоступне, але в разі пошкодження системи приводу необхідно демонтувати весь грейфер.

Враховуючи, що в деяких джерелах коефіцієнт тертя між сталлю та гумою становить $\mu=1$, можна зменшити коефіцієнт безпеки до 2 і спробувати вибрати менший привід.

Однак із цим надлишком безпеки захват не має жодних шансів вийти з ладу при правильному використанні. Більшість деталей виготовлені з дюралюмінію та нержавіючої сталі, що робить механізм високостійким до зношування та корозії.

Малонавантажені підшипники також потребують менш частої заміни.

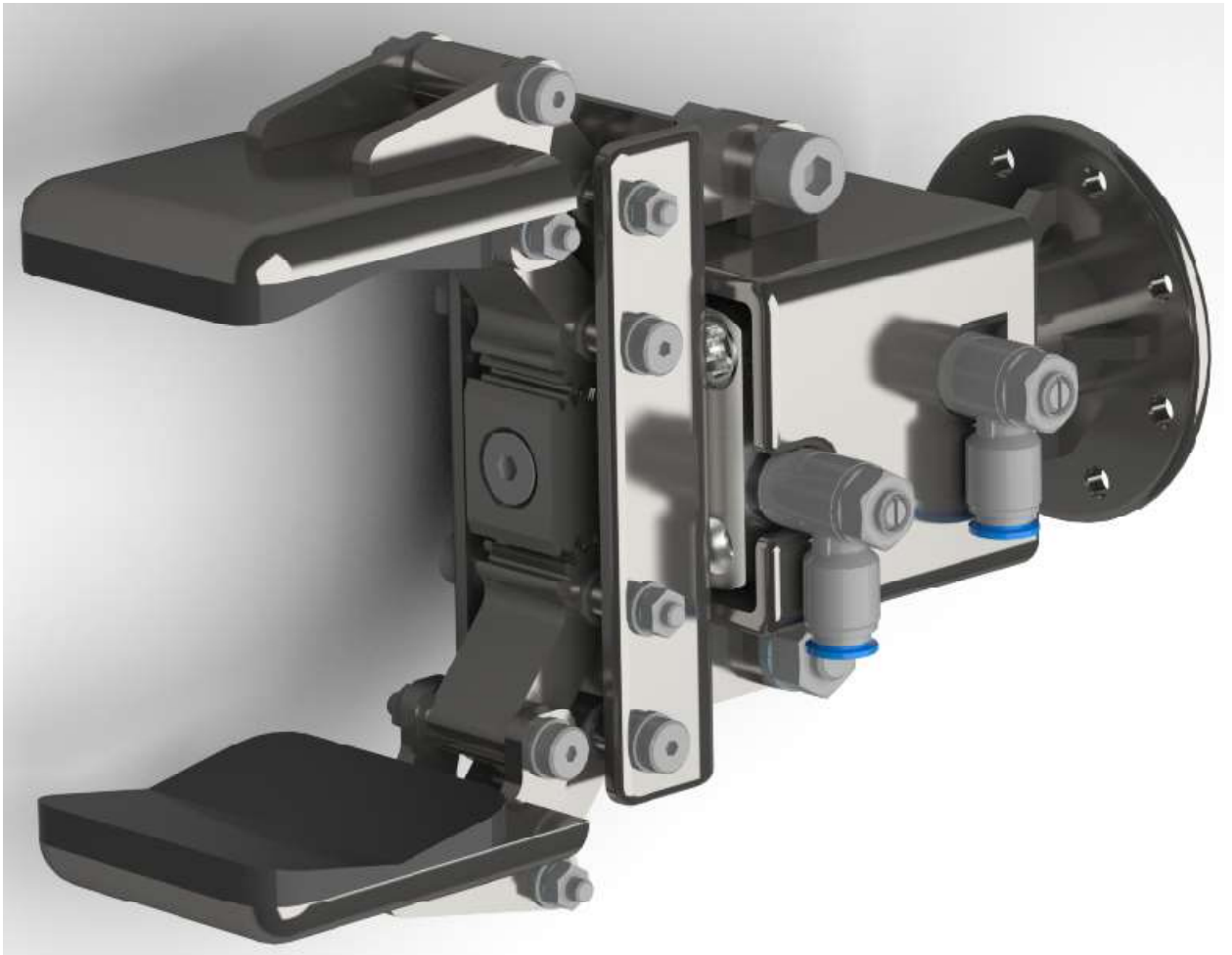


Рисунок 3.25 - Захватний пристрій

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

У технологічному розділі розділі розроблено технологію виготовлення деталі важіль зубчастий

Кресленик деталі зображено на рисунку 4.1.

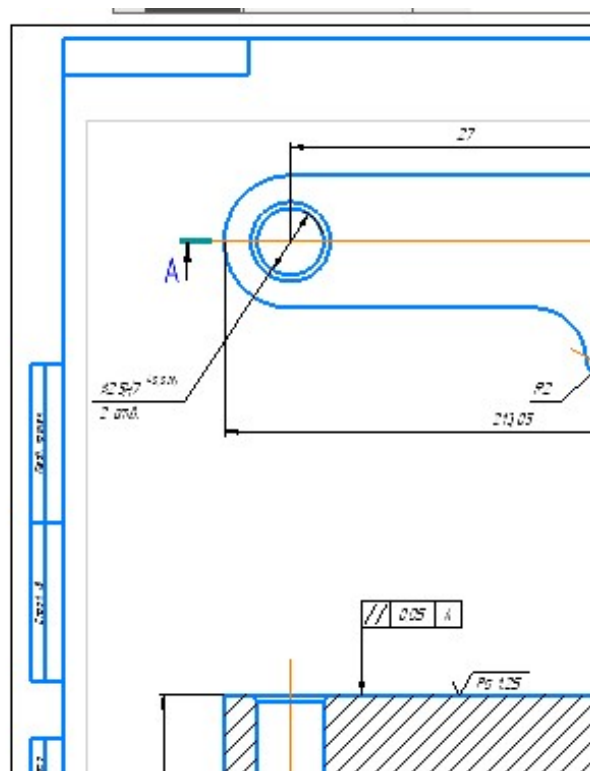


Рисунок 4.1 - Кресленик деталі важіль зубчастий

4.1 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Основною умовою раціональної технології виготовлення заготовки є мак-симальне наближення форми і розмірів заготовки до форми готової деталі, тому проектування заготовки є одним з найважливіших етапів побудови технологічно-го процесу. Заводський метод отримання заготовки використовувати не доцільно, оскільки дуже багато металу йде в стружку ($K_z=0,3$), адже заводська заготовка не передбачує наявності центрального отвору.

Спосіб виконання заготовки для деталей машин визначається сукупністю факторів:

- призначенням деталі;
- конструктивними особливостями деталі;
- матеріалом деталі;
- технічними вимогами;
- обсягом випуску деталі, серійністю;
- економічністю виготовлення.

