

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження та модернізація кривошипного верстату для
руйнівного випробування пружин

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Сілін І.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В.М.
(прізвище та ініціали)

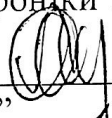
Рецензент Кислиця С.Г.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2023 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер
“02” 10 2023р.

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сіліну Івану Олександровичу


1. Тема проекту (роботи) **«Дослідження та модернізація кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин»**
керівник проекту (роботи) **Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент**
затверджена наказом вищого навчального закладу від “04” 09 2023 року № 986
фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технологічна документація на кривошипний верстат КД-2124. Документація електропривода та складових частин керування. Верстат кривошипний для руйнівного випробування пружин КД-2124.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Технологічна частина. Виготовлення пружин та основні відомості про них. Основні відомості та технічні характеристики кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин типу КД-2124. Розрахунок та вибір двигуна для електропривода верстату КД-2124. Електроніка та додаткове обладнання для керування процесами. Створення САК за допомогою програмного забезпечення. Дослідження процесу випробування пружин на руйнування.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Верстат. Вид загальний;
 - 2) Схема структурна верстата до модернізації;
 - 3) Схема структурна верстата після модернізації;
 - 4) Схема САК модернізованого верстату;


- 5) Електрична схема підключень САК верстата;
- 6) Дослідні параметри процесу випробування пружин на руйнування;
- 7) Висновки.

6. Дата видачі завдання 02.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Вступ.	11.10.22		15%	Пл. 1
2	Технологічна частина. Виготовлення пружин та основні відомості про них.	18.10.22	I	30%	Пл. 2
3	Основні відомості та технічні характеристики кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин типу КД-2124.	25.10.22		40%	Пл.4
4	Розрахунок та вибір двигуна для електропривода верстату КД-2124.	14.11.23		50 %	Пл. 5
5	Електроніка та додаткове обладнання для керування процесами.	21.11.23	II	60%	Пл. 6
6	Створення САК за допомогою програмного забезпечення.	28.11.23		70%	Пл. 9
7	Дослідження процесу випробування пружин на руйнування.	06.12.23		90%	Пл. 12
8	Оформлення магістерської роботи	13.12.23	III	100%	

Магістрант  Сілін І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Галай В.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

Перелік умовних скорочень	6
Вступ	7
1. Технологічна частина. Виготовлення пружин та основні відомості про них	10
1.1 Основні відомості про пружини	10
1.1.1 Пружини залізничної інфраструктури.....	16
Висновки до першого розділу	21
2. Основні відомості та технічні характеристики кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин типу КД-2124	22
2.1 Основні відомості про кривошипні верстати.....	22
2.2 Технічні характеристики кривошипного верстату КД-2124.....	24
2.3 Опис асинхронних двигунів. Характеристика електродвигуна, встановленого на верстаті КД-2124	29
2.3.1 Асинхронні двигуни.....	30
2.3.2 Основні технічні характеристики двигуна АДМ112МА6.....	33
3. Розрахунок та вибір двигуна для електропривода верстату КД-2124	37
3.1 Розрахунок та попередній вибір електродвигуна для верстату	37
3.2 Визначення та розрахунок головних розмірів електродвигуна	38
3.3 Розрахунок максимального обертового моменту.....	43
3.4 Остаточний підбір двигуна	46
4. Електроніка та додаткове обладнання для керування процесами.....	49
4.1 Підбір тензометричного датчика	49
4.2 Підбір частотного перетворювача та його налаштування	52

4.3 Вибір програмованого логічного контролера та основи його налаштування	57
4.4 Вибір панелі керування оператора	60
4.5 Вибір модуля для вводу сигналу з тензодатчика	61
4.6 Вибір індуктивного датчика	63
Висновки до четвертого розділу	67
5. Створення САК за допомогою програмного забезпечення	68
5.1 Основні відомості про програмне забезпечення	68
5.2 Програма керування кривошипним верстатом	69
Висновки до п'ятого розділу	74
6. Дослідження процесу випробування пружин на руйнування	75
Висновок до шостого розділу	81
Висновок.....	82
Використана література.....	83
ДОДАТКИ.....	85

Перелік умовних скорочень

АД	Асинхронний двигун
ТД	Тензометричний датчика
ЧП	Частотний перетворювач
ПЛК	Програмований логічний контролер
САК	Система автоматичного керування

Вступ

Актуальність роботи

Одним з етапів розвитку промисловості є оновленням матеріально технічної бази. На цьому шляху виникає два питання, придбати нове обладнання, або модернізувати існуюче. Модернізація є одним з головних аспектів розвитку підприємства, що дає можливість суттєво заощадити кошти та отримати унікальне обладнання котре не існує на ринку або існує в обмеженій кількості за великий бюджет.

Тому зараз, у такий важкий для країни час, підприємства намагаються заощаджувати кошти, шляхом модернізації та автоматизації різного типу машин, виробничого обладнання. Основними частиною і напрямком модернізації у таких роботах є в першу чергу підвищення безпеки, поліпшення управління, покращення контролю якості та точності виготовлення продукції та розширення спектру діагностики всіх процесів, під час роботи.

Модернізаційні та автоматизаційні заходи для кожного з видів пристроїв є унікальними та мають свою структуру рішення.

Модернізація верстатів для виготовлення пружин та перевірки їх на надійність має в своїй основі заміну електроніки, пристроїв керування, підбір та заміну на схожі по характеристикам складові електропривода. Система автоматичного керування роботи таких пристроїв має різний рівень важкості та залежить від задач, котрі вони повинні виконувати.

Обираючи верстат, котрий міг би лягти в основу моєї магістерської роботи, мені були запропоновані на підприємстві декілька варіантів, один з яких був *Кривошипний верстат для руйнівного випробування пружин*. Майже одразу він став фаворитом, бо модернізація та дослідження такого типу верстату дає можливість забезпечити підприємство від дефективної, бракованої продукції та дослідити спроможність пружин на витримку навантажень, щоб внести корективи в процес виготовлення

Руйнівне випробування пружин це тривалий та небезпечний процес. Який може тривати від декількох годин до однієї доби. Крім того необхідно порахувати кількість стискань та зафіксувати момент руйнування, що реалізувати технічно досить складно. Випробувальний стенд побудований на базі кривошипного верстату.

У автоматизації системи керування кривошипного верстату, який виконує поступальні рухи вгору та вниз для створення навантаження на пружину, є можливість створити систему керування з виконанням заданої роботи та відслідковуванням результатів як Online так і Offline.

Така система може дозволити виключити людину з ланцюга випробування, а тому це дозволяє:

- зменшити кількість персоналу, що виконує роботу по слідкуванню за виконанням поставленої задачі верстатом та переведенням його на більш потрібний напрям роботи;
- мінімізувати вплив людини на результат виконання роботи;
- полегшити дослідження випробування пружини;
- продовжити термін служби верстату та убезпечити його роботу.

Після розробки та впровадження такого типу системи управління завданням обслуговуючого персоналу та відповідальних осіб буде задання вхідних даних та після виконання досліду, відслідковувати моменти руйнування пружини.

Мета та задачі дослідження

Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізація, автоматизація та дослідження роботи кривошипного верстата для руйнівного випробування пружин та створення програми для САК на базі програмованого логічного контролера забезпечення на базі програмованого логічного контролера.

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи необхідно вирішити комплекс завдань:

- вибір та аналіз програмного та апаратного забезпечення для автоматизації кривошипного верстата;
- створення програми на базі обраного програмного забезпечення та підключення пристроїв керування електроприводу кривошипного верстату;
- налаштування та забезпечення роботи верстату й постійного слідкування за результатами в режимах Online та Offline.

Задачі дослідження закладені основній меті данної магістерської роботи

Методи дослідження

Для досягнення мети проекту потрібно обрати й послідовно виконувати певну систему критеріїв та завдань, котрі дадуть можливість виконати поставлену задачу якісно та швидко.

Щоб отримати результат роботи потрібно поставлену задачу розділити на частини та по чергово опрацювати їх з допомогою відповідних методів.

Основними методами розробки та дослідження даної задачі є:

- здійснити аналіз даної предметної області;
- розглянути та оцінити методи автоматизації та модернізації даного завдання;

1. Технологічна частина. Виготовлення пружин та основні відомості про них

1.1 Основні відомості про пружини

Пружина – являє собою деталь, котра відноситься до ряду механічних елементів, який використовується для зберігання та передачі механічної енергії в системах, спираючись на свою фізичну властивість – пружну деформацію.

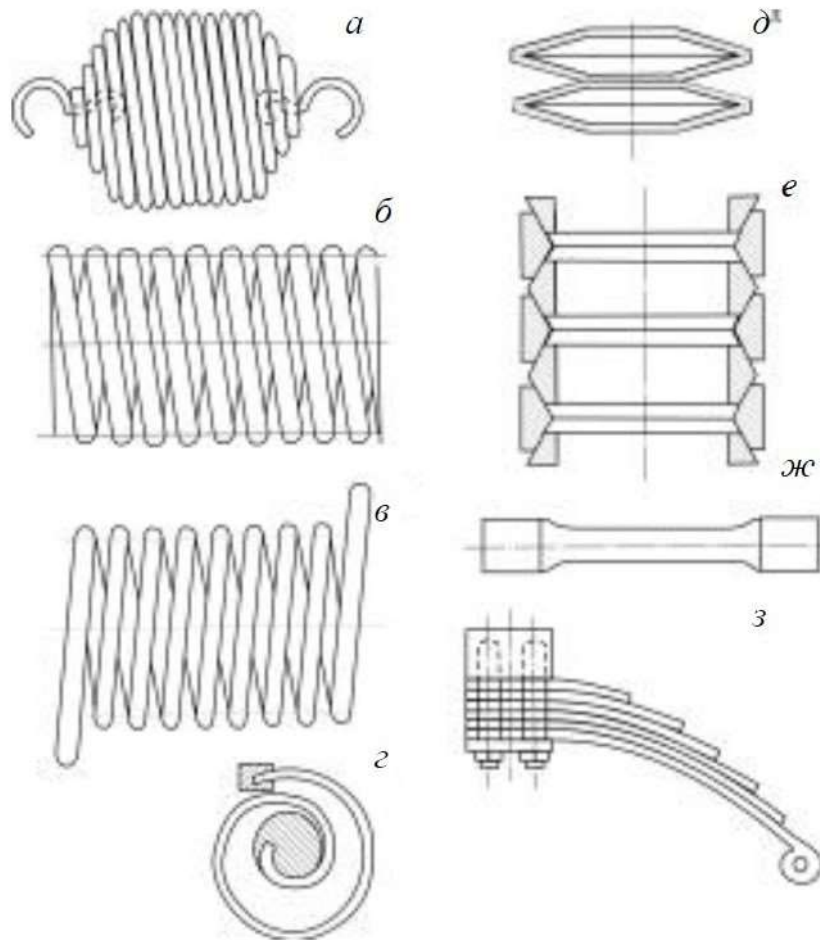


Рисунок 1.1 – Пружини:

а – розтягу;

б – стиску;

в – кручення;

г – спіральна;

д – тарілчаста;

е – кільцева;

ж – торсіон;

з – ресора;

Їх застосовують у машинобудуванні: машинах, верстатах, приладах, тощо. Пружні елементи застосовують: для віброізоляції; прийняття енергії ударів (буферні пружини); створення заданих постійних сил в передачах тертям, гальмах,

клапанах, фрикційних муфтах; силового замикання кінематичних пар, здебільшого кулачкових, щоб запобігти впливу зазорів на точність переміщення; для виконання функцій двигуна (пружини годинників); вимірювання сил, температур, переміщень у вимірювальних приладах [3].

Пружини *розтягу* (рис. 1.1а) виконуються, зазвичай, без просвітів між витками; кінцеві витки відігнуті у вигляді зачіпок для закріплення на деталях машин [3].

Пружини *стиску* (рис. 1.1б) виконуються без дотику між витками, а кінцеві витки зашліфовуються перпендикулярно осі.

Пружини *кручення* конструктивно аналогічні витим пружинам розтягу і стиску (рис. 1.1в); кінцеві витки їх мають особливі причепа для передачі крутильного моменту [3].

Пружини *згину*, відомі як листові ресори, (рис. 1.1з) широко застосовуються в автомобілях та інших транспортних засобах [3].

Тарілчасті пружини (рис. 1.1д) застосовуються в тих випадках, коли за малих переміщень потрібно витримувати великі навантаження [3].

Кільцеві пружини (рис. 1.1е) призначені для розсіювання великої кількості енергії; у разі навантаження зовнішні кільця розтягуються, а внутрішні – стискаються [3].

Торсійні вали (рис. 1.1ж) застосовують за великих закручувальних моментів і малих переміщень [3].

Спиральні пружини (рис. 1.1г) використовують в годинниках, приладах (барометри, манометри); вони передають, зазвичай, не значні закручувальні моменти [3].

Найпоширенішими в машинобудуванні є пружини, виготовлені з дроту круглого перерізу; пружини з витками квадратного перерізу використовують рідко і зазвичай за великих навантажень [3].

Ознайомившись з доступною літературою можна зробити висновок, що пружини поділяються на різні види та типи за певними ознаками:

❖ **за формою:**

- Прості пружини мають прямокутну або циліндричну форму і можуть бути стискаючими або розтягувальними.
- Конічні пружини мають конічну форму та використовуються для спеціалізованих застосувань.

❖ **за формою секцій**

Профіль пружини може бути круглим, квадратним, плоским і так далі.

❖ **за кількістю витків або обертів:**

Пружини можуть мати різну кількість витків або обертів, що впливає на їхні властивості і характеристики.

❖ **за матеріалом:**

Пружини можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як сталь, алюміній, мідь, гума, пластик та інші. Матеріал вибирається в залежності від умов експлуатації та вимог до пружини

❖ **за способом навантаження:**

- *Стискаюче навантаження.*

Під час стискаючого навантаження пружину стискають вздовж її осі. Коли відбувається процес натискання на пружину, вона стискається.

- *Розтягуюче навантаження.*

Під час розтягуючого навантаження пружину розтягують, відводячи її кінці в різні сторони.

- *Торсійне навантаження.*

Торсійне навантаження виникає, коли пружину обертають навколо її осі. Типовий приклад торсійних пружин - спіралі антени.

- *Комбіновані навантаження.*

Багато пружин можуть витримувати комбіновані навантаження, які включають в себе як стискаючі, так і розтягуючі компоненти навантаження, а також можуть бути піддані торсійному впливу.

- *Змінне навантаження.*

Змінне навантаження виникає при коливаннях, вібраціях або руху системи, в якій використовується пружина. Це може включати удари, циклічні навантаження і т. д.

- *Зовнішні зусилля.*

Принципово, будь-які зовнішні сили, які діють на пружину, можуть вважатися способами навантаження. Це може бути тиск, вага, тепло, об'ємний тиск і інші впливи.

❖ **за застосуванням:**

Пружині можуть бути розділені на галузі, такі як промислові, автомобільні, різьблені, газові або гідравлічні пружини, в залежності від їхнього призначення.

Ознайомившись з наданою університетом та підприємством літературою, а також проаналізувавши знання, отриманні під час навчання в університеті, можна згрупувати основні характеристики пружних елементів у таблицю 1.1

Таблиця 1.1 – Ряд характеристик та властивостей пружних елементів

Характеристика пружини	Опис
1	2
Жорсткість	Жорсткість пружини визначає те, наскільки вона стійка до деформації від навантаження. Цей параметри вимірюється коефіцієнтом жорсткості і вказує, як змінюється довжина пружини при певному навантаженні, яке впливає на пружину.
Максимальне навантаження	Це максимальне значення сили або моменту, яке пружина може витримати без пошкодження, руйнування або пластичної деформації.
Частота резонансу	Деякі пружини мають натуральну частоту резонансу, при якій вони можуть почати вібрувати або рухатися в різних умовах.

Продовження таблиці 1.1

1	2
Маса	Маса пружини в деяких моментах може відігравати важливу роль, особливо в системах, де кожен параметр залежить від іншого, адже додаткова маса може впливати на їхню реакцію на навантаження
Геометрична форма	Форма пружини може бути різною, як було описано раніше і може включати спіралевидну, конічну, циліндричну та інші. Геометрична форма впливає на функціональність пружних елементів.
Матеріал	Матеріал, з якого виготовлена пружина, визначає її міцність, корозійну стійкість і інші характеристики.
Діапазон температур	Деякі пружини можуть працювати при високих або низьких температурах, тоді як інші можуть бути обмежені застосуванням в певних умовах.
Довжина і діаметр	Габаритні розміри пружини важливі для її розміщення і інтеграції в задану проектом систему.
Можливість амортизації	В залежності від типу пружин, вони можуть мати властивості амортизації, які дозволяють поглинати вібрацію і удари.
Точність і стійкість	В залежності від умов проекту та задач, котрі повинна виконати пружина важливо, щоб вона мала високу точність та стійкість у роботі.

Матеріали для виготовлення пружин повинні мати високі і стабільні у часі пружні властивості, високу корозійну стійкість, стійкість проти втомного руйнування, достатню міцність, термостійкість тощо [3].

Основними матеріалами для пружин є:

- ✓ високовуглецеві (інструментально пружинні) сталі У8А, У9А, У10А, У11А, У12А;
- ✓ високовуглецеві та марганцеві сталі 65, 70, 75, 65Г, 55 ГС;
- ✓ ресорно пружинні кремнієві сталі 55С2, 60С2, 70С3, 70С3А;
- ✓ сталі: хромомарганцеві 50ХГ, хромованадієві 50ХФА, хромовольфрамові 50ХВА, кремнієвольфрамові 65С2ВА, кремнієхромові 60С2ХА, кремнієнікелеві 60С2Н2А;
- ✓ бронзи: берилієві БрБ 2, кремніємарганцеві БрКМЗЦ 1 [3].

Заготовками для пружин служать: дріт, пруток, стрічка та штаба. Найчастіше застосовується дріт діаметром до 8мм, який випускають трьох основних класів: нормальної міцності III, підвищеної міцності II та високої міцності I [3].

Пружини із дроту діаметром 8...10мм виготовляються холодною навивкою і піддаються відпусканню [3].

Пружини більших перерізів навиваються у гарячому стані, а потім загартовуються. Пружини статичної дії потрібно попередньо пружно пластично деформувати – заневолювати [3].

Існує кілька методів виготовлення пружин, і вибір конкретного методу залежить від типу пружини, матеріалу, що використовується, і технічних вимог. Основні методи наведені у таблиці 1.2 .

Таблиця 1.2 – Методи виготовлення пружних елементів

Метод	Опис методу
1	2
Обгонка	Даний метод включає намотування дроту або смуги матеріалу на спеціалізовані обгонні машини, для створення спіралевидної структури пружини. Обгонка може бути використана для виготовлення різних типів пружин, включаючи стискаючі, розтягувальні та торсійні.

Продовження таблиці 1.1

1	2
Торсійна обгонка	Він використовується для створення торсійних пружин, які обертаються навколо своєї осі. Дріт або смуга матеріалу зазвичай намотується на спеціальні машини для створення цієї форми пружин.
Пресовані пружини	Пресовані пружини виготовляються шляхом стискання матеріалу у відповідних формах. Цей метод часто використовується для створення пружин, котрі мають спеціальну геометрію або потребують великих об'ємів виробництва.
Гаряча обробка	Гаряча обробка використовує високу температуру для формування матеріалу у вигляді пружини. Цей метод дозволяє досягти певних механічних властивостей та форми, адже виконання складніше досягти за звичайних умов.
Холодна обробка	Цей метод використовується для виготовлення пружин з дроту або смуги матеріалу при низьких температурах. Зазвичай використовується для створення пружин, котрі мають високу точність і спеціальні вимоги до форми.
Зварювання	У випадках, коли потрібно створити пружини зі складних форм або з'єднати кілька компонентів, може використовуватися метод зварювання.
Адитивне виробництво	Сучасні технології додаткового виробництва, такі як 3D-друкування, використовуються для створення складних пружин.

1.1.1 Пружини залізничної інфраструктури

Під час знайомства зі структурою підприємства, його задачами і умовами праці, до мене донесли інформацію, що дане підприємство спеціалізується на виготовленні пружних елементів для залізничної інфраструктури.

Тому мені, для виконання подальшої роботи потрібно було ознайомитись з матеріалами, котрі лежать в основі виробництва пружин для залізничної інфраструктури. Які стандарти повинні виконуватись пружинами, де використовуються данні типи пружин.



Рисунок 1.2 – Готовий виріб на підприємстві

Отже, перше з чого потрібно почати – місця використання пружинних елементів:

- **Пружини підвіски вагонів:**

Вони розташовані між вагоном і колесом, дозволяють амортизувати удари і вібрацію під час руху по колії, зменшують вплив нерівностей шляху на пасажирів і вантаж (Рис. 1.2).

- **Пружини буферних пристроїв:**

Ці пружини розташовані в кінцях вагонів і використовуються для поглинання енергії під час зіткнень і розраховані на зменшення ушкоджень.

- **Пружини підвіски локомотивів і поїздів:**

Вони служать для стабілізації та забезпечення комфорту пасажирів, а також допомагають забезпечити правильне розподілення ваги на колесах.

- **Пружини розетки струму:**

Ці пружини знаходяться на контактних струмоприймачах локомотивів і забезпечують ефективний контакт із дротами лінії живлення.

- **Пружини в гальмах:**

Вони використовуються в гальмівних системах для забезпечення ефективного гальмування і розблокування гальмівних механізмів.

- **Пружини сигнальних систем:**

Деякі пружини використовуються у сигнальних системах для активації сигналів та переведення рейсу.

- **Пружини для розподільних апаратів:**

Вони використовуються у рейкових розподільних апаратах для забезпечення надійного замикання і розмикання.

Наступне, с чим потрібно було ознайомитись, які критерії повинні виконуватись готовими виробами, згідно норм, котрі прописані у ДСТУ ГОСТ 32208:2016 а також інших нормативно правових актах. Адже вимоги до пружин, що використовуються в залізничній інфраструктурі, дуже важливі для безпеки і надійності залізничних систем.

Таблиця 1.3 – Вимоги до пружинних елементів залізничної інфраструктури

Вимога	Опис вимоги
1	2
Навантаження	Пружини повинні бути розраховані на великі навантаження, оскільки вони використовуються для підтримки вагонів і локомотивів, а також для амортизації ударів та коливань на рейках.

