

**АВТОМАТИЗУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА ПНЕВМАТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

**АВТОМАТИЗУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА ПНЕВМАТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

Методичні рекомендації до виконання
розрахунково-графічної роботи

Харків «ХАІ» 2025

Затверджено науково-методичними комісіями університету
з відповідних галузей знань
15 листопада (протокол № 4), 22 листопада (протокол № 3)
і 20 грудня (протокол № 5) 2024 року

Укладачі: Ю. В. Широкий, О. В. Торосян, Д. Р. Степаненко

ПЕРЕДМОВА

Розрахункову роботу з дисципліни «Пневмоприводи та автоматика» призначено для закріплення студентами знань, здобутих під час прослуховування у лекційному курсі, і набуття навичок експериментального дослідження параметрів і характеристик пневматичних елементів і побудованих на їх основі схем.

Робота виконується з використанням програми *FluidSim FESTO* демоверсії для пневматичних схем і симулятора *Tinkercad* для симуляції й налаштування системи керування на базі *Arduino* з подальшим дослідженням на стенді, завдяки чому можна набути практичних навичок роботи з пневматичним обладнанням.

Кожен пункт методичних рекомендацій підкріплено теоретичними відомостями і дає змогу набути навичок зі створення системи керування пневматичними приводами різними шляхами (пневматичним, електропневматичним з релейною логікою або керуванням з допомогою контролера).

Отже, пневматика й пневмоприводи є важливими складовими сучасної індустрії. Незважаючи на недоліки, пневматичні системи широко застосовуються завдяки безпеці, чистоті й простоті в експлуатації. Урахування технологічних інновацій у цій галузі може підвищити ефективність і продуктивність виробництва.

У розрахунково-графічній роботі необхідно розробити систему керування пневматичними приводами різними способами (пневматичним, електропневматичним (релейними перемикачами) і з допомогою контролера (ПЛК або *Arduino*)).

ВСТУП

Пневматика — це розділ науки й техніки, предметом вивчення якого є стиснене повітря для передання, зберігання й перетворення енергії. Це — один з ключових напрямів, що застосовується в різних галузях промисловості для автоматизації виробництва:

- автоматизація — для автоматичних систем оброблення й пакування;
- транспорт — у пневмопідвісних системах в автомобілях;
- машинобудування — в устаткуванні для виконання точних механічних операцій.

Пневматичні приводи — це пристрої, що перетворюють стиснене повітря на механічну енергію для виконання різних завдань. Вони можуть бути циліндровими, двигунними або комбінованими.

Принцип роботи пневматичних систем базується на законі Бойля — Маріотта, де визначено відношення між тиском, об'ємом і температурою газів. Основні компоненти пневматичних систем:

- компресори — для отримання стисненого повітря;
- резервуари — для зберігання стисненого повітря;
- регулятори — для контролю тиску в системі;
- циліндри — для виконання роботи (переміщення, піднімання, заряджання).

Головним завданням є об'єднання всіх пневматичних елементів у роботоздатну систему й задання бажаної логіки відпрацювання виконавчих пристроїв. Сучасне обладнання має складні системи керування й потребує залучення складної обчислювальної техніки — контролерів, які є основою системи керування.

1 АНАЛІЗ ТЕМИ

У цьому розділі розглядається сучасний стан виробництва з наведенням прикладів напрямів виробництва й використовуваного обладнання. Під час аналізу теми необхідно:

- виконати аналіз вибраного напрямку виробництва;
- стисло описати технологію виробництва;
- навести приклади використовуваного оснащення з ілюстраціями;
- навести головні характеристики роботи установок (швидкість переміщення елементів, силу стиснення, масу переміщуваних об'єктів, сили, прикладені до виконавчих органів). Ці дані будуть вихідними для подальших розрахунків.

Пневматика і пневмоавтоматика є одними з ключових напрямів сучасної інженерії та автоматизації, де використовується стиснене повітря для виконання механічної роботи, що робить їх важливими в різних промислових виробництвах, мехатроніці й робототехніці, під час транспортування й пакування і т. ін.

Пневматика:

- вивчаються фізичні принципи використання стисненого повітря;
- основні компоненти: пневматичні циліндри, клапани, компресори, фільтри, регулятори тиску та різні труби для доставляння повітря.

Переваги: висока швидкість, простота у використанні, можливість роботи в агресивних середовищах.

Пневмоавтоматика:

- охоплює автоматизацію процесів з допомогою пневматичних систем;
- зазвичай містить контролери (*PLC*), а також датчики й приводи;
- дає змогу реалізувати складні алгоритми роботи й підвищити ефективність виробничих ліній.

Пневматичні системи складаються з такого устаткування й компонентів:

- компресори, що використовуються для отримання стисненого повітря, яке є основним джерелом енергії в пневматичних системах;
- пневматичні циліндри, що перетворюють стиснене повітря на механічну роботу (можуть бути одно- або двосторонніми залежно від руху);
- клапани, які керують потоком стисненого повітря; їх поділяють на електромагнітні, ручні й пневматичні;
- датчики, що вимірюють тиск, положення, швидкість тощо, це дає змогу забезпечити зворотний зв'язок для автоматизації;
- розподільники, які забезпечують розподіл стисненого повітря між різними компонентами системи.

Переваги пневмоавтоматики:

1 Висока швидкість роботи. Пневматичні системи можуть досягати високих швидкостей руху, що робить їх ідеальними в разі, коли час виконання є критично важливим.

2 Надійність і простота. Пневматичні системи мають менше рухомих частин порівняно з електричними або гідравлічними системами, що знижує ризик поломок.

3 Безпека. Пневматика є безпечною у використанні, оскільки стиснене повітря не спричиняє вибухів порівняно з гідравлікою і мастилом під тиском.

4 Гнучкість. Легкість у модифікації систем під нові вимоги.

Недоліки пневмоавтоматики:

1 Мала ефективність енергії. Пневматичні системи мають нижчу енергетичну ефективність порівняно з електричними системами, оскільки енергія на компресію повітря часто втрачається.

2 Проблеми з контролем. Керування пневматичними системами може бути складнішим порівняно з електричними системами, особливо в змінних умовах.

3 Підведення потужності. Наявність стисненого повітря має бути постійною, що може потребувати додаткових витрат на компресорну станцію.

Використання в промисловості. Пневматика й пневмоавтоматика активно використовуються в різних галузях промисловості:

- виробництво (для автоматизації виробничих ліній, створення роботизованих систем для перевезення товарів, пакування);
- автомобілебудування (для збирання та перевірки компонентів);
- аграрна промисловість (у системах оброблення, пакування й транспортування продуктів).

Отже, пневматика й пневмоавтоматика мають важливе значення в сучасному технічному світі, забезпечуючи ефективні рішення для автоматизації різних процесів. Ці технології продовжують розвиватися з урахуванням їх переваг і недоліків, інтеграцією нових матеріалів, технологій контролю, а також уживанням заходів для підвищення енергоефективності.

Висока адаптивність і швидкість їх упровадження робить пневмотехнології незамінним компонентом у багатьох галузях промисловості:

- автоматизація (для автоматичних систем оброблення й пакування);
- транспорт (у пневмопідвісних системах в автомобілях);

– машинобудування (в устаткуванні для виконання точних механічних операцій).



Рисунок 1 – Пневматичний робот

Таким чином, пневматика й пневмоприводи є важливими складовими сучасної індустрії. Незважаючи на недоліки, пневматичні системи продовжують застосовувати завдяки безпеці, чистоті й простоті в експлуатації. Урахування технологічних інновацій у цій галузі може підвищити ефективність і продуктивність виробництва.

Для розрахунку пневматичного робота (рисунок 1 [0]) важливо враховувати кілька ключових характеристик.

Наведемо основні параметри, які необхідно врахувати.

1 Механічні характеристики:

– розміри й маса робота. За цими параметрами можна визначити, як піднімати й переміщувати об'єкти;

- конструкція й матеріали. Вибір матеріалів впливає на міцність і довговічність конструкції;

- обмеження руху, тобто визначення максимальних кутів повороту, довжини руху та інших обмежень.

2 Пневматичні характеристики:

- сила (момент) дії (розрахування сили, яку має генерувати пневматичний привод для виконання певних завдань);

- тиск повітря (визначення компонентів, які необхідно використовувати; типові значення тиску в пневматичних системах змінюються від 2 до 8 бар (30–115 *psi*));

- об'єм повітря для виконання конкретних дій (дає змогу врахувати, скільки повітря необхідно для здійснення рухів).

3 Кінематичні характеристики:

- швидкість і час відповіді (час, який є необхідним для досягнення максимальної швидкості або виконання конкретних дій);

- точки керування (розташування пневматичних циліндрів і їх взаємодія).

4 Керування й електроніка:

- контролери й датчики (типи контролерів, які використовуються для керування роботом (наприклад, *PLC* – програмовані логічні контролери));

- датчики положення та сили (використання датчиків для отримання зворотного зв'язку про положення й силу, що дає змогу точно контролювати рух).

5 Енергетичні характеристики:

- потреба в енергії (визначення енергії, яку споживає система для роботи);

- системи компресії (вибір компресора, визначення якості й потужності стисненого повітря).

6 Програмне забезпечення:

- алгоритми керування (логіка й програми, які контролюють роботу робота);

- інтерфейси комунікації (способи спілкування роботів з іншими системами).

7 Безпека:

- системи захисту (механізми, що запобігають травмам або поламам);
- аварійні завершення (способи для миттєвого зупинення роботи робота в разі небезпеки).

Таким чином, урахування всіх цих характеристик допоможе створити ефективний і безпечний пневматичний робот, здатний виконувати завдання з необхідною швидкістю й точністю.

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

У технічному завданні розглянути алгоритм руху виконавчих органів, затримки часу й особливості роботи системи.

Наприклад, задано алгоритм $1 - n1 - 2 - 3 - T1 - n2 - T2 - n3 - T3$. Це означає, що при вмиканні схеми або стартової кнопки висувається перший циліндр, який після повного висування повертається в початкове положення. Як тільки перший циліндр повернувся, висувається другий, після повного висування другого починає висуватись третій. Як тільки третій досяг кінцевого положення, виконується затримка часу $T1$, після закінчення якої другий циліндр повертається в початкове положення. Як тільки він повернувся, відбувається затримка часу $T2$, після закінчення якої перший циліндр повертається в початкове положення.

Навести зусилля для приводів або вантажу, який підіймається, швидкість руху (базові значення беруться з аналізу і, якщо необхідно, коригуються під конкретне завдання).

Габаритні розміри (робота, верстата, установки, лінії тощо) і параметри:

- x _____, м;
- y _____, м;
- z _____, м;
- маса вантажу _____, кг;
- швидкість руху _____, м/с;
- довжина штока циліндра (для розрахунку) _____, м.

Вигляд об'єкта для автоматизації зобразити схематично, наприклад, як на рисунку 2.

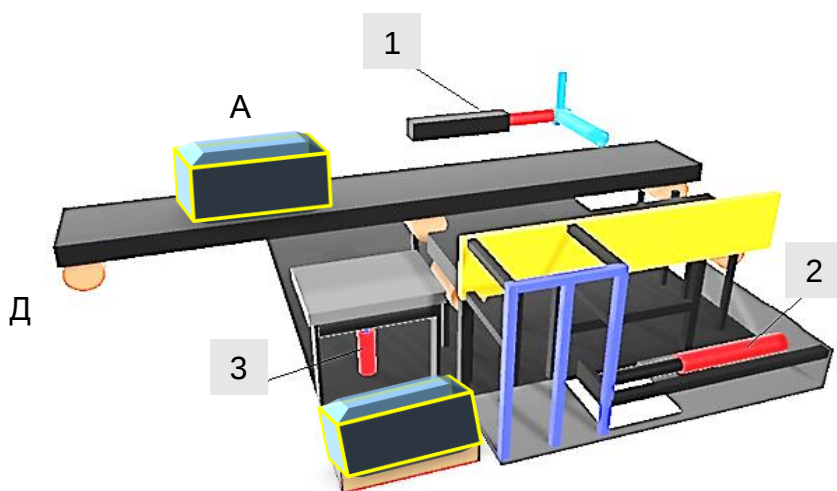


Рисунок 2 – Система автоматичного сортування: А – об'єкт сортування;
Д – пневматичний двигун; 1, 2, 3 – пневматичні циліндри

3 ОПИС УСТАНОВКИ

Зробити опис роботи обладнання або його частини, у якій знаходяться виконавчі органи, з усіма затримками та іншими моментами роботи системи. Схематично показати установку з елементами.

Приклад

Скласти пневматичну схему системи автоматичного сортування. Інтервал часу для встановлення об'єкта на конвеєр узяти таким, що дорівнює 5 с. Імітацію наявності об'єкта на позиції сортування виконати шляхом подання сигналу від ємнісного датчика. Початок роботи в режимі довгого циклу виконати шляхом подання сигналу кнопки з фіксацією S1, зупинення системи після закінчення циклу – після вимикання кнопки S1. Об'єкт сортування А переміщується по конвеєру, який керується пневматичним двигуном Д. З допомогою циліндра 1 об'єкт сортування переміщується на сусідню платформу, розташовану одна на одній за типом об'єкти. Циліндр 2 переміщує об'єкт сортування на скидну платформу. Циліндр 3 підняттям однієї зі сторін платформи скидає вміст у заздалегідь підготовлений контейнер, і далі цикл повторюється.

Для цього циклу створити такі схеми:

- схема пневматична, для якої використати пневматичні елементи керування (пневматичні розподільники, пневматичну логіку І, АБО, таймер, кнопки й датчики);
- у другій частині роботи скласти електропневматичну схему, використовуючи електропневматичні елементи (електропневматичні розподільники, електричні реле, таймери, кнопки й датчики);
- у третій частині скласти електропневматичну схему й програму керування для першого завдання мовою ST або C++, використовуючи логічні модулі або порти логічних модулів. Виконати програмування логічних модулів мовою ST (використовувати приводи 1, 2, 3, Д). Увімкнути систему в режимі неперервного циклу з допомогою кнопки S1 без фіксатора, зупинити систему після завершення циклу повторним натисканням кнопки S1.

Завдання підвищеної складності. Доповнити програму керування в третій частині завдання сервісними режимами:

- перше натискання S1 – неперервний цикл роботи системи;
- друге натискання S1 – завершення циклічної роботи системи;
- перше натискання кнопки S4 – перехід у режим ручного керування приводами: 1 – кнопка S1, 2 – кнопка S2, 3 – кнопка S3;

- повторне натискання кнопки *S4* – вихід системи з режиму ручного керування.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ

Функціональна діаграма – це комбінація діаграм переміщення й керування (рисунок 3). Окремі стани системи позначаються лініями, що мають назву функціональних.

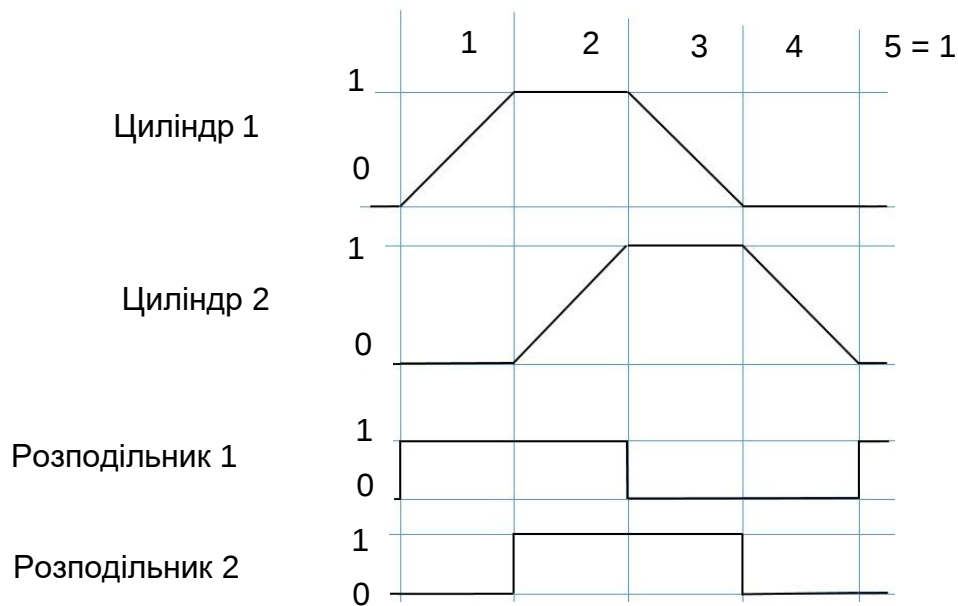


Рисунок 3 – Функціональна діаграма

Поряд з функціональними лініями на функціональній діаграмі можуть зображати тоншими лініями вплив сигналів датчиків, які описані в нормах *VDI 3260* «Функціональні діаграми робочих машин та виробничого оснащення».