При виборі способу отримання заготовки, необхідно враховувати всі ці чинники, так як між ними існує тісний взаємозв'язок.

Виходячи з умови найбільш раціональної витрати металу приймаємо спосіб штампування на ГKM.

Клас точності поковки встановлюється в залежності від технологічного процесу і обладнання для її виготовлення [7], а також виходячи з вимог, що пред'являються до точності розмірів поковки - T4.

Дану деталь можна отримувати наступними способами:

- штампуванням;
- куванням на молотах.

Виходячи з конфігурації заданої деталі, технічних вимог креслення (важіль) доцільно застосувати поковку штамповану.

Матеріал - сталь 40X ДСТУ 7806:2015.

У зв'язку з переведенням деталі в дрібносерійне виробництво методом отримання заготовки пропоную використовувати штампування на ГKM. Заготівля, отримана на ГKM, має точність 14-16 квалітету, не великі стабільні припуски по механічну обробку. Сам метод отримання заготовки шляхом штампування на ГKM дорогий, але з огляду на тип виробництва (середньосерійному), високу точність і мінімальні припуски на механічну обробку, що в подальшому призводить до зниження витрат часу і матеріальних засобів на механообробку, в кінцевому підсумку, даний метод буде давати економічний ефект.

4.2 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Якість виготовлення деталі у великій мірі залежить від правильності встановлення та закріплення заготовки на верстаті. Установка складається з установки, тобто орієнтації заготовки щодо виконавчих органів верстата, інструменту або траєкторії його переміщення, і закріплення, тобто докладання зусиль до заготівлі для фіксації положення заготовки, досягнутого при базуванні.

Поверхня, використовувана для базування, повинна відповідати таким вимогам:

- великі розміри, геометрично правильна форма;
- низька шорсткість поверхні (без задирів, напливів, буртиків, залишків ливникової системи і т.д.);
- безпосередня розмірна зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розташування до оброблюваної поверхні;
- відсутність значущих деформацій і низькою жорсткості базових поверхонь;
- використання принципу сталості баз;
- можливість простого і зручного закріплення заготовки.

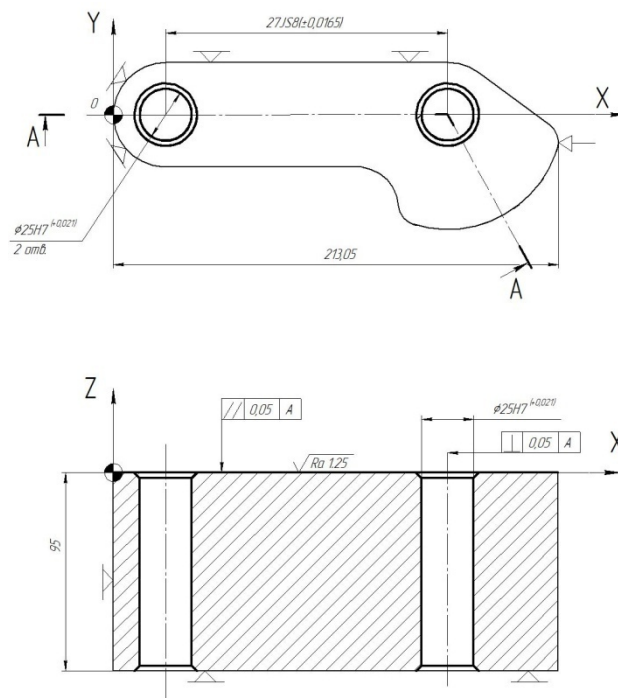


Рисунок 4.2- Схема базування заготовки на фрезерній операції

4.3 Проектування маршрутної обробки важеля.

Зміст та послідовність технологічних операцій

Вибір обробки окремих поверхонь деталі та послідовність виконання операцій вибирають виходячи з вимог робочого креслення та з урахуванням розмірів, маси виробу, виду та способу отримання вихідної заготовки. Мета технологічного маршруту – дати загальний план обробки заготівлі під час виготовлення деталі, намітити зміст і послідовність технологічного процесу (ТП).

При складанні технологічного маршруту враховувався матеріал, вид оброблюваної поверхні, точності її розмірів та положення щодо інших поверхонь. Так як як матеріал кришки використовується чавун, при складанні маршруту обробки по можливості враховуємо характерні властивості даного матеріалу. Пропонований маршрут обробки кожної поверхні представлений у таблиці. Структура і зміст технологічного процесу обробки різанням заготівлі деталі залежить від її конструктивного виконання, геометричної форми, розмірів, маси, виду заготівлі, складності технологічних вимог і характеру виробництва. Незважаючи на різноманіття цих факторів, у розробці та побудові техпроцесу обробки різанням є загальні закономірності. Для різних деталей техпроцес включає такі основні етапи: 1. Чорнова та чистова обробка торцевих та циліндричних поверхонь, які надалі використовуються як технологічні бази. 2. Обробка інших зовнішніх поверхонь. 3. Чорнова обробка отворів під кріпильні гвинти. 4. Оздоблювальна обробка або високоточна обробка основних конструкторських баз. 5. Контроль точності оброблених поверхонь деталі та самої деталі.

При формуванні технологічного маршруту виготовлення деталі в потоковому виробництві необхідно врахувати наступне:

- операції будуються за принципом концентрації переходів;

- чорнові та чистові технологічні переходи не поєднуємо на одній позиції, виняток

- випадки, коли для необхідної точності необхідно при одній установці виконати чорнову та чистову обробку базових поверхонь;

- для забезпечення нормальної роботи інструментів необхідно в межах кожної позиції комплектувати однотипні переходи, домагаючись одночасної роботи та найменшої різниці у тривалості роботи. Вибір технологічного маршруту обробки колони ведеться з метою підвищення ефективності обробки та досягнення потрібних показників якості, при цьому враховується такі правила:

Основні припуски знімаються на чорнових операціях.

Більш відповідальні поверхні та операції виносяться на кінець маршруту для зниження їх можливих пошкоджень у процесі міжопераційного транспортування важеля. Використовуючи прийняті технологічні переходи на шкірну поверхню та технологічні бази, прийняті вище, розробляємо план виготовлення деталі.