Продовження таблиці 1.3

1	2
Довговічність	Пружини повинні мати високий ресурс служби та витривалість, оскільки заміна пружин у важких залізничних умовах може бути складною і дорогою операцією.
Відповідність стандартам	Виробництво пружин повинно відповідати специфікаціям і стандартам, встановленим для залізничної індустрії
Стійкість до корозії	У залізничній інфраструктурі пружини часто викладені в місцях, де погодні умови залишають бажати кращого, тому вони повинні бути стійкими до корозії.
Геометричні вимоги	Геометричні параметри пружин, такі як діаметр дроту, діаметр обмотки, кількість витків, мають велике значення для правильної роботи системи
Амортизація і звукопоглинання	Деякі пружини використовуються для амортизації і поглинання звуку на залізницях, тому їх конструкція повинна допускати та витримувати ці функції.
Відповідність безпеці	Пружини повинні відповідати вимогам безпеки для залізничних систем, зокрема, вони не повинні викликати ризику деформацій, поломок чи зіткнень

На Рисунках 1.3 та 1.4 наведено приклад використання пружин в залізничній інфраструктурі.

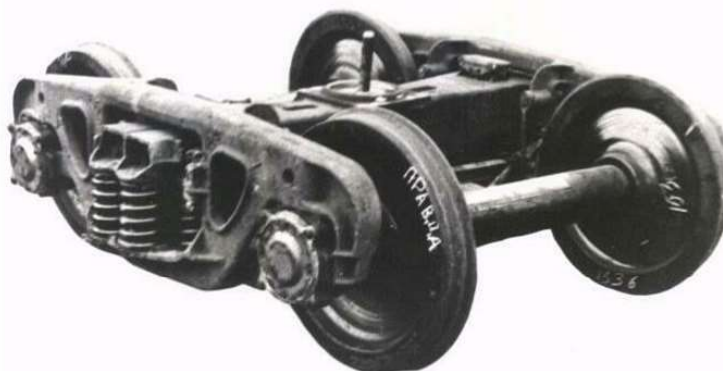


Рисунок 1.3 – Візок вантажного вагона

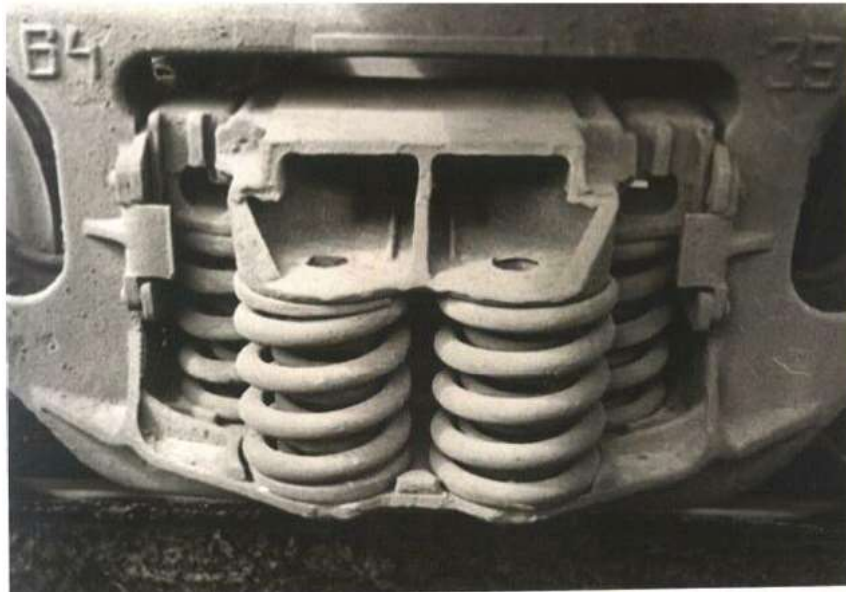
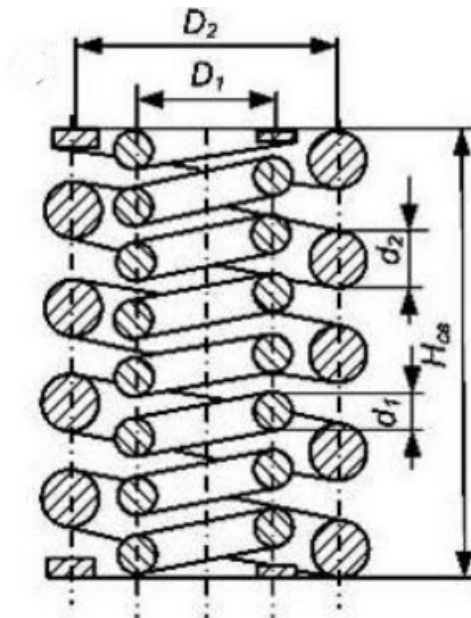


Рисунок 1.4 – Ресорне підвішування

Для збільшення гнучкості ресорного підвішування пружини можуть бути одно-, дво- та трирядними. Зовнішні пружини виготовляють із прутків більшого діаметра, але з меншим числом витків. Пружини навивають у різні боки (правої та лівої навивки) для того, щоб при стисканні витки внутрішніх пружин не затискалися зовнішніми витками. Приклад таких пружин наведено на Рис. 1.5

а)



б)



Рисунок 1.5 – Дворядові пружини:

а) – схема дворядових пружин; б) – реальний приклад

Ознайомившись з матеріалами про пружинні елементи залізничної інфраструктури, а також уважно вислухавши керівництво підприємства та його ідеї я твердо вирішив допомогти їм удосконалити їх роботу або вплинути на якість готової продукції.

Загалом на підприємстві було 2 верстати, що потребували модернізації: верстат для дослідження пружини на руйнування та верстат для навивки пружин.

Оглянувши обидва верстати мною та моїм керівником наукової роботи було обрано дослідницький верстат. Адже підприємство займається важливим аспектом – виготовляє пружин для залізниці, котра, особливо в даний час є однією з «головних артерій» транспортної системи країни.

Тому у випадках неякісної продукції будуть страждати не тільки виробники та підприємство, а також і вся країна.

Висновки до першого розділу

У першому розділі було розглянуто основні відомості про пружини, їх властивості, типи, способи виготовлення та місця використання. Для подальшого створення проекту відібрано особливий тип пружин, напрям автоматизації виробництва та дослідження яких потрібен зараз.

Розглянувши весь процес виробництва пружин для великогабаритної техніки, котра повинна витримувати високі навантаження, для модернізації та автоматизації було обрано кривошипний верстат типу КД-2124.

В сьогоднішнього проведення модернізації такого виду верстата є важливим аспектом підвищення якості продукції та дослідження моментів її руйнування.

2. Основні відомості та технічні характеристики кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин типу КД-2124

2.1 Основні відомості про кривошипні верстати

Кривошипний верстат - це обладнання в обробній промисловості, яке використовується для вирізання, фрезерування, свердління та інших операцій обробки й дослідження матеріалів. Основний принцип роботи ґрунтується на використанні кривошипно-шатунного механізму. Типовий кривошипний верстат зображено на Рис. 2.1.

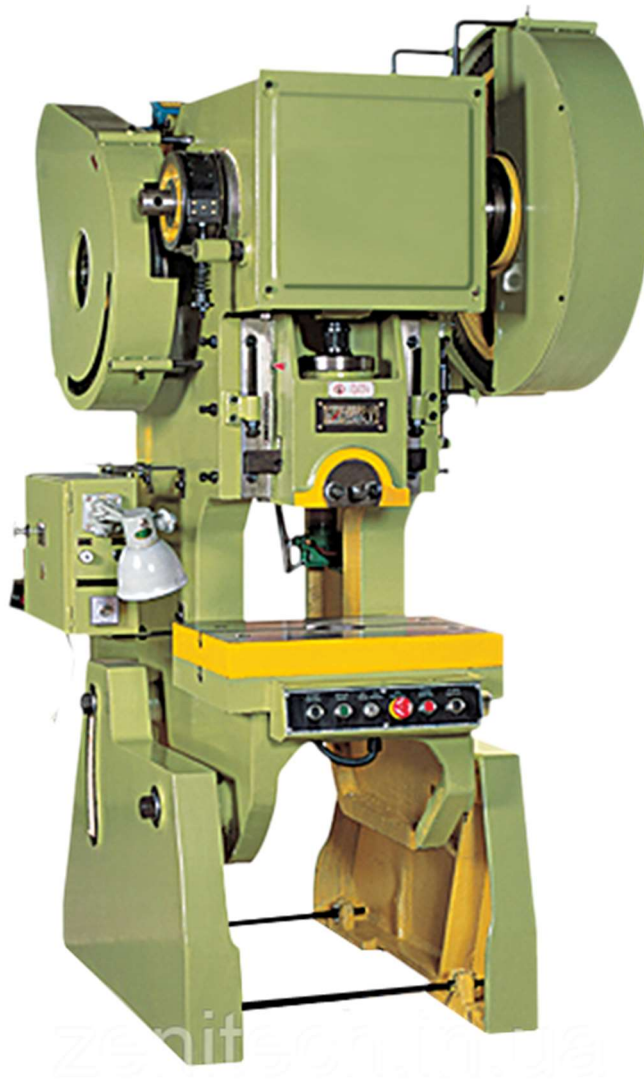


Рисунок 2.1 – Типовий кривошипний верстат

Кривошипні верстати можуть бути класифіковані за різними ознаками та будовою, в залежності від місця та типу використання.

Класифікація кривошипних верстатів:

➤ **За конструкцією:**

- *Однокривошипні верстати:* Мають один кривошип, який перетворює обертальний рух валу у поступальний рух різального інструменту або робочої частини.
- *Двокривошипні верстати:* Мають два кривошипи, що забезпечують більше складні рухи та можливості обробки.

➤ **За призначенням:**

- *Прес-верстати:* Використовуються для виготовлення деталей шляхом пресування матеріалу, таких як штампування та пресування металу.
- *Листогинні верстати:* Спеціалізовані на обробці листового металу, зазвичай використовуються для вирізання та формування.

➤ **По різальному інструменту:**

- *Токарні кривошипні верстати:* Використовуються для обробки деталей, які обертаються навколо своєї осі.
- *Фрезерні кривошипні верстати:* Використовуються для фрезерування матеріалів та створення відсічень, жолобів тощо.

➤ **По руху різального інструменту:**

- *Поступальні кривошипні верстати:* Різальний інструмент рухається вздовж прямої лінії.
- *Колові кривошипні верстати:* Різальний інструмент рухається вздовж кривошипної кривої.

➤ **По області виробництва:**

- *Легкі верстати:* Призначені для легкої обробки, такої як обробка дерева чи пластику.
- *Важкі верстати:* Застосовуються в важкій промисловості, такі як металообробка.

Кожен тип кривошипного верстату має свої унікальні особливості та використовується для певного виду виробництва, обробки чи при дослідженні

матеріалів. Вибір конкретного типу залежить від задач, котрі поставлено на виробництва та характеристик оброблюваних матеріалів.

Кривошипні верстати здатні забезпечувати високу точність та повторюваність операцій, що робить їх ефективними для виготовлення високоякісних виробів та для виконання дослідження за допомогою преса, адже кривошипний механізм дозволяє перетворити обертальний рух шпинделя в поступальний рух для створення навантаження на досліджуваній виріб.

Існує багато різновидів кривошипних верстатів, які використовуються в різних галузях виробництва для обробки та дослідження виробів. Усі вони відрізняються за своїми можливостями та застосуваннями, але базуються на принципах роботи кривошипно-шатунного механізму для забезпечення поступального руху різального інструменту або робочої частини.

2.2 Технічні характеристики кривошипного верстату КД-2124

Прес однокривошипний простої дії відкритий, двосторонній КД2124, що не нахилиється, призначений для виготовлення деталей операціями холодного листового штампування: гнучкою, вирубкою, пробивкою, неглибокою витяжкою і т.д., у тому числі у складі автоматизованих комплексів.

Механічні преси КД-2124 застосовуються на підприємствах різних галузей промисловості, в цехах та на ділянках холодного листового штампування. Знаходять широке застосування за будь-якого типу виробництва: дрібносерійному, серійному, масовому. Преси КД-2124 призначені для роботи як на одиночних, так і на безперервних ходах при оснащенні автоматичними подачами.

В нашому випадку ми проводимо модернізацію такого типу преса під дослідницькі завдання.

Кривошипний вертат КД-2124 зображений на Рис. 2.2



Рисунок 2.2 – Кривошипний верстат типу КД-2124

Кривошипний верстат КД-2124 складається з основних вузлів:

- Станина
- Привод
- Муфта-тормоз
- Вал ексцентриковий
- Повзун
- Зрівноваджувач повзуна
- Повітророзподільник

Станина преса лита чавунна коробчастої форми, приймає всі зусилля, що виникають при штампуванні та стисненні.

Повзун, виготовлений з високоміцного чавуну, коробчастої форми, із призматичними двосторонніми напрямними. Ліва напрямна регульована. Повзун забезпечений запобіжником від навантаження та клиновим пристроєм для виведення преса з розпору. Розмір ходу повзуна регульована. У механізмі

регулювання введено кулачкове зачеплення для скорочення часу на переналагодження. Для усунення впливу маси повзуна та верхньої половини штампу на роботу пресів, а також для запобігання довільному опусканню повзуна в аварійних ситуаціях передбачені пневматичні врівноважувачі.

Привід повзуна — від електродвигуна через клинопасову передачу, маховик із вмонтованим у нього муфтою-гальмом, та ексцентриковий вал.

Муфта-гальмо - жорсткоблокована, багатодискова, фрикційна, з пневматичним включенням; вмонтовано в маховик.

Електросхема блоку управління виконана безконтактною та дубльованою. Передбачено контроль величини гальмівного шляху та керування системою мастила.

Електроблокування та огороження забезпечують надійну роботу та безпечне обслуговування пресів.

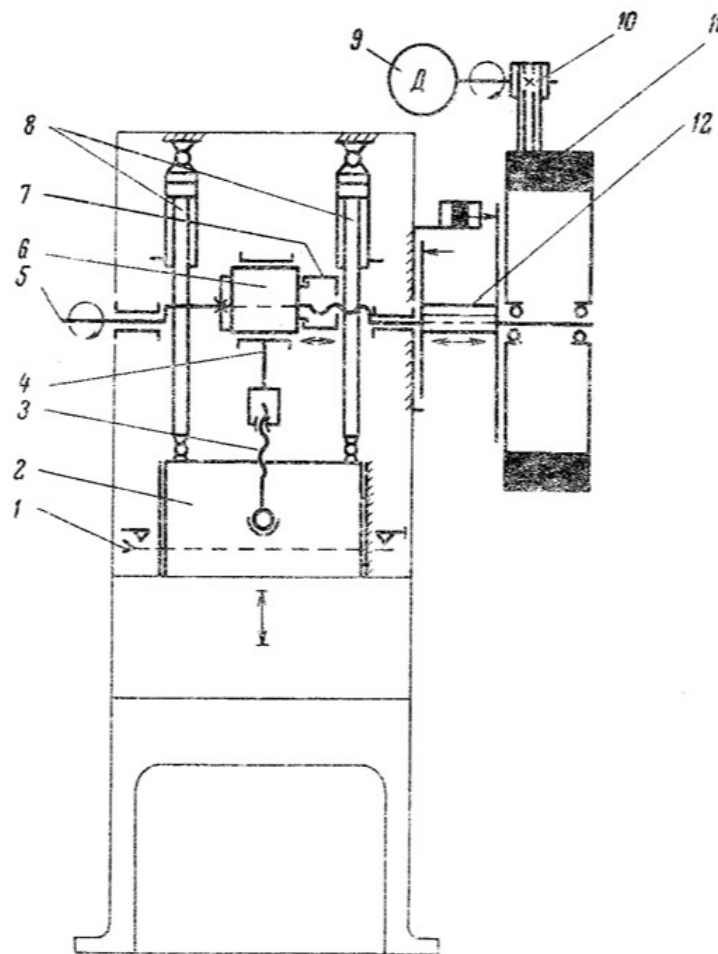


Рисунок 2.3 – Кінематична схема одно-кривошипного верстату КД-2124

Основні складові кінематичної схеми одно-кривошипного вертату, зображеного на Рис. 2.3 : 1 – планка виштовхувальника, 2 – повзун, 3 – регулювальний винт, 4 – шатун, 5 – ексцентриковий вал, 6 – ексцентрована втулка, 7 – гайка, 8 – урівноважувач, 9 – електродвигун, 10 – шків, 11 – маховик, 12 – муфта-гальмо.

Для приводу робочих органів верстату використовується

- Очищене стиснене повітря тиском не менше 0,5 МПа
- Змінний трифазний струм , при напрузі 380 В, частотою 50 Гц.

Привод верстата здійснюється від електродвигуна 3 (рис. 2.4) через клиноремінну передачу 5, маховик 6 з вмонтованим в нього муфтою-гальмом до ексцентриковий валу [6].

Електродвигун знаходиться на підмоторній плиті 4

Регулювання натягу ременів здійснюється за допомогою гвинта 2 та гайки 1.

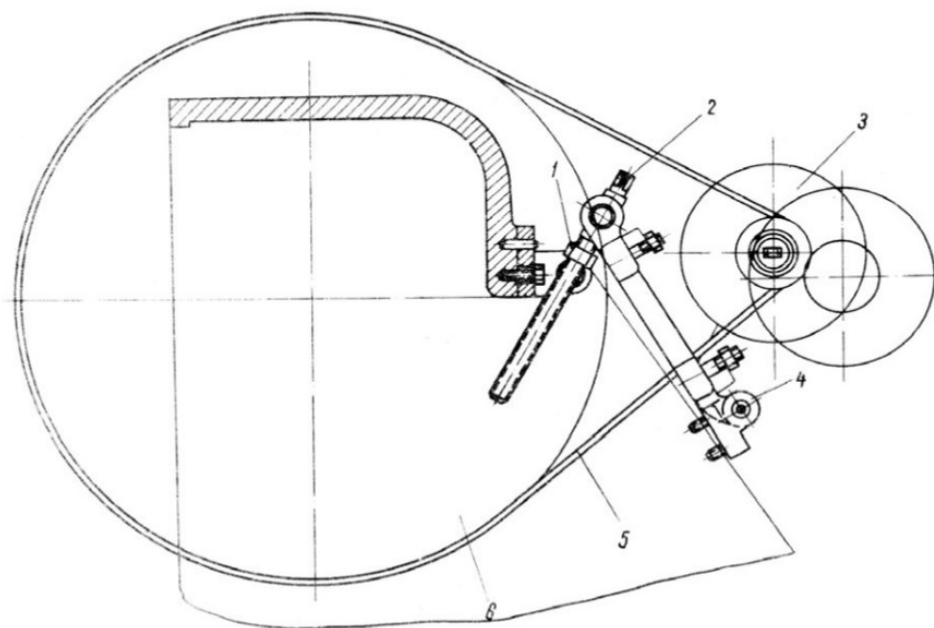


Рисунок 2.4 – Привод:

- 1 – гайка; 2 – гвинт; 3 – електродвигун; 4 – підмоторна плита;
5 – клиноремінна передача; 6 – маховик.0

Пристрій «Муфта-гальмо» складається з нормалізованого вузла «муфта гальмо УВ 3138», повітряно-провідної головки 19 та маховика 12, опорами якого є

радіальні шарикопідшипники 17, які насаджені на втулку 18, котра в свою чергу встановлена на ексцентриковий вал 22.

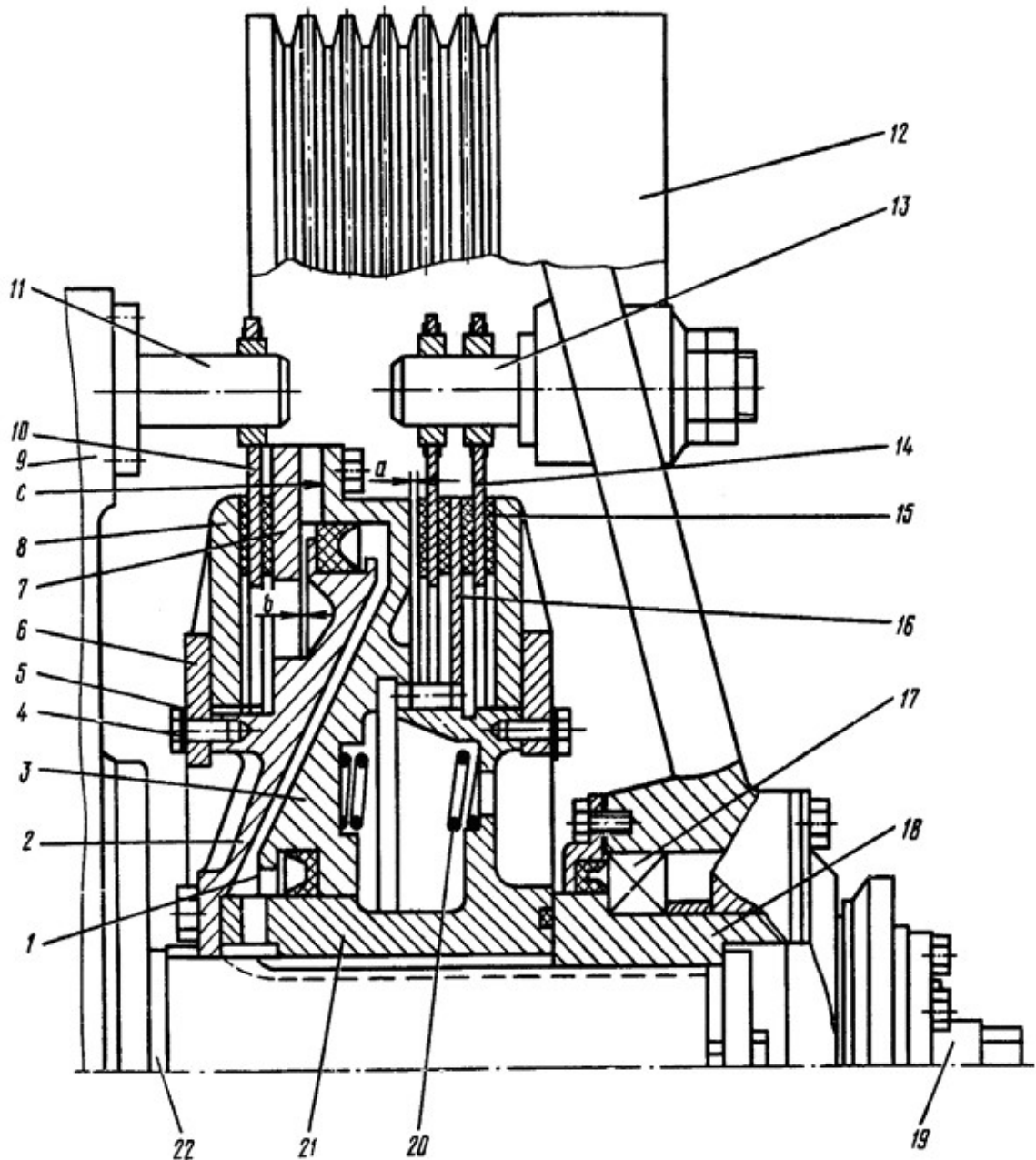


Рисунок 2.5 – Муфта-гальмо

Муфта-гальмо, схема якої зображена на рис. 2.5, – це жорстко заблокований фрикційний багатодисковий механізм, є ключовим елементом системи включення, за допомогою якого проводиться заблокування/розблокування головного валу виконавчого механізму машини. Складається з наступних частин частин:

- Ведучих дисків 14 с фрикційними накладками 15;

- Ведена маточина (ступиця) з нерухомо приєднаним поршнем 2, циліндром 3, котре переміщується вздовж осі, опорних дисків 8, що встановлені на різбі ступиці 21 та поршня 2, натискний диск 7 тормоза, встановленого жорстко на циліндрі, проміжного диска 16 муфти.
- Гальмівної - гальмівного диску 10 з фрикційними накладками

Пристрій «Муфта-гальмо» працює наступним чином:

Стиснуте повітря через повітря-провідну головку 19, ексцентриковий вал 22 поступає у пневмокамеру 1 та переміщує циліндр 3 вздовж осі ексцентрикового вала в бік муфти та зажимає ведучі диски 14 муфти, зв'язані з постійно обертаючими маховиком 12 через пальці 13, забезпечуючи передачу крутящого моменту через ступицю 21 на ексцентриковий вал 22 [6].