У момент спрацювання датчиків запускається виконання наступного кроку. Сигнали, що виникають під час спрацювання, зображують лініями зі стрілками з указанням напрямку впливу. Ці лінії закінчуються в тому місці діаграми, де від дії сигналу починає виконувати роботу наступний елемент відповідно до алгоритму роботи установки (рисунок 4).

Місце розгалуження сигналів позначається точкою. Від одного вхідного сигналу може змінюватись стан декількох пристроїв. Для функції АБО в місці з'єднання сигнальних ліній ставиться точка. У цьому випадку декілька вхідних сигналів незалежно один від одного можуть керувати однаковими станами системи. Функція І позначається вертикальним штрихом на місці перетину ліній сигналів. Змінення стану системи може відбутися в тому випадку, коли буде прикладено вхідні сигнали.

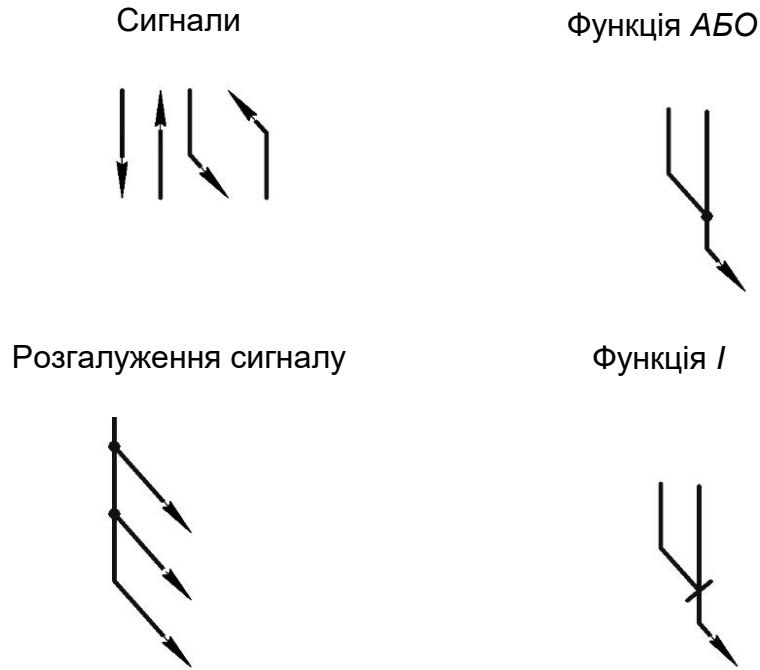


Рисунок 4 – Зображення напрямку дії сигналів до наступного кроку

Вхідні елементи (рисунок 5) позначають на початку відповідних ліній сигналів.



Рисунок 5 – Зображення вхідних пристроїв

Діаграма (рисунок 6) є описом такого процесу: після увімкнення кінцевого вимикача 1.4 оператор натискає кнопку 1.2, після чого висувається шток циліндра 1.0. Коли циліндр 1.0 повністю висунеться, вмикається кінцевий вимикач 2.2 і висувається шток циліндра 2.0. Коли циліндр 1.0 утягнеться, вмикнеться кінцевий вимикач 2.3 і почне втягуватися циліндр 2.0. Коли шток циліндра 2.0 втягнеться, увімкнеться кінцевий вимикач 1.4, тобто система повернеться у вихідне положення [2].

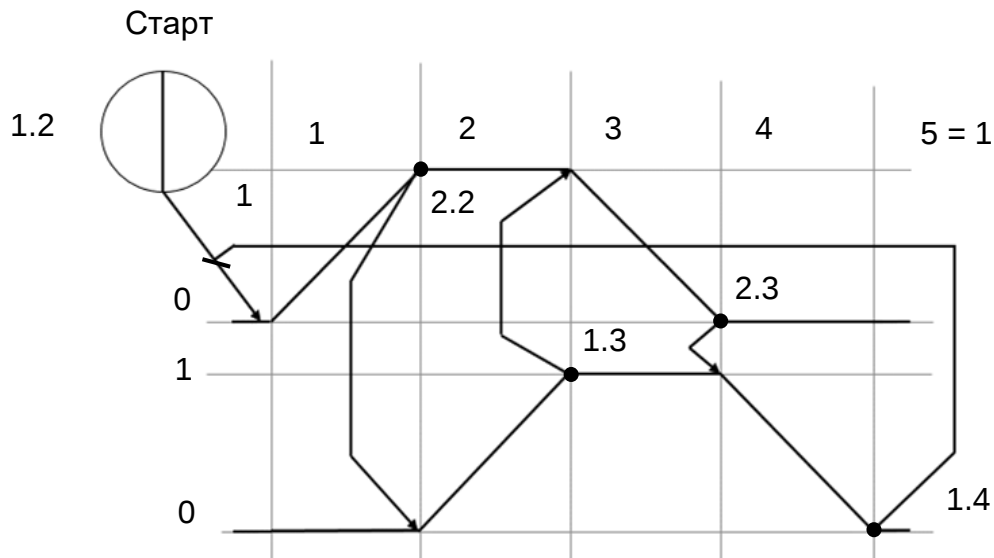


Рисунок 6 – Діаграма «переміщення – крок» з лініями сигналів

5 ЦИКЛОГРАМА РОБОТИ УСТАНОВКИ

Під час роботи системи повторюються певні дії за циклом. У циклограмі записують послідовність дій системи до повтору у вигляді кола (рисунок 7).

Основні позначення по колу відповідають соленоїдам розподільників, що регулюють напрям руху циліндрів. За висування штока циліндра відповідає вихід розподільника Y (номер циліндра) за втягування – YN (номер циліндра) або Z (номер циліндра). При використанні розподільника в системі елементів пам'яті за запам'ятовування відповідає його вихід Y (номер елемента пам'яті), а за стирання – YN (номер елемента пам'яті).

Зовнішні лінії відповідають сигналам кінцевих вимикачів відповідних циліндрів, які позначають так: X (номер циліндра) – знаходиться у відкритому стані і XN (номер циліндра) – у закритому стані. Елемент пам'яті має такі самі позначення вихідних сигналів. *У циклограмі пишуть тільки номер циліндра, який висувається або втягується, літеру Y не пишуть.*

Такий спосіб зображення роботи системи дає змогу легко орієнтуватись у роботі алгоритму, розуміти, у яких місцях установлювати елементи пам'яті, й орієнтуватись, які сигнали від кінцевих вимикачів є активними на тому чи іншому кроці роботи системи.

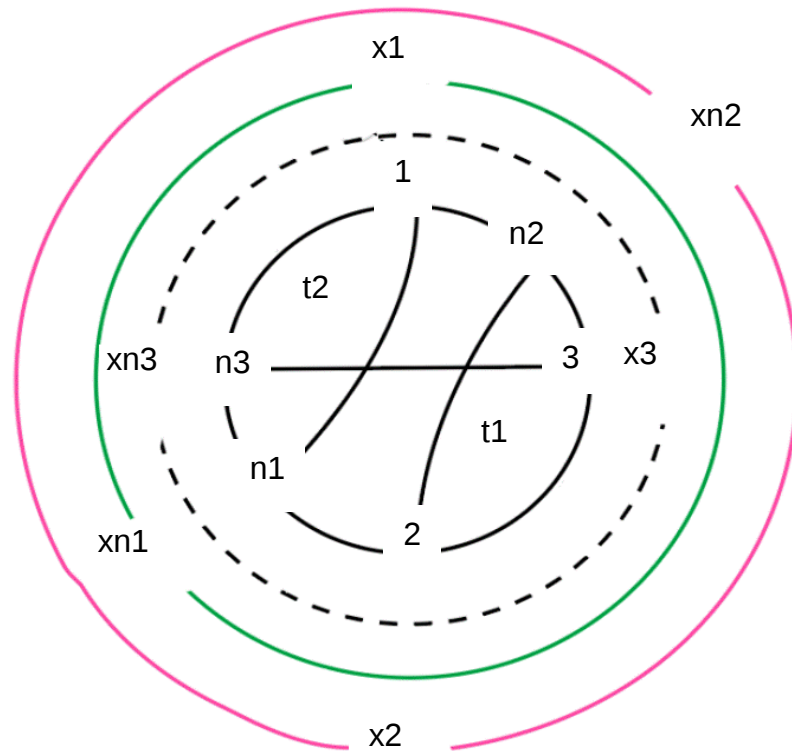


Рисунок 7 – Циклограма роботи системи: 1, 2 – висування циліндрів; $n1, n2$ – утягування циліндрів; 3, $n3$ – елементи пам'яті; $x1 \dots x3, xn1 \dots xn3$ – сигнали кінцевих вимикачів; $t1, t2$ – елементи затримки часу (таймери)

6 РІВНЯННЯ РОБОТИ УСТАНОВКИ

Робота циліндрів виконується за певних умов, які можна описати рівняннями. У прикладі циклограми в попередньому пункті цикл починається з висування першого циліндра, який позначається $Y1$, умовами його ввімкнення є сигнал від кнопки «Старт сигналу» від кінцевого вимикача $XN2$ і сигнал від елемента пам'яті $XN3$. Рівняння висування першого циліндра буде мати такий вигляд:

$$Y1 = St \& t2 \& XN3.$$

Так само можна записати рівняння для наступних елементів системи:

$$\begin{aligned} YN1 &= X2 \& X3; \\ Y2 &= t1; \\ YN2 &= X1 \& XN3; \\ Y3 &= XN2; \\ YN3 &= XN1; \end{aligned}$$

$$T1 = X3;$$

$$T2 = XN3.$$

Таким чином, наглядно формуються всі умови для висування й утягування циліндрів та елементів пам'яті у вигляді рівнянь, що далі полегшує процес збирання моделі системи керування або обладнання.

7 СХЕМА ПНЕВМАТИЧНА

Згідно із завданням у системі є певна кількість робочих органів, які можна відразу зобразити у схемі. Наприклад, якщо в завданні два виконавчі циліндри, то можна відразу накреслити два циліндри і їх обслуговувальні елементи (рисунок 8): кінцеві вимикачі, розподільники та інше обладнання.