Таблиця 4.1 - Маршрут обробки деталі "Важіль"

№ Опер.	Найменування та короткий зміст операції	Верстат	Ріжучий інструмент	Режими різання
005	Фрезерна з ЧПК – Фрезерувати торці начорно в розмір 20	<p>Фрезерний з ЧПК HAAS VF-3</p> 	<p>Фреза торцева 345-063Q22-13H</p> 	<p>n, об/хв = 1160 f, мм/хв = 314 Sz=0,453 мм V = 246 м / хв</p>

№ Опер.	Найменування та короткий зміст операції	Верстат	Ріжучий інструмент	Режими різання
010	Фрезерна з ЧПК – Фрезерувати торці начисто в розмір 19 h9	<p data-bbox="646 315 874 376">Фрезерний з ЧПК HAAS VF-3</p> 	<p data-bbox="1023 286 1238 347">Фреза торцева 345-063Q22-13H</p> 	<p data-bbox="1270 286 1461 465">n, об/хв = 1160 f, мм/хв = 314 Sz=0,453 мм V = 246 м / хв</p>
	– Свердлувати 2 отвори Ø4,5		<p data-bbox="1011 616 1249 779">Цілісне твердосплавне свердло CoroDrill 860.1-0450-027A1- PM P1BM</p> 	<p data-bbox="1270 616 1477 795">n, = 12700 об/хв f, = 0.18 мм/об V = 179 м / хв f_{хв}=2280 мм/хв</p>
	– Розгорнути 2 отвори Ø5 H7		<p data-bbox="1018 1008 1241 1137">Твердосплавна розвіртка 835.T-0500-A1-PF 1024</p> 	<p data-bbox="1270 1008 1477 1187">n, = 12700 об/хв f, = 0.18 мм/об V = 179 м / хв f_{хв}=2280 мм/хв</p>
015	Фрезерна з ЧПК - Фрезерувати контур деталі начисто	<p data-bbox="646 1303 874 1364">Фрезерний з ЧПК HAAS VF-3</p> 	<p data-bbox="1011 1303 1249 1467">Цільнотвердосплав на кінцева фреза CoroMill R215.38-20050- AC38L 1620</p> 	<p data-bbox="1270 1303 1461 1550">n, = 4250 об/хв t, = 2 мм V = 267 м / хв f_{хв}= 637 мм/хв Sz = 0.187 мм</p>
020	Зубофрезерува льна - нарізати зубчастий вінець		<p data-bbox="1023 1751 1238 1848">Shell-end milling cutter CoroMill® 172</p> 	

4.4 Створення керуючої програми для верста з ЧПК в САМ ESPRIT

Для виготовлення деталі важіль зубчастий у технологічному процесі запропоновано використовувати високопродуктивний вертикально-фрезерувальний верстат Haas VF-3.

Для створення програми були виконані наступні дії:

1. У програмному продукті SolidWorks було створену 3D модель важеля і завантажено її у середовище САМ Esprit.

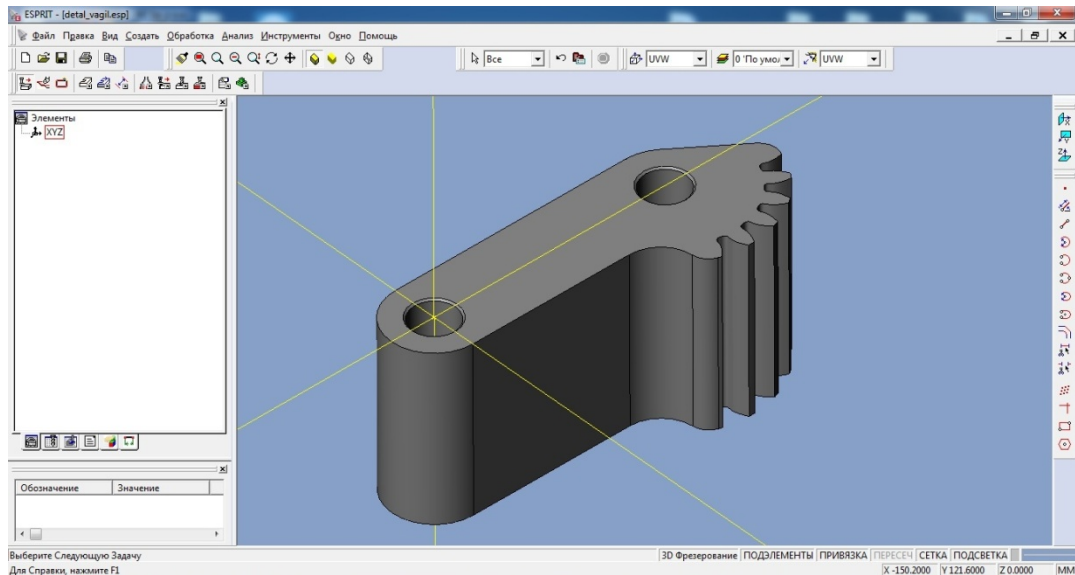


Рисунок 4.3 – 3D модель пластини у середовище САМ Esprit

2. Створено заготовку деталі важіль

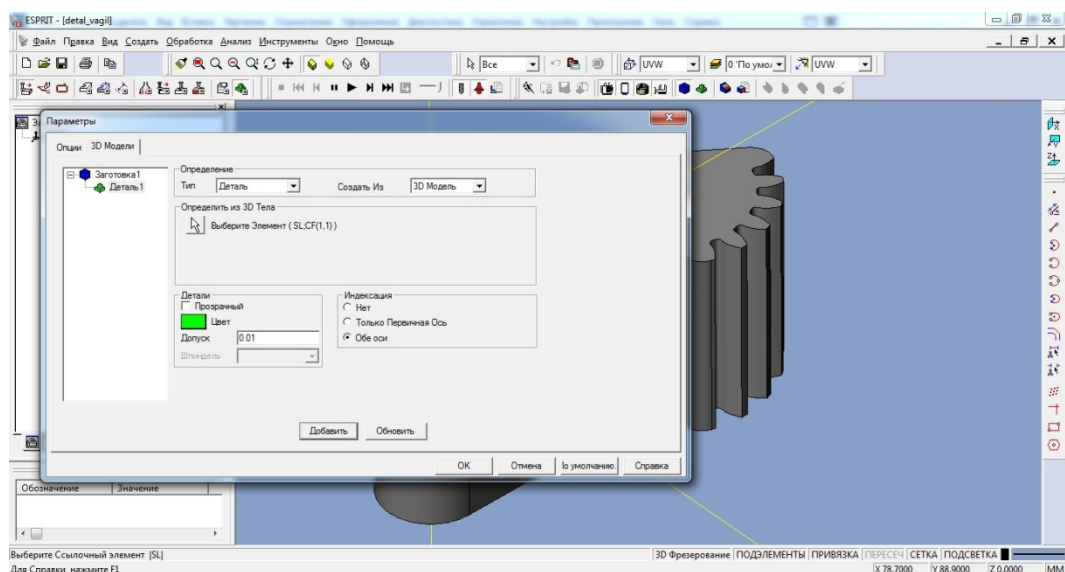


Рисунок 4.4 – Створення заготовки

3. Виконано розпізнання елементів важеля рис. 4.5.