В момент гальмування ексцентрикового валу 22 стиснене повітря з пневмокамери випускається в атмосферу через повітря-провідну головку 19, сполучений рукав та клапан трьох-ходовий здвоєний заблокований [6].

При цьому циліндр 3 під впливом пружин 20 повертається в сторону гальма та зажимає диск 10, сидячий на пальцях 11, зв'язаних зі станиною 9. При цьому проходить гальмування рухомих частин верстату [6].

Загалом Верстат КД-2124 може працювати у чотирьох режимах роботи:

- Безперервний хід
- Одиночний хід
- Товчок
- Ручний прохід

2.3 Опис асинхронних двигунів. Характеристика електродвигуна, встановленого на верстаті КД-2124

На верстаті КД - 2124 встановлено електродвигун АДМ112МА6. Це трифазний АД з короткозамкненим ротором.

2.3.1 Асинхронні двигуни

Для розуміння конструкції та логіки роботи двигуна, розглянемо коротко що під собою має термін АД з коротко замкненим ротором та чим він відрізняється від АД з фазним ротором.

Загалом АД з короткозамкненим та АД з фазним роторами складаються з двох частин: статора – нерухомої частини двигуна та ротора , котрий має можли-вість обертатися у розточці статора, будучи закріпленим на двох підшипникових щитах. Ротор від статора відокремлений основним повітряним проміжком.

Якщо розглядати відмінності обох типів двигунів то починаємо з АД з короткозамкненим ротором.

АД з короткозамкненим ротором - це тип асинхронного електродвигуна, в якому ротор складається з провідних стержнів або обрuchів, котрі є замкнуті або короткозамкнуті між собою.

Будова АД з короткозамкненим ротором досить стандартизована та зображена на рисунку 2.6.

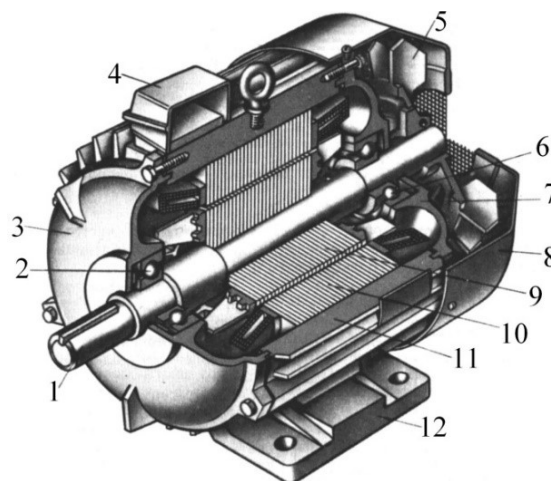


Рисунок 2.6 – АД з короткозамкненим ротором

Нерухома частина двигуна – статор – складається з корпусу (11) та осердя з трифазною обмоткою (10) (рис. 2.6). Корпус двигуна відливають з алюмінієвого сплаву або чавуну чи роблять зварним. Головне призначення статора АД – створення коловогообертового магнітного поля [8].

Для зменшення втрат потужності від вихрових струмів осердя статора має шихтовану конструкцію з тонколистової сталі товщиною 0,35–0,5 мм [8].

Окремі листи статора ізолюються один від одного тонким шаром лаку або оксиду, збираються в пакет визначеної довжини та скріплюються скобами чи шляхом зварювання. На внутрішній поверхні статора наявні пази, в яких розміщені пазові частини обмотки статора, з'єднані у визначеному порядку лобовими частинами, що знаходяться за межами осердя по його торцевих частинах. У розточці статора співвісно розташований рухомий ротор, котрий складається з вала (1) та осердя (9) з короткозамкненою клітковою обмоткою [8].

Короткозамкнена кліткова обмотка ротора у більшості випадків виконується методом заливання зібраного осердя ротора розплавленим алюмінієвим сплавом. При цьому одночасно зі стрижнями обмотки відливаються короткозамикальні кільця і вентиляційні лопатки. Вал ротора обертається в підшипниках кочення (2), розташованих у підшипникових щитах (3). На валу також розміщений вентилятор із лопатками (5), які служать для охолодження двигуна [8].

Тепер розглянемо АД з фазним ротором.

АД з фазним ротором – це тип асинхронного електродвигуна, в якому ротор складається з провідних стержнів, у котрих кожна фаза ротора взаємодіє з фазами статора, створюючи обертальний момент і запускаючи рух ротора.

Зазвичай такий тип двигуна має три фази. Кожна фаза подається на відповідні області ротора через систему комутації, таку як багатофазний конденсатор.

Будова двигуна з фазним ротором відрізняється від будови двигуна з короткозамкненим ротором головним чином будовою ротора. Загальний стандартизований вигляд АД з фазним ротором зображена на рисунку – 2.7.

Статор фазного двигуна також складається з корпусу (3) та осердя (4) з трифазною обмоткою (рис. 3.4). Ротор (5) через підшипники (1), (7) закріплений на

підшипникових щитах (2), (6) співвісно до статора. До корпусу прикріплюють монтажні лапи (10) і виводову коробку (9) з виводами [8].

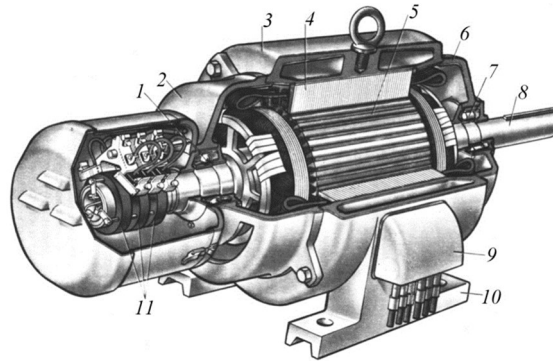


Рисунок 2.7 – АД з фазним ротором

Однак ротор має більш складну конструкцію. На валу (8) закріплене шихтоване осердя з трифазною обмоткою, виконаною аналогічно до обмотки статора. Обмотку ротора розташовують у його пазах і сполучають зіркою, а її кінці електрично з'єднують із трьома контактними кільцями (11), розміщеними співвісно на валу й ізолюваними одне від одного та від вала. Для здійснення електричного контакту з обмоткою рухомого ротора на кожне контактне кільце накладають одну чи кілька щіток, розташованих у щіткотримачах, кожний щіткотримач має пружинки, що забезпечують притискання щіток до кілець із певним зусиллям.[8].

Основні відмінності між двигунами АД були висвітлені в табл. 2.1, згідно якої в моєму проекті буде розраховуватись та обиратись АД з коротко-замкненим ротором, взамін того, котрий встановлено на верстаті.

Таблиця 2.1 – Основні відмінності двох типів АД

Характеристика	АД з короткозамкненим ротором	АД з фазним ротором
1	2	3
Ротор	Складається з провідних стержнів або обручів, які з'єднані та замкнуті	Складається з ізолюваних областей, кожна з яких взаємодіє із відповідною фазою статора

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Динаміка	Такі двигуни, як правило, мають більш високий крутний момент при низьких швидкостях і можуть забезпечувати високий крутний момент при пуску.	Динаміка цих двигунів може бути меншою при низьких швидкостях порівняно із короткозамкненими роторами. Однак вони можуть мати більш високий коефіцієнт корисної потужності та ефективніше використовувати електроенергію.
Застосування	використовується там, де важливий високий крутний момент при низьких швидкостях наприклад, для підйому важких навантажень	використовується там, де важлива висока ефективність та краща робота при високих швидкостях, таких як насоси або вентилятори

2.3.2 Основні технічні характеристики двигуна АДМ112МА6

Зовнішній вигляд електродвигуна, котрий встановлено на верстаті зображено на Рисунку – 2.8.



Рисунок 2.8 – АД марки АДМ112МА6

Технічні характеристики встановленого АД детально описані в Таблиці 2.2
Таблиця 2.2 – Технічні характеристики Асинхронного двигуна АДМ112МА6

Модель	АДМ
Обороти, об/хв	1000
Потужність, кВт	3
Напруга на вході, В	220/380
Діаметр вала, мм	32
Висота вала, мм	112
ККД, %	82
Коефіцієнт потужності, $\cos \phi$	0,79
Струм статора, А	7,4
Кратність пускового моменту, Мп/Мн	1,9
Кратність максимального моменту, Ммах/Мн	2,2
Вага, кг	31,5

Розшифровка маркування на двигуні АДМ112МА6 :

- АДМ – Асинхронний двигун;
- 112 – габарит двигуна в мм (відстань починаючи з осі обертання до площини кріплення);
- МА – довжина сердечника;
- 6 – кількість полюсів.

Двигун працює в режимі S1 – постійний, або тривалий, режим роботи електродвигуна. Більшість машин розраховується саме під даний режим роботи. Під час виконання роботи в цьому режимі АД нагрівається до певної температури, котра стає усталеною, після досягнення якої вона стає незмінною на весь час роботи двигуна.

Графік навантаження , для розуміння роботи двигуна в режимі S1, зображено на рисунку 2.9.

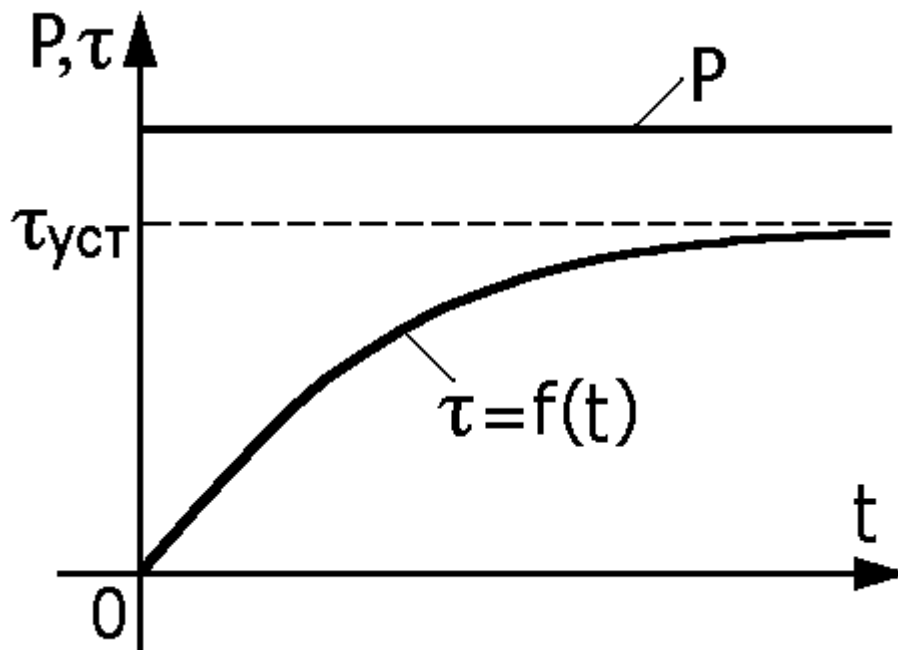


Рисунок 2.9 – Графік навантаження АД при режимі роботи S1

Вивчаючи графік , можна побачити залежність зміни температурного режиму двигуна під постійним навантаженням протягом рівного часу.

На рисунку 2.9 величини що описують роботу АД в режимі S1 є: τ – температура, $\tau_{уст}$ – усталена температура, котру не переходить температура τ , P – активне постійне навантаження на двигуні, t – час роботи АД.

На двигуні, встановленому на досліджуваному проектному верстаті, на боковій частині, де знаходиться основна інформація про двигун, на бірці відбито виробником способи підключення двигуна, в залежності від вхідної напруги мережі живлення: " Δ / Y 220/380", де: Δ - "трикутник"; Y - "зірка"; 220, 380 - напруга (В).

Для перемикання обмоток , в залежності від вхідної напруги мережі живлення, з однієї доступної схеми на іншу, а також для під'єднання – на двигуні є спеціалізовані клеми.

Висновки до другого розділу

У другому розділі детально розглянуто внутрішню будову та специфіку роботи верстата КД 2124. При дослідженні матеріально-технічної бази було сконцентровано увагу на найбільш проблемних зонах верстату та описано процес виконання роботи.

Також прискіпливо освоєно основні відомості про АД, та зібрано таблицю, згідно якої, під час вибору заміни двигуна, котрий встановлено на верстаті буде розраховано та обрано АД з короткозамкненим ротором вітчизняного зразка або експортного більш високого класу.

У другому розділі було зібрано характеристики АД, котрий встановлено в даний момент на верстат. Отже ми маємо вихідні дані для розрахунку та підбору двигуна вітчизняного зразка.

3. Розрахунок та вибір двигуна для електропривода верстату КД-2124

3.1 Розрахунок та попередній вибір електродвигуна для верстату

Для виконання точного підбору АД потрібно виконати розрахунок згідно даних, які було зібрано та згруповано у таблицю 3.1. За основу таблиці обираються параметри, котрі взяті з характеристики двигуна, описаних в таблиці 2.2, який встановлено на верстаті.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані АД

Параметр	Позначення	Величина	Одиниці виміру
Частота мережі живлення	f	50	Гц
Номінальна потужність двигуна	P_n	3	кВт
Напруга мережі живлення	U_n	220/380	В
Число полюсів	$2p$	6	-
Синхронна частота обертання	n_s	1000	об/хв
Ступінь захисту	IP54	-	-
Спосіб охолодження	ISO141	-	-
Режим роботи	S1	-	-
Клас нагріву ізоляції	F	-	-
Кількість фаз обмотки статора	$Z_1(ms)$	48	-

Також під час розрахунків потрібні будуть додаткові відомості:

- Буде обиратись двигун серії 4A, у зв'язку з великим вибором асортименту та легкістю в заміні такого двигуна;
- Крок обмотки у пазах відповідає значенню у 1-8 2-7;
- Висота осі (вала) 112 мм.
- Аналог, згідно якого будуть проводитись розрахунки - 4A112MB8.

3.2 Визначення та розрахунок головних розмірів електродвигуна

Вибираю зовнішній і внутрішній діаметр стрижня статора за таблицею 5.4 джерело [9, с.55]:

$$d_{se} = 191 \text{ мм};$$

$$d_s = 132 \text{ мм}.$$

Знаходжу попереднє значення коефіцієнта корисної дії і коефіцієнта потужності обираючи їх за джерелом [9, с.56]:

$$\eta'_N = 0.82;$$

$$\cos \varphi'_N = 0,78.$$

Розраховую розрахункову потужність асинхронного двигуна , використовуючи за формулу (1.1):

$$P_{in} = \frac{P_N \cdot K_e}{\eta'_N \cdot \cos \varphi'_N}; \quad (1.1)$$

де: P_{in} – розрахункова потужність двигуна, кВт;

P_N – номінальна потужність двигуна, кВт;

K_e – коефіцієнт електрорушійної сили.

$$K_e = \frac{E_N}{U_N} = 0,90 \dots 0,98,$$

Приймаємо: $K_e = 0,94$.

$$P_{in} = \frac{3 \cdot 0,94}{0,82 \cdot 0,78} = 4,6 \text{ кВт}$$

За умови $d_{se} = 191$ мм обираю попереднє значення максимальної магнітної індукції в повітряному проміжку і лінійного навантаження опираючись рисунок 5.2 джерело [9 с.58]

$$A_1' = 30000 \text{ А/м}$$

З урахуванням коефіцієнту $k_a = 1,1$

$$A' = 30000 \cdot 1,1 = 33000 \text{ А/м}$$

$$B_{\delta}' = 0,78 \text{ Тл}$$

Приймаю попереднє значення обмоточного коефіцієнта:

$$K'_w = 1.$$

Обчислюю розрахункову довжину стрижня статора за формулою (1.3):

$$l = \frac{8,66 \cdot 10^{12} \cdot P_n}{K_w \cdot n_s \cdot d_s^2 \cdot B'_\delta \cdot A'}; \quad (1.2)$$

$$l = \frac{8.66 \cdot 10^{12} \cdot 4.6}{1 \cdot 1000 \cdot 132^2 \cdot 0.78 \cdot 330 \cdot 10^2} = 88.8 \text{ мм}$$

Приймаю $l = 90$ мм, для подальшого розрахунку

Визначаю коефіцієнт довжини використовуючи формулу (3.4):

$$\lambda = \frac{l}{d_s}; \quad (3.4)$$

$$\lambda = \frac{90}{132} = 0,7$$

Приймаю повітряний проміжок при $h = 90$ мм опираючись на табличне значення :

$$\delta = 0,4 \text{ мм}$$

Знаходжу зовнішній діаметр стрижня ротора за формулою (3.5) із /9с.60/:

$$d_r = d_s - 2\delta; \quad (3.5)$$

$$d_r = 132 - 2 \cdot 0,4 = 131,2 \text{ мм.}$$

Визначаю внутрішній діаметр стрижня ротора за формулою (3.6) із:

$$d_{ri} = 0,30 \cdot d_r; \quad (3.6)$$

$$d_{ri} = 0,30 \cdot 131,2 = 39,36 \text{ мм.}$$

Приймаю $d_{ri} = 40$ мм, для подальшого поліпшення розрахунку.

Обираю конструктивну довжину стрижня статора:

$$l_s = l_m = 150 \text{ мм.}$$

Вибираю число пазів на статорі і роторі із:

$$Q_s = 54 \text{ пазів};$$

$$Q_r = 51 \text{ паза.}$$

Форма пазів на статорі – трапецеїдальний напівзакритий.

Форма пазів на роторі – напівзакритий овальний.

Визначаємо розміри трапецеїдального паза статора:

Визначаємо зубцеву поділку статора за формулою (3.7):

$$\tau_s = \pi \cdot \frac{d_s}{Q_s} = 3,14 \cdot \frac{132}{54} = 7,67 \text{ мм} \quad (3.7)$$

Знаходжу ширину зубця статора за формулою використовуючи формулу (1.8)

$$b_{ts} = \frac{\tau_s \cdot B'_s}{K_{Fes} \cdot B_{ts}} = \frac{7,67 \cdot 0,78}{0,97 \cdot 1,95} = 3,42 \text{ мм} \quad (3.8)$$

де: K_{Fes} – коефіцієнт заповнення стрижня статора сталлю, $K_{Fes} = 0,97$;

$B_{ts} = 1,8 \text{ Тл}$ – допустиме значення магнітної індукції в зубці статора .

Визначаю висоту спинки статора за формулою (3.9):

$$h_{ys} = \frac{0,5 \cdot \alpha_e \cdot \tau_p \cdot B'_\delta}{K_{Fes} \cdot B_{ys}}; \quad (3.9)$$

де: $B_{ys} = (1,5 \dots 1,65) \text{ Тл}$ – магнітна індукція в спинці статора, обираємо $B_{ys} = 1,55 \text{ Тл}$;

α_e – коефіцієнт полюсного перекриття, $\alpha_e = 0,64$.

Полюсне поділення:

$$\tau_p = \pi \cdot \frac{d_s}{2p} \quad (3.10)$$

$$\tau_p = 3.14 \cdot \frac{132}{6} = 70 \text{ мм}$$

$$h_{ys} = \frac{0.5 \cdot 0.64 \cdot 70 \cdot 0.78}{0.97 \cdot 1.55} = 11,6 \text{ мм}$$

Розраховую висоту зубця статора за формулою (1.11):

$$h_{ts} = 0,5 \cdot (d_{sc} - d_s) - h_{ys}; \quad (3.11)$$

$$h_{ts} = 0.5 \cdot (191 - 132) - 11,6 = 17,9 \text{ мм}$$

Розраховую найменшу ширину паза в штампі за формулою (3.12):

$$b'_s = \tau_s'' - b_{ts}; \quad (3.12)$$

$$\tau_s'' = \frac{\pi \cdot (d_s + 0,2 \cdot h_{ts})}{Q_s}; \quad (3.13)$$

$$\tau_s' = \frac{3.14(132 + 0.2 \cdot 17,9)}{54} = 7,89 \text{ мм}$$

$$b'_s = 7.89 - 3,42 = 4.5 \text{ мм}$$

Визначаю найбільшу ширину паза в штампі за формулою (3.14):

$$b_s = \tau_s' - b_{ts}; \quad (3.14)$$

$$\tau_s' = \frac{\pi \cdot (d_s + 2 \cdot h_{ts})}{Q_s}; \quad (3.15)$$

$$\tau_s' = \frac{3,14(132 + 2 \cdot 17,9)}{54} = 9,76 \text{ мм}$$

$$b_s = 9,76 - 3,42 = 6,3 \text{ мм}$$

Для подальшого розрахунку приймаю: $b_s = 6,5 \text{ мм}$.

Приймаю: ширину шліца $b_{s1} = 2,5 \text{ мм}$; висоту $h_{s1} = 1 \text{ мм}$; кут $\beta = 45^\circ$.