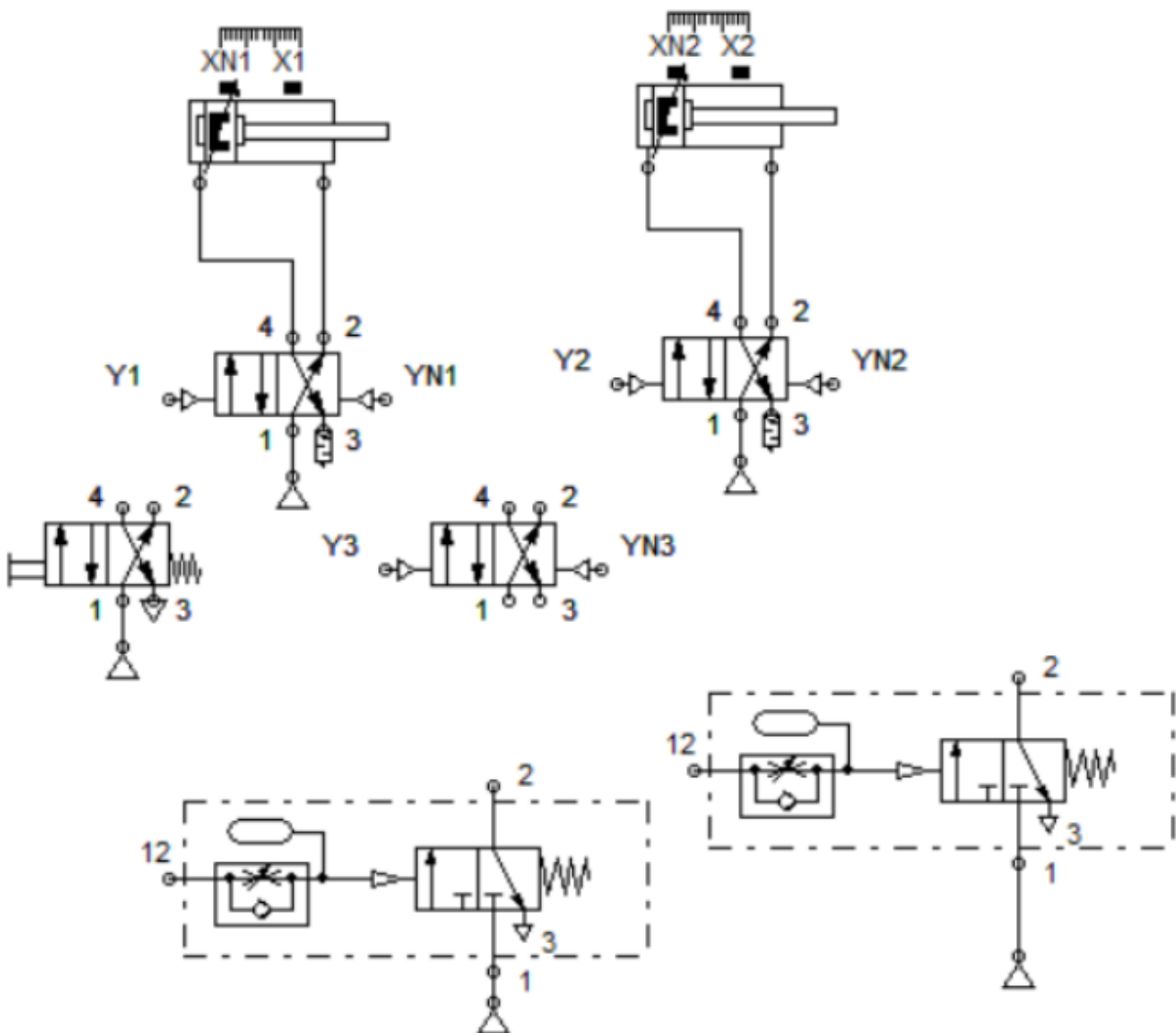


Рисунок 8 – Схема виконавчих органів та їх обслуговувальних елементів

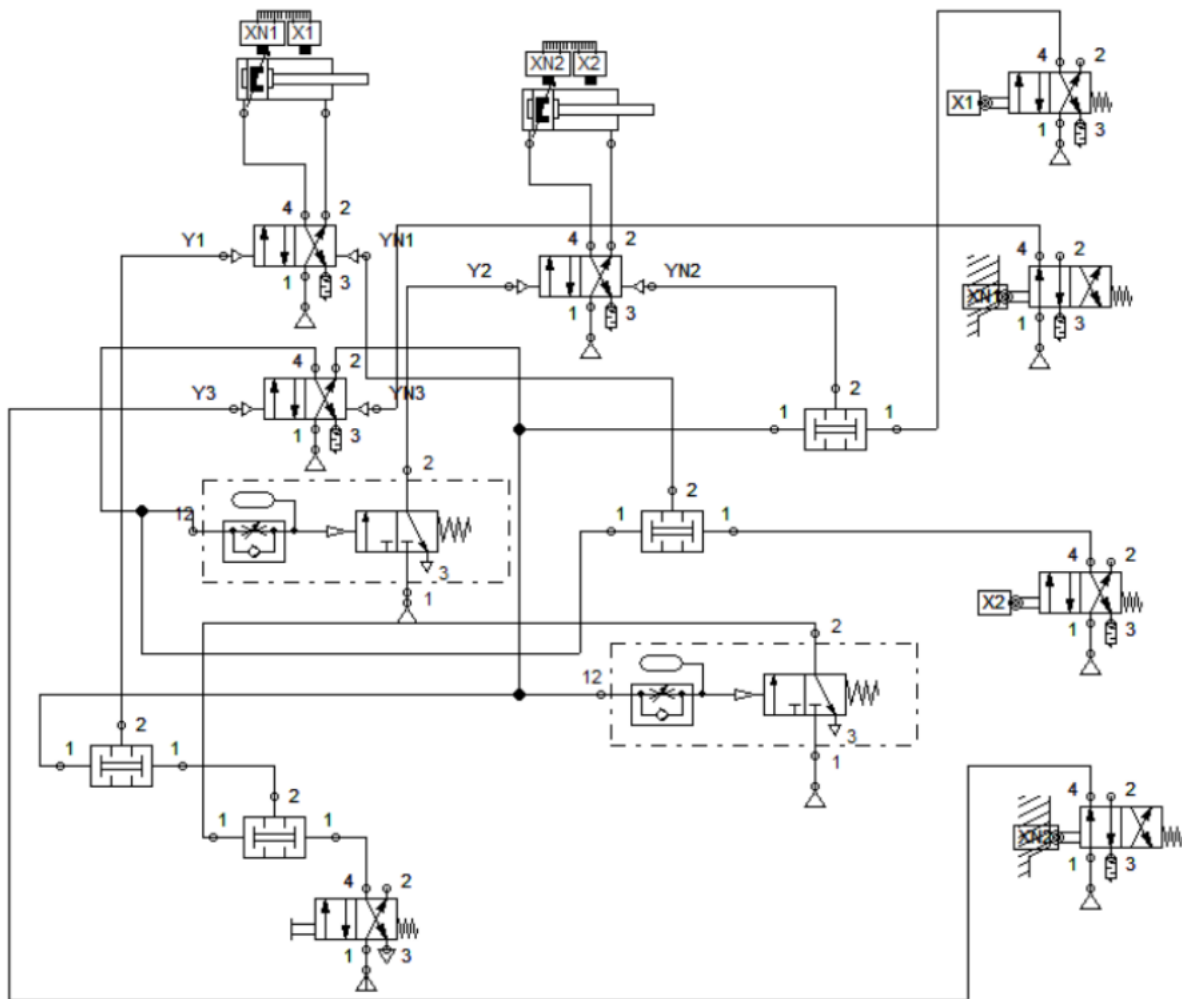


Рисунок 9 – Схема пневматична системи з двома виконавчими органами

Після створення заготовчої схеми скласти логічну частину (рисунок 9).

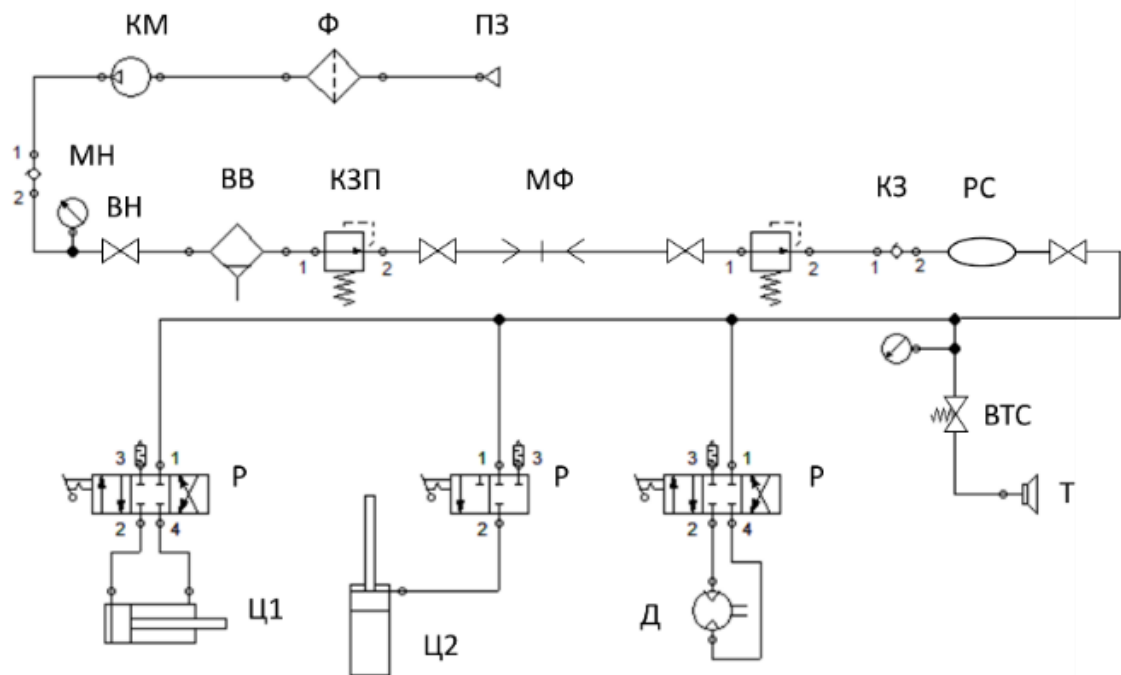
Після складання схеми перевірити в програмному середовищі *FluidSIM* демоверсії (яку можна скачати на офіційному сайті *FESTO*) і правильність роботи алгоритму.

Переконавшись у правильності роботи системи, перейти до наступного етапу.

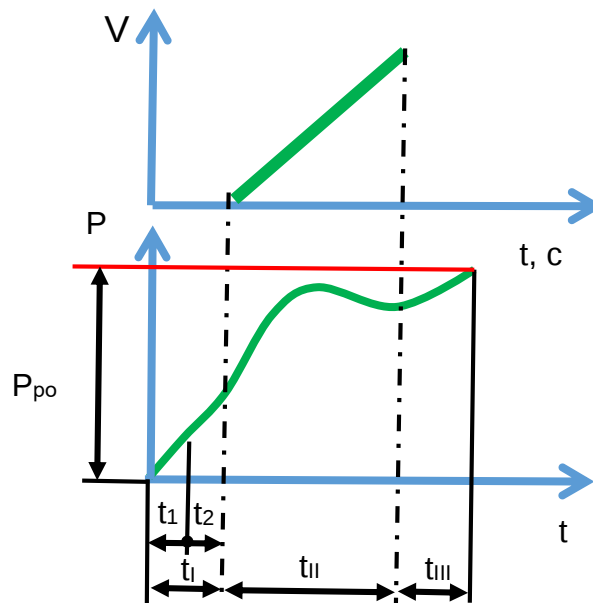
8 РОЗРАХУНОК ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ (ЦИЛІНДРИ, ПНЕВМАТИЧНІ ДВИГУНИ)

Розглянемо на прикладі шляхових машин, у яких стиснуте повітря надходить від компресора локомотива і розподіляється по всьому складу вагонів. Пневмосистема складається із підвідних повітроводів, з'єднаних з компресором запобіжними клапанами, кранів керування, розподільних трубопроводів, пневмоциліндрів і пневмомоторів (рисунок 10, а).

Пневмопривід є простим і дешевим. Його недоліки – громіздкість виконавчих органів і мала швидкість руху поршня пневмоциліндрів.



а



б

Рисунок 10 – Система шляхової машини: а – схема пневмосистеми шляхової машини; б – циклограма руху поршня; ПЗ – повітрязабірник; Ф – фільтр; КМ – компресор; КЗ – зворотний клапан; МН – манометр; ВН – вентиль; ВВ – вологовідділяч; КЗП – запобіжний клапан; МФ – міжвагонна з'єднувальна муфта; РС – ресивер; Р – пневморозподільник; Д – пневмодвигун; Ц1 – пневмоциліндр бістабільний; Ц2 – пневмоциліндр моностабільний; Т – тифон; ВТС – вентиль тифона самозапірний

Головним виконавчим органом пневмосистеми шляхових машин є пневмоциліндр. Найбільш поширена швидкість його штоку – 0,33...0,41 м/с. Мінімальна швидкість – 0,08...0,1 м/с, менше від якої спостерігається нерівномірність руху й вібрація. Тиск у системі зазвичай змінюється від 0,4 до 0,7 МПа.

Із циклограми руху поршня (рисунк 10, б) видно змінення тиску в робочій порожнині пневмоциліндра. Час роботи складається з часу t_1 подання команди на розподільник (час від початку натискання кнопки машиністом до початку руху), часу t_2 наповнення робочої порожнини пневмоциліндра повітрям і часу t_{II} руху поршня. Після зупинення поршня в період часу t_{III} підвищується тиск у порожнині до $p_{роб}$. Якщо у протилежній порожнині циліндра був тиск $p_{роб}$, то він змінюється до атмосферного. Для плавного зупинення робочих органів використовується пневмоциліндр з демпфером. Для розрахунку пневмосистеми беруться такі допущення: не враховуються об'єм «шкідливого простору» пневмоциліндра (до складу якого належать під'єднані трубопроводи, що становить приблизно 20 % робочого об'єму пневмоциліндра) і час наповнення пневмоциліндра до зсуву. Силу тертя в пневмоциліндрі з манжетами обчислюють так:

$$P_{тр}^{пц} = 0,1(P_{роб} + 1)S_n. \quad (1)$$

При розрахунку пневмоциліндрів задають такі вихідні дані:

P – зусилля на штоку від робочого органу, Н;

L – рух поршня, м;

$t_{пр}, t_{об}$ — заданий час прямого й зворотного ходу приводу, с,

а також визначають:

$D, d_{шт}$ – діаметри циліндра й штока;

d – умовний прохід підведеного трубопроводу й повітря розподільника;

$v_{пр}, v_{об}$ – швидкість поршня під час прямого й зворотного руху.

Загальне зусилля, що діє на шток, Н,

$$P_{заг} = P + P_{тр}^{пц}. \quad (2)$$

Тут P – зусилля від робочого органу, Н;

$P_{тр}^{пц}$ – сила тертя в пневмоциліндрі, Н.

Якщо робочий тиск у пневмоциліндрі $p_{роб}$, МПа, подається в поршневу порожнину, то внутрішній діаметр, м,

$$D = \sqrt{4P_{заг} / \pi p_{роб} \cdot 10^6}. \quad (3)$$

Якщо тиск подається в штокову порожнину пневмоциліндра, то

$$D = \sqrt{(4P_{\text{заг}}/\pi p_{\text{роб}} \cdot 10^6) + d_{\text{шт}}^2},$$

де $d_{\text{шт}}$ – діаметр штока, м,

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{4P/\pi[\sigma] \cdot 10^2}. \quad (4)$$

Тут $[\sigma]$ – допустиме напруження вибраного матеріалу штока на розтягання або стиснення залежно від умов праці, МПа.

Довжину штока $[L > (8 - 10) d_{\text{шт}}]$ під час розрахунку на стиснення перевіряють на поздовжню стійкість:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{4P / \pi[\sigma_{\text{стис}}]\varphi \cdot 10^2}, \quad (5)$$

де φ – коефіцієнт, у якому враховано гнучкість штока.

За знайденим внутрішнім діаметром D за ДСТУ підбирають сам циліндр з відповідними розмірами, округлюючи до більшого. Вибраний діаметр перевіряють за параметром завантаження

$$\varphi = P_{\text{заг}}/10^6 P_{\text{роб}} S_n. \quad (6)$$

Рекомендується $\varphi = 0,5...0,65$. Менші значення свідчать про невиправдано підвищений розмір D , що пов'язано зі збільшенням габаритів циліндра й витратами повітря. Великі значення ($\varphi > 0,65$) можуть призвести до порушення плавності руху поршня або його зупинення. Рух поршня L вибирають, виходячи з кінематики механізму керування робочим органом. При прямому з'єднанні штока з робочим органом рух поршня дорівнює переміщенню робочого органу, а в пневмоважільній системі необхідно враховувати співвідношення плечей важелів. За заданими часом спрацювання й рухом поршня визначають його швидкість, м/с:

$$v = L/t. \quad (7)$$

Рекомендується $v = 0,08...1$ м/с.

Для нормалізованих циліндрів $v = 0,1...0,41$ м/с. При $v > 0,41$ м/с доцільно застосовувати гальмівні золотники або пневмогідрравлічні амортизатори.

Знаючи швидкість поршня, можна обчислити кінетичну енергію системи:

$$E = m \times v^2/2. \quad (8)$$

Тут m – маса рухомих частин, прикладена до поршня, кг;
 v – швидкість, м/с.

При $E > 0,3$ кг·м/с рекомендується застосовувати пневмоциліндр з демпфуванням.

Витрати стиснутого повітря для вибраного i -го циліндра, м³/с,

$$W_i = V_{ni}/t_i = S_n L_i / t_i, \quad (9)$$

де V_{ni} – об'єм поршневої порожнини, м;

S_n – площа, м;

L_i – рух поршня, м;

t_i – заданий час руху поршня, с.

Внутрішній діаметр трубопроводу й пневморозподільника, м²,

$$d_{mi} = \sqrt{W_i / \pi v}. \quad (10)$$

Швидкість повітря $v = 10 \dots 25$ м/с.

Середня кількість витрат повітря при атмосферному тиску для всієї машини, м³/с,

$$W = \sum_{i=0}^n k_i W_i p_{max} \cdot 10^6 / 3600. \quad (11)$$

Тут k_i – середня кількість увімкнень i -го циліндра за одну годину;

n – кількість робочих пневмоциліндрів машини;

p_{max} – тиск повітря, МПа.

Подача компресора, м³/год,

$$\Pi = 3600 \beta W, \quad (12)$$

де β – коефіцієнт запасу, у якому враховано нерівномірність роботи системи й протікання ($\beta = 1,3 \dots 1,4$).

Об'єм ресивера, м³,

$$V_p = \alpha W t / (p_{max} - p_{min}). \quad (13)$$

Тут α – коефіцієнт запасу ($\alpha = 3 \dots 8$);

W – секундні витрати стиснутого повітря пневмосистеми, м³/с;

t – час, необхідний для підкачування ресивера ($t = 20 \dots 30$ с);

p_{max} – максимальний тиск у ресивері, МПа;

p_{min} – мінімальний тиск у ресивері, МПа (зазвичай $p_{max} - p_{min} \approx 0,35$).

Як приклад розглянемо пневматичну схему керування робочими органами струга-снігоочисника (рисунок 11).

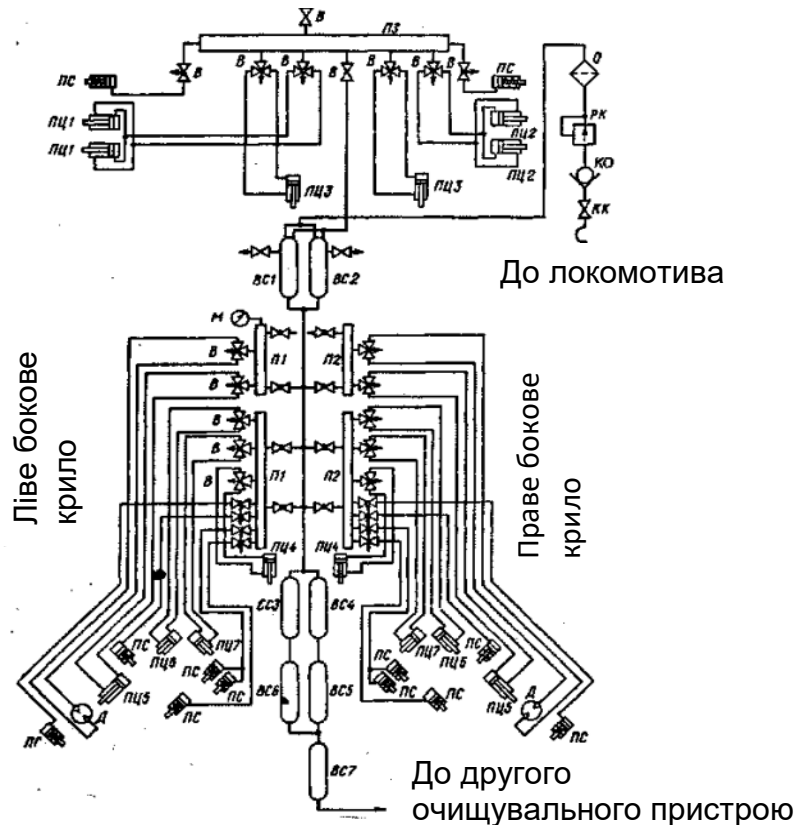


Рисунок 11 – Пневматична схема струга-снігоочисника

Стиснуте повітря від локомотиву через кінцевий кран *КК*, зворотний клапан *КО*, регулятор тиску *РК* й очищувач *О* подається в робочі повітрязабірники *ВС1* і *ВС2* (ресивери), звідки надходить у розподільники керування боковими крилами й снігоочищувальними приладами, далі через кран керування *В* повітря спрямовується на пневмоциліндри підймання, відкриття, нахилу головного відкосного крила *ПЦ4* – *ПЦ7*. На кожному боковому крилі крім пневмоциліндрів встановлено пневмостопори *ПС*, а також пневмодвигун *Д* кюветної частини крила. Кожен снігоочищувальний прилад оснащено чотирма пневмоциліндрами *ПЦ1* – *ПЦ2* відкриття крил, двома пневмоциліндрами *ПЦ3* піднімання рухомої частини передніх щитів і двома пневмостопорами [3].