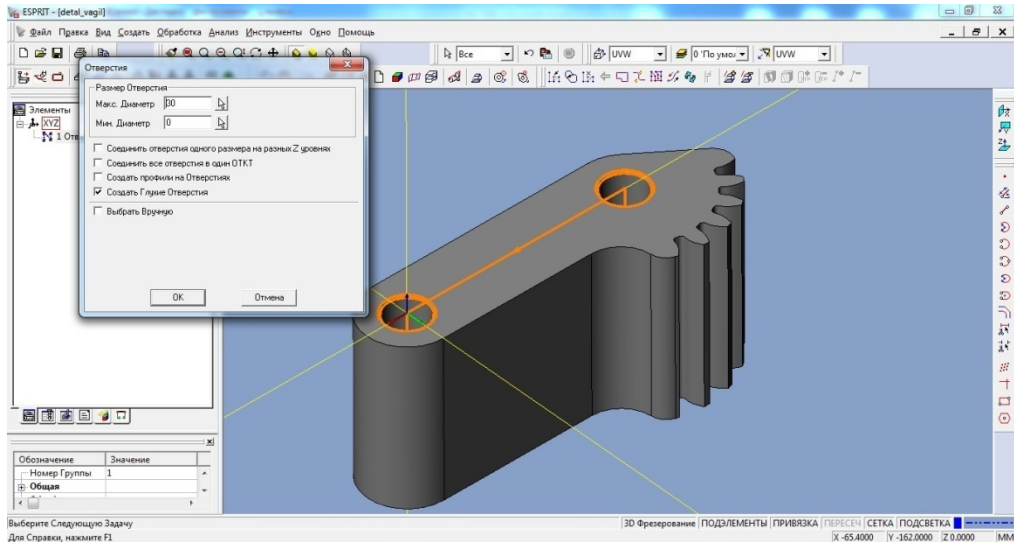


Рисунок 4.5 – розпізнання елементів пластини

4. Вибрано вид оброблення

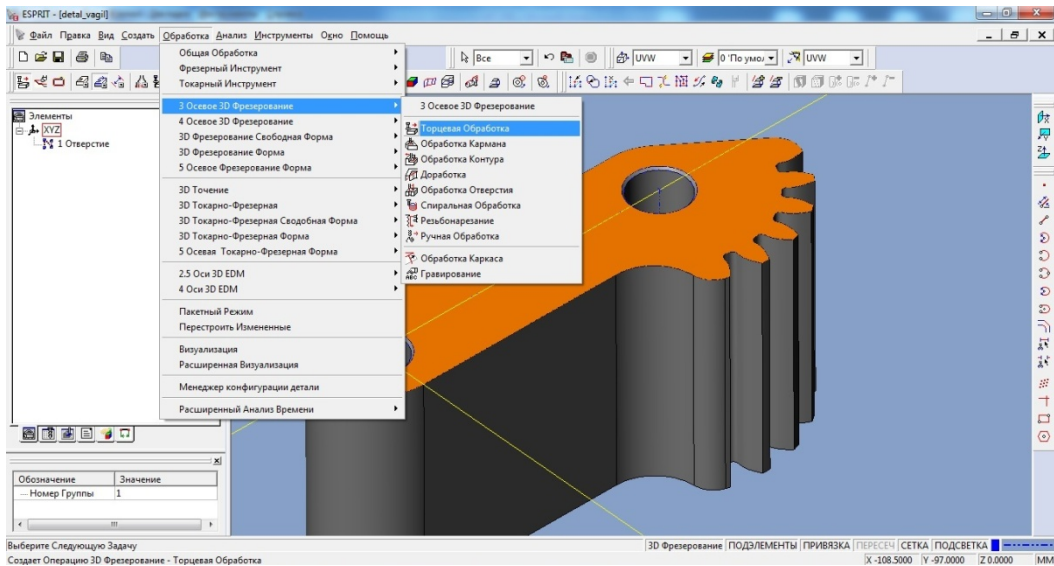


Рисунок 4.6 – розпізнання елементів пластини

5. Вибрано металообробний інструмент та його параметри (рис. 4.7).

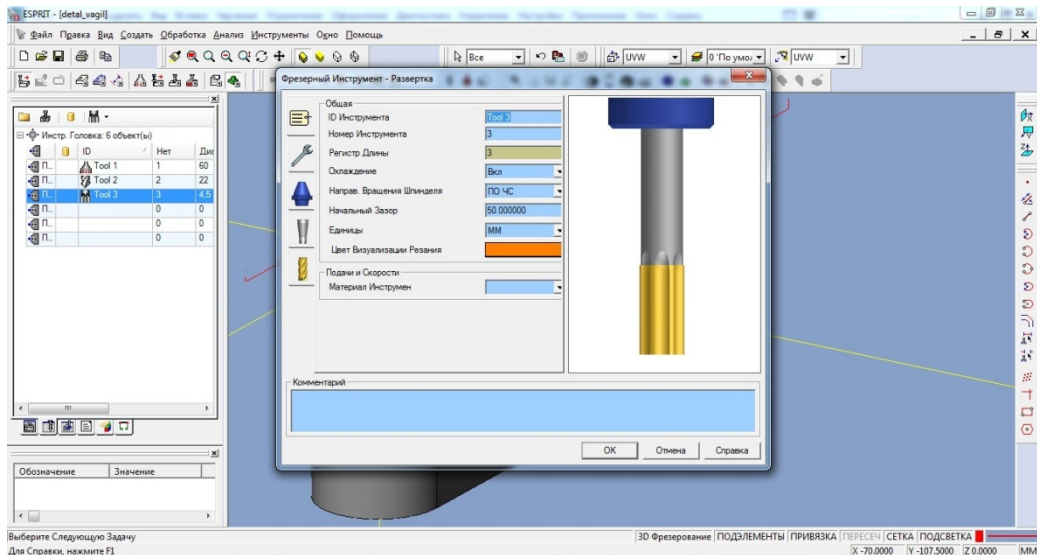


Рисунок 4.7 – Вибір інструменту

6. Вибрано стратегію оброблення.
7. Вибрано режими різання.
8. Автоматично згенеровано траєкторію руху металорізальних інструментів при обробленні елементів корпусу.
9. Виконано візуалізацію процесу оброблення з метою виявлення помилок при обробленні;