Обчислюю висоту пасової частини паза за формулою (3.16):

$$h_{ks} = 0,5 \cdot (b'_s - b_{s1}); \quad (3.16)$$

$$h_{k1} = 0,5 \cdot (4,5 - 2,5) = 2 \text{ мм}$$

Висота паза, яку займає обмотка за формулою (3.17):

$$h_s = h_{ts} - h_{s1} - h_{k1}; \quad (3.17)$$

$$h_s = 17,9 - 1 - 2 = 14,9 \text{ мм.}$$

Кількість витків у фазі обмотки статора

$$N_s = \frac{K_e \cdot U_{sN}}{4,44 \cdot f_s \cdot K_{Ws} \cdot \Phi'} = \frac{0,93 \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}} = 167 \quad (3.18)$$

де Φ' – попереднє значення магнітного потоку, Вб

$$\Phi' = \frac{B_\delta \cdot d_s \cdot l_s \cdot 10^{-6}}{p} = \frac{0,87 \cdot 132 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{3} = 5,7 \text{ Вб} \quad (3.19)$$

уточнення кількості витків необхідно визначити кількість ефективних провідників в пазу

$$as=1$$

$$z_{qs} = \frac{N_s \cdot as}{p \cdot qs} = \frac{167 \cdot 1}{4 \cdot 1,5} = 28 \quad (3.20)$$

• кількість витків у фазі обмотки статора

$$N_s = \frac{z_{qs} \cdot p \cdot qs}{as} = \frac{28 \cdot 4 \cdot 1,5}{1} = 168 \quad (3.21)$$

• магнітний потік, Вб,

$$\Phi = \frac{\Phi' \cdot N_s}{N_s} = \frac{5,7 \cdot 167}{168} = 5,7 \quad (3.22)$$

• магнітна індукція у повітряному проміжку, Тл,

$$B\delta = \frac{\Phi \cdot p \cdot 10^6}{ds \cdot ls} = \frac{5.7 \cdot 3 \cdot 10^6}{132 \cdot 150} = 0.86 \text{Тл} \quad (3.23)$$

Оцінка правильності визначення кількості витків уточнюється лінійне струмове навантаження статора A_s , А/см

$$A_s = \frac{10 \cdot z_{Qs} \cdot Q_s \cdot I_{sN}}{\pi \cdot ds \cdot as} = \frac{10 \cdot 28 \cdot 54 \cdot 8.11}{3.14 \cdot 132 \cdot 1} = 295,85 \text{ А/см} \quad (3.24)$$

де I_{sN} – номінальний фазний струм обмотки статора, А, (при N P в кВт)

$$I_{sN} = \frac{P_n \cdot 10^3}{3 \cdot U_{sN} \cdot n_N \cdot \cos\varphi_N} = \frac{3.2 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.83 \cdot 0.72} = 8.11 \text{ А} \quad (3.25)$$

3.3 Розрахунок максимального обертового моменту

Змінна частина коефіцієнту провідності пазового розсіювання обмотки статора розраховується за формулою 1.26 :

$$\lambda_{snv} = \left[\frac{3 \cdot h_{s2}}{b_{s2+b}} + \frac{h_{s1}}{b_{s1}} \right] \cdot K' B_s, \quad (3.26)$$

де $K' B_s=1$, коефіцієнт, що враховує укорочення кроку обмотки статора.

$$\lambda_{snv} = \left[\frac{3 \cdot 1}{14 + 0,75} + \frac{0.7}{0,75} \right] \cdot 1 = 1.14$$

Складова коефіцієнта провідності розсіювання обмотки статора розраховується згідно формули 3.27 :

$$\lambda_{sv} = \lambda_{snv} + \lambda_{sd}, \quad (3.27)$$

де λ_{sd} – коефіцієнт провідності диференціального розсіювання;

$$\lambda_{sd} = 0.9 \frac{(\tau_s \cdot K_{ws})^2 \cdot K_{rdm} \cdot K_{ns} \cdot K_{difs}}{\delta \cdot K_c}, \quad (3.28)$$

де K_{ns} – коефіцієнт, що враховує вплив відкриття пазів статора;

$K_{difs}=0.0278$, $K_{rdm}=0.93$,

$$K_{ns} = 1 - \frac{0.033 \cdot b_{s1}^2}{\tau_s \cdot \delta}, \quad (3.29)$$

$$Kns = 1 - \frac{0,033 \cdot 0,75^2}{15 \cdot 0,3} = 1;$$

$$\lambda_s d = 0,9 \frac{(15 \cdot 0,97)^2 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 0,0278}{0,3 \cdot 1,1} = 15;$$

$$\lambda_{sv} = 1,14 + 15 = 15,14.$$

Змінна частина коефіцієнта пазового розсіяння обмотки ротора у випадку напівзакритого паза овальної форми:

$$\lambda_{mv} = \frac{hr1}{br1}, \quad (3.30)$$

$$\lambda_{mv} = \frac{1,9}{2,3} = 0,87.$$

Складова коефіцієнта провідності розсіяння обмотки ротора, залежна від насичення:

$$\lambda_{rv} = \lambda_{mv} + \lambda_{rd}, \quad (3.31)$$

$$\lambda_{rv} = 0,87 + 11,5 = 12,37$$

Індуктивний опір розсіяння двигуна, залежний від насичення розраховується за формулою, Ом:

$$X_{\sigma v} = X'_{\sigma v} \cdot \frac{\lambda_{sv}}{\lambda_{\sigma s}} + X''_{\sigma r} \cdot \frac{\lambda_{rv}}{\lambda_{\sigma r}}, \quad (3.32)$$

$$X_{\sigma v} = 12,3 \cdot \frac{15,14}{16} + 5,9 \cdot \frac{15}{11,5} = 17,8 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіяння двигуна, незалежний від насичення, Ом:

$$X_{\sigma c} = X'_{\sigma s} \cdot \frac{\lambda_{\sigma s} - \lambda_{sv}}{\lambda_{\sigma s}} + X''_{\sigma r} \cdot \frac{\lambda_{\sigma r} - \lambda_{rv}}{\lambda_{\sigma r}}, \quad (3.33)$$

$$X_{\sigma c} = 20 \cdot \frac{18 - 15,14}{18} + 5 \cdot \frac{11,5 - 12}{11,5} = 2,9 \text{ Ом.}$$

Струм ротора при максимальному моменті, А:

$$I'_{rM \max} = \frac{U_s}{\sqrt{2 \cdot [(R's)^2 + (X_{\sigma c} + 0,0825 \cdot X_{\sigma v})^2 + R's \cdot (X_{\sigma c} + 0,0825 \cdot X_{\sigma v})]}}, \quad (3.34)$$

$$= \frac{1,24 \cdot 10^3 \cdot \delta \cdot a_s \cdot [R's + 2 \cdot (X_{\sigma c} + 0,0825 \cdot X_{\sigma v})] \cdot X_{\sigma v}}{2 \cdot zQs \cdot [(R's)^2 + (X_{\sigma c} + 0,0825 \cdot X_{\sigma v})^2 + R's \cdot (X_{\sigma c} + 0,0825 \cdot X_{\sigma v})]}$$

$$I_{rM \max} = \frac{220}{\sqrt{2 \cdot [(38)^2 + (2,9 + 0.0825 \cdot 17,8)^2 + 3.3 \cdot (2,9 + 0.0825 \cdot 17,8)]}} \\ = \frac{1.24 \cdot 0.3 \cdot 1 \cdot [2,9 + 2 \cdot (2,9 + 0.0825 \cdot 17,8)] \cdot 17,8}{2 \cdot 28 \cdot [(38)^2 + (2,9 + 0.0825 \cdot 17,8)^2 + 38 \cdot (2,9 + 0.0825 \cdot 17,8)]} \\ = 4,05 \text{ A.}$$

Повний опір схеми заміщення, при максимальному моменті:

$$ZM \max = \frac{Us}{I_{rM \max}}, \quad (3.35)$$

$$ZM \max = \frac{220}{4,05} = 55 \text{ Ом.}$$

Повний опір схеми заміщення при нескінченно великому ковзанні визначається згідно формули 2.36:

$$Z_{S\infty} = 0.5 \cdot \left(\sqrt{(R's)^2 + 2 \cdot (ZM\max)^2} - R's \right), \quad (3.36)$$

$$Z_{S\infty} = 0.5 \cdot \left(\sqrt{38^2 + (2 \cdot 55)^2} - 38 \right) = 39 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний опір схеми заміщення при максимальному моменті, Ом:

$$RM \max = Z_{S\infty} + R's, \quad (3.37)$$

$$RM \max = 39 + 38 = 72 \text{ Ом.}$$

Номінальний обертальний момент двигуна рівний відношенню номінальної потужності до значення обертів за хвилину збільшеним на коефіцієнт 9,55, відношення описано у формулі 3.38 :

$$M_N = 9.55 \cdot \frac{Pn \cdot 10^3}{n}, \quad (3.38)$$

$$M_N = 9.55 \cdot \frac{3 \cdot 10^3}{1000} = 29 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Кратність максимального моменту:

$$kMm = \frac{M\max}{MN} = \frac{ms \cdot Us^2 \cdot (1 - n)}{2 \cdot RM\max \cdot Pn \cdot 10^3}, \quad (3.39)$$

$$kMm = \frac{100 \cdot 220^2 \cdot (1 - 1000)}{2 \cdot 72 \cdot 3 \cdot 10^3} = 2.$$

Максимальний момент, Н·м:

$$M_{max} = kMm \cdot M_N, \quad (3.40)$$

$$M_{max} = 2 \cdot 29 = 58 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критичне ковзання при максимальному моменті:

$$src = \frac{R''r}{Z_{S\infty}}, \quad (3.41)$$

$$src = \frac{38}{39} = 0,99.$$

3.4 Остаточний підбір двигуна

Виконавши деякі розрахунки в під розділах 3.2 та 3.3, можна вважати, що підібраний аналог АД з короткозамкненим ротором для проведення заміни встановленого на кривошипному верстаті КД-2124 є оптимальним варіантом заміни.

Тому під час модернізації наданого верстату КД-2124 потрібно замінити встановлений АД марки АДМ112МА6 на двигун вітчизняного виробництва 4А112МВ8 або його прямий аналог табличного значення АІР112МА6

Основні характеристики АД марки 4А112МВ8/АІР112МА6 описані в Таблиці 3.2.

Основні важливі параметри двигуна:

- Загальнопромисловий 3-фазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;
- Режим роботи – S1 (тривалий);
- Діаметр вала – 32 мм
- Термічний клас ізоляції обмоток F – до 150 ° С;
- Ступінь захисту від вологи та пилу – IP55;
- Варіації монтажного кріплення – лапи/фланець/комбіноване;
- Матеріал обмотки – мідний емальований провід;
- Тип корпусу – чугун/алюміній;

- Доступні схеми підключення:

- зірка, у випадку отримання живлення від промислової напруги 380В,
- трикутник для живлення напруги 220В;

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики двигунів 4A112MB8/AIP112MA6

Параметр характеристики	Значення параметру
Споживана потужність, кВт	3
Частота обертання умовна/фактична, про/хв	1000/960
Напруга, В	220/380
Коефіцієнт потужності	0.76
Кількість полюсів, 2р	6
Кратність пускового струму Іп/Ін	6,5
Відношення пускового моменту до номінального	2,1
Відношення максимального моменту до мінімального Ммах/Мн	2,1
Момент інерції, кг · м ²	0,038
Вага, кг	45,4
ККД, %	81
Номінальний струм, А	7,4
Передній/задній підшипники	6207 ZZ-C3/6206 ZZ-C3
Рівень шуму	до 69 дБ

Параметри обмотки електродвигуна типу 4A112MB8/AIP112MA6

- Номінальний струм – 13,0/17,4 А;
- Кількість пазів статора – 54;
- Маса провода обмотки – 2,9 кг;
- Крок обмотки у пазах (у) – 11,9,7
- Діаметр жили провідника для обмотки – 1,12мм;

Висновки до третього розділу

У третьому розділі було проведено деякі розрахунки для перевірки сумісності та можливості провести заміну двигуна, котрий встановлено на верстаті на АД з короткозамкненим ротором , вітчизняного виробництва .

Проведено комплекс перевірок сумісності двигунів, порівнюючи їх параметри та фізичні властивості. Під час проведення цих перевірок було знайдено двигун з характеристиками, котрі відповідають оригінальному двигуну.

Як висновок - було обрано двигун типу 4A112MB8/AIP112MA6 для заміни, адже двигуни таких серій мають чудові відгуки про надійність в експлуатації. Наведено основні характеристики обраного двигуна.

4. Електроніка та додаткове обладнання для керування процесами

4.1 Підбір тензометричного датчика

Насамперед, потрібно визначитися який тип тензометричного датчика нам потрібен, бо вони можуть бути різними та відповідати специфічним задачам.

Тензометри - це пристрої, які використовуються для вимірювання деформації або напруження в об'єктах. Існує декілька видів за принципом своєї дії тензометрів, але всі вони базуються на ефекті тензорозтягу.



Рисунок 4.1 – Різноманітність тензометричних датчиків

ТД – це основний пристрій перетворення ваги , або отриманого навантаження в нормований електричний сигнал. Потім цей сигнал обробляється вторинно, за допомогою спеціалізованих перетворювачів, таких як аналого-цифровий перетворювач, ваговий індикатор і т.д.

Як видно на Рис. 4.1 основа ТД може мати різний вигляд та тип корпусу, адже все залежить від того, де цей датчик повинен бути встановлений.

Тензометричні датчики можуть бути використані в різних галузях завдяки своїм високочутливим характеристикам та можливості точного вимірювання деформації.

Основною частиною тензометричного датчика є резистор, який є опором, що змінюється при зміні форми об'єкта. Цей тензорезистор може бути приклеєний або вбудований безпосередньо в об'єкт, яким безпосередньо вимірюється напруження.

Мені потрібно підібрати ТД такого типу, щоб при виконанні поступальних рухів кривошипа верстата він зберігав свою працездатність, а також мав можливість вимірювати навантаження на заготовках котрі мають форму кола.

Провівши оцінку ринку ТД в Україні, мене зацікавив один екземпляр. Цим екземпляром виявився датчик, виробництва Південної Кореї – “Стальний тензометричний датчик у комплекті з вузлом вбудовування CAS DSB-B 30 т” . Адже цей датчик є одним з точних приладів та повністю підходить для виконання тих задач , виконання яких є першочерговою місією.

Однією із причин обрати саме такий ТД , була наявність вузла, для вбудовування в сам прес. Загальний вигляд датчика зображено на рисунку 4.2.

Основними перевагами цього датчика були:

- Клас захисту IP67;
- Міцна конструкція і простота установки;
- Стійкість проти різких ударів та інших зовнішній впливів



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд Тензо-датчика CAS DSB-B 30 т

Даний ТД буде вимірювати навантаження на пружину під час проведення досліджень, впливати на роботу двигуна та регулювати навантаження, яке він дає на виріб та за його допомогою буде зупинятись прес у випадках відсутності навантаження/холостому ходові.

На рисунку 4.3 зображені габаритні розміри, монтажні кріплення, спосіб підключення. Кожен з виводів має свій відповідний колір, згідно правил.

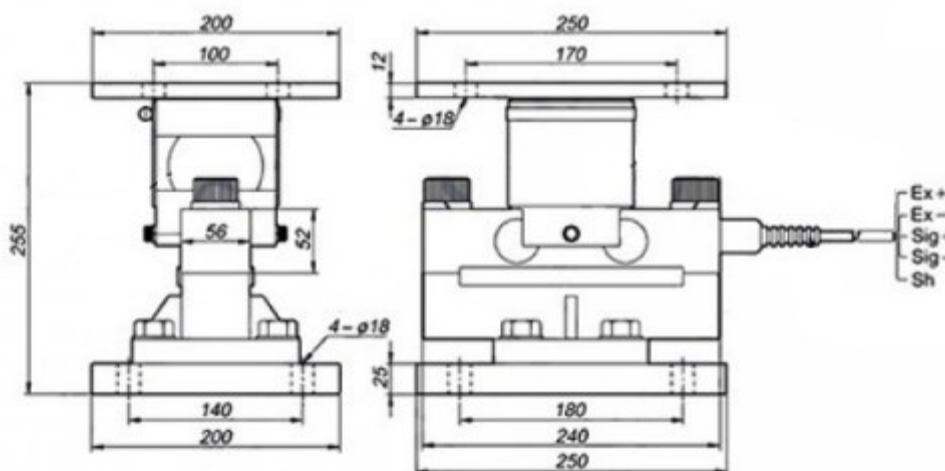


Рисунок 4.3 Монтажні та габаритні розміри ТД CAS DSB-B 30 т

4.2 Підбір частотного перетворювача та його налаштування

У зв'язку з тим, що переді мною стоїть задача автоматизувати процес виконання дослідження, виникає потреба у виборі частотного перетворювача. Адже саме ЧП дає можливість керувати та регулювати роботу двигуна.

Починаючи перевіряти ринок продукції було опрацьовано багато різновидних типів ЧП, адже більшість електротехнічних компаній виготовлять такого роду продукцію.

Постає важкий вибір, обрати дешевий ЧП, чи дорожчий, котрий було зібрано більш надійно та якісно і я можу бути впевненим, що даний ЧП буде довго відпрацьовувати свій потенціал

Вибір я завершив на частотному перетворювачі електротехнічної компанії Schneider, котра має чималий обсяг позитивних відгуків про свої товари, в тому числі й про ЧП. Тип частотного перетворювача було обрано по номінальному значенню потужності обраного в 3-ому розділі АД.



Рисунок 4.4 – Частотний перетворювач Altivar Machine ATV320

Модель, що була обрана є основою серії Altivar Machine ATV320. Зовнішній вигляд ЧП зображено на рисунку 4.4. Даний ЧП може виконувати живлення як

трифазних синхронних так і асинхронних двигунів. Його компактний тип виконання дозволяє вертикально розміщувати приводи всередині корпусу машини

Цей частотний перетворювач працює в межах номінальної напруги 380...500В, при частоті мережі – 50 або 60 Гц. Номінальний струм - 7,1 А. Розрахований на роботу двигуна у важкому режимі 3кВт.

Програмне забезпечення приводу містить 5 функцій безпеки, які допомагають машинам відповідати вимогам безпеки. Ці функції безпеки налаштовуються за допомогою програмного забезпечення SoMove. ЧП відповідає міжнародним стандартам IEC/EN 61800-5-1 і IEC/EN 61800-3 (захищеність від електромагнітної сумісності та електромагнітних випромінювань) та є сертифікованим CE, UL, CSA, NOM, EAC і RCM.

Задачі, котрі повинен виконувати даний частотний перетворювач:

- Виконання пуску та зупинки двигуна
- Виконувати регулювання швидкості двигуна, у випадку якщо це потрібно
- Перемикання між різними режимами(ланками) швидкості в залежності від типу досліджуваної пружини
- “Плавний” пуск/зупинка

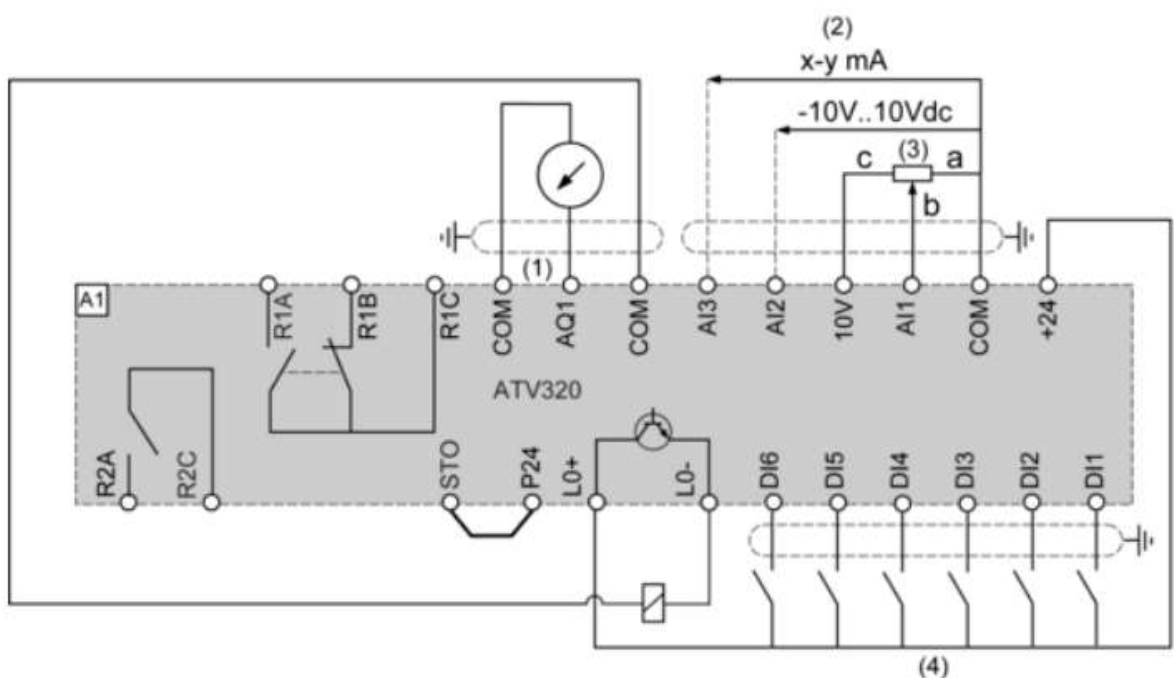


Рисунок 4.5 – Схема контактів підключення ЧП

На рисунку 4.5 зображено схему підключення контактів, а в таблиці 4.1 основні характеристики входів у ЧП моделі Schneider Altivar Machine ATV320.