Розглянемо ще один приклад розрахунку: необхідно за 10 секунд перемістити деталь масою 300 кг на відстань два метри.

Розв'язання

1 Стандартний тиск пневмосистеми – 6 бар (0,6 МПа).

2 З таблиці 1 стандартних параметрів пневмоциліндрів вибираємо діаметр поршня, при цьому враховуємо, що реальні показники зусилля будуть на 15 % менше від теоретичної величини.

Таблиця 1 – Стандартні параметри пневмоциліндрів

Діаметр поршня, мм	Тиск повітря, бар							
	3	4	5	6	7	8	9	10
6	8	11	13,5	16,5	19	22	24,5	27,5
8	14,5	19,5	24,5	29,5	34	39	44	49
10	23	30,5	38	46	53,5	61,5	69	76,5
12	33	44	55	66	77	88	99	110
16	59	78	98	118	137	157	177	197
20	92	123	153	184	215	246	277	307
25	144	192	240	288	336	384	433	481
32	236	315	394	472	551	630	709	788
40	369	492	615	739	862	985	1108	1231
50	577	769	962	1154	1347	1539	1732	1924
63	916	1222	1527	1 833	2138	2444	2749	3055
80	1478	1970	2463	2956	3448	3941	4434	4926
100	2309	3079	3849	4618	5388	6158	6928	7698
125	3608	4811	6014	7217	8419	9622	10825	12028
160	5912	7882	9853	11824	13795	15765	17736	19707
200	9237	12317	15396	18475	21555	24634	27713	30792
250	14434	19245	24056	28868	33679	38491	43302	48113

Примітка. Значення зусиль наведено в ньютонках.

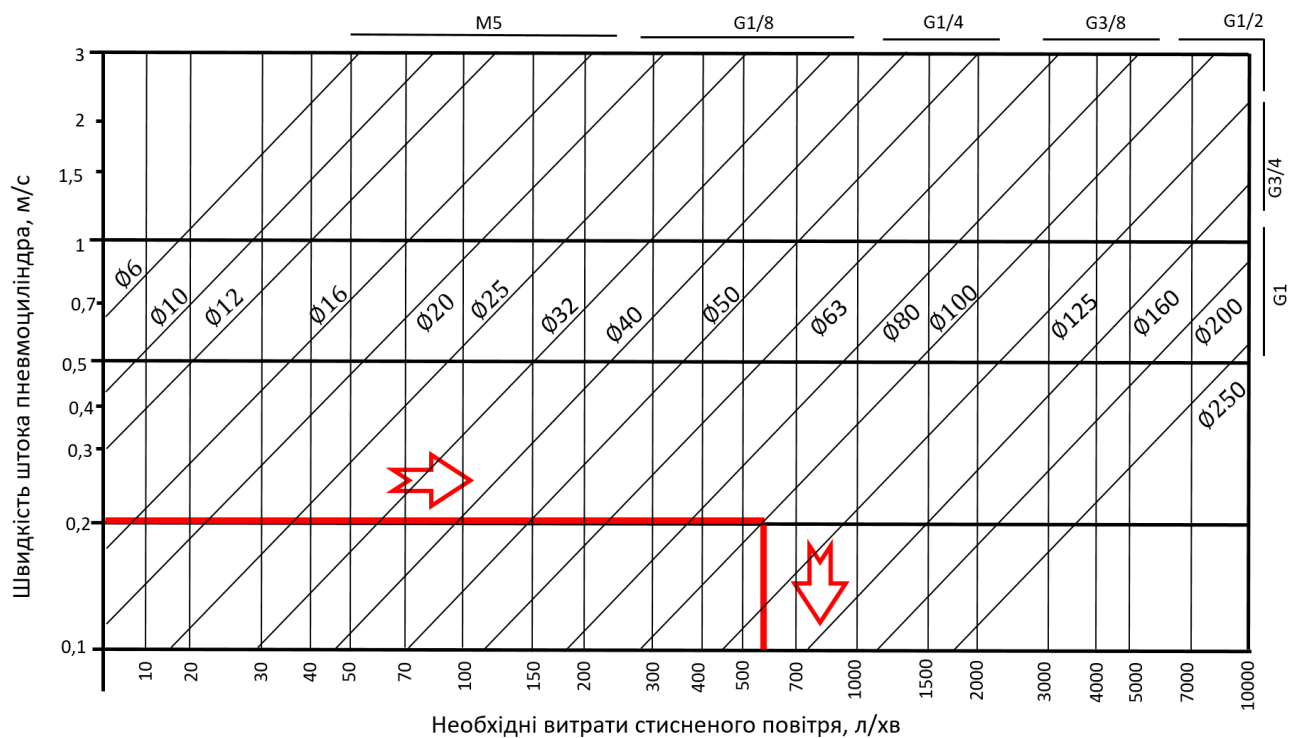


Рисунок 12 – Розрахунок витрат стисненого повітря для вибраного пневмоциліндра

3 Переведемо 300 кг у ньютони: $300 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 2940 \text{ Н}$. Не забуваємо про втрати: $2940 \text{ Н} + 15 \% = 3381 \text{ Н}$. У таблиці 1 вибираємо стовпець з тиском 6 бар і значення, що є більшим або дорівнює розрахунковому, у цьому випадку значення дорівнює 4618 Н. Це зусилля відповідає такому ж значенню поршня з діаметром 100 мм.

4 Розрахуємо швидкість руху пневмоциліндра в метрах за секунду. Вихідні дані: заготовка один раз за 10 секунд переміщується на два метри. Швидкість штока становить $2 \text{ м} / 10 \text{ с} = 0,2 \text{ м/с}$.

5 Значення витрати повітря вибираємо зі стандартної схеми (рисунок 12).

6 Для пневмоциліндра з діаметром поршня 100 мм і швидкістю переміщення 0,2 м/с отримаємо витрату повітря 600 л/хв.

7 Для вибору сполучних пневмотрубок скористаємося таблицею 2 і виберемо пневмотрубку 6 × 4 мм.

8 Для зменшення витрат у пневмосистемі з 1040 до 600 л/хв використаємо пневмодросселі, а також підберемо відповідні фітинги для цієї системи.

Таблиця 2 – Вибір параметрів трубки для пневмосистеми.

Діаметр пневмотрубки, мм	Внутрішній діаметр пневмотрубки, мм	Пропускна здатність, л/хв
4 × 2	2	260
6 × 4	4	1040
8 × 6	6	2340
10 × 8	8	4160
12 × 10	10	6500
14 × 12	12	9360

Значення зусилля на штоці для різних серій і видів пневмоциліндрів можна дізнатися з каталогу [4], частину якого наведено в таблиці 3.

9 ПІДБІР ПНЕВМАТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАНОВКИ

Провівши розрахунки, отримаємо базові значення для вибору циліндра, наприклад: після розрахунків необхідно вибрати поршень діаметром 20 мм і висотою підймання 400 мм. З каталогів виробників вибираємо з округленням до більшого значення пневмоциліндр Festo: ADN 40-400-A-P-A з діаметром поршня $D = 40 \text{ мм}$, штока $d = 12 \text{ мм}$ (рисунок 13).

Таблиця 3 – Теоретичне зусилля циліндрів двосторонньої дії (дані наведено для $h = 1$)

Діаметр поршня, мм	Діаметр штока, мм	Напрямок дії	Корисна площа поршня, мм ²	Тиск, МПа								
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
6	3	Штовхання	28.3	5.66	8.49	11.3	14.2	17.0	19.8	—	—	—
		Втягування	21.2	4.24	6.36	8.48	10.6	12.7	14.8	—	—	—
10	4	Штовхання	78.5	15.7	23.6	31.4	39.3	47.1	55.0	—	—	—
		Втягування	66.0	13.2	19.8	26.4	33.0	39.6	46.2	—	—	—
16	5	Штовхання	201	40.2	60.3	80.4	101	121	141	—	—	—
		Втягування	181	36.2	54.3	72.4	90.5	109	127	—	—	—
20	8	Штовхання	314	62.8	94.2	126	157	188	220	251	283	314
		Втягування	264	52.8	79.2	160	132	158	185	211	238	264
25	10	Штовхання	491	98.2	147	196	246	295	344	393	442	491
		Втягування	412	82.4	124	165	206	247	288	330	371	412
32	12	Штовхання	804	161	241	322	402	482	563	643	724	804
		Втягування	691	138	207	276	346	415	484	553	622	691
40	14	Штовхання	1260	252	378	504	630	756	882	1010	1130	1260
		Втягування	1100	220	330	440	550	660	770	880	990	1100
50	16	Штовхання	1260	252	378	504	630	756	882	1010	1130	1260
		Втягування	1060	212	318	424	530	636	742	848	954	1060
63	20	Штовхання	1960	392	588	784	980	1180	1370	1570	1760	1960
		Втягування	1650	330	495	660	825	990	1160	1320	1490	1650
300	70	Штовхання	3120	624	936	1250	1560	1870	2180	2500	2810	3120
		Втягування	2800	560	840	1120	1400	1680	1960	2240	2520	2800
300	70	Штовхання	70700	14100	21200	28300	35400	42400	49500	56600	63600	70700
		Втягування	66800	13400	20000	26700	33400	40100	46800	53400	60100	66800

Продовження таблиці 3

Діаметр поршня, мм	Діаметр штока, мм	Напрямок дії	Корисна площа поршня, мм²	Тиск, МПа								
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
80	25	Штовхання	5030	1010	1510	2010	2520	3020	3520	4020	4530	5030
		Втягування	4540	908	1360	1820	2270	2720	3180	3630	4090	4540
100	30	Штовхання	7850	1570	2360	3140	3930	4710	5500	6280	7070	7850
		Втягування	7150	1430	2450	2860	3580	4290	5010	5720	6440	7150
125	36	Штовхання	12300	2460	3690	4920	6150	7380	8610	9840	11100	12300
		Втягування	11300	2260	3390	4520	5650	6780	7910	9040	10200	11300
140	36	Штовхання	15400	3080	4620	6160	7700	9240	10800	12300	13900	15400
		Втягування	14400	2880	4320	5760	7200	8640	10100	11500	13000	14400
160	40	Штовхання	20100	4020	6030	8040	10100	12100	14100	16100	18100	21000
		Втягування	18800	3760	5640	7520	9400	11300	13200	15000	16900	18800
180	45	Штовхання	25400	5080	7620	10200	12700	15200	17800	20300	22900	25400
		Втягування	23900	4780	7170	9560	12000	14300	16700	19100	21500	23900
200	50	Штовхання	31400	6280	9420	13600	15700	18800	22000	25100	28300	314400
		Втягування	29500	5900	8850	11800	14800	17700	20700	23600	26600	29500
250	60	Штовхання	49100	9820	14700	19600	24600	29500	34400	39300	44200	49100
		Втягування	46300	9260	13900	18500	23200	27800	32400	37000	41700	46300



Рисунок 13 – Пневмоциліндр *Festo AND-40-300-A-P-A*

Параметри пневмоциліндра:

- робоча середа – стиснуте повітря з фільтрацією 10 мкм;
- робочий тиск – (0,05...0,7) МПа;
- максимальний тиск – 1,2 МПа;
- температура – (–10...+60) °С;
- діаметр поршня – $D = 40$ мм;
- діаметр штока – $d = 12$ мм;
- робочий хід поршня – $L = 400$ мм.

Знаючи витрати повітря пневмосистеми, **необхідно підібрати всі елементи, зображені на пневматичній схемі!** Розподільники підбираємо з каталогів *Camozzi* (рисунок 14 [4]), *Festo* (рисунок 15 [5]) або інших виробників. Наведемо приклади каталогів, з яких необхідно за розрахованими параметрами вибрати свої елементи:

- пневматичні циліндри (якщо в схемі є різні конфігурації, то показати);
- розподільники (для керування циліндром або двигуном);
- розподільники (які беруть участь у логіці);
- розподільники або готові рішення для пневматичних кнопок, кінцевих вимикачів і т. д.;
- логічні елементи І, АБО тощо;
- датчики тиску, дроселі, глушники;
- запобіжні елементи (клапани, вентилі);
- блок підготування повітря;
- компресор;
- трубопровід, фітинги (швидкознімні з'єднання).



Рисунок 14 – Каталог продукції фірми *Samozi*

Вибираємо необхідні елементи із серії за витратами і конфігуруємо розмір.

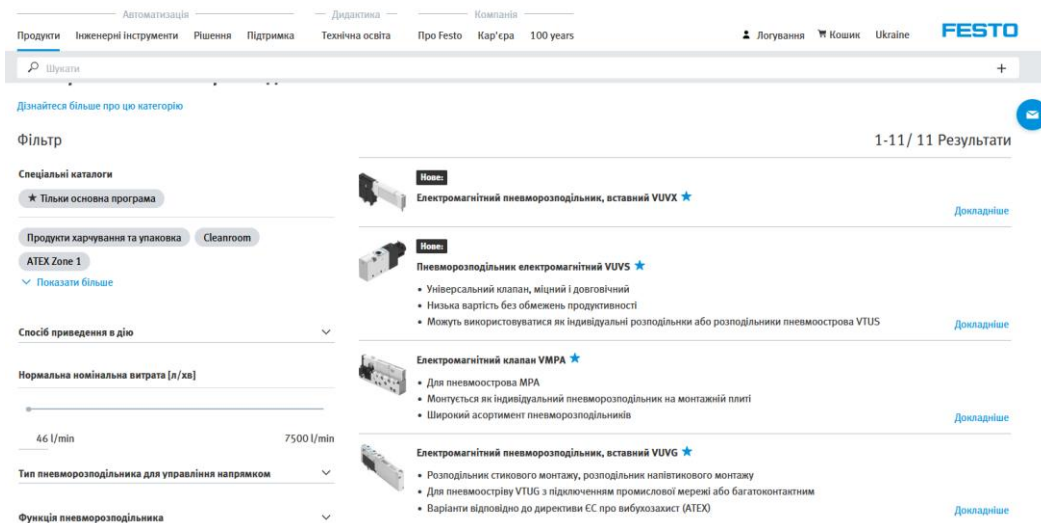


Рисунок 15 – Каталог продукції фірми *Festo*

У меню при виборі обладнання вводимо необхідні параметри, вибираємо вид обладнання, система після цього пропонує необхідний розподільник.

Далі вибираємо компресор, наприклад, із джерел інтернету (рисунок 16).