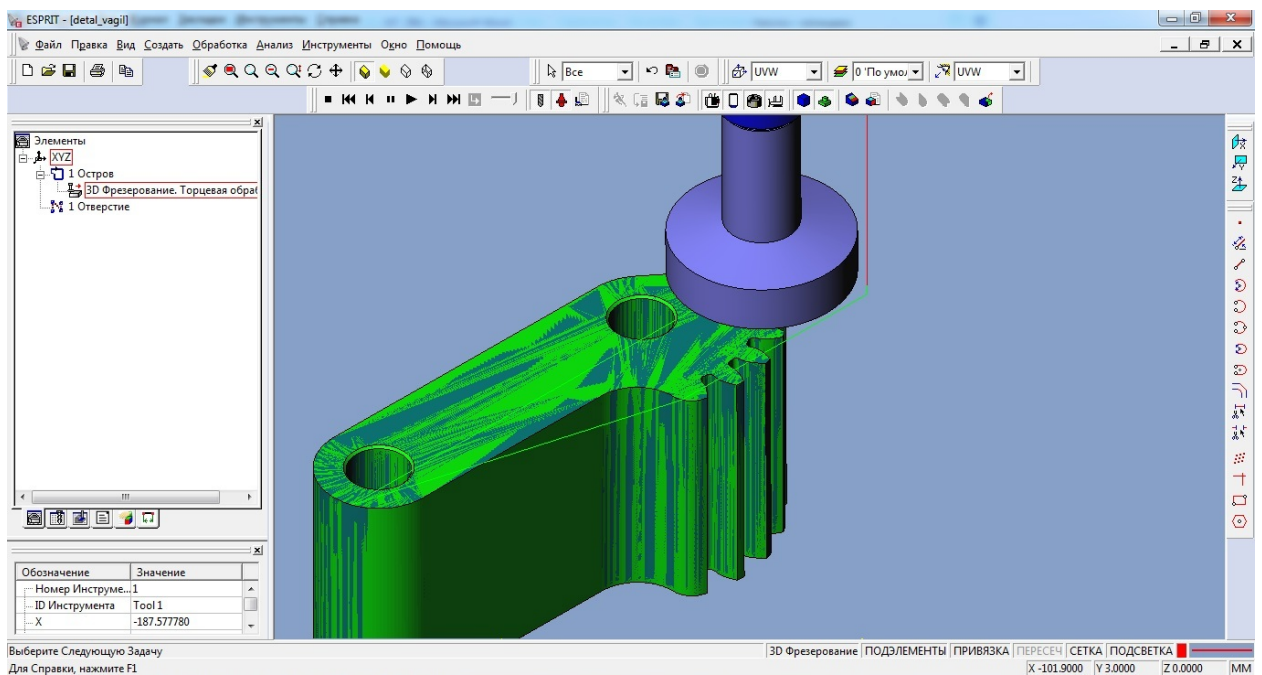


Рисунок 4.8 – Візуалізація процесу оброблення

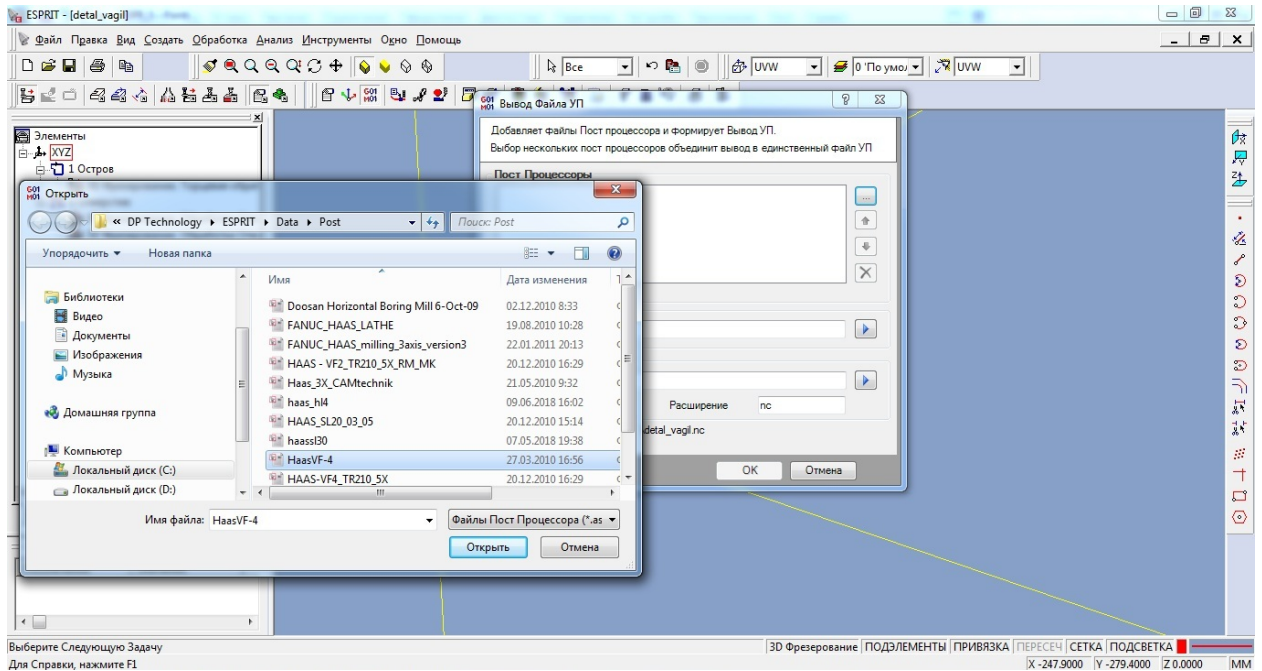


Рисунок 4.9 – Вибір постпроцесора та генерація програмного коду

Виконано автоматичне генерування програми оброблення в G-M кодї для оброблення на вертикально-фрезерному верстатї з ЧПК HAAS за допомогою постпроцесора. Програма оброблення наведена у додатку.

4.5 Проектування верстатного пристрою для фрезерної операції 015

Схема базування

Положення заготовки при обробці, як і будь якого іншого твердого тіла в просторї, характеризується шістьма степенями вільності, які визначають можливість переміщення і повороту заготовки відносно трьох координатних осей. При повному орієнтирї заготовка втрачає всі степені вільності; при не повному – числа степені вільності менше шести. В першому випадку точне встановлення деталі в усіх напрямках не потребується, а точніше можлива довільна орієнтація деталі з поворотом навколо її осі.

У другому випадку для забезпечення перпендикулярності осі отворів до основи заготовка базується по схемі повного орієнтування .

Але для обробки деталей у обох випадках необхідна повна схема базування. У випадку повного орієнтування встановлення заготовок виконують здійснюючи повний контакт базових поверхонь з елементами пристрою жорстко закріпленими в його корпусі. Це забезпечується прикладеними до заготовки відповідних сил закріплення. Для повної орієнтації заготовки число і розміщення опор повинно бути таким, щоб при дотриманості невідривності баз від опор заготовка не могла зсувуватись відносно координатних осей. При виконанні умови невідривності заготовка залишається без всіх степеней вільності.

Кількість опор, на які встановлюємо заготовку, не повинно бути більше шести. Для забезпечення стійкого положення заготовки, в пристрої відстань між опорами слід вибирати по можливості більшу, при встановленні заготовки на опори, вона не повинна перевертатись. При збільшенні відстані між опорами зменшується вплив похибок форми базових поверхонь на положення заготовки в пристрої.