Контакти на рисунку 4.5 розділені згідно груп, всього є 4 групи:

- I група контактів – Аналогові виходи
- II група контактів – Аналогові входи
- III група контактів – опорний потенціометр
- IV група контактів – цифрові входи

Типи захисту, котрий підтримує ЧП

- ❖ Обрив вхідної фази привод
- ❖ Перевантаження по струму між вихідн. фазами та землею привод
- ❖ Захист від перегріву привод
- ❖ Коротке замикання між фазами двигуна привод
- ❖ Тепловий захист привод

Таблиця 4.1 – Характеристики частотного перетворювача Schneider ATV320

<i>Характеристика</i>	<i>Опис характеристики</i>
1	2
Форма керуючої дії синхронним двигуном	Векторне керування без давача
Кількість дискретних входів	7
Тип дискретного входу	STO безпечне вимкнення крутного моменту (Safe Torque Off), 24 В постійна напруга, повний опір: 1,5 кОм DI1..DI6 логічні входи, 24 В постійна напруга (30 В) DI5 програмується як імпульсний вхід: 0...30 кГц, 24 В постійна напруга (30 В)
Метод доступу	Ведений CANopen

Продовження таблиці 4.1

1	2
Кількість дискретних виходів	3
Тип дискретного виходу	Відкритий колектор DQ+ 0...1 кГц 30 В постійний струм 100 мА Відкритий колектор DQ- 0...1 кГц 30 В постійний струм 100 мА
Кількість аналогових входів	3
Тип аналогового входу	AI1 напруга: 0..10 В постійний струм, повний опір: 30 кОм, роздільна здатність 10 біт AI2 біполярна диференційна напруга: +/- 10 В постійний струм, повний опір: 30 кОм, роздільна здатність 10 біт AI3 струм: 0-20 мА (4-20 мА, x-20 мА, 20-x мА або інша конфігур), повний опір: 250 Ом, роздільна здатність 10 біт
Кількість аналогових виходів	1
Тип аналогового виходу	Програмно-конфігурований струм AQ1: 0..20 мА повний опір 800 Ом, роздільна здатність 10 біт Програмно-конфігурована напруга AQ1: 0..10 В постійний струм повний опір 470 Ом, роздільна здатність 10 біт
Інтегрований гальмівний резистор	Так

Продовження таблиці 4.1

1	2
Тип релейного виходу	Конфігурована релейна логіка R1A 1 нормально відкритий електрична довговічність 100000 циклів Конфігурована релейна логіка R1B 1 нормально закритий електрична довговічність 100000 циклів Конфігурована релейна логіка R1C Конфігурована релейна логіка R2A 1 нормально відкритий електрична довговічність 100000 циклів Конфігурована релейна логіка R2C
Короткочасне перевищення моменту	170...200 % номінального крутного моменту двигуна
Максимальна вихідна частота	0,599 кГц
Компенсація ковзання ротора	Автоматичний при будь-якому навантаженні Налаштовується 0..300 % Недоступний при скалярному керуванні U/f(2 чи 5 точок)
Частота перемикання	2..16 кГц регульований 4..16 кГц з коефіцієнтом зниження
Тип гальмування	Постійним струмом
Лінійний струм	11,1 А при 380 В (важкий режим роботи) 8,4 А при 500 В (важкий режим роботи)
Максимальна вихідна напруга	500 В
Повна потужність	7,3 кВА при 500 В (важкий режим роботи)
Частота мережі	50..60 Гц

4.3 Вибір програмованого логічного контролера та основи його налаштування

ПЛК(PLC) – програмований логічний контролер, цифровий електронний пристрій, що використовується у виробничих галузях для автоматизації процесів виробництва, орієнтуючись на інструкції описані в програмі, завантаженої до пам'яті контролера.

Для виконання поставлених задач нам не потрібно обирати ПЛК, котрий має велику кількість можливостей. Тому було прийнято рішення , обрати ПЛК виробництва Aqteck 150-ї серії, який зображено на рисунку 4.6.



Aqteck

Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд ПЛК 150 виробництва Aqteck

Додатково, з ПЛК такої ж моделі була можливість працювати в університеті, тому всі тести можна було проводити , використовуючи матеріально-технічну базу університету.

ПЛК-150, виробництва Aqteck підтримує такі протоколи:

- ModBus-RTU, ModBus-ASCII
- DCON
- ModBus-TCP
- GateWay (протокол CODESYS)

Розширена інформація про систему, за допомогою якої працює контролер, описано в таблиці 4.2

Особливості контролера ПЛК-150:

- Компактний пластиковий корпус з кріпленням для монтажу на DIN-рейку.
- Наявність дискретних входів/виходів.
- Наявність аналогових входів/виходів.
- Послідовні порти обміну даними RS-485 і RS-232.
- Наявність порту Ethernet.
- Збільшення кількості дискретних і аналогових входів та виходів здійснюється за допомогою підмикання зовнішніх модулів вводу/виводу через будь-який з інтегрованих інтерфейсів.

Таблиця 4.2 – Ресурси, які використовує ПЛК

Центральний процесор	32-х розрядний RISC-процесор 200 МГц на базі ядра ARM9
Об'єм оперативної пам'яті	8 МВ
Обсяг енергонезалежної пам'яті збереження ядра CoDeSys, програм та архівів	4 МВ*
Розмір Retain-пам'яті	4 кВ**
Час виконання циклу ПЛК	Мінімальний 250 мкс (нефіксований), типовий від 1 мс

Індикація на панелі складається з:

- 1 індикатор живлення;
- 1 індикатор наявності зв'язку з CODESYS;
- 1 індикатор роботи програми користувача;
- 6 індикаторів стану дискретних входів;
- 4 індикатори стану виходів.

Напруга живлення ПЛК 90...264 В змінного струму при частоті 47...64 Гц. Споживана потужність становить 6 Вт. Також контролер має 3 інтерфейси зв'язку: Ethernet 100 Base-T; RS-232; RS-485.

Основна функціональна схема дуже проста в розумінні. Якщо оглянути Рисунок 4.7, на якому вона зображена, можна побачити, де знаходяться потрібні нам порти, та розпланувати подальші дії, для коректного підключення всіх елементів нашого проекту.

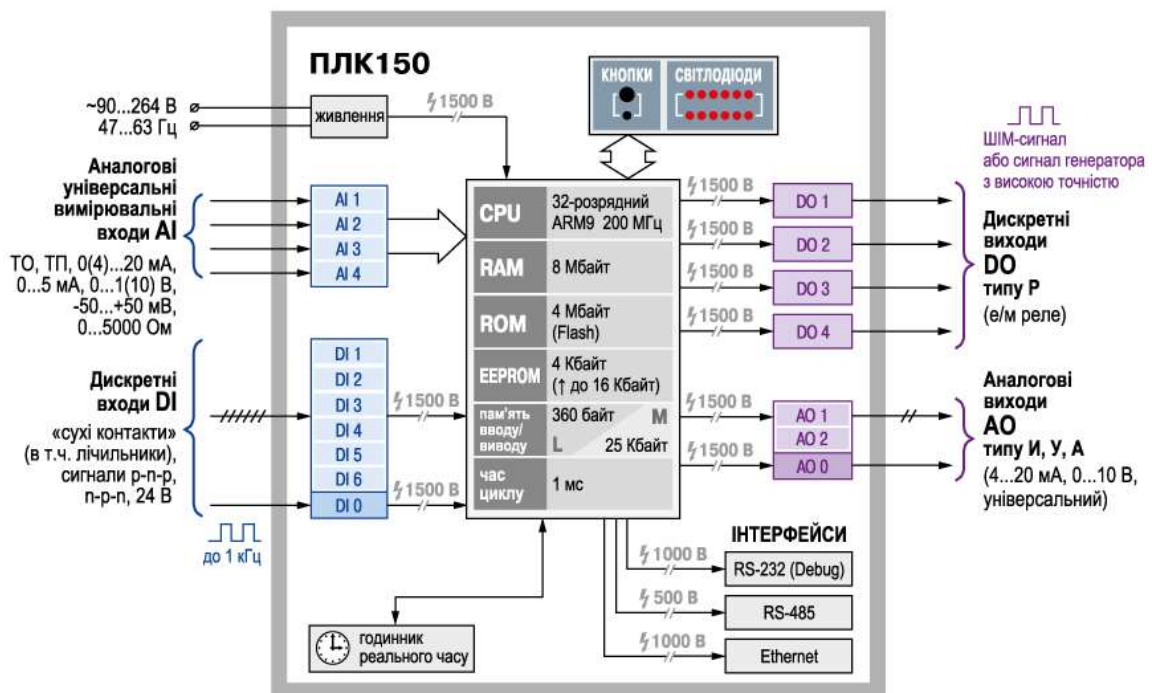


Рисунок 4.7 – Функціональна схема ПЛК-150.

Схема підключення живлення, дискретних входів та виходів ПЛК-150, виробництва Aqteck, наведена в ДОДАТКУ А.

Основні вимірювальні пристрої, що використовуються: коловий інкрементний енкодер, тензометричний датчик.

Опрацювавши отриманий матеріал по даному ПЛК, можна виділити декілька переваг цього контролера, у порівнянні з іншими:

1. Відсутність операційної системи, що підвищує надійність роботи контролера;

2. Підтримується робота з широким спектром аналогових датчиків;
3. Незалежні один від одного специфічні вводи (інтерфейси), для програмування контролера, на панелі: Ethernet, послідовні порти, USB Device
4. Наявність вбудованої акумуляторної батареї, котра забезпечує живлення для коректного запису отриманих результатів та баз даних.
5. Наявність можливості, виконувати програмування за допомогою нестандартних протоколів обміну даними за будь-яким з портів, що дає можливість підмикати до контролера лічильники електрики, води і газу, т.д.

4.4 Вибір панелі керування оператора

Для того, щоб можна було працювати з програмою, виконувати керування процесом дослідження та відслідковувати прогрес, нам потрібно обрати панель керування.



Рисунок 4.8 – Типовий вигляд панелі керування оператора типу СПЗхх

Підприємством на усіх верстатах було встановлено панелі керування типу СПЗхх виробництва Aqtech. В залежності від діагоналі дисплея відбувається поділення сенсорної панелі оператора на серійні різновиди, зображені на рисунку 4.8.

Через те, що працівники на підприємстві знайомі з тим, як працювати на панелі оператора типу СПЗхх, підбір звівся до того, який розмір дисплею обрати. Тому підбрано було панель оператора з діагоналлю 7 дюймів.

Модель сенсорної панелі оператора СП307-Р задовольнить всі потреби, тому і була обрана, адже вона має додатково, у порівнянні з версією СП307-Б:

- Ethernet (1 × 10/100 Мбіт/с (RJ45) – для підключення пристроїв. Підтримувані протоколи: Modbus TCP)
- USB Host (1 × USB 2.0 А - для архівів, імпорту файлів, завантаження проєктів. Підтримувані файлові системи: FAT16 / FAT32. Підтримуваний розмір накопичувачів: до 32 Гб.)

Загальні характеристики Панелі керування оператора СП307-Р описані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Апаратні характеристики СП307-Р

Параметр	Характеристика параметру
Частота процесора, МГц	400
Обсяг Flash-пам'яті, Мб	128
Допустиме число циклів перезапису Flash-пам'яті на блок даних	75 000
Оперативна пам'ять, Мб	128
Годинник реального часу (RTC)	Є, енергонезалежний
Звук	П'єзовипромінювач, з можливістю керування з програми
DIP-перемикачі	4 шт. (два – вільно програмовані)
Номінальна напруга живлення, В	24 В, постійна
Конструктивне виконання	Для щитового кріплення

4.5 Вибір модуля для вводу сигналу з тензодатчика

Для того, щоб не було проблем із сумісництвом через те, що ПЛК одного виробника а модуль-перетворювач іншого було визначено, що модуль має мати такого ж виробника, як і обраний ПЛК.

Тому остаточний вибір було зроблено на користь модуля вводу сигналів тензодатчиків МВ110-1ТД. Він зображений на рисунку 4.9



Рисунок 4.9 – Загальний вигляд модулю вводу сигналів тензодатчиків
MB110-1ТД

Основними особливостями обраного модуля вводу сигналів тензодатчиків MB110-1ТД є :

- Те, що цей пристрій призначений для вимірювання сигналів мостових ТД, перетворення даних, отриманих з ТД шляхом вимірювання, у значення фізичної величини та передавання результатів вимірювання у мережу RS-485;
- Пристрій MB110-224.1ТД має один вимірювальний канал для підмикання лише одного ТД;
- Пристрій працює у мережі RS-485 за протоколами ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON
- Мережа RS-485 на пристрої повинна мати «Майстер мережі», яким буде контролер.

Загальний креслення модуля вводу сигналів тензодатчика MB110-1ТД зображений на Рисунку 4.10. На ньому відмічені контакти, котрі зображені на схемі підключення на рисунку 4.11. Опираючись на Рисунки 4.10 та 4.11 виконується підключення ТД та самого модуля в коло керування.

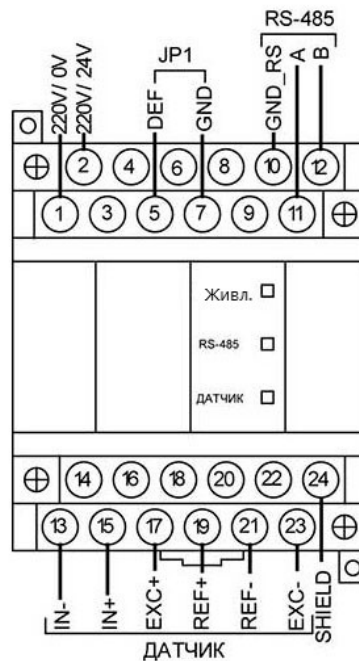


Рисунок 4.10 – Загальна схема модуля вводу сигналів MB110-1ТД

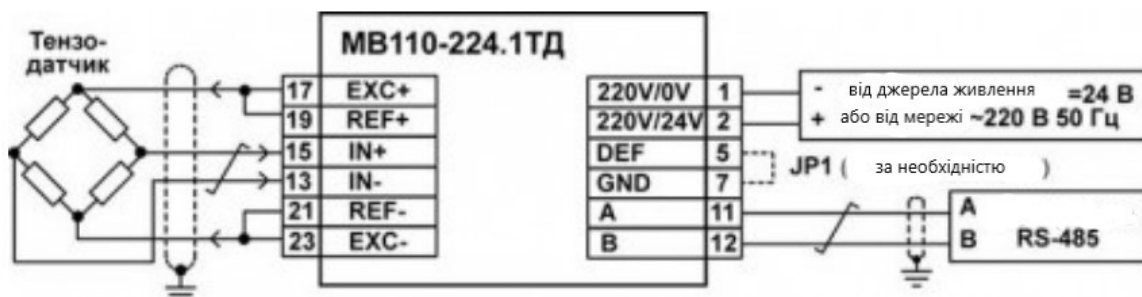


Рисунок 4.11 – Підмикання до пристрою MB110-224-1ТД зовнішніх пристроїв із застосуванням чотирьох-дротової схеми підмикання до датчика та використанням заземлення

4.6 Вибір індуктивного датчика

Індуктивний датчик є пристроєм, котрий використовує принцип індукції для виявлення наявності або відсутності об'єкта в його робочому просторі. В основі роботи пристроїв такого типу закладено виконання принципу електромагнітної індукції, який спирається на основи фізики, що стосуються магнітного поля та процесів, які пов'язані з цим явищем.

Даний тип датчика активується наявністю металевого об'єкта або матеріалу, здатного індуктивно реагувати на зміну магнітного поля.

До основних характеристик індуктивних датчиків відносяться:

- **Матеріал датчика**
Зазвичай індуктивні датчики виготовляються з немагнітних матеріалів, таких як нержавіюча сталь, дуже рідко з пластику, через їх крихкість.
- **Дальність виявлення:**
Кожен датчик має свою стандартизовану, прописану в паспорті відстань, на якій він може ефективно та без похибок виявляти наявність об'єкта в полі своєї зони відповідальності.
- **Чутливість:**
Вказує на те, наскільки точно датчик реагує на наявність об'єкта та яку похибку він має.
- **Форма фіксації:**
Може бути вбудованим у корпус обладнання або встановленим окремо в залежності в

Для виконання логіки заданого процесу нам потрібно обрати індуктивний датчик типу PNP NO для відслідковування кількості виконаних рухів

Було обрано індуктивний датчик XS112B3PAM12, котрий зображено на рисунку 4.12. Обраний датчик чудово нам вписується в структуру роботи модернізованого верстату.



Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд індуктивного датчика XS112B3PAM12

Цей індуктивний датчик буде встановлено, як показано на схемі Додатку Г, враховуючи відстань, описану на Рисунку 4.13, згідно якої він має знаходитись від металевого предмету, який досліджується.

Згідно рисунку 4.13 - $e (3) \geq 12 \text{ мм} / 0,47 \text{ in.}$ На рисунку 4.14 вказано усі розміри, а також під номером (1) – зазначено світлодіод. Рисунок 4.14 надає повну інформацію про те, яким чином потрібно встановлювати обраний індуктивний датчик.

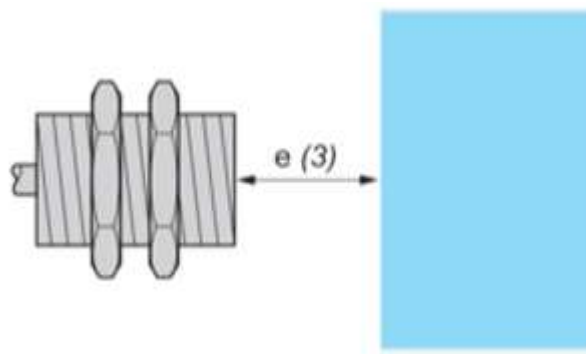


Рисунок 4.13 – Мінімальна відстань між досліджуваною поверхнею та датчиком

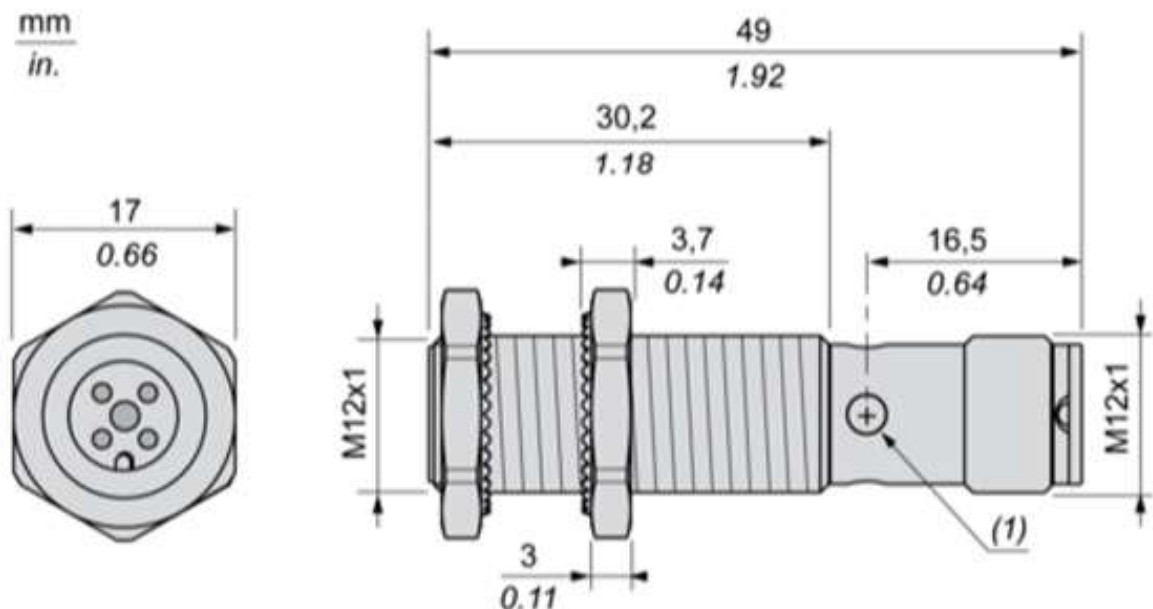


Рисунок 4.14 – Розміри індуктивного датчика XS112B3PAM12

Основні, потрібні для подальшої роботи, характеристики описані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні характеристики індуктивного датчика XS112B3PAM12

Параметр	Характеристика параметру
Матеріал корпусу	Нікельована латунь
Проводка	3-х провідний
Тип вихідного сигналу	Дискретний
Дискретний тип виводу	PNP
Номінальна напруга живлення	12...24 В постійного струму із захистом від зворотної полярності
Номінальна відстань зондування	4 мм
Операційна зона	0...3,2 мм
Світлодіод стану	Вихідний стан: 1 світлодіод (жовтий)
Тип різьби	M12 x 1
Температура навколишнього середовища для роботи	-25...70 °C
Стійкість до вібрації	Амплітуда 25 gn = +/- 2 мм (f = 10...55 Гц) відповідно до IEC 60068-2-6
Ударостійкість	50 gn протягом 11 мс відповідно до IEC 60068-2-27

Електричне підключення Індуктивного датчика буде відбуватись згідно описаного в паспорті виробу, зображеного на рисунку 4.15

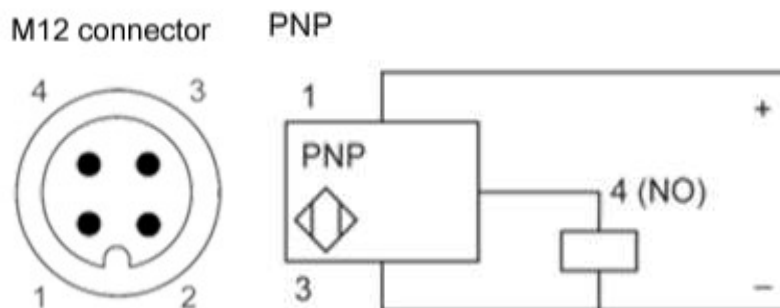


Рисунок 4.15 – Електричне підключення індуктивного датчика XS112B3PAM12

На рисунку 4.15: 1 – (+), 2 – Не підключається, 3 – (-), 4 – NO вихід

Висновки до четвертого розділу

Отже, в четвертому розділі було підібрано основні складові нашої системи. На основі цього було складено принципову електричну схему підключення, зображену на Додатку Б.

Загалом в четвертому розділі було підібрано:

- a) Тензометричний датчик CAS DSB-B 30 т

Потрібний для відслідковування наявності навантаження на досліджуваному об'єкті що впливатиме на роботу програми, яка проводить дослідження

- b) Частотний перетворювач Altivar Machine ATV320

Він буде відповідати за керування двигуном: керування обертами двигуна, Плавний пуск/стоп.

- c) ПЛК 150 виробництва Aqteck

Потрібен для логічного виконання запрограмованого циклу програми та керування імпульсами всіх складових систем електричної схеми.

- d) Сенсорна панель керування оператора СП307-Р

Вона потрібна для вводу первинних даних, керування та відслідковування виконання програми.

- e) Модуль вводу сигналів тензодатчиків MB110-1ТД

Пристрій призначений для вимірювання сигналів мостових ТД, перетворення даних, отриманих з ТД шляхом вимірювання, у значення фізичної величини та передавання результатів вимірювання у мережу RS-485 на ПЛК

- f) Індуктивний датчик XS112B3PAM12

Повинен виконувати роботу, для створення сигналів, для підрахунку кількості виконаних стиснень

5. Створення САК за допомогою програмного забезпечення

5.1 Основні відомості про програмне забезпечення

Написання логіки виконання задачі виконується за допомогою спеціальної програми CODESYS та мови програмування CFC.

CODESYS (скорочення від англ. COntroller DEvelopment SYStem) — інструментальний програмний комплекс промислової автоматизації. Інтерфейс оглядуваного програмного комплексу зображено на рисунку 5.1, з якого добре зрозуміло, що програмне забезпечення є досить легке у користуванні та розумінні.

В основі комплексу CODESYS закладено середовище розробки прикладних програм для програмованих логічних контролерів (ПЛК). Цей комплекс є у вільному доступі та встановлюється на робочих місцях, не потребуючи отримання ліцензії.