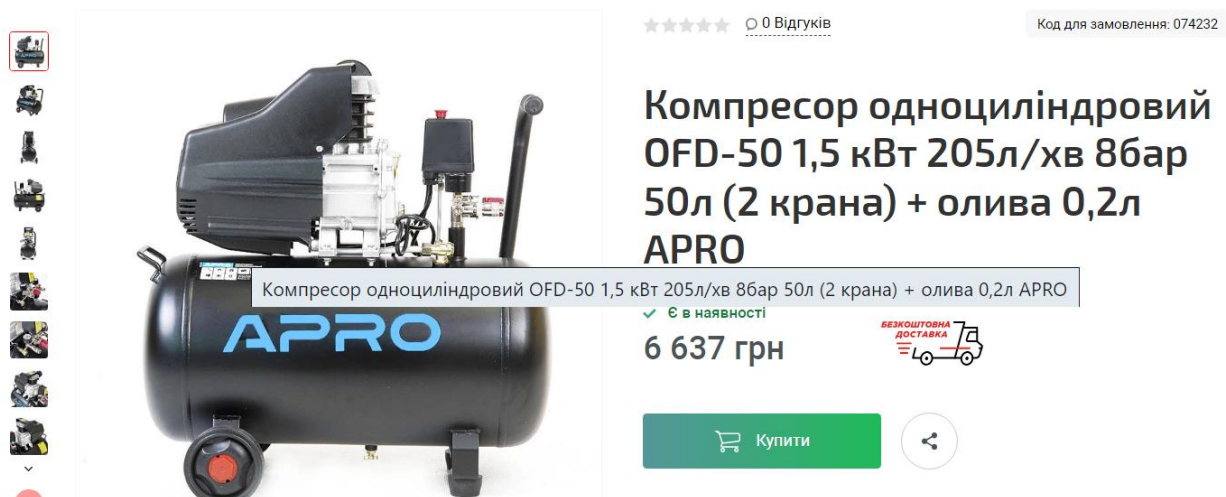


Рисунок 16 – Запропонований варіант компресора (наприклад, APRO) [6]

У каталозі магазинів вибираємо необхідний за параметрами й типом роботи (поршневий, гвинтовий тощо) компресор.

Таким чином, головні елементи системи вибрано, далі перевіряємо вибір **всіх елементів схеми: розподільників, додаткових елементів логіки** та інших (фітингів, перехідників, панелей для встановлення елементів) кількість трубопроводів і кріплення зі схемою. Так формується вся система з пневматичною логікою.

Перейдемо до наступного етапу створення електропневматичної системи з релейною логікою.

10 СХЕМА ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНА З РЕЛЕЙНОЮ ЛОГІКОЮ КЕРУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИМИ ПРИВОДАМИ

Згідно із завданням у системі є певна кількість робочих органів, які можна відразу зобразити у схемі. Наприклад, якщо в завданні три виконавчі циліндри, то можна накреслити циліндри, їх обслугові елементи й систему електричного кола для створення системи керування циліндрами. При складанні схеми електричного кола зазвичай використовують розв'язку між елементами, установленими на циліндрах, і системою логіки на релейних контактах. Такий захід допоможе зберегти датчики та інші елементи системи й полегшить складання логіки у великих складних схемах.

Після створення заготовчої схеми (рисунок 17) переходимо до збирання логічної частини. У цьому прикладі дуже проста логіка тому може здаватись нелогічним використання розв'язки. При складанні схеми й підімкненні живлення це дасть імовірність захисту елементів від пошкодження.

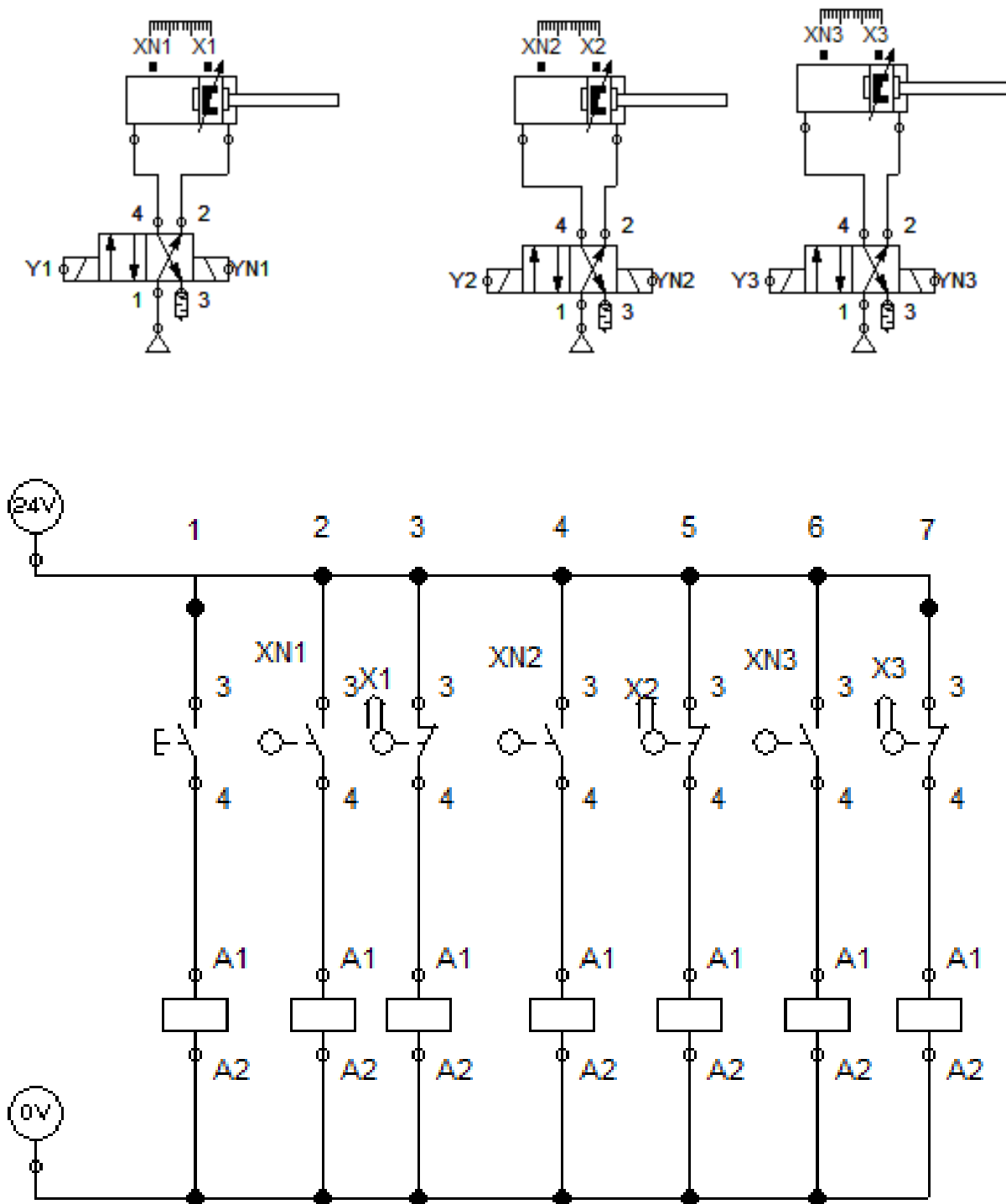


Рисунок 17 – Електропневматична схема виконавчої й інформаційної частин

Після складання схеми (рисунок 18) виконуємо перевірку в програмному середовищі *FluidSIM* демоверсії та перевіряємо на правильність роботи алгоритму.

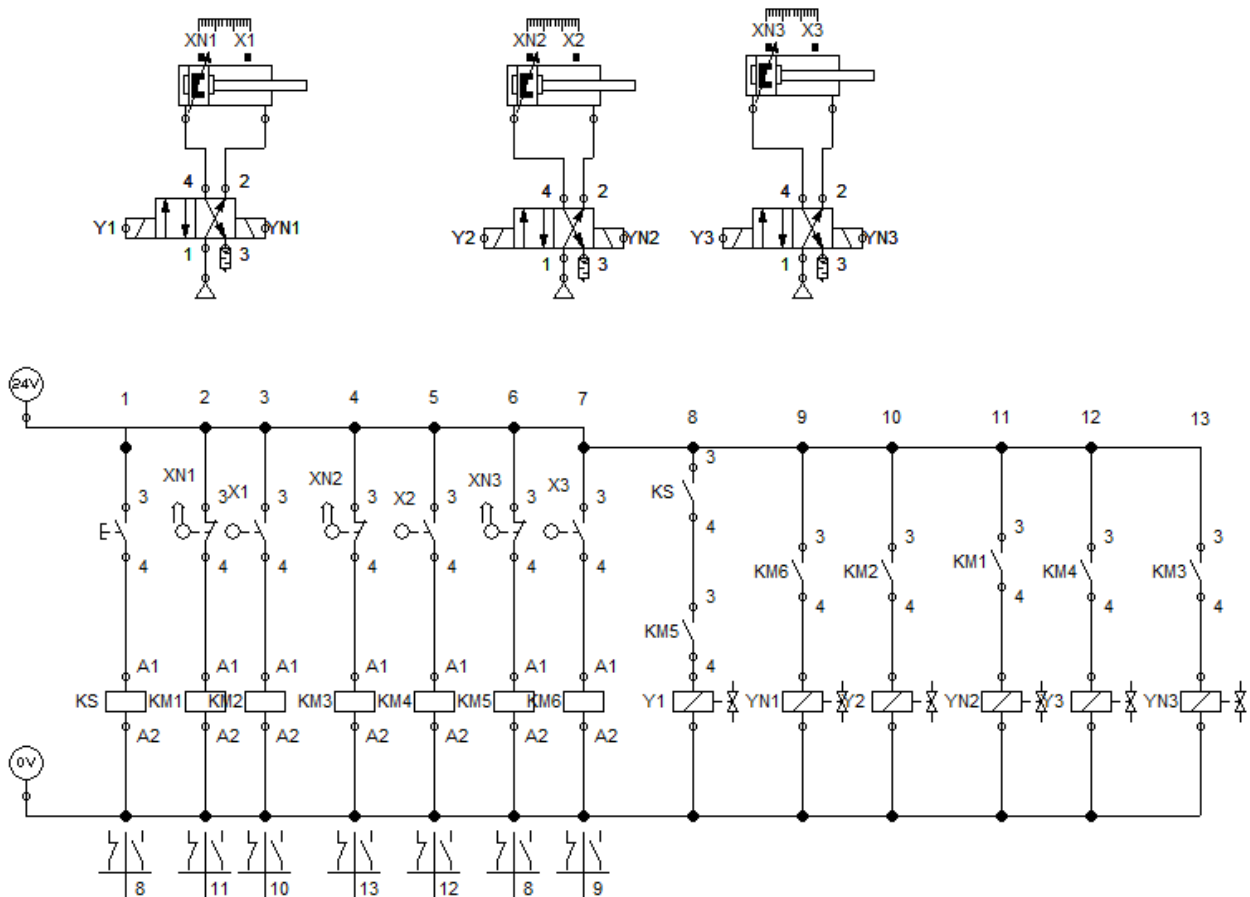


Рисунок 18 – Електропневматична схема системи з трьома виконавчими органами

Переконавшись у правильності роботи системи, переходимо до наступного етапу.

11 ПІДБІР ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАНОВКИ

Вибираючи обладнання для електропневматичної схеми, виконавчу частину (циліндри, розподільники (з електричним керуванням)) і блоки підготовки повітря беремо такими самими, як для пневматичної. Після вибору головних елементів пневматичної схеми переходимо до електричної частини. У промисловості використовується різний діапазон робочого живлення схеми, наприклад 5 В, 12 В, 24 В та інші, але найчастіше 24 В, тому необхідно **вибрати джерело живлення (ДЖ)** (рисунок 19 [7]).



Рисунок 19 – Джерело живлення електричної частини електропневматичної схеми

Для системи, потужність якої має задовольняти роботу всіх елементів, вираховується кількість усього електричного обладнання й береться сума потужності споживання. Для розглядуваного випадку будемо використовувати лабораторне джерело живлення на 24 В із захистом від короткого замикання й перегріву.

*Вибрати розподільники з **електричним** керуванням відповідно до параметрів системи (рисунок 20 [8]).*



Рисунок 20 – Пневматичний розподільник з електромагнітним керуванням

Після вибору розподільників з електричним керуванням вибираємо релейні блоки для створення розв'язки. Крім релейних блоків можна використовувати оптопари та інші системи розділення електричних кіл. Реле має перевагу, оскільки в його контактній групі є декілька пар відкритих

і закритих контактів, що дає змогу дублювати й інвертувати сигнал. Залежно від складності схеми вибираємо реле з необхідною кількістю додаткових контактів.

Тепер переходимо до найголовнішого моменту – *вибору датчиків*.

Є декілька типів датчиків:

- геркони (магнітні);
- індуктивні;
- ємнісні;
- оптичні;
- електромеханічні.

Вибираємо датчик з робочим живленням 24 В, наприклад *SDAC-MHS* (рисунок 21 [9]), і знаходимо його характеристики й особливості підімкнення.



Рисунок 21 – Датчик положення *SDAC-MHS*

При створенні розв'язки як приклад можна навести проміжне реле (рисунок 22 [10]).



Рисунок 22 – Проміжне електромагнітне реле MY2

Необхідно також вибрати елементи **затримки часу**, **допоміжні елементи**, **проводи** й інші з'єднувальні елементи залежно від типу установки й системи керування.

12 СХЕМА ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНА ІЗ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИМИ ПРИВОДАМИ НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА

Згідно із завданням у системі є певна кількість робочих органів, які можна відразу зображати у схемі. Наприклад, якщо в завданні три виконавчі циліндри, то можна накреслити циліндри, їх обслуговувальні елементи й систему електричного кола для створення системи керування циліндрами. При складанні схеми електричного кола зазвичай використовують розв'язку між елементами, установленими на циліндрах, і системою логіки, у розглядуваному випадку це – контролер. Такий захід допоможе створити просту й надійну схему, яка матиме змогу швидко переналаштовуватися на інші завдання.

Для роботи з контролером можна також установити розв'язку, що розмежує коло живлення контролера й коло живлення під'єднувальних елементів (різні рівні напруги), з допомогою проміжних реле, оптопар та інших подібних елементів. У цьому прикладі (рисунок 23) у моделі розв'язки немає.