Виходячи з того, що було вище сказано, установчими базами на операцію 015 приймаємо плоску поверхню основи, і торець. Дивитись рис.4.10

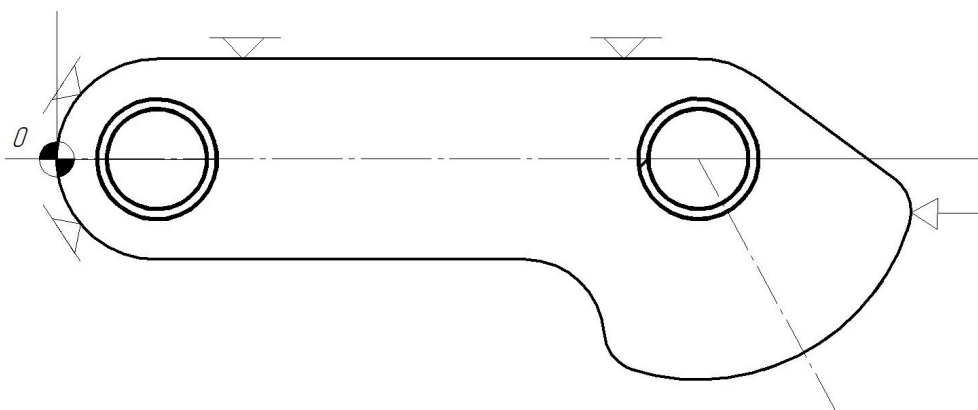


Рисунок 4.10 – Схема базування

1,2,3 – установча база; 4,5 – направляюча база; 6 – прихована база від провертання

Розрахунок сили закріплення

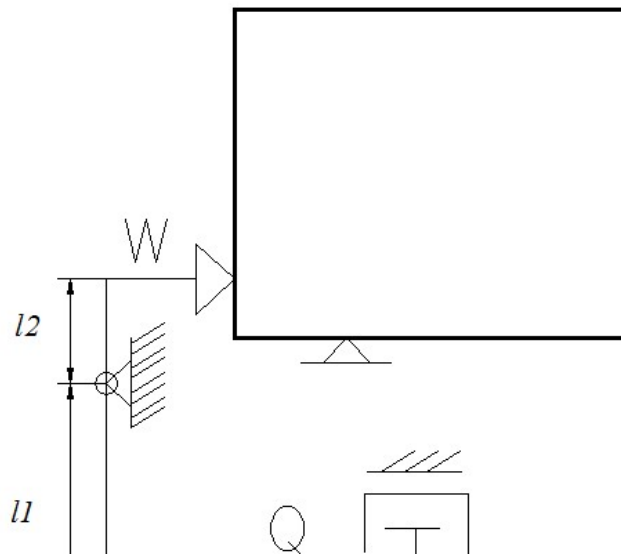


Рисунок 4.11 – Схема розрахунку сили закріплення

Пворот заготовки попереджується силами тертя в місцях контакту заготовки з опорами та затискними елементами.

$$P_z = Q \cdot f_1 + Q \cdot f_2$$

де, f_1 , f_2 – коефіцієнти тертя заготовки з встановлюючими та застискаючими елементами.

$$W = \frac{k \cdot P_z}{f_1 \cdot f_2}$$

P_z - Сила різання при фрезеруванні

Коефіцієнт тертя сталі по сталі :

$$f_1 = f_2 = f = 0.15$$

Приймаємо коефіцієнт запасу $k = 1,25$

Тоді сила закріплення:

$$W = \frac{1.5 \cdot 760}{0.15 \cdot 0.15} = 3800 \text{ Н}$$

Розрахунок приводу пристосування.

В даному випадку розрахунок приводу пристосування, полягає у визначенні діаметру пневмоциліндра .

З схеми закріплення деталі видно, що

$$Q = W \frac{L_2}{L_1};$$

Приймаючи співвідношення плеча ричага:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1}{2}$$

Визначаємо необхідне зусилля на шток пневмоциліндра:

$$Q = W / 2 = \frac{3800}{2} = 1900 \text{ Н}$$

Зусилля на шток пневмоциліндра залежить від робочого тиску повітря і внутрішнього діаметра циліндра:

$$Q = P_B \cdot \frac{\Pi \cdot D^2}{4}$$

де, $P_B = 5 \text{ МПа}$ – робочий тиск мастила в гідросистемі системи;

$D_{\text{ц}}$ – діаметр циліндра мм.

Підставляємо значення в формулу та обраховуємо:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4P}{P_B \cdot \Pi}} = 2 \sqrt{\frac{1900}{5 \cdot 10 \cdot 3.14}} = 3.48 \text{ см} = 34,8 \text{ мм}$$

З стандартного ряду вибираємо циліндр з діаметром: $D_{\text{ц}} = 40 \text{ мм}$.

5. Охорона праці

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Небезпечні та шкідливі фактори

При модернізації робототехнічного комплексу «МП-9С» до основних шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на людей, можна віднести:

- запиленість;
- шум та вібрація;
- отруєння шкідливими парами;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежна небезпека.

Небезпечні та шкідливі фактори при обробці матеріалів

Під час модернізації (монтажу) робототехнічного комплексу «МП-9С» використовувалися матеріали: оргскло, текстоліт, метал. Обробка якого проводилася за допомогою механічного та електричного інструменту (дріль, болгарка, заточувальна машина, напилек тощо). У процесі обробки матеріалів можлива поява таких небезпечних та шкідливих факторів як запиленість повітря робочої зони.

Треба мати на увазі, що пил, який утворюється при обробці матеріалів, шкідливий для здоров'я. Тому для захисту органів дихання застосовувався респіратори ШБ-1 «Пелюстка» ДСТУ 12.4.028-06, а для захисту очей застосовувалися захисні окуляри 02 (У,В,Д) ДСТУ Р12.4.013-97

Шум та вібрація

Під час роботи з електроінструментом створюється велика кількість шуму. Залежно від рівня та характеру шуму, його тривалості, а також від індивідуальних особливостей людини шум може чинити на неї різну дію. Шум, навіть коли він невеликий (при рівні 50-60 дБА), створює значне навантаження на нервову систему людини, справляючи на неї психологічний вплив. Для захисту органів слуху використовували навушники.

Рівень звукового тиску в приміщенні не повинен перевищувати 85 дБа.

Також при роботі з ручним електроінструментом загальний час роботи в контакті з вібрацією не повинен перевищувати 2/3 робочого часу. При цьому тривалість безперервного впливу вібрації, включаючи мікропаузи, не повинна перевищувати 15-20 хвилин.