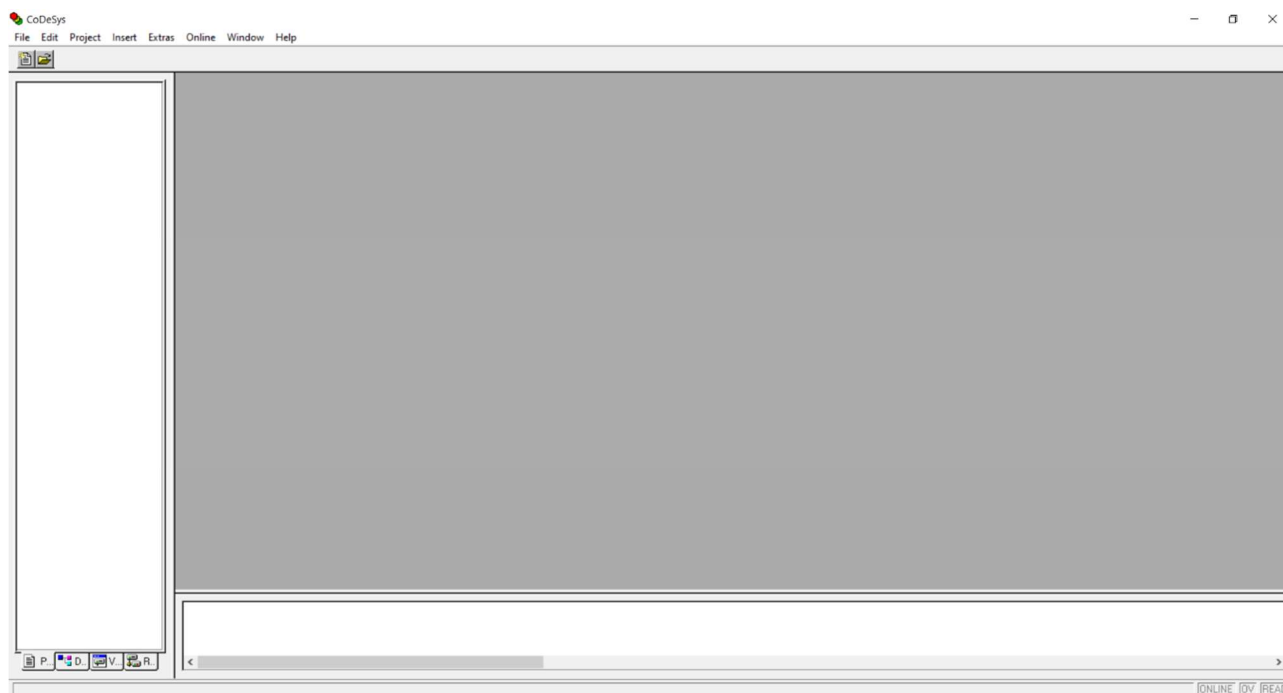


Рисунок 5.1 – Інтерфейс CODESYS v 2.3

У CODESYS для програмування є доступними усі п'ять визначених міжнародним стандартом IEC 61131-3 мов програмування:

- IL (англ. Instruction List) — асемблеро-подібна мова
- ST (англ. Structured Text) — Pascal-подібна мова
- LD (англ. Ladder Diagram) — мова релейних схем
- FBD (англ. Function Block Diagram) — мова функціональних блоків

- SFC (англ. Sequential Function Chart) — мова діаграм станів.

Також до складу CoDeSys входить редактор візуалізації, конфігуратор протоколів обміну і засоби налагодження.

Мова програмування CFC (Continuous Flow Chart, безперервна функціональна схема) – це один із варіантів мови FBD. Приклад написання програми мовою CFC зображено на рисунку 5.2.

Основною відмінністю CFC від FBD є те, що в редакторі CFC розміщувати компоненти програми і задавати порядок їх виконання дозволено довільним чином. Ці можливості відкривають доступ до легкого реалізовування зворотніх зв'язків, що зручно при розробці схем регулювання.

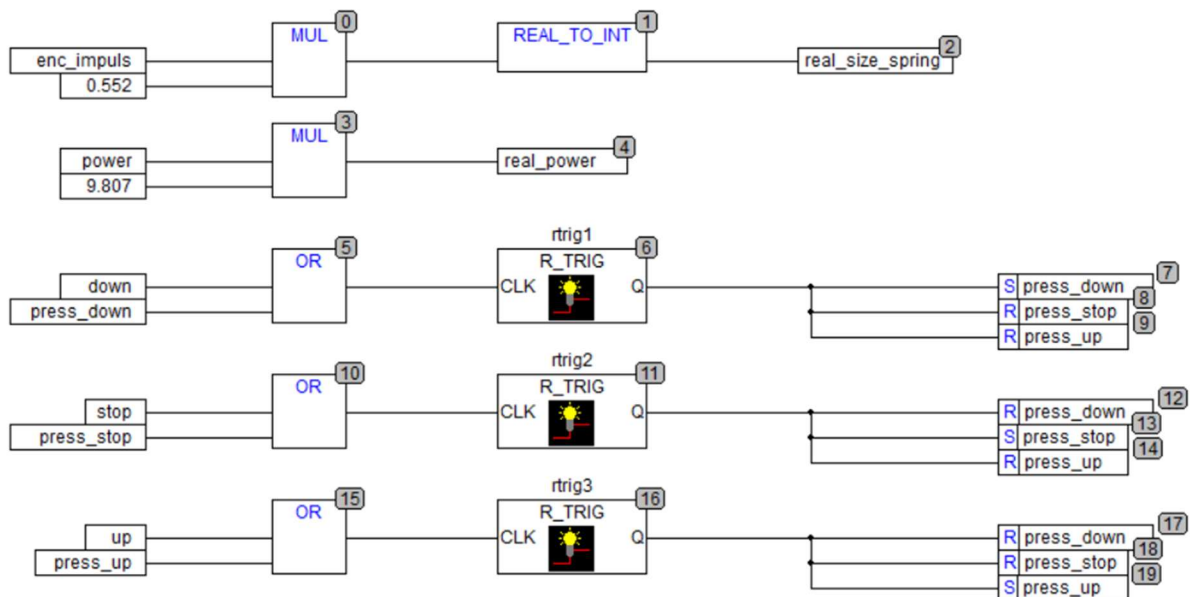


Рисунок 5.2 – Фрагмент програми мовою CFC

Так в типовій бібліотеці CFC блоків знаходяться:

- комплексні функціональні блоки, що реалізують управління клапанами, двигунами, насосами;
- блоки, що генерують аварійні сигнали;
- блоки PID-регулювання і т. д.

5.2 Програма керування кривошипним верстатом

Алгоритм роботи програми буде циклічного типу та має вигляд Рисунку 5.3.

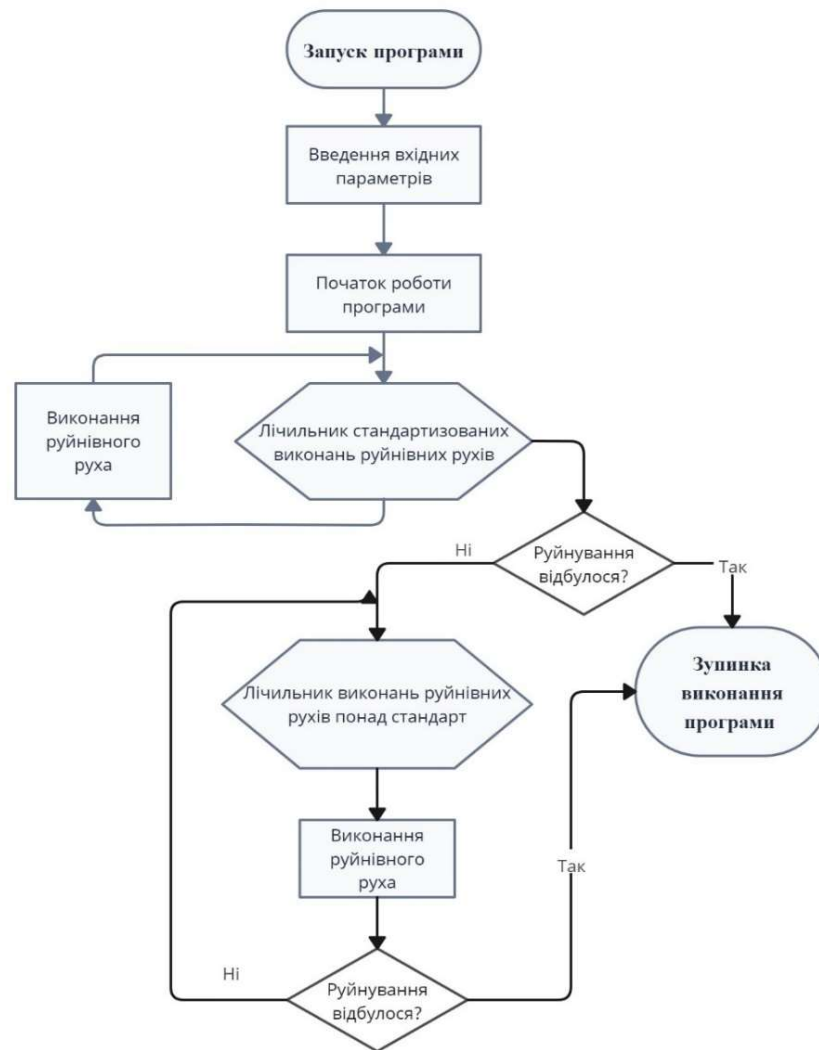


Рисунок 5.3 - Блок схема алгоритму виконання програми

Проаналізувавши блок схему на Рисунку 5.3, створенію програму керування кривошипним верстатом КД - 2124, яка наведений в ДОДАТКУ В.

Загалом програма складається з 3-х частин. Керування пуском/стопом двигуна, підрахування імпульсів за допомогою лічильника при стандартизованому значенні кількості потрібних імпульсів і підрахування імпульсів понад стандартизоване значення до моменту руйнування пружини.

На рисунку 5.4 зображена перша частина програми керування двигуном верстата. Для початку, потрібно назвати усі потрібні нам змінні та присвоїти їм тип, якому вони повинні відповідати.

Для зручності, я максимально згрупував змінні в декілька типів: всі керуючі змінні обрані типом `BOOL`, а змінні `P_nom` у вигляді `Real` та `standart` у вигляді `INT`

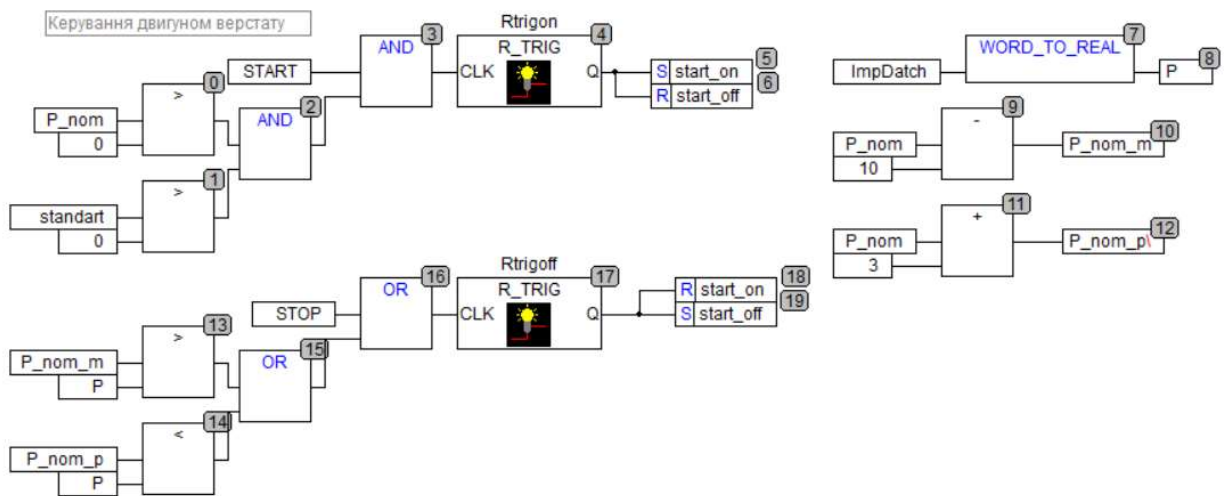


Рисунок 5.4 – Частина програми для керування двигуном верстату

Початок програми починається стандартно – з натиснення кнопки СТАРТ, але я додав обов’язковий пункт-перевірка: повинні бути заповнені змінні `P_nom` – значення навантаження, при якому перевіряється пружина та змінна `standart` – стандартизована кількість поступальних рухів при стандартизованому навантаженні, які повинна витримати пружина.

Тільки у випадку, коли обидві умови виконані, двигун може бути запущений. Виконання умов перевіряються за допомогою математичних блоків «>»(більше) та «ADD»(I).

Інша підгрупа `STOP` потрібна для зупинки двигуна, що призведе до припинення виконання усього процесу. Програма може зупинитись у 2-х можливих випадках.

Перший – натиснення аварійної кнопки “STOP” червоного кольору, у випадках необхідності втручання людини в проведення дослідження.

Другий – закінчення проведення дослідження шляхом руйнування пружини, завдяки доданим змінним `P_nom_r` та `P_nom_m`, котрі обрані типом `REAL`, як і змінні `P` та `P_nom`. Додані змінні потрібні для створення проміжку максимального

та мінімального значення навантаження, котре повинен виконувати верстат. Як тільки навантаження буде виконувати хоча б одне з нерівностей у блоках 13 та 14 Рисунок 5.4, двигун автоматично вимкнеться. Для отримання постійного значення навантаження вводиться змінна P, яка в свою чергу є похідною від змінної Imp_Datch.

Imp_Datch – на неї іде інформація з тензOMETричного датчика, обраного в розділі 4.1. Для використання інформації з нього, доводиться переводити значення з WORD в REAL. Ця постійна змінна потрібна для перевірки навантаження на досліджуваному об'єкті, і у випадку , коли навантаження зникне, за рахунок руйнування пружини, вона повинна зупинити процес дослідження та сам двигун.

На Рисунок 5.5 описане тіло програми для підрахунку виконаних рухів навантаження до стандартизованого значення кількості виконаних стиснень.

А на рисунку Рисунок 5.6 – для підрахунку виконаних рухів навантаження понад стандартизоване значення імпульсів. Розділення цих 2-х

Змінна down – імпульс, який отримує ПЛК з індуктивного датчика, котрий символізує повне виконання стиснення пружини.

Кількість виконаних поступальних рухів передається імпульсом на лічильник, котрий зараховує цей імпульс. На рисунках 5.5 та 5.6 використано 2 лічильники для роздільного підрахунку виконаних дій, відповідно блок 21 - stu_0 і блок 24 - stu_0. На лічильнику виконання поступальних рухів порівнюється зі стандартним значенням кількості цих рухів. Натискання кнопки RESET- скидає значення лічильників до 0.

Логіка написаних частин програми , зображених на рисунках 5.5 та 5.6 , майже однакова, за виключенням порівняння на блоках 20 та 31. Коли приходить сигнал з індуктивного датчика (down) при тому, що умови, написані в шапці блоків 20 та 31 виконуються, то сигнал йде на лічильники, в залежності, які блоки виконали умову, яка прописана в їх шапці.

Основа програми підрахунку виконаних рухів навантаження до стандартизованого значення

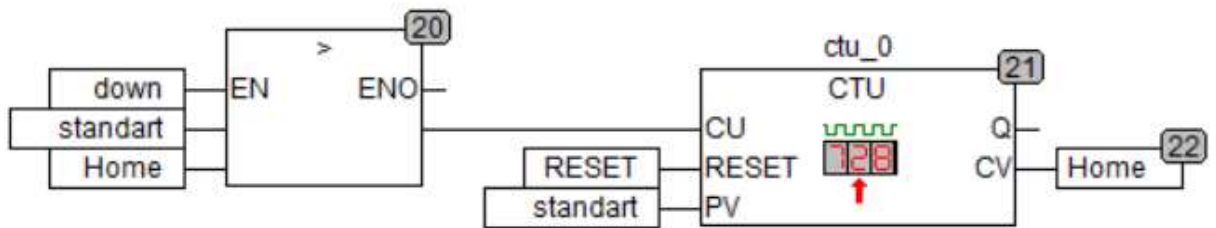


Рисунок 5.5 – Частина програми при стандартизованому значенні імпульсів

Основа програми підрахунку виконаних рухів навантаження понад стандартизоване значення

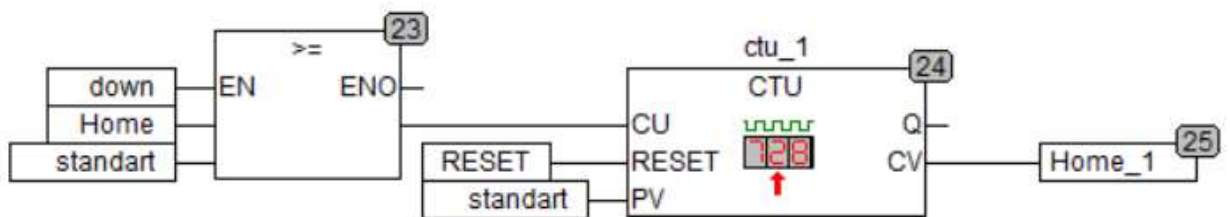


Рисунок 5.6 – Частина програми понад стандартизоване значення імпульсів

Візуалізація вигляду сенсорної панелі зображена на додатку Д

В даному випадку кнопки START та STOP прив'язуються до відповідного кольору кнопок, зеленого та червоного на сенсорній панелі та до механічних кнопок на робочому місці, на випадок не спрацювання сенсору. Візуалізація виконана у програмному середовищі TcpMaster_v7

Також на сенсорній панелі присутня кнопка RESET та місця вводу значень стандарту та номінального навантаження, від якого буде відштовхуватись виконання програми.

Кнопка RESET відповідає за скидання значень лічильників, тому вона присутня тільки у вигляді сенсорної кнопки.

Висновки до п'ятого розділу

Отже, у п'ятому розділі магістерської роботи було:

- Проведено ознайомлення з програмним забезпеченням та використанням середовища програмування Codesys v.2.3 ;
- Описано деякі основні можливості програмного забезпечення, спрямовані на спрощення роботи з програмою
- Створено в програмному середовищі Codesys v.2.3 програму керування кривошипним верстатом КД 2421.
- Описано логіку роботи програми, згідно зі створеної САК
- Створено та описано зовнішній вигляд програми, завантаженої на сенсорну панель

Маючи основу програми, можна створити додаткові гілки , для розширення можливостей використання верстату, якщо це буде актуальним питанням. Адже досліджуваний верстат має можливість виконувати роль преса.

6. Дослідження процесу випробування пружин на руйнування

Загалом процес руйнування можна охарактеризувати як процес втоми деталі. Випробування на втому деталі полягає у визначенні характеристик опору втомі досліджуваним об'єктом механічним випробуванням.

Всі дослідження, котрі стосуються пружних тіл базуються на Законі Гука.

Закон Гука є фундаментальним законом, який описує поведінку еластичних тіл, зокрема пружин. Він сформульований математично та визначає відношення між силою, що діє на пружину, і величиною її відхилення від рівноважної позиції. Закон Гука має вигляд формули 6.1 :

$$F = -kx \quad (6.1)$$

У формулі 6.1 буквені значення відповідають:

- F - сила, що діє на пружину,
- k - коефіцієнт пружності (жорсткість) пружини,
- x - відхилення пружини від рівноважної позиції.

Основна ідея закону Гука (формула 6.1) полягає в тому, що сила, яка діє на пружину, пропорційна величині її відхилення від рівноважної позиції і напрямлена в протилежний бік від цього відхилення. Мінусовий знак в рівнянні вказує на те, що сила спрямована протилежно до напрямку відхилення.

Коефіцієнт пружності k характеризує "жорсткість" пружини. Чим величина k, тим важче відтягнути чи стиснути пружину на одиницю відхилення.

Описаний закон часто використовується для апроксимації поведінки пружин в умовах невеликих відхилень від рівноважної позиції. В нашому дослідженні Закон Гука впливає на створення протидії циклічному навантаженню, котре за допомогою моменту виконує кривошип верстату, виконуючи при цьому поступальний рух, який стискує та повертає в початкове положення пружину.

Циклічне навантаження або змінні навантаження можуть призвести до втоми матеріалу. Пружини, які повторно піддаються навантаженням, можуть втратити

свою міцність з часом, що призводить до руйнування. Тому проведення досліджень пружин або інших виробів на «втому» є важливою частиною, при створенні пристроїв, механізмів тощо.

Загальні аспекти циклічного навантаження пружини включають в себе основні значення, описані в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 Аспекти циклічного навантаження пружини

Параметр характеристики	Опис параметру
Втома матеріалу	Циклічне навантаження може викликати втому матеріалу, що проявляється в поступовому наростанні деформації чи руйнуванні під впливом повторюваних навантажень
Циклічний режим деформації	Процес циклічного навантаження визначається зміною деформації пружини від максимального навантаження до мінімального та навпаки. Це може включати цикли розтягування та стиснення.
Циклічна напруга	У циклічному навантаженні виникає циклічна напруга на матеріалі. Визначення цих напруг важливо для аналізу тривалості служби та визначення параметрів втоми.
Кількість циклів до руйнування	Матеріали можуть витримувати певну кількість циклів навантаження до руйнування. Оцінка цієї властивості є важливою для прогнозування тривалості служби конструкцій та компонентів
Матеріальна властивість втоми (SN-крива)	Графічне зображення залежності кількості циклів до руйнування від рівня напружень.

Під час виконання дослідження, на кривошипному верстаті КД 2124 на початку ніяких змін, які може побачити неозброєне око, пружина не зазнає. На

процес руйнування пружини потрібно багато часу, адже пружні тіла виготовляються для того

Через те, що проведення такого виду дослідження може займати тижні, найбільш точну характеристику можна отримати, використовуючи різні види навантаження. Під час виконання досліджень, за допомогою частотного перетворювача, ми змінюємо частоту обертання двигуна, що регулює, в свою чергу, навантаження, яке тисне на пружину або іншу досліджувану одиницю.

Спостерігається поступове нарощування ушкоджень у матеріалі під впливом циклічних навантажень, що призводить до скорочення терміну служби через формування тріщин та руйнування.

«Втомна тріщина» формується в поверхневих шарах та поширюється всередину досліджуваного алі, утворюючи гострий розрив. Процес поширення втомної тріщини триває доти, поки поперечний переріз не стане настільки малим, що напруження в ньому перевищують руйнівні. На цьому етапі настає швидке руйнування, яке, як правило, має крихке характер через наявність гострого розриву.