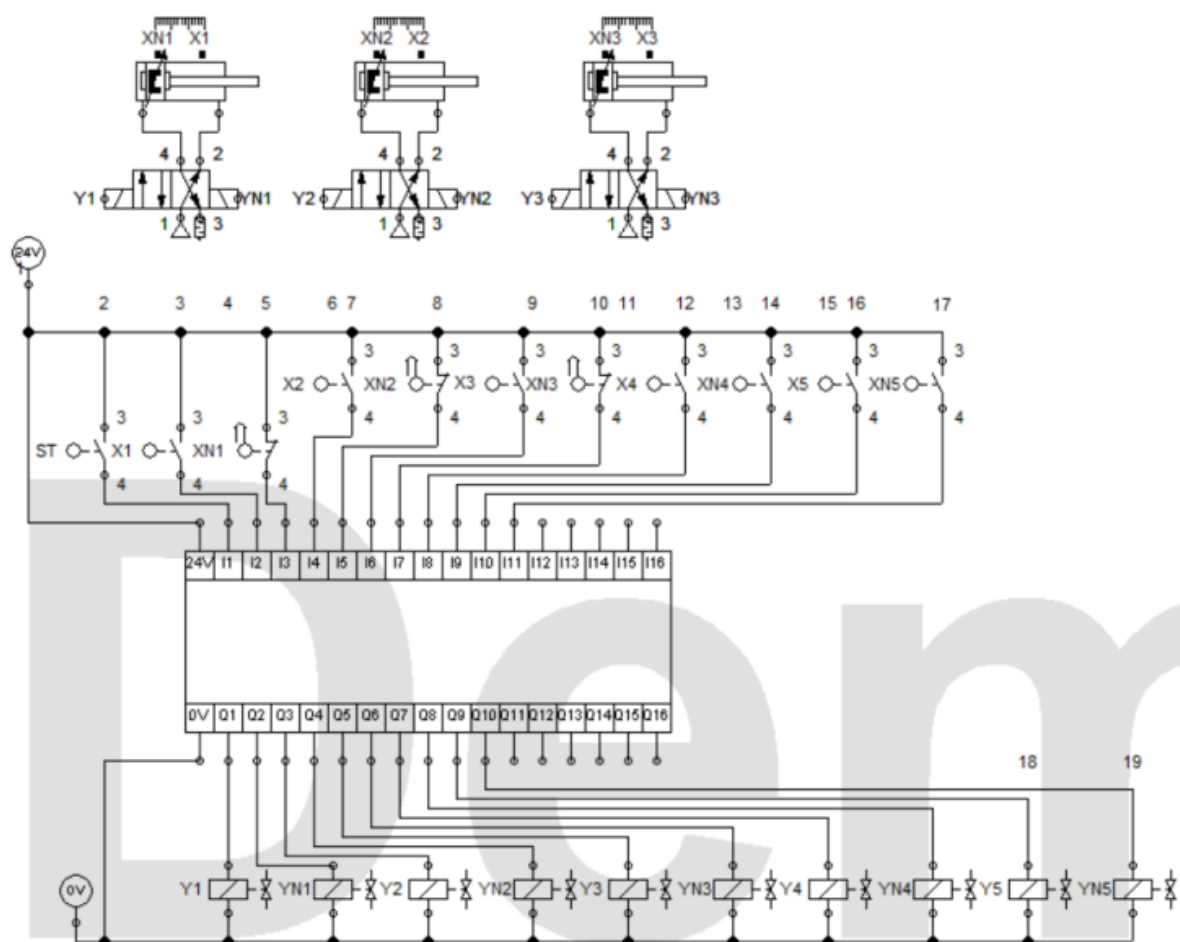


Рисунок 23 – Схема електропневматична з логічними модулями

У цьому прикладі використаємо порти логічного контролера (ПЛК) і створимо програму з допомогою логічних елементів. Під час розроблення схеми підберемо відповідний контролер (у промисловості використовують ПЛК, який має високу надійність).

13 ПІДБІР ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАНОВКИ

Найпопулярнішими для пневматичних систем є ПЛК фірм *Festo*, *Mitsubishi* та ін. Їх підбирають за такими критеріями, як вартість, надійність, швидкодія. Далі вибираємо комплектацію, додаткові модулі, якщо їх не вистачає в базовій комплектації. На рисунку 24 зображено контролер *Mitsubishi Electric FX1S-10MR-DS* [11].



Рисунок 24 – Контролер *Mitsubishi Electric FX1S-10MR-DS*

Під параметри контролера вибираємо розв'язку між його входами й виходами для запобігання пошкодженню обладнання. Якщо робочі елементи (датчики, розподільники тощо) мають інший рівень живлення, ніж контролер (наприклад, під час модернізації обладнання), то з допомогою розв'язки ця проблема вирішується.

Вибір датчиків і розподільників є таким самим, як і для електропневматичної схеми. Далі вибираємо датчики, що є сумісними з вибраним контролером.

14 ПРОГРАМА ДЛЯ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА

Для роботи ПЛК використовуються різні мови програмування: *ST*, *FBD* тощо. У прикладі розглянемо мову *ST*.

Перед початком роботи проаналізуємо вихідні дані, для цього є опис роботи системи й рівняння. Їх необхідно вписати окремо, щоб бачити під час написання програми.

Дані про елементи, що під'єднуються до контролера, зведемо в таблицю 4.

Таблиця 4 – Опис елементів, під'єднаних до контролера

№ п/п	Порт	Назва	Опис
1	AB0.1	X1	Циліндр 1 є висунутим

Такий опис елементів, які під'єднуються до контролера, має назву *Allocation list (AL)*.

Далі виконаємо налаштування віртуального контролера.

Для прикладу розглянемо програму з олімпіади «Механотроніка в машинобудуванні» [12].

У початковому положенні штоки циліндрів № 2 і 3 є втягнутими.

Послідовність дій у циклі: $2 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 3$ (4 – елемент пам'яті).

При натисканні кнопок S_{st} і S_{imit} система починає роботу:

- 1) висувається шток циліндра № 2 (команда $Y2$, сигнал контролю $X2$);
- 2) вмикається елемент пам'яті ($X4 = 1$, $XN4 = 0$);
- 3) повертається шток циліндра № 2 (команда $YN2$, сигнал контролю $XN2$);
- 4) висувається шток циліндра № 3 (команда $Y3$, сигнал контролю $X3$);
- 5) зростає тиск до рівня, встановленого на реле тиску ($X3 = 1$);
- 6) вимикається елемент пам'яті й одночасно вмикається таймер ($X4 = 0$, за шість секунд $XN4 = 1$);
- 7) повертається шток циліндра № 3 (команда $YN3$, сигнал контролю $XN3$).

Якщо від кнопок S_{st} і S_{imit} система отримує сигнали «1», то цикл повторюється спочатку. Якщо сигнал від S_{imit} дорівнює нулю, то наступний цикл не розпочинається. Якщо сигнал від S_{st} набуває значення «0» під час виконання циклу, то система допрацьовує поточний цикл і зупиняється.

Розглянемо приклад програми мовою *ST*.

CASE STEP OF

1:(Перехід системи в початковий стан)

```

IF NOT SST AND NOT XST
THEN Y2:=FALSE;
    YN2:=TRUE;
    Y3:=FALSE;
    YN3:=TRUE;
    XT1:=FALSE;
    X4:=FALSE;
    XN4:=TRUE;
END_IF
IF XN2 AND XN3
THEN STEP:=2;
END_IF;
2: (Перевірка системи на роботоздатність)
    Y2:=TRUE;
    YN2:=FALSE;
    Y3:=TRUE;
    YN3:=FALSE;
IF X2 AND X3
THEN STEP:=3;
END_IF;
3: (Повернення системи в початковий стан)
    Y2:=FALSE;
    YN2:=TRUE;
    Y3:=FALSE;
    YN3:=TRUE;
IF XN2 AND XN3
THEN STEP:=4;
END_IF;
4: (Вмикання-вимикання роботи системи)
IF SST AND NOT XSTP
THEN XST:=TRUE;
END_IF
IF NOT SST AND XST
THEN XSTP:=TRUE;
END_IF
IF SST AND XSTP
THEN XST:=FALSE;
END_IF
IF NOT SST AND NOT XST
THEN XSTP:=FALSE;
END_IF

```

(Основна програма)

```
IF XN2 AND XN3 AND XST AND XN4 AND SIMIT
THEN Y2:=TRUE;
     YN2:=FALSE;
END_IF
```

```
IF X2
THEN X4:=TRUE;
     XN4:=FALSE;
     XT1:=FALSE;
```

```
END_IF
```

```
IF X4
THEN YN2:=TRUE; Y2:=FALSE;
END_IF
```

```
IF XN2 AND X4
THEN Y3:=TRUE;
     YN3:=FALSE;
```

```
END_IF
```

(Оголошення таймера, умови його вмикання й часу роботи)

```
TP1 (IN := (NOT XT1 AND X3), PT:= T#6s);
```

```
T1:=TP1.Q;
```

```
IF NOT XT1 AND X3
THEN XT1:=TRUE;
     X4:=FALSE;
```

```
END_IF
```

(Завершення відліку часу)

```
IF NOT T1 AND XT1
THEN XN4:=TRUE;
```

```
END_IF
```

```
IF XN4
THEN YN3:=TRUE;
     Y3:=FALSE;
```

```
END_IF;
```

```
END_CASE
```

```
VAR
```

```
TP1:TP;
```

```
T1,XT1, X4, XN4,XST,XSTP:BOOL:=
FALSE;
```

```
STEP:WORD:=1;
```

END_VAR

Коментарі до програми:

SST – сигнал вмикання системи;

SIMIT – сигнал імітації наявності заготовки;

X4 – прапорець увімкненого елемента пам'яті;

XN4 – прапорець вимкненого елемента пам'яті із затримкою часу

(T1);

XT1 – прапорець покриття таймера TP (запобігає повторному вмиканню);

T1 – прапорець роботи таймера TP (свідчить про відлік часу);

XST – прапорець виходу системи з початкового стану;

XSTP – прапорець для зупинення системи після відпрацювання повного циклу;

STEP – змінна кроку.

Опис входів у віртуальному контролері буде відрізнятися від прикладу й мати такий вигляд:

FC100_H01[SLOT]

In AT%IB0: BYTE; (*FC100 IN*)[CHANNEL (I)]

XN2 AT %IX0.0: BOOL; (*Bit 0*)

X2 AT %IX0.1: BOOL; (*Bit 1*)

XN3 AT %IX0.2: BOOL; (*Bit 2*)

X3 AT %IX0.3: BOOL; (*Bit 3*)

Sst AT %IX0.4: BOOL; (*Bit 4*)

Simit AT %IX0.5: BOOL; (*Bit 5*)

AT %IX0.6: BOOL; (*Bit 6*)

AT %IX0.7: BOOL; (*Bit 7*)

Out AT %OB0: BYTE; (*FC100 OUT*)[CHANNEL (Q)]

Y2 AT %QX0.0: BOOL; (*Bit 0*)

YN2 AT %QX0.1: BOOL; (*Bit 1*)

Y3 AT %QX0.2: BOOL; (*Bit 2*)

YN3 AT %QX0.3: BOOL; (*Bit 3*)

AT %QX0.4: BOOL; (*Bit 4*)

AT %QX0.5: BOOL; (*Bit 5*)

AT %QX0.6: BOOL; (*Bit 6*)

AT %QX0.7: BOOL; (*Bit 7*)

15 СХЕМА ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНА ІЗ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИМИ ПРИВОДАМИ НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА ARDUINO

У другому варіанті створення електропневматичної схеми використаємо контролер *Arduino*.

Під час створення схеми будемо користуватися симулятором *TinkerCad*, який має змогу створювати електричні кола й моделювати їх. Особливо це стосується контролера й створення програми для нього.

У цьому середовищі немає можливості контактування рухомих елементів і створення пневматичних схем, тому рух циліндрів і натискання кінцевих вимикачів будемо імітувати вручну, перемикаючи відповідно логіки роботи перемикачів і відслідковуючи роботу алгоритму програми.

Для виконання схеми знадобляться контролер 1, кнопки 2 з фіксацією (імітація кінцевих вимикачів), кнопка 3 без фіксації й електричні реле 5 для керування розподільниками. Додатково встановлено світлодіоди 4 для імітації циліндра: світяться – циліндр висувається, не світяться – повертається в початкове положення. У розглядуваному прикладі реле є розв'язкою кіл живлення контролера й пневматичних розподільників. Це необхідно для врегулювання робочої напруги, оскільки контролер має робочу напругу 5 В, а розподільники працюють від 24 В. Приклад схеми зображено на рисунку 25.

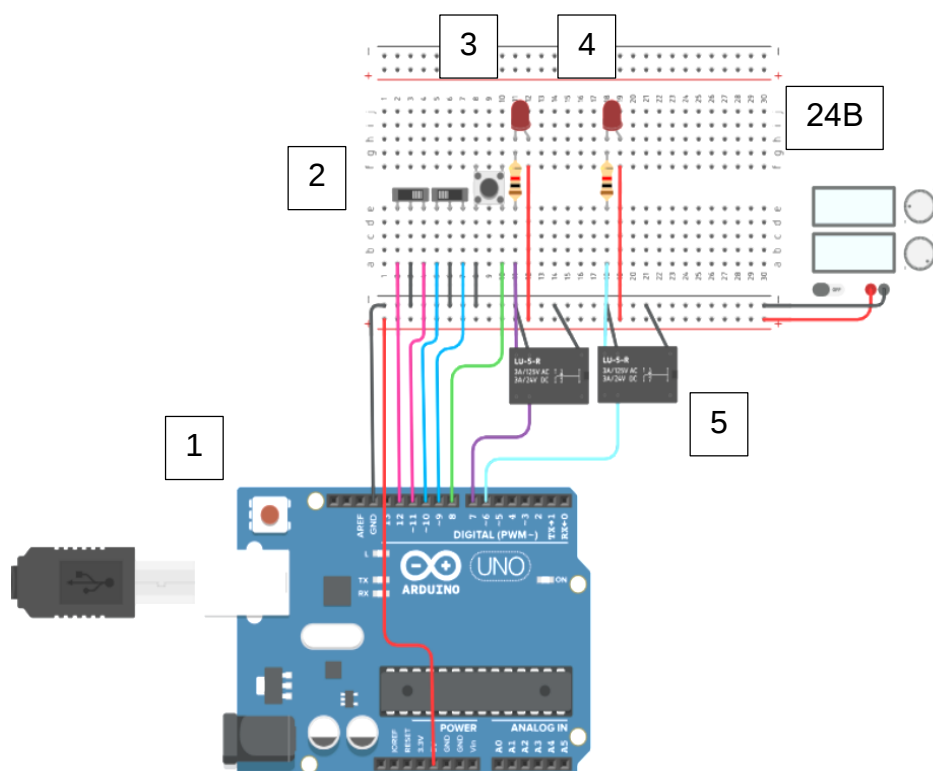


Рисунок 25 – Електрична схема керування двома пневматичними циліндрами

16 ПІДБІР ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАНОВКИ

Для виконання схеми виберемо стандартний варіант – контролер *Arduino Uno* (рисунок 26 [13]).



Рисунок 26 – Контролер *Arduino*

Кінцеві вимикачі для цього прикладу візьмемо оптичні *KY-033* із серії додаткового обладнання *Arduino* (рисунок 27 [14]).



Рисунок 27 – Кінцевий перемикач *KY-033*

Кнопку можна вибрати різного розміру й кольору залежно від місця кріплення на оснащенні (рисунок 28 [15]).



Рисунок 28 – Кнопка електрична

Проміжне реле (рисунок 29 [16]) має забезпечувати живленням соленоїд розподільника, тому, підбираючи реле, слід звертати увагу на характеристики розподільника.



Рисунок 29 – Реле проміжне

На наступному кроці перевіряємо налагоджену модель на стенді (рисунк 30). Для цього спочатку перевіряємо правильність номерів пінів під'єднаних елементів з кодом. Якщо необхідно, то виправляємо номери пінів у коді. Завантажуємо код програми до контролера. Потім перевіряємо блок живлення, якщо необхідно, то виставляємо напругу 24 В. Під'єднуємо контакти блока живлення до стенда. Перевіряємо наявність тиску в пневмомагістралі, якщо необхідно, то відкриваємо відповідні вентиля. Подаємо живлення й перевіряємо роботу алгоритму.