Небезпечні та шкідливі фактори при роботі з органічним розчинником дихлоретаном

При модернізації робототехнічного комплексу наводилося склеювання оргскла а допомогою органічного розчинника дихлоретан. Вдихання парів дихлоретану чинить на організм оглушальні та паралізуючі дії. Потрібно уникати потрапляння його на руки, особливо на ділянки з ушкодженням шкірного покриву (свіжі рани, подряпини). Під час роботи з дихлоретаном не можна курити або їсти. Працювати з дихлоретаном потрібно в приміщенні, що добре провітрюється. Для захисту від попадання дихлоретану на руки застосовувалися гумові рукавички, для захисту органів дихання від парів дихлоретану застосовувався респіратор РУ-60 М ГОСТ 12.4.041-89 при концентраціях шкідливих речовин, що не перевищують 10-15 ГДК.

Небезпечні та шкідливі фактори при паянні

При роботі з електричними паяльниками слід дотримуватись заходів захисту від ураження електричним струмом:

1. Ручка паяльника має бути сухою і не повинна проводити електричний струм. Руки мають бути сухими. Недбале поводження з електричним струмом може призвести до опіків, ураженням ним і порушенням роботи серця, органів дихання, що може призвести до смерті.

2. Щодня перед початком роботи необхідно перевіряти цілісність розетки, виделок, заземлення, ізоляцію дротів. Починати працювати потрібно тоді, коли ви переконаєтесь у справності електроустаткування.

3. При паянні свинцевовмісними припоями виділяються пари, що містять сполуки свинцю, хлористий водень, оксиди вуглецю, які, потрапивши в організм людини, викликають отруєння, ураження слизової оболонки очей та шкіри.

Тому приміщення, де проводиться монтажні роботи, мають бути забезпечені загальною вентиляцією та загальною витяжкою.

Під час роботи:

1. Для підтримки деталей під час паяння необхідно користуватися пінцетом, плоскогубцями або серветкою.

2. Під час роботи руки мають бути сухими.

3. При роботі з паяльником необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:

- не слід перевіряти температуру паяльника та електрообладнання на дотик;

- остерігатися бризок припою;

- легкозаймисті рідини необхідно тримати в закритій тарі.

Небезпечні та шкідливі фактори при фарбувальних роботах

При фарбуванні робототехнічного комплексу «МП-9С» застосовувалася фарба ПФ – 024 в аерозольній упаковці, розчинником якої є уайтспірит,

Застосовувався респіратор РУ-60М для захисту органів дихання від шкідливої пари фарби.

5.3 Пожежна безпека

Джерелами виникнення пожежі є:

-зупинка апарату та його пуск;

-куріння у недозволених місцях;

-джерела запалювання, пов'язані з електричною енергією;

-перевантаження мереж та пристроїв, що веде за собою сильний струмопровідних провідників та загоряння ізоляції.

У виробничому приміщеннях застосовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-2, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, збереження електронного обладнання, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

Вплив пожежі на людину може спричинити несприятливі наслідки: опіки, ядуху та отруєння димом, а також смерть.

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту, організаційно-технічними заходами.

Система запобігання пожежі та протипожежному захисту в сукупності виключають вплив на людей небезпечних факторів пожежі, які мають значення, що перевищують допустимі.

Вимоги регламентовані ДСТУ 12.1.004-01.

5.2 Електробезпека

Робототехнічний комплекс працює від однофазної мережі 220 В і заземлений відповідно до ДСТУ 12.1.009-06.

Заходи з охорони праці:

- забезпечення недоступності до струмоведучих частин шляхом закриття;
- заземлення;
- захисне відключення за допомогою запобіжника на максимальний струм навантаження 4А;

РТК «МП-9С» живиться від мережі змінного струму частотою 50 Гц та напругою 220 вольт. Тому для безпечної роботи з обладнанням та щоб уникнути ураження електричним струмом, його необхідно заземлити. Розрахуємо заземлювальний пристрій.

Для розрахунку заземлювального пристрою необхідно наступне:

- об'єкт, що захищається - стаціонарний;
 - характеристика об'єкта – напруга мережі до 1000 В, виконання мережі з глухозаземленою нейтраллю, тип заземлювального пристрою – вертикальний;
 - розмір заземлювача - $l = 2,5$ м - довжина стрижня, $d = 6$ см - діаметр стрижня, $b_{\text{ш}} = 5$ см - ширина смужової сталі, глибина закладення заземлювачів $h = 0,5$ м;
 - розташування заземлювачів – вертикальне до одного ряду.
- Грунт – суглинок, кліматична зона – четверта.

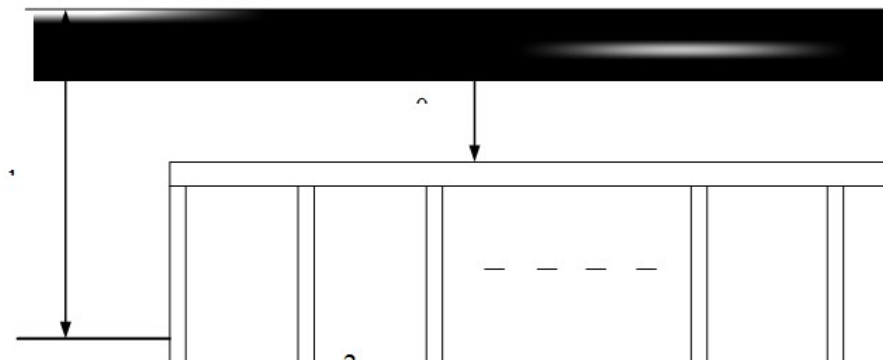


Рисунок – Схема розміщення заземлювачів

1. Відповідно до ПУЕ, ПТБ, ПТЕ допускається опір розтіканню струму в заземленому пристрої $R_3 = 4$ Ом, для мережі до 1000 В із ізольованою та глухозаземленою нейтраллю.

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{розрах}} = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi,$$

де $\rho_{\text{вим}}$ – питомий опір ґрунту, визначений у результаті вимірювань (вибирається в залежності від типу ґрунту за таблицями 1.2 []),

$$\rho_{\text{вим}} = 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

Ψ – коефіцієнт сезонності, який враховує замерзання чи висихання ґрунту (вибирається за таблицею 1.3 []), $\Psi = 1,3$.

$$\rho_{\text{розрах}} = 130 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

2. Визначаємо опір розтіканню струму для поглибленого одиничного заземлювача, розташованого нижче поверхні землі на 0,5-0,8 м (застосовується для стаціонарних установок):

$$R_B = 0.366 \cdot \rho_{\text{розрах}} / l_B \cdot (\lg((2 \cdot l_B) / d) + 0.5 \cdot \lg((4 \cdot t + 1 \text{ в}) / (4 \cdot t - 1 \text{ в}))),$$

де $\rho_{\text{розрах}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

l_B – довжина вертикального стрижня, м;

d – діаметр стержня, м;

t – відстань від поверхні ґрунту до середини довжини вертикального стрижня, м.