Руйнування пружини відбувається за рахунок появи мікро-тріщин, які через певний період часу збільшуються в розмірах. Опираючись на дослідження, описане в джерелі 14, в якому автор розв'язує задачу за допомогою кінцевого метода початкових напружень, дослідити вплив тріщин на руйнування пружних тіл при виконанні дослідів на руйнування/втому. В цій роботі автор за допомогою критеріїв текучості Мізеса та Треска вирішує поставлену собі пружнопластичну задачу.

Існуюча на сьогодні теорія тріщино-утворення ґрунтується на використанні принципу збереження енергії, відповідно до якого джерелами енергії, яка необхідна для утворення нової поверхні руйнування у твердому тілі, повинна бути енергія пружного деформування і робота зовнішніх навантажень [14].

Дослідження критерію росту тріщин і визначення розмірів пластичної зони дають змогу істотно просунутись у вирішенні задачі оцінення довговічності деталей машин і транспортних засобів [14].

Висновок, який було отримано в науковій статті джерела 14 , описаний в попередньому абзаці можна може використовуватись також і в моїй роботі. Адже руйнування пружини відбувається через старіння та втому матеріалу, з якого вона виготовлена, бо постійні деформації призводять до зміни структури атомів.

Циклічне виконання рухів на верстаті КД 2124 призводить до створення мікро-тріщин, котрих не видно до певного моменту часу, але пройшовши певний період часу, який стандартно займає від тижня безперервної роботи кривошипну до декількох тижнів, вони розширюються і можна бачити їх рух до руйнування. Отримані значення руйнування, котрі були зафіксовані до моменту модернізації описані в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Дослідження пружини на верстаті до моменту модернізації та автоматизації

Тип пружини	Прогрес дослідження руйнування (Наявність деформації, тріщин , руйнування)				
	V день	VII день	IX день	XI день	XII день
Діаметр 20 см	Відсутні види деформації/руйнувань	наявні	Поява незначних тріщин на ружині	Поява значних тріщин	Руйнування пружини
Кількість поступальних рухів	216000	302400	388 800	475 200	518 400

Розрахунок кількості раз прикладання навантаження виконаний вручну, у зв'язку з відсутністю до моменту модернізації технічних можливостей

автоматизації процесу підрахунку. При підрахунку використовуємо залежність, що за 1 хв верстат виконує 30 поступальних рухів.

Отримані дані відповідають стандартам, котрих отримується підприємство. Про те, ці данні є не точними, у зв'язку з типом, що більшість з них була записана не в момент того, як це сталося, а коли побачили. Також, невідомо, яке навантаження надавав двигун в ті моменти.

Після модернізації та автоматизації кривошипного верстату дослідження виконуються більш точно та логічно. Адже результат буде збережено та можна буде уважніше роздивитись в які моменти відбулись ті чи інші події, а також відслідкувати показники кількості виконаних згинів та навантаження при яких воно відбулося. Випробування, проведене після виконання модернізації верстату описане в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 Випробування пружини діаметром 20 см на модернізованому верстатові

День фіксації	V день	VII день	IX день	XI день	XII день
Прогрес дослідження руйнування	Відсутні види деформації/ руйнувань	наявні	Поява незначних тріщин на ружині	Поява значних тріщин	Руйнування пружини
Кількість поступальних рухів	216000	302400	388 800	475 200	495000
Навантаження в моменті, кН	25	25,1	25,4	24,9	Спочатку 25,1, потім стає менше

Ці випробування отримали більш інформативний результат, адже на протязі всього випробування, додатково був проведений замір використаного навантаження. Маючи цю інформацію, в першу чергу, підприємство матиме змогу

використовувати ці дані для демонстрації та надання гарантійних зобов'язань, на те, скільки може витримати їх виріб при певному фіксованому навантаженню.

Знявши додаткові показники, створюємо таблицю 6.4 для проведення дослідження зміни навантаження. Дослід проводиться при навантаженні 25 кН. Проміжок допустимого зниження навантаження, при порушенні якого програма вимкне двигун верстату : $20 > 25 > 30$ кН.

Таблиця 6.4 – Значення навантаження в залежності від часу виконання дослідів

	Час(День)								
	1	3	5	7	8	9	10	11	12
Навантаження	25,7	26	25,4	25,3	25,35	24,2	24	23	21

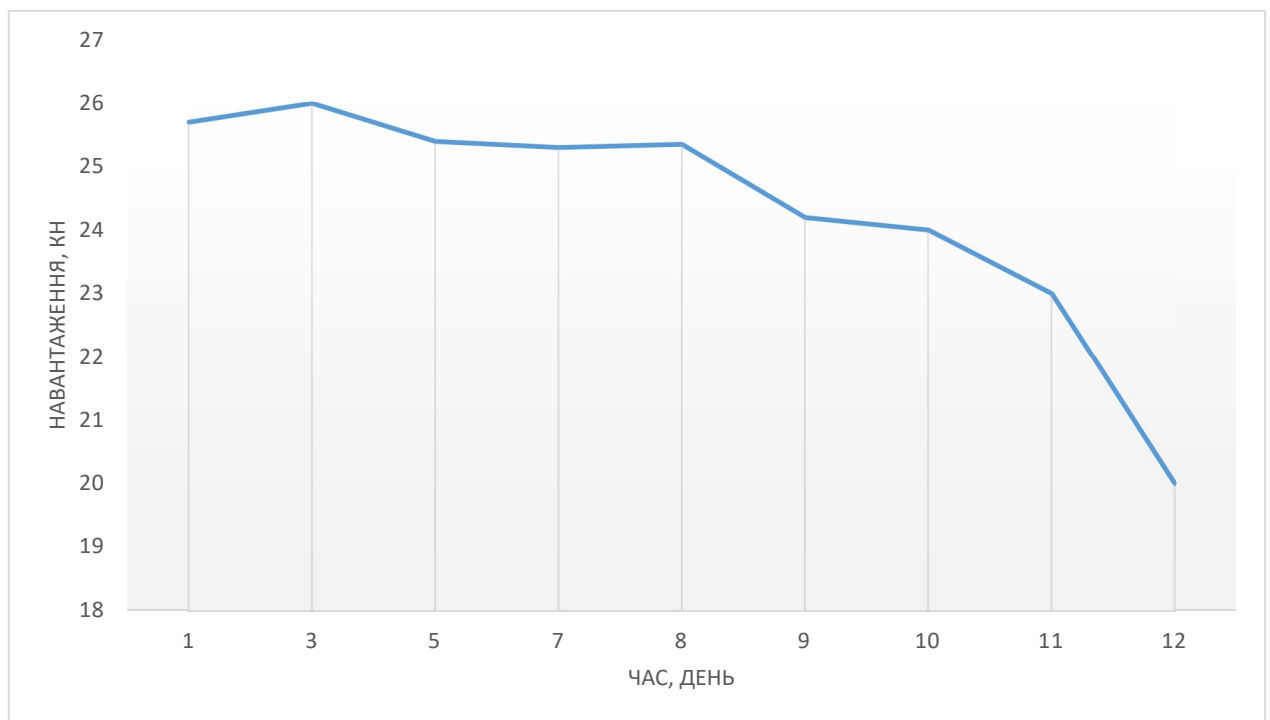


Рисунок 6.1 – Залежність навантаження від часу виконання роботи

На основі таблиці 6.4 побудував графік залежності значення навантаження в залежності від часу виконання дослідів. На графіку чудово видно процес втоми досліджуваного пружного тіла.

Опрацювавши отримані значення можна зробити декілька невеликих, але важливих висновків:

1). Програма працює в штатному режимі, адже вона вимкнула двигун, як тільки зруйнувалась пружина тоді , як наслідок, на ТД перестало фіксуватися навантаження.

2). Різниця між фінальними значеннями кількості виконаних поступальних рухів складає 23400 разів – що, згідно нашого попереднього розрахунку відповідає 13 годинам роботи в холосту верстата.

3) Виконана програма дозволила оглянути результати досліджень, коли в момент відсутності модернізації верстата, все «робилось на око».

Висновок до шостого розділу

В шостому розділі було розглянуто та описано дослідження пружини, опираючись на статті та знання отримані під час навчального процесу в університеті.

Було проведено розрахунок , опираючись на данні, отримані під час дослідження на верстаті, до проведення робіт з автоматизації та модернізації. Також було отримано дані після проведення модернізаційних та автоматизаційних дій. У порівнянні з даними, котрі були до модернізації – отримані результати несуть більш інформативний характер, надають можливість скласти більш точну характеристику , опираючись на дані навантажень та зміни в фізико-хімічних властивостях пружності пружин.

Отже, виконавши дослідницьку роботу, загальний принцип роботи кривошипного верстату для перевірки пружин на руйнування типу KD 2124 базується на базових законах фізики та виконує роботу опираючись на основи механотроніки.

Висновок

В даній магістерській роботі була порушена тема «Дослідження та модернізація кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин». За основу було взято верстат типу КД 2124.

У роботі були описані загальні характеристики верстата до модернізаційних змін та після. Було підібрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором на заміну того, який був встановлений. Обрали електроніку для керування процесом випробувань та відслідковування отриманих даних з тензометричного датчика та логічного лічильника. Було складено принципову схему підключення, та зображено на Додатку Б.

За допомогою програмного забезпечення CoDeSys на основі обраної системи САК було створено програму керування процесом випробування. Програма випробування зображена на Додатку В. Отримана програма виконує керування за допомогою обраного ПЛК, який керує процесами, посиляючи потрібні імпульси за допомогою замикання відповідних контактів.

Враховуючи необхідність якісної продукції пружин, дослідження даної магістерської роботи є одним із основних параметрів безпечного використання пружних елементів, які виготовляє підприємство.

Фактичне дослідження було виконане на верстаті до його повної модернізації та автоматизації та після неї. За результатами досліджень було отримано результати, які описують енергозбереження у зв'язку з відсутністю «холостого ходу» двигуна а також для створення розширеної характеристики досліджуваної продукції.

Використана література

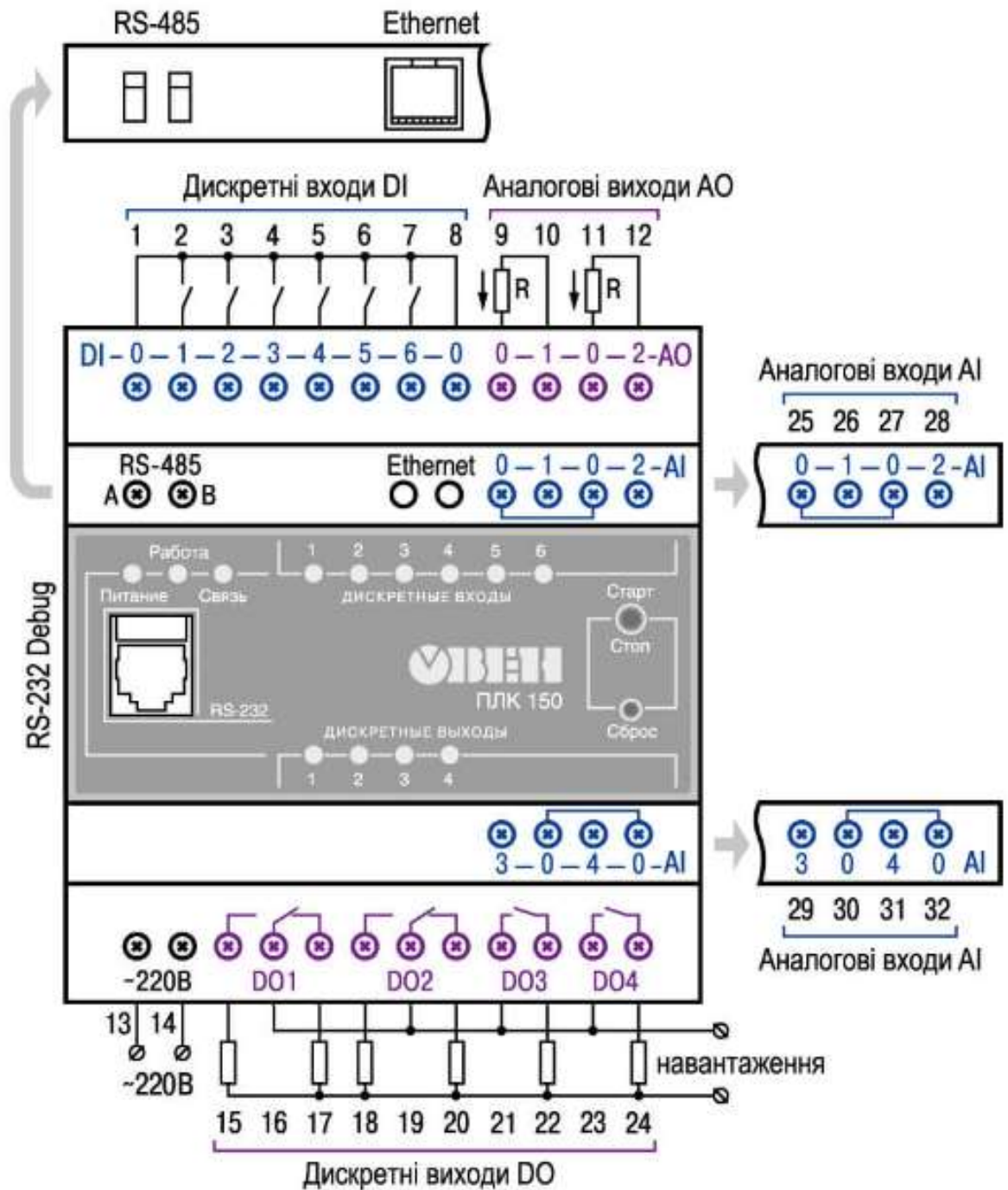
1. Каталог електродвигунів серії АІР. – Режим доступу:
https://aip.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/
2. Wahl A. M. Mechanical springs / A. M. Wahl. – Cleveland : Penton Publishing Company, 1944. – 463 p. Режим доступу:
[https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b76475&seq=42](https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b76475&seq=42)
3. Д38 Деталі машин : підручник / [Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін.]. – К. : Агроосвіта, 2013. – 448 с.
4. Горбенко А.П., Мартинов І.Е. Конструювання та розрахунки вагонів: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 150 с.
5. Каталог різнотипних верстатів. – Режим доступу:
http://stanki-katalog.ru/sprav_kd2124.htm
6. Паспорт з використання кривошипного верстату КД-2124. – Режим доступу:
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://aodolina.com/upload/iblock/335/KD2124.pdf
7. Каталог електродвигунів серії АДМ. – Режим доступу:
<https://agregat.me/trekhfaznye-elektrovdigateli-380v/36-adm112ma6-elektrovdigatel-3-kvt-1000-ob-trehfaznyj-ru/>
8. Онушко В.В. Шефер О.В. Електричні машини: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – 526 с.
9. Кацман М. М. Розрахунок і конструювання електричних машин – М.: Енергоатом видав, 1984.
10. Тензометричний датчик серії CAS. – Режим доступу:
<https://gipercenter.com.ua/uk/stalnoj-tenzometrisheskij-datchik-v-komplekte-s-uzlom-vstrojki-cas-dsb-b-30-t-d3>
11. Частотний перетворювач типу ATV виробництва Schneider. – Режим доступу:
<https://www.se.com/ua/uk/product/ATV320U30N4C>

12. Панель оператора моделі SP3xx виробництва Aqteck . – Режим доступу: <https://aqteck.com.ua/ua/paneli-operatora/sp3xx-sensorni-paneli-operatora/tehnichni-harakterystyky>
13. Куліченко, А. Я. Дослідження пружнопластичного руйнування методом кінцевих елементів / А. Я. Куліченко, А. Р. Мілянч // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-тех. пр. / Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2012. – Вип. 22 № 4. – С. 347–356.
14. Індуктивний датчик XS112B3PAM12 виробництва Schneider. – Режим доступу: <https://eref.se.com/ww/en/myse/product/XS112B3PAM12>
15. Чорний. О.П. Моделювання електромеханічних систем: підручник для ВНЗ/ О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовий. —Кременчук, 2001. – 376 с.
16. Онушко, В.В. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / В.В. Онушко, Д.В. Стрижеус. – Полтава, ПолтНТУ, 2010. – 81с.
17. Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г. Навчальний посібник до самостійного вивчення курсу "Основи метрології і електричних вимірювань" для студентів спеціальності 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” денної та заочної форм навчання. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 141 с.
18. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 454с.
19. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –131 с.
20. Шефер О.В. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни „Електричні машини” для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – 52 с.

ДОДАТКИ

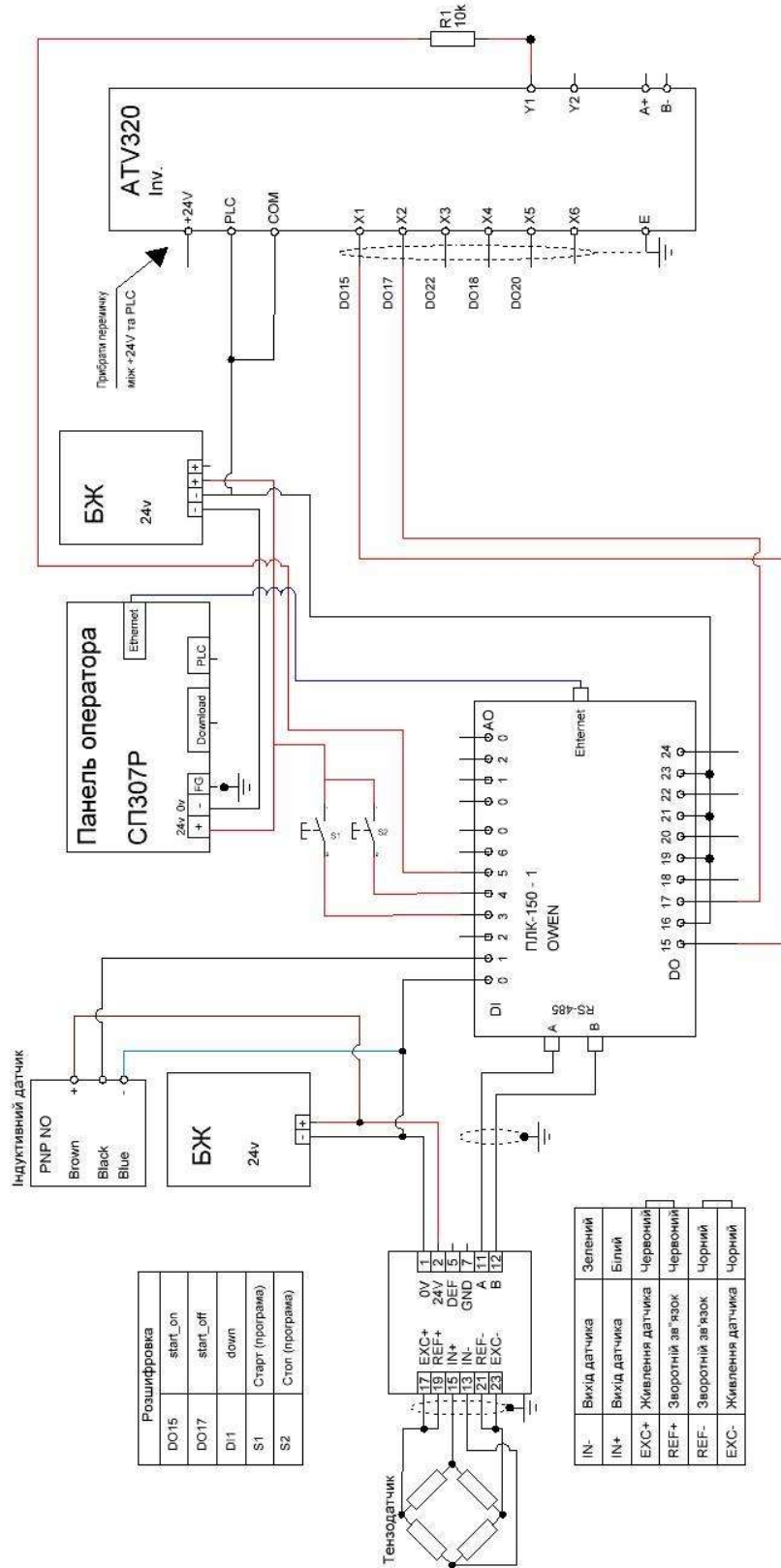
Додаток А

Схема підключення живлення, дискретних входів та виходів ПЛК-150



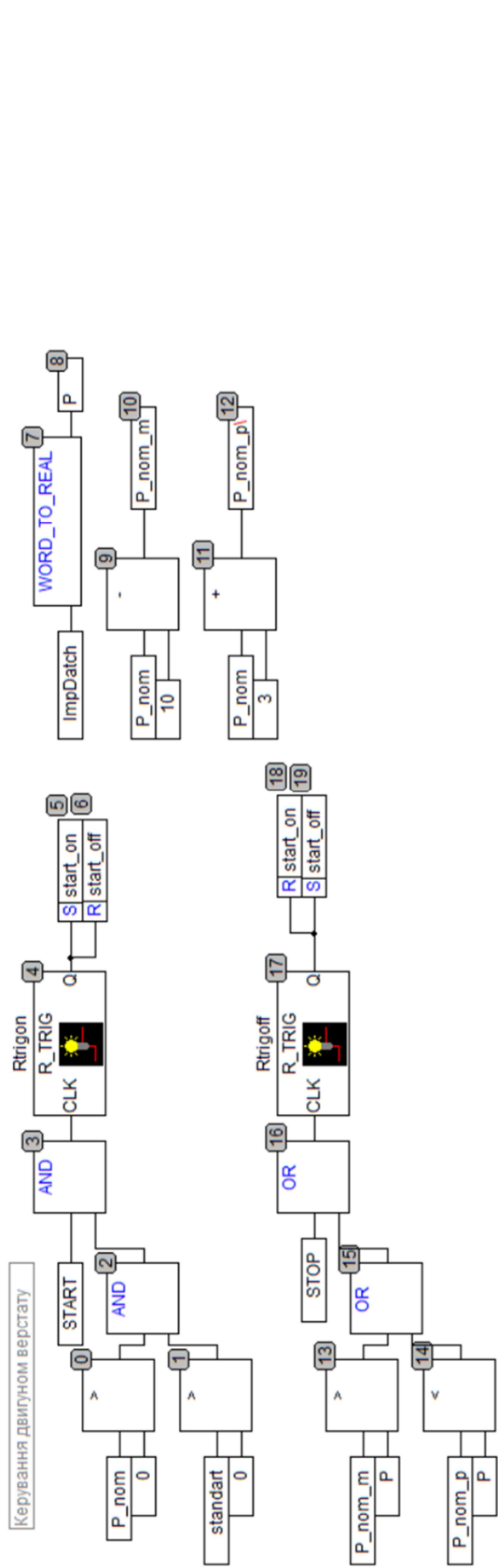
Додаток Б

Схема підключення всіх складових системи



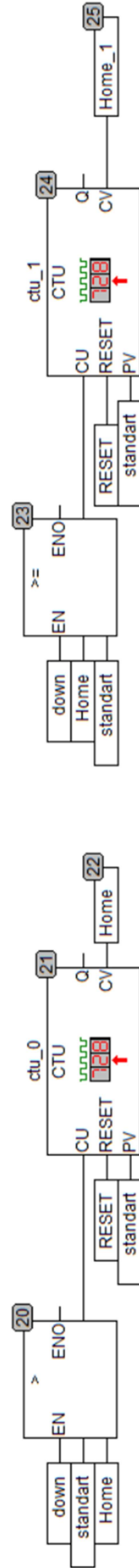
Додаток В

Загальний вид програми



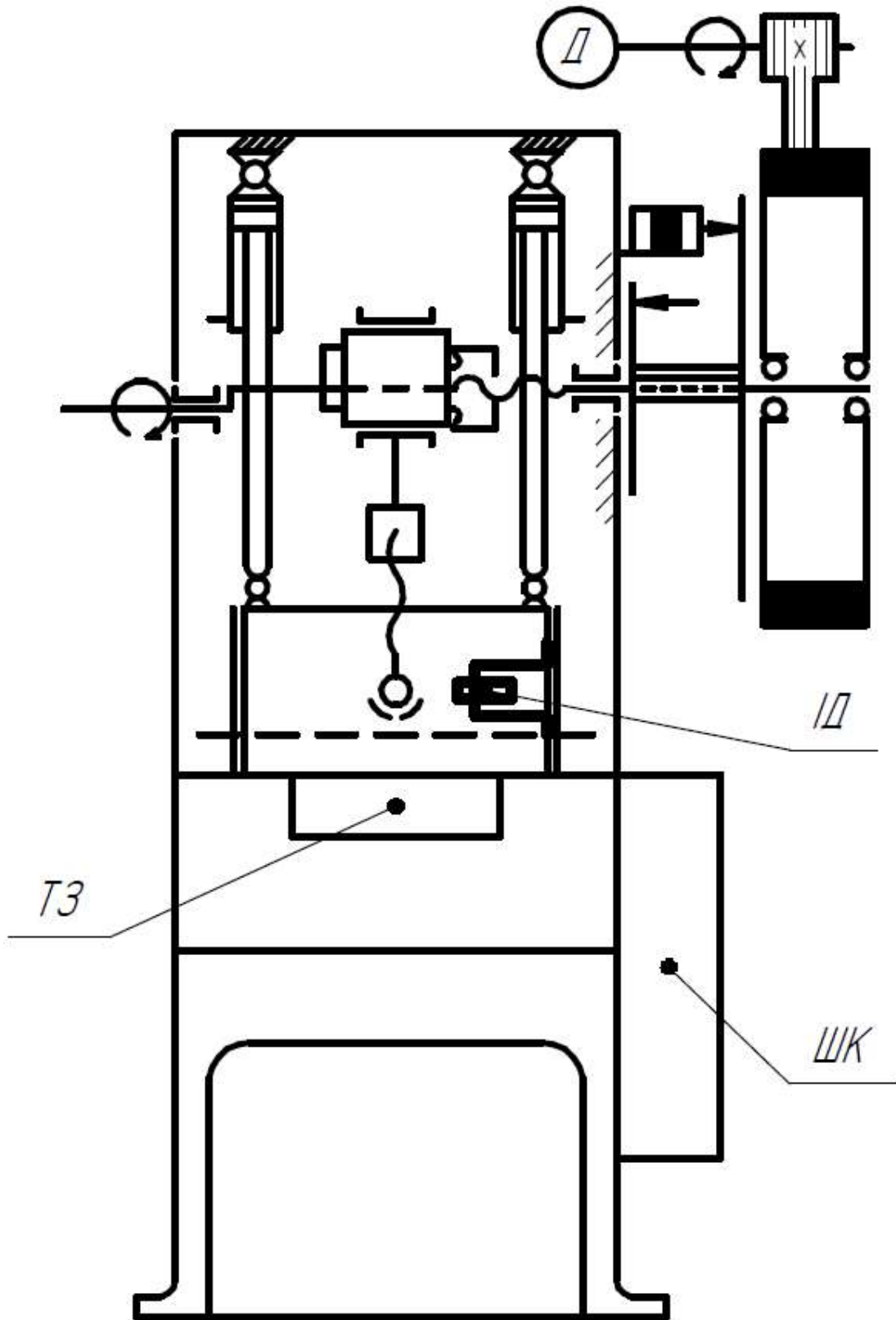
Основа програми підрахунку виконаних рухів навантаження до стандартизованого значення

Основа програми підрахунку виконаних рухів навантаження понад стандартизоване значення



Додаток Г

Схематичне зображення модернізованого верстату КД2124



Додаток Д

Візуалізація (Інтерфейс оператора)

Кривошипний верстат КД-2124

Поточне навантаження, кН:	4x5 000000	STOP	
Виконан поступальн рухи, шт:	4x2 0000		
Задати ном нальне навантаження, кН:	4x3 00000	4x0.0 RESET	START
Задати стандарт поступальних рух в, шт:	4x4 0000		

 **ЕКСПРЕС ПРУЖИНИ**

Додаток Е

Тези

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»

10 листопада 2023 року



Полтава 2023

О. Шефер, М. Бібік	
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ АНТЕН БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ...	78
М.А. Штомпель, С.Ю. Кальченко	
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ.....	80
О.І. Безверхий, В.Є. Луц	
ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОПОМОГИ ЛЮДЯМ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ.....	81
В.В. Гавриленко, І.І. Пекневич	
ХМАРНА ІНФРАСТРУКТУРА ЯК БАЗА ДЛЯ ПІДХОДІВ РІШЕНЬ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ.....	83
О. Шефер, А. Попенко	
ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЛИКОВИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ СТЕНДОМ.....	85
М.О. Педан, А.В. Трет'як	
РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	87
В.В. Гавриленко, А.О. Блиндарук	
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК NURBS КРИВИХ.....	89
О. Shefer, Ya. Mykhailenko, E. Sidan	
METHOD FOR RADIO SIGNAL INTERFERENCE COMPENSATION BASED ON A RECURSIVE ALGORITHM WITH CORRELATION FEEDBACK.....	91
О.Г. Дрючко, В.В. Соловійов, Н.В. Бунякіна, Д.Ю. Гончар, Я.С. Пащенко	
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ЛІТІЄВОЇ РУДНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЛІ-ІОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ НА РОДОВИЩАХ УКРАЇНИ.....	93
О. Shefer, O. Kushch, Ya. Sheptun	
ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NONLINEARITIES ON THE DISTORTION OF THE USEFUL SIGNAL.....	96
В.М. Галай, І.О. Сілін	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КРИВОШИПНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ РУЙНІВНОГО ВИПРОБУВАННЯ ПРУЖИН.....	98
Р.Р. Кісельов, М.К. Бороздін	
НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	100

УДК 62.5

В.М. Галай, к.т.н., доцент,

І.О. Сілін, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КРИВОШИПНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ РУЙНІВНОГО ВИПРОБУВАННЯ ПРУЖИН

Одним з етапів розвитку промисловості є оновленням матеріально технічної бази. На цьому шляху виникає два питання, придбати нове обладнання, або модернізувати існуюче. Модернізація є одним з головних аспектів розвитку підприємства, що дає можливість суттєво заощадити кошти та отримати унікальне обладнання якого не існує на ринку.

Руйнівне випробування пружин це тривалий та небезпечний процес. Який може тривати від декількох годин до однієї доби. Крім того необхідно порахувати кількість стискань та зафіксувати момент руйнування, що реалізувати технічно досить складно. Випробувальний стенд побудований на базі кривошипного верстату, що виконує поступальні рухи вгору та вниз, створює необхідне навантаження на пружину.

Враховуючи вище сказане, модернізація та автоматизація цього процесу є актуальною задачею.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд завдань:

- аналіз стану основних вузлів агрегату;
- розрахунок та вибір додаткового силового обладнання;
- аналіз та вибір засобів автоматизації та периферійного обладнання;
- розроблення електрично-принципової схеми та схеми електричних з'єднань;
- розроблення алгоритму керування процесом;
- розроблення програми керування та проведення налагоджувальних робіт.

Для керування процесом дослідження буде використано ПЛК серії 210 виробництва AQTECK, логіка виконання програми буде описана в програмному забезпеченні – CodeSys 3.5. Для програмування буде використана графічна мова - SFC, Виконання контролю роботи буде за допомогою встановленої сенсорної панелі оператора, серії СП307. Оператор отримає змогу керувати процесом вибору навантаження, типу пружини та підрахування кількості стиснень

Вибір параметрів для запуску програми буде виконано або з вибірки, або вводиться в ручному режимі для не стандартизованих видів виробів.

Двигун буде обрано згідно розрахунків та згідно серії 4АМ, через їх високий рівень надійності та з економічної точки зору.

Для обробки інформації ПЛК та внесення змін в роботу частотного перетворювача встановлено інкрементний енкодер, на виході якого формується послідовність дискретних імпульсів, котрі впливають на роботу програми.

Алгоритм роботи програми буде циклічного типу та має вигляд рисунок 1.

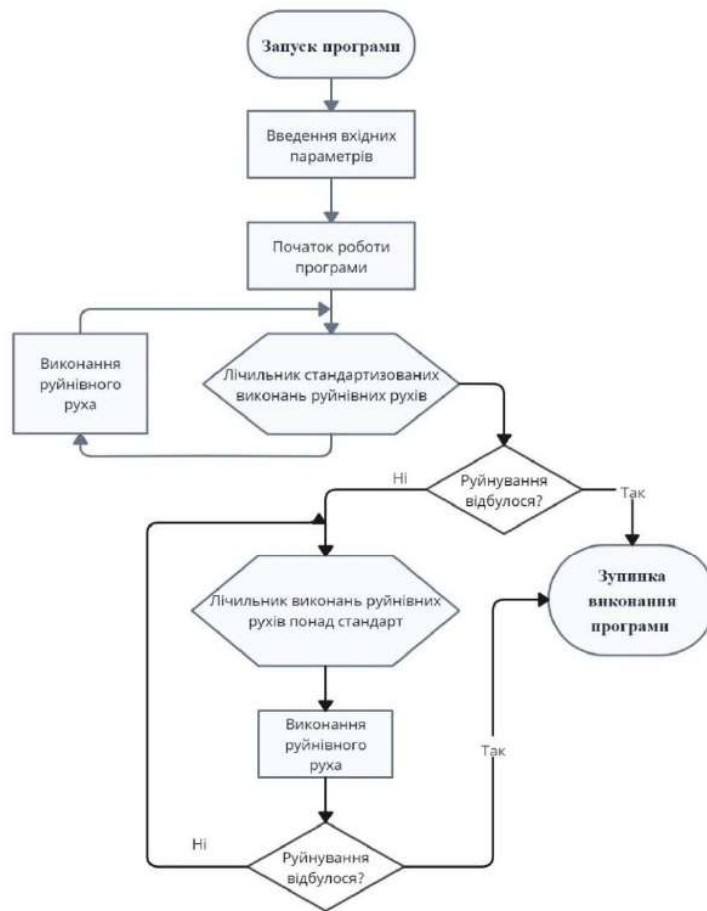


Рис. 1. Блок схема алгоритму виконання програми

В роботі розглянута модернізація кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин. Проаналізовано недоліки в роботі конструктивних складових механізму та логіки виконання задач. Розраховано та запропоновано спосіб вирішення завдання з модернізації використовуючи обладнання новітнього зразка та програмне забезпечення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Codesys softmotion. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.codesys.com/products/codesys-motion-cnc-botics/softmotion.html>
2. В.Л.Анхимюк. Теорія автоматичного регулювання / В.Л.Анхимюк. – М.: Мангуст, 2000. – 144с.
3. Онушко В.В. Шефер О.В. Електричні машини: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – 526 с.

RESEARCH AND MODERNIZATION OF A CRANK SPRING MACHINE FOR DESTRUCTIVE TESTING OF SPRINGS

V. Halai, Ph.D., Associate professor,

I. Silin, Master's Student

National University «Yuri Kondratuk Poltava Polytechnic»

Додаток Є

Розділ, котрий виконано англійською мовою

6. Research on the process of testing springs for failure

In general, the failure process can be characterized as the fatigue process of a component. Fatigue testing of a component involves determining the fatigue resistance characteristics through mechanical testing of the investigated object.

All studies related to elastic bodies are based on Hooke's Law.

Hooke's Law is a fundamental law describing the behavior of elastic bodies, particularly springs. It is formulated mathematically and defines the relationship between the force acting on a spring and its displacement from the equilibrium position. Hooke's Law is expressed by the formula 6.1:

$$F = -kx \quad (6.1)$$

In formula 6.1, the letter values correspond to:

- F - force acting on the spring,
- k - spring stiffness coefficient,
- x - displacement of the spring from the equilibrium position.

The basic idea of Hooke's Law (formula 6.1) is that the force acting on the spring is proportional to its displacement from the equilibrium position and is directed opposite to this displacement. The minus sign in the equation indicates that the force is directed opposite to the direction of the displacement.

The spring stiffness coefficient k characterizes the "stiffness" of the spring. The greater the value of k , the harder it is to stretch or compress the spring per unit displacement.

The described law is often used to approximate the behavior of springs under conditions of small deviations from the equilibrium position. In our research, Hooke's Law influences the creation of resistance to cyclic loading, which is performed by the cam of the machine, executing translational motion and compressing and returning the spring to its initial position.

Cyclic loading or variable loading can lead to material fatigue. Springs subjected to repeated loading may lose their strength over time, leading to failure. Therefore, conducting fatigue testing of springs or other products is an important part of the creation of devices, mechanisms, and so on.

The general aspects of cyclic loading of a spring include the fundamental values described in Table 6.1.

Table 6.1 Aspects of cyclic loading of a spring

Characteristic Parameter	Description
Material Fatigue	Cyclic loading can induce material fatigue, manifested in the gradual accumulation of deformation or failure under the influence of repeated loads.
Cyclic Deformation Mode	The process of cyclic loading is determined by the change in the spring's deformation from maximum loading to minimum and vice versa. This may involve cycles of stretching and compression.
Cyclic Stress	In cyclic loading, cyclic stress occurs in the material. Determining these stresses is essential for analyzing service life and defining fatigue parameters.
Number of Cycles to Failure	Materials can withstand a certain number of loading cycles before failure. Evaluating this property is crucial for predicting the service life of structures and components.
Material Fatigue Property (SN Curve)	Graphical representation of the relationship between the number of cycles to failure and the stress level.

During the research on the crank press machine KD 2124, at the initial stages without any noticeable changes visible to the naked eye, the spring does not undergo any changes. The process of spring failure takes a considerable amount of time, as springs are designed for prolonged use.

Since conducting this type of research can take weeks, the most accurate characterization can be obtained by using various types of loading. During the experiments, using a frequency converter, we alter the engine rotation frequency, which, in turn, regulates the load pressing on the spring or other investigated units.

Gradual damage accumulation in the material under the influence of cyclic loading is observed, leading to a shortened service life due to the formation of cracks and failure.

A "fatigue crack" forms in the surface layers and propagates inside the investigated alloy, creating a sharp rupture. The process of fatigue crack propagation continues until the cross-section becomes so small that the stress in it exceeds the critical level. At this stage, rapid failure occurs, which usually has a brittle character due to the presence of a sharp rupture.

The failure of the spring occurs due to the emergence of micro-cracks, which increase in size over time. Based on the research described in reference 14, where the author solves the problem using the finite element method for initial stresses, the influence of cracks on the failure of elastic bodies during failure/fatigue tests is investigated. In this work, the author solves the elastic-plastic problem using the Mises and Tresca yield criteria.

The existing theory of crack formation is based on the principle of energy conservation, according to which the energy required to create a new fracture surface in a solid body must be the energy of elastic deformation and the work of external loads [14].

Research on crack growth criteria and determination of the size of the plastic zone significantly advances the solution to the problem of assessing the durability of machine parts and vehicles [14].

The conclusion obtained in scientific article 14, described in the previous paragraph, can also be applied in my work. The spring failure occurs due to aging and material fatigue, as constant deformations lead to a change in the atomic structure.

Cyclic execution of movements on the KD 2124 machine leads to the creation of micro-cracks that are not visible until a certain point in time. However, after a certain

period, typically ranging from a week of continuous crank operation to several weeks, these cracks expand, and their movement towards failure becomes visible.

The obtained failure values recorded before the modernization are described in Table 6.2.

Table 6.2 – Investigation of the Spring on the Machine Prior to Modernization and Automation

Spring Type	Progress of Failure Investigation (Presence of Deformation, Cracks, Failure)				
	V Day	VII Day	IX Day	XI Day	XII Day
20cm Diameter	No visible deformations/ failures		Appearance of minor cracks on the spring	Appearance of significant cracks	Spring failure
Number of Translational Movements	216000	302400	388 800	475 200	518 400

The calculation of the number of cycles was performed manually due to the absence of technical capabilities for automating the calculation process until the moment of modernization. In the calculations, we use the dependency that the machine performs 30 translational movements in 1 minute.

The obtained data conform to the standards typically acquired by the enterprise. It should be noted that these data may not be entirely accurate, as most of them were recorded not at the moment of occurrence but upon observation. Additionally, the load applied by the engine during those moments is unknown.

After the modernization and automation of the crank press machine, the research is conducted more accurately and logically. The results are preserved, allowing for a closer examination of the moments when certain events occurred. Moreover, it enables tracking indicators of the number of bends and the associated loads.

The testing conducted after the modernization of the machine is described in Table 6.3.

Table 6.3 Testing of a 20 cm Diameter Spring on the Modernized Machine

Spring Type	Progress of Failure Investigation (Presence of Deformation, Cracks, Failure)				
	V Day	VII Day	IX Day	XI Day	XII Day
20cm Diameter	No visible deformations/ failures	visible	Appearance of minor cracks on the spring	Appearance of significant cracks	Spring failure
Number of Translational Movements	216000	302400	388 800	475 200	518 400
Load at the Moment, kN	25	25,1	25,4	24,9	Initially 25.1, then 0.

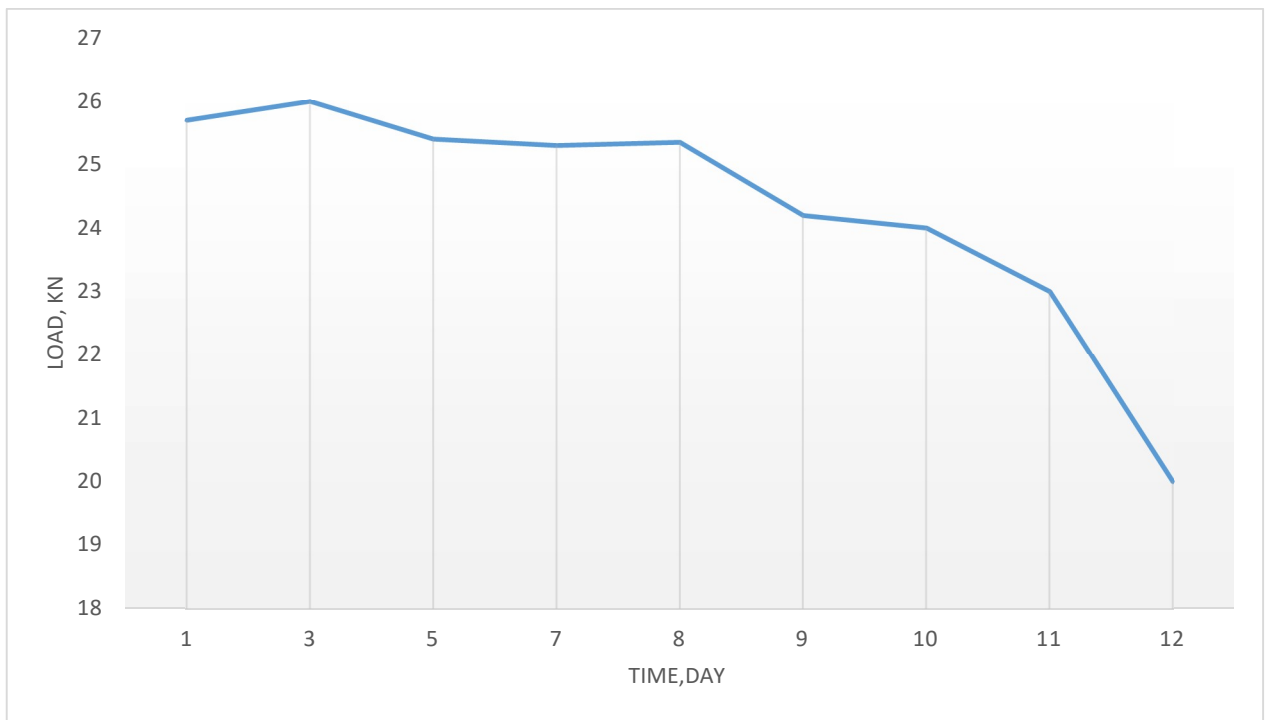
These tests yielded more informative results because, throughout the entire testing process, an additional measurement of the applied load was conducted. With this information, the enterprise will primarily be able to use these data for demonstration and warranty obligations, indicating how much their product can withstand under certain fixed loads.

Removing additional indicators, we create Table 6.4 to conduct a study on load variation. The study is carried out under a load of 25 kN. The permissible load reduction range, upon violation of which the program will shut down the machine motor, is as follows: 20>25>30 kN.

Table 6.4 - Load values depending on the research execution time

	Time (Day)								
	1	3	5	7	8	9	10	11	12
Load	25,7	26	25,4	25,3	25,35	24,2	24	23	21

Figure 6.1 - Dependency of load on the execution time of the work



Based on Table 6.4, I constructed a graph illustrating the relationship between load values and the execution time of the study. The graph clearly depicts the fatigue process of the investigated elastic body.

Analyzing the obtained values allows us to make several small but important conclusions:

The program is operating in normal mode, as it shut off the engine as soon as the spring failed. Consequently, the load on the testing device stopped being registered on the data acquisition system.

The difference between the final values of the number of translational movements is 23,400 times. According to our previous calculation, this corresponds to 13 hours of idle operation of the machine.

The implemented program allowed reviewing the research results, providing insights into the moments when, in the