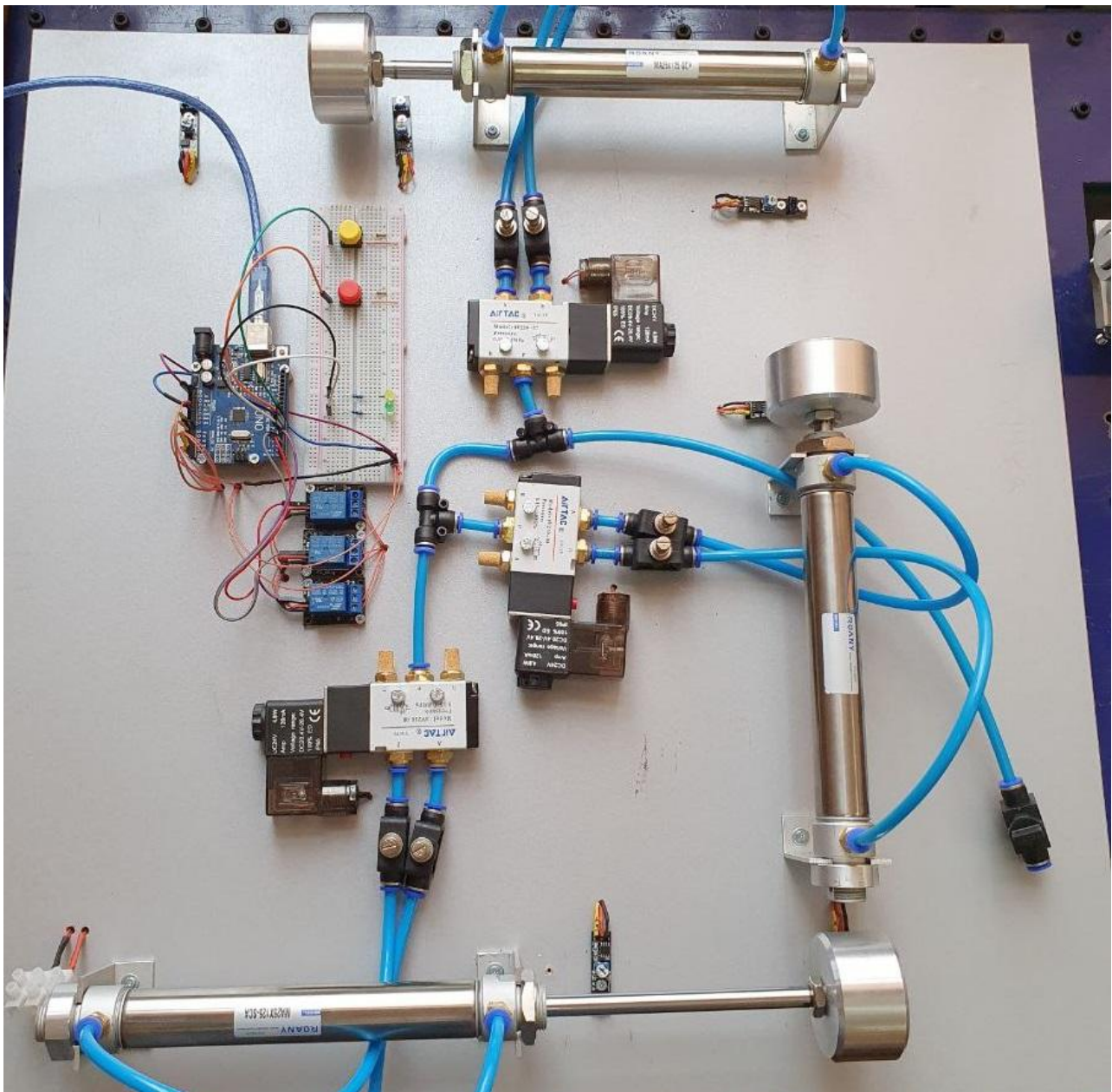


Рисунок 30 – Електропневматичний стенд: керування трьома циліндрами від контролера *Arduino*

17 ПРОГРАМА ДЛЯ КОНТРОЛЕРА ARDUINO

Під час створення програми насамперед описуємо піни, до яких під'єднано обладнання.

На стенді реле мають такі під'єднання: Y1 – 2-й пін, Y2 – 3-й пін, Y3 – 4-й пін.

Кнопки – нормально розімкнені без фіксації: червона – 7-й пін, жовта – 8-й пін.

Світлодіоди: жовтий – 6-й пін, зелений – 5-й пін, також можна використовувати внутрішній світлодіод на контролері на 13-му піні.

Кінцеві вимикачі під'єднано до аналогових виходів таким чином: X1 – A0, XN1 – A1, X2 – A2, XN2 – A3, X3 – A4, XN3 – A5.

Цю розпіновку наведено для елементів, під'єднаних до контролера на момент створення посібника. З часом на стенді можуть бути зміни, тому необхідно перевіряти під'єднання елементів!

Завдання: описати алгоритм роботи пневматичного стенду.

Код програми для контролера матиме такий вигляд:

```
#define Y1 2    // Визначення реле циліндра
#define Y2 3
#define Y3 4

boolean X1 = 0; // Сенсор висунутого положення циліндра
boolean XN1 = 0; // Сенсор утягнутого положення циліндра
boolean X2 = 0;
boolean XN2 = 0;
boolean X3 = 0;
boolean XN3 = 0;

boolean X4; //Елемент пам'яті

#define but_yellow 8    // жовта кнопка
#define but_red 7      // червона кнопка
#define led_yellow 6    // жовтий світлодіод pwm
#define led_green 5    // червоний світлодіод pwm

int s = 0; //Крок виконання програми

bool buttonWasUp = false;
bool button = false;
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Y1, OUTPUT);
  pinMode(Y2, OUTPUT);
  pinMode(Y3, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode (but_yellow, INPUT);
  pinMode (but_red, INPUT);
  pinMode (led_yellow, OUTPUT);
  pinMode (led_green, OUTPUT);
  //Установлення циліндрів у початкове положення
  digitalWrite(Y1, 0);
  digitalWrite(Y2, 0);
  digitalWrite(Y3, 0);
  digitalWrite(led_green, 0);
  digitalWrite(led_yellow, 0);
  X4 = 0;
  while (!XN1 * !XN2 * !XN3) {};
}

void loop() {
  switch (s) {
    case 0: //Крок 0 – очікування натискання кнопки
      if (!digitalRead(but_red) and !buttonWasUp) {
        delay(80); //Захист від деренчання контактів кнопки
        buttonWasUp = 1;
      }

      if (digitalRead(but_red) and buttonWasUp) {
        delay(80); //Захист від деренчання контактів кнопки
        s = 1;
      }
      break;
    case 1: //Крок 1 – виконання циклу
      sens();
      //Перевірка відтиснення кнопки користувачем, щоб коректно
      //зафіксувати наступне натискання
      if (!digitalRead(but_red) and !buttonWasUp) {
        delay(80); //Захист від деренчання контактів кнопки
        buttonWasUp = 1;
      }
      //Перевірка натиснення кнопки користувачем удруге для виходу
      з цикла
      if (digitalRead(but_red) and buttonWasUp and !button) {

```

```

    delay(80); //Захист від деренчання контактів кнопки
    button = 1;
}
if (!X4 ) {
    digitalWrite(Y1, 1);
}
if (X1 * !X4) {
    digitalWrite(Y2, 1);
}
if (X2) {
    X4 = 1;
}
if (X4) {
    digitalWrite(Y2, 0);
}
if (XN2 * X4) {
    digitalWrite(Y1, 1);
}
if (XN1) {
    X4 = 0; //Продовження роботи, якщо кнопку не було натиснуто
    if ( button) { //Вихід з циклу
        s = 0;
        button = 0;
        buttonWasUp = 0;
    }
}
break;
}
}
void sens() {
    if (analogRead(A0) < 100) X1 = 1; else X1 = 0;
    if (analogRead(A1) < 100) XN1 = 1; else XN1 = 0;
    if (analogRead(A2) < 100) X2 = 1; else X2 = 0;
    if (analogRead(A3) < 100) XN2 = 1; else XN2 = 0;
    if (analogRead(A4) < 100) X3 = 1; else X3 = 0;
    if (analogRead(A5) < 100) XN3 = 1; else XN3 = 0;
}

```

Коментарі до програми:

#define – препроцесорна директива, яка використовується для визначення макросів. Це дає програмістам змогу створювати символічні імена для констант або фрагментів коду, що полегшує читання й обслуговування програм;

Boolean – тип даних, що має два можливі значення: *true* (істина) і *false* (хибність). Свою назву він отримав на честь англійського математика Джорджа Булла, який розробив алгебру логіки;

void setup() – функція яка є однією з основних частин структури програми. Використовується для ініціалізації параметрів і початкових налаштувань програми. Тут можна налаштувати режим роботи пінів (входи або виходи), серійний зв'язок, під'єднання до датчиків тощо;

Serial.begin – функція із класу *Serial*, яка запускає серійний порт і задає швидкість передання даних (кількість бітів за секунду). Це необхідно для обміну даними між *Arduino* і зовнішніми пристроями, такими як комп'ютери, модеми, або інші *Arduino*;

PinMode – функція, що задає режим роботи піну як вхід або вихід для керування компонентами, такими як світлодіоди, двигуни або прийняття інформації від кнопки, датчика або інших електронних елементів;

DigitalWrite – функція, яка використовується для встановлення логічного рівня на вихідному піні мікроконтролера. Це дає змогу контролювати роботу різних електронних компонентів, таких як світлодіоди, реле та інші пристрої;

While – оператор, який дає змогу повторювати блок коду доти, доки певна умова є істинною. Це допомагає виконувати повторювані дії, поки триває певна умова;

void loop() – функція, що є однією з основних частин структури програми, яка використовується для виконання основного коду по замкненому циклу;

Switch – оператор, що використовується для виконання різних блоків коду на основі значення виразу. Це зручно, коли є багато умов для перевірки, оскільки *switch* може бути більш читабельним і зрозумілим, ніж ланцюг *if-else*;

Case – у контексті конструкції *switch* у мовах програмування, таких як *C*, *C++* та *Arduino*, *case* використовується для визначення різних можливих значень (випадків), на основі яких буде виконуватися відповідний блок коду;

If – оператор, який формує конструкцію для виконання частини коду за певної умови. Це одна з основних умовних конструкцій, яка дає змогу керувати логікою виконання програми;

digitalRead – функція, що використовується для зчитування значення з цифрового входу, дає змогу визначити, високий (*HIGH*) чи низький (*LOW*) рівень сигналу отримує пін, це може бути корисним для роботи з різними електронними компонентами, такими як кнопки, сенсори, перемикачі тощо;

Delay – функція, яка використовується для призупинення виконання програми на певний період часу. Це є особливо корисним, коли необхідно

створити затримки між виконанням команд, зчитуванням даних або просто контролем частоти циклів. Під час спрацювання контролер очікує завершення затримки і не виконує жодних дій, що негативно впливає на отримання інформації (наприклад, з датчиків або кнопки) під час очікування (можна пропустити момент спрацювання датчика або кнопки і не виконати відповідний алгоритм);

Break – оператор, що використовується для миттєвого виходу з циклів (таких, як *for*, *while* і *do-while*) або з конструкцій *switch*. Це дає змогу зупинити виконання поточного циклу або блока коду й продовжити виконання програми з наступного рядка після циклу або конструкції;

void sens() – окрема функція, призначена для опитування датчиків, викликається з головного циклу;

analogRead – функція, яка використовується для зчитування аналогових значень з певних пінів і дає змогу отримувати значення в діапазоні від 0 до 1023, що відповідає вхідній напрузі від 0 до 5 В (або від 0 до 3.3 В для певних мікроконтролерів).

18 ВИСНОВКИ

Зробити висновки про виконану роботу:

- які методи вирішення завдань є кращими, які методи доцільніше використовувати для швидкодії й мобільності системи;
- як можна поліпшити й доопрацювати схему (додати елементи, змінити елементну базу тощо).

19 ДОДАТКИ

У цій роботі в додатки виносимо:

- розрахунки, якщо їх обсяг перевищує дві сторінки;
- код програм, якщо їх обсяг перевищує дві сторінки;
- кресленик схеми пневматичної з пневматичним керуванням пневматичними приводами;
- кресленик схеми електропневматичної з релейним керуванням пневматичними приводами;
- кресленик схеми електропневматичної з керуванням пневматичними приводами від контролера ПЛК;
- кресленик схеми електричної імітації керування пневматичними приводами (або елементами в середовищі *TinkerCad*) від контролера *Arduino* (якщо є в завданні).

Кожен додаток має починатися з нової сторінки.

Приклади додатків

ДОДАТОК А

Кресленик схеми пневматичної з пневматичним керуванням пневматичними приводами

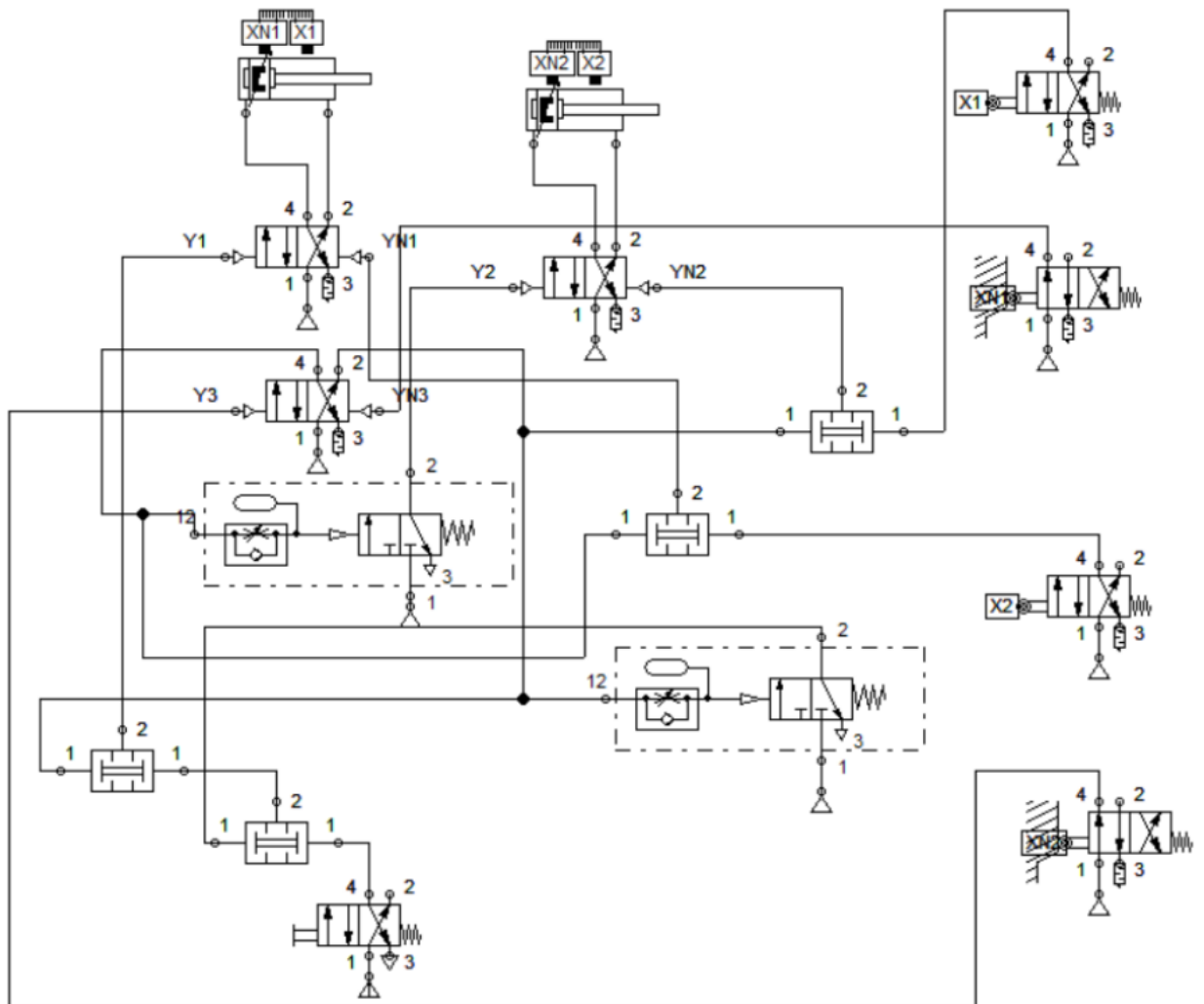


Рисунок А.1 – Схема пневматична з пневматичним керуванням пневматичними приводами

ДОДАТОК Б

Кресленик схеми електропневматичної з релейним керуванням пневматичними приводами