Визначимо відстань від поверхні землі до середини стрижня:

$$t = h_B + l_B / 2,$$

$$t = 0,5 + 2,5 / 2 = 1,75 \text{ (м)}.$$

Опір розтіканню струму одиничного поглибленого заземлювача:

$$\begin{aligned} R_B &= 0,366 \cdot 130 / 2,5 \cdot (\lg(2 \cdot 2,5 / 0,06) + 0.5 \cdot \lg((4 \cdot 1,75 + 2,5) / (4 \cdot 1,75 - 2,5))) = \\ &= 39,65 \text{ (Ом)}. \end{aligned}$$

4. Визначаємо необхідну кількість стрижнів без урахування коефіцієнта екранування:

$$n' = R_B / R_3 = 39,6 \cdot 5 / 4 = 9,91 \approx 10$$

5. Визначаємо відстань між вертикальними стрижнями:

$$a = k \cdot l_B,$$

де k – коефіцієнт кратності; для заземлювачів, розташованих біля поверхні землі, рекомендується приймати $k=3$, а для поглиблених стаціонарних заземлювачів рекомендується приймати $k = 1$:

$$a = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ (м)}.$$

6. Визначаємо необхідну кількість стрижнів з урахуванням коефіцієнта використання (таблиця 1.4 []):

$$n = n' / \eta_B$$

Для цього знаходимо відношення відстаней між вертикальними електродами до їхньої довжини: $a/l_B = 1$. За таблицею визначаємо $\eta_B = 0,59$.

$$n = 10/0,59 = 17.$$

7. Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму при прийнятому числі стрижнів n :

$$R_{\text{розрах.в}} = R_B / (n \cdot \eta_B) = 39,65 / (17 \cdot 0,59) = 3,95 \text{ (Ом)}.$$

8. Визначаємо довжину горизонтальної смуги:

$$l_r = 1,05 \cdot a \cdot (n-1),$$

де n – кількість вертикальних стрижнів;

a – відстань між вертикальними стрижнями.

$$l_r = 1,05 \cdot 2,5 \cdot (17-1) = 42 \text{ (м)}.$$

9. Опір розтіканню струму горизонтальної смуги дорівнює:

$$R_r = 0,366 \cdot \rho_{\text{розрах.}} / l_r \cdot (\lg(2 \cdot l_{r2}) / (t_1 \cdot b_n)),$$

де $\rho_{\text{розрах.}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

l_r – довжина горизонтальної смуги, м;

t_1 – відстань від поверхні ґрунту до середини ширини горизонтальної смуги, м. $t_1 = 0,525$ м.

b_n – ширина горизонтальної смуги, м. $b_n = 0,05$ м.

$$R_r = 0,366 \cdot 130 / 42 \cdot (\lg(2 \cdot 422) / (0,525 \cdot 0,05)) = 5,81 \text{ (Ом)}.$$

10. Визначаємо коефіцієнт екранування η_n для сполучної смуги при відношенні відстаней між вертикальними електродами до їх довжини рівному 1 і кількості вертикальних стрижнів дорівнює 17 (таблиця 1.4 []).

$$\eta_n = 0,48.$$

11. Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму в сполучній смугі (з урахуванням коефіцієнта екранування):

$$R_{\text{розрах.г}} = R_r / (n_n \times \eta_n),$$

де n_n – кількість сполучних смуг;

η_n – коефіцієнт екранування сполучної смуги.

$$R_{\text{розрах.г}} = 5,81 / (1 \cdot 0,48) = 12,1 \text{ (Ом)}.$$

12. Визначаємо еквівалентний опір групового заземлювача:

$$R = 1 / (R_{\text{розрах.в-1}} + R_{\text{розрах.г-1}})$$

$$R = 1 / ((1/3,95) + (1/12,1)) = 2,98 \cdot 3 \text{ (Ом)}.$$

Звідки видно, що умова $R \gg R_3$ виконується. Отже, підібрані стрижні (їх кількість, геометричні розміри, глибина закладення в ґрунт, порядок розміщення) та сполучна смуга відповідають вимогам, при яких опір розтіканню струму групового заземлювача буде не більшим від нормативного значення.

ВИСНОВКИ

Робототехнічний комплекс «МП-9С» у загальному випадку призначений для автоматизації технологічних процесів у металлообробленні та складанні виробів.

У роботі робототехнічний комплекс «МП-9С» використовується у навчальних цілях для проведення лабораторних робіт з предмету автоматизація виробничих процесів. Причому програмування виконуваних роботом дій і керування роботом здійснювалося з допомогою морально застарілої системи управління.

У магістерській роботі було створено сучасну систему керування на базі Arduino Mega 2560.

Спроектовано конструкцію захватного пристрою та виконано аналіз в SolidWorks Simulation деталі важіль.

У технологічному розділі розроблено технологію виготовлення деталі, розроблено керуючу програму та спроектовано верстатний пристрій

У розділі охорони праці наведені рекомендації по організації безпечних умов праці на виробництві.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лісовець С.М. Автоматизована система керування промисловим роботом МП-9С з використанням ПЛК110-32.P / С.М. Лісовець, С.В. Барилко, В.Г. Здоренко, І.Л. Ківа // Вісник інженерної академії України. – 2018. – No 3. – С. 112–116.
2. Лісовець С.М. Мікроконтролерне керування промисловим роботом МП-9С / С.М. Лісовець // Вісник інженерної академії України. – 2019. – No 4. – С. 159–163.
3. J. Frańczek i M. Wojtyra, Wykład z Teorii Maszyn i Mechanizmów, 2020.
4. Katalog siłowników pneumatycznych FESTO serii ADN/EN, 2020.
5. Спицу Г. А. Промислові роботи: конструювання та застосування. — Київ: Вища школа, 1985.
6. Naprężenia dopuszczalne stali konstrukcyjnych zwykłej jakości, Dostęp zdalny (12.12.2020r.):
7. <https://pkm.edu.pl/index.php/07/stale/64-07010202>, 2020.
8. A. Dziurski, E. Mazanek i L. Kania, Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn t.1. Warszawa: WNT, 2012.
9. Four degrees of freedom SCARA robot kinematics modeling and simulation analysis. Jian Fang, Wei Li.
10. ДСТУ 2879-94 Маніпулятори, автооператори, роботи промислові та системи виробничі гнучкі. Терміни та визначення.
11. Гордєєв А.І. Курсове та дипломне проектування з технології машинобудування та металорізальних верстатів: Навчальний посібник / А.І. Гордєєв, Є.А. Урбанюк, А.Є. Безносів, В.Г. Мігаль. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 294 с.
12. Технологія машинобудування: методичні вказівки з курсового проектування для студентів напрямків підготовки “Інженерна механіка” та “Машинобудування” / В.Д. Каразей, Л.В. Присяжний, Ю.В. Савицький .- Хмельницький : ХНУ 2009.- 104с.

13. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування : навч. посібник для студ. вищих техн. навч. закладів / С.Г. Бондаренко. – Львів : Магнолія, 2007. – 567 с.