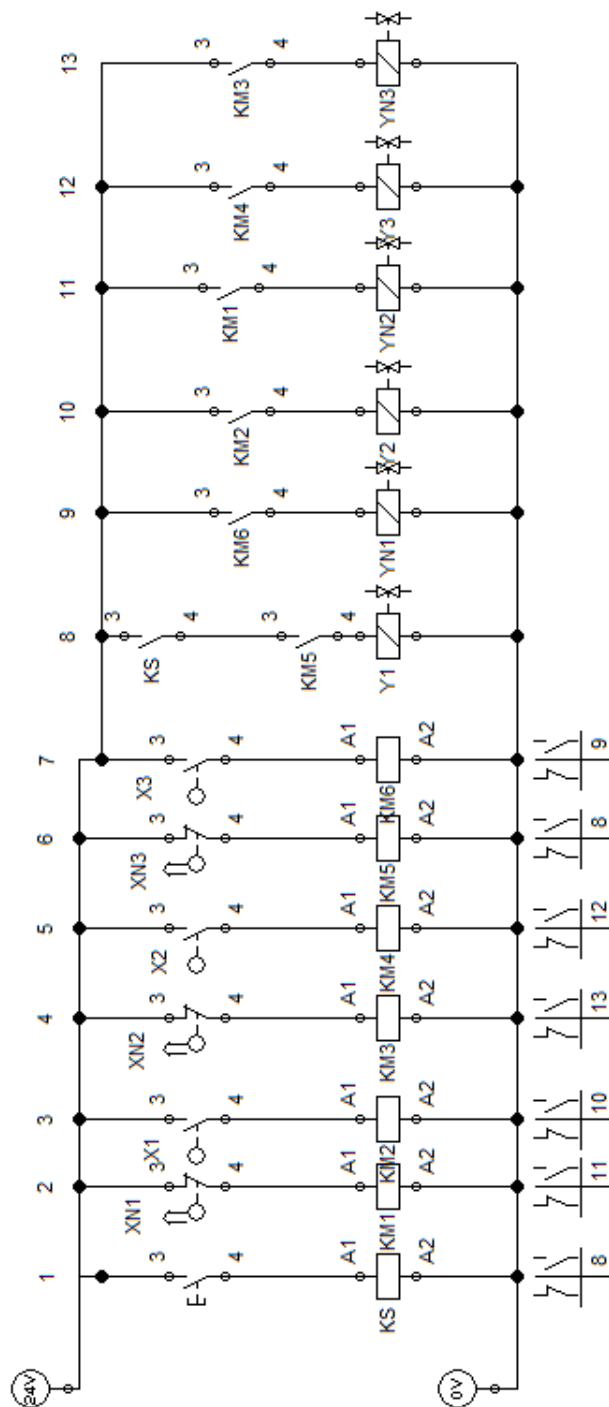
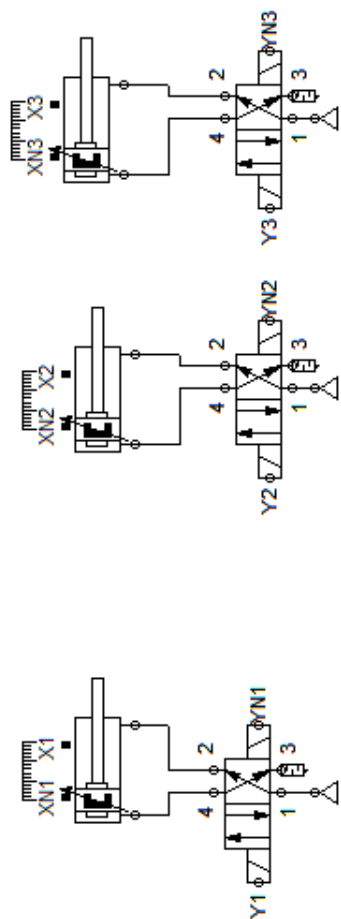


Рисунок Б.1 – Схема електропневматична з релейним керуванням пневматичними приводами

Креслення схеми електропневматичної з керуванням пневматичними приводами від контролера



ДОДАТОК Г

**Кресленик схеми електричної з імітацією керування
пневматичними приводами від контролера *Arduino***

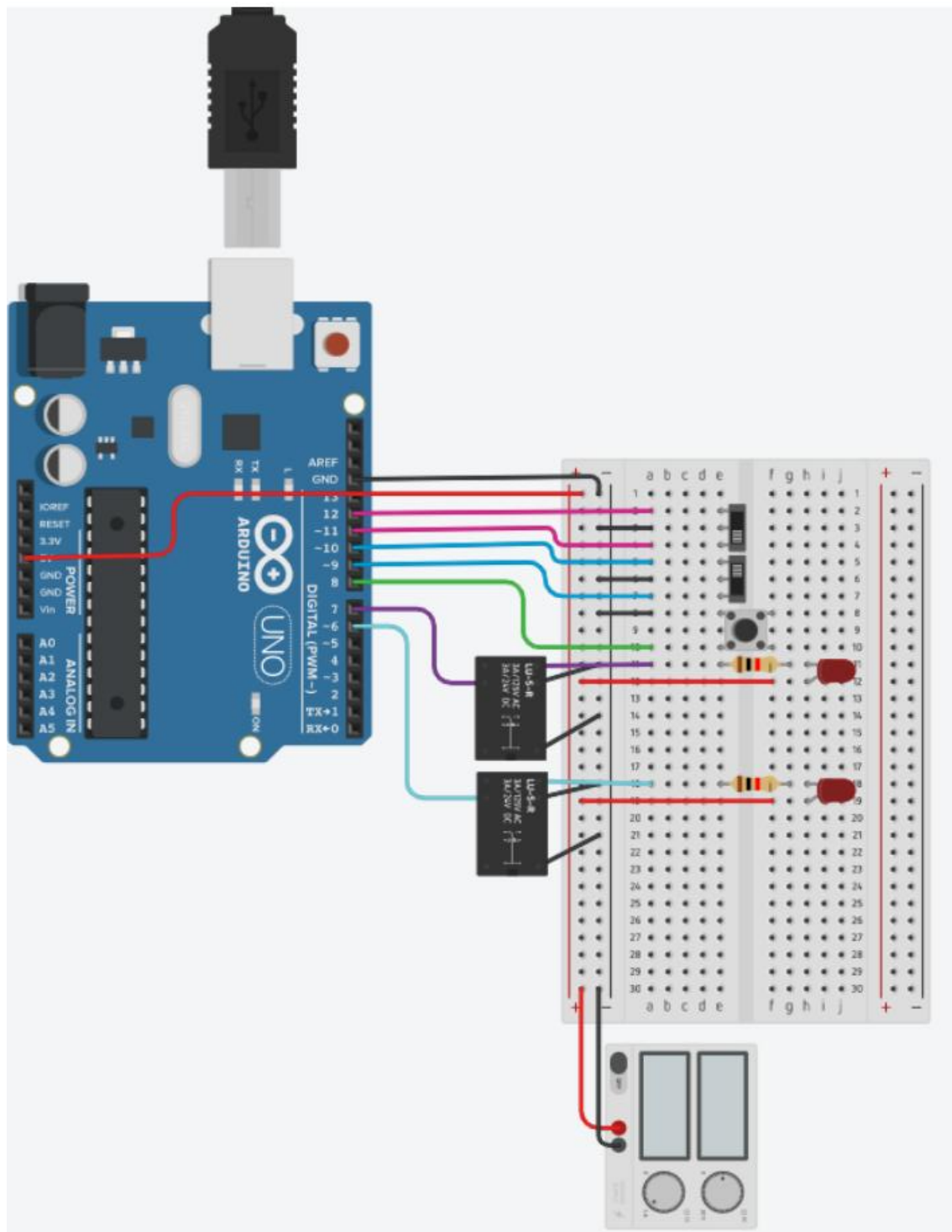


Рисунок Г.1 – Схема електрична з імітацією керування пневматичними приводами від контролера *Arduino*

ДОДАТОК Д

Кресленик пневматичного циліндра

Кресленик на рисунку Д.1 [17] наведено для прикладу без розмірів. У вашій роботі на кресленні розміри мають відповідати *розрахунковим!* За розрахунками роботи накреслити найпотужніший циліндр.

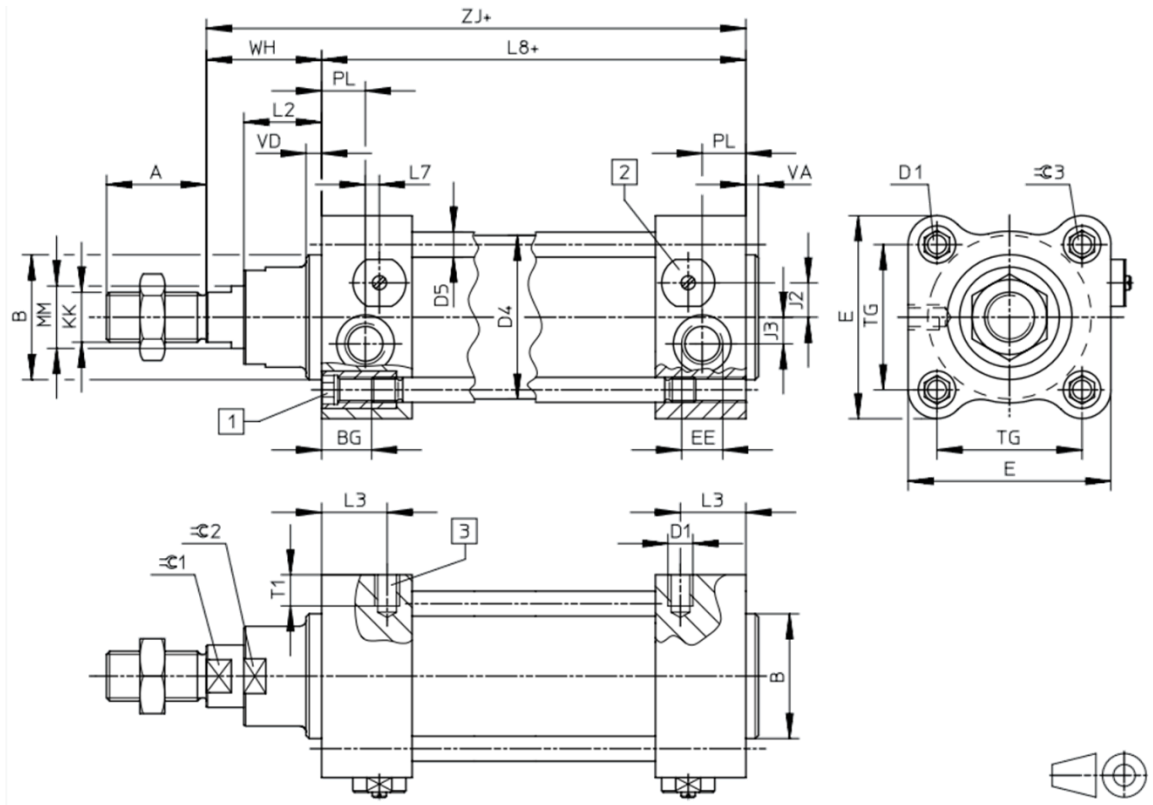


Рисунок Д.1 – Кресленик пневматичного циліндра

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- 1 П'ятиосьовий сервопневматичний маніпулятор [Електронний ресурс] // Borunte. – Режим доступу : <http://ua.borunte.net/i-m-m-robot/servo-robot/pneumatic-manipulator.html>. – 3.09.2024.
- 2 Пневматичні та електричні приводи [Електронний ресурс] // Camozzi. – Режим доступу : <http://catalog.camozzi.ua/#!d02g02s25p05>. – 3.09.2024.
- 3 Електродвигуни AIP [Електронний ресурс] // Системи якості. – Режим доступу : https://0-80aqy-com-ua.translate.goog/uk/?_x_tr_enc=0&_x_tr_sl=ru&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=sc. – 3.09.2024.
- 4 Каталог [Електронний ресурс] // Camozzi. – Режим доступу : <https://www.camozzi.ua/catalog>. – 3.09.2024.
- 5 Пневморозподільники з електричним та пневматичним керуванням [Електронний ресурс] // Festo. – Режим доступу : https://www.festo.com/ua/uk/c/produkti/avtomatizatsiia-virobnitstva/klapani-ta-pnievmoostrovi/pnievmorozpodil-niki-z-ieliektrichnim-i-pnievmatichnim-kieruvanniam-id_pim115/. – 3.09.2024.
- 6 Компресори пневматичні масляні/безмасляні [Електронний ресурс] // APRO. – Режим доступу : <https://apro.ua/catalog/kompressor-odnotsilindrovyy-ofd-50-1-5kvt-205l-min-8bar-50l-2-krana-maslo-0-2l-apro/>. – 5.12.2024.
- 7 Блок живлення [Електронний ресурс] // MeanWell. – Режим доступу : <https://meanwell.kiev.ua/ua/p108358643-lrs-350-blok.html>. – 3.09.2024.
- 8 Пневматичний розподільник [Електронний ресурс] // SPC. – Режим доступу : <https://spc.com.ua/products/valve-5-2-with-1-solenoid-aircomp?variant=40117798568013>. – 0.09.2024.
- 9 Давач положення SDAC-MHS [Електронний ресурс] // Festo. – Режим доступу : https://www.festo.com/ua/uk/p/davach-polozhiennia-id_SDAC/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndNewProduct. – 3.09.2024.
- 10 Реле електромеханічне [Електронний ресурс] // EnergyHouse. – режим доступу : https://energyhouse.in.ua/rele-elektromehanichne-asko-my2-ac220v?gclid=Cj0KCQjwwO20BhCJARIsAAnTIVSYI1D612vh83lgmepI6Sy5F9wcDn7jSFU0fiOGwtaJIfOnFPVhYloaAtzMEALw_wcB&utm_source=google_ny_zkomarzhynalni&utm_content=cid|20855770463|gid||kwid|. – 3.09.2024.
- 11 Контролер Mitsubishi Electric FX1S-10MR-DS [Електронний ресурс] // Trade-control. – Режим доступу : <https://trade-control.com.ua/ua/catalog/kontrollery-mitsubishi-electric>. – 3.09.2024.
- 12 Конкурсні завдання Всеукраїнської студентської олімпіади за напрямом «Механотроніка в машинобудуванні». – Київ, 2019. – 63 с.
- 13 Контролери Arduino Uno Rev3 [Електронний ресурс] // Arduino.ua. – Режим доступу : <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3-a000066>. – 3.09.2024.

- 14 Датчик лінії [Електронний ресурс] // Arduino.ua. – Режим доступу : <https://arduino.ua/prod2557-datchik-linii-ky-033-na-tcrt5000>. – 3.09.2024.
- 15 Кнопка [Електронний ресурс] // Arduino.ua. – Режим доступу : <https://arduino.ua/prod2595-modul-knopki-s-kolpachkom>. – 3.09.2024.
- 16 Реле [Електронний ресурс] // Arduino.ua. – Режим доступу : <https://arduino.ua/prod3001-rele-24v-10a-srd-24vdc-sl-c>. – 3.09.2024.
- 17 Standart-based cylinder CRDNG // Festo / Datasheet. – 2024. – 20 p.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Вступ.....	4
1 Аналіз теми.....	5
2 Технічне завдання.....	9
3 Опис установки.....	10
4 Розроблення функціональної діаграми.....	11
5 Циклограма роботи установки.....	13
6 Рівняння роботи установки.....	14
7 Схема пневматична.....	15
8 Розрахунок виконавчих елементів системи (циліндри, пневматичні двигуни).....	16
9 Підбір пневматичного обладнання системи керування установки.....	23
10 Схема електропневматична з релейною логікою керування пневматичними приводами.....	28
11 Підбір електропневматичного обладнання системи керування установки.....	30
12 Схема електропневматична із системою керування пневматичними приводами на базі контролера.....	33
13 Підбір електропневматичного обладнання системи керування установки.....	34
14 Програма для програмованого логічного контролера	35
15 Схема електропневматична із системою керування пневматичними приводами на базі контролера Arduino.....	39
16 Підбір електропневматичного обладнання системи керування установки.....	40
17 Програма для контролера Arduino.....	43
18 Висновки	47
19 Додатки.....	47
Бібліографічний список.....	53

Методичне видання

**Широкий Юрій Вячеславович
Торосян Олена Василівна
Степаненко Денис Романович**

**АВТОМАТИЗУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА ПНЕВМАТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

Редактор О. Ф. Серьожкіна

Зв. план, 2025

Підписано до друку 06.05.2025

Формат 60x84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 3.1. Обл.-вид. арк. 3.5. Наклад 50 пр.

Замовлення 52-25. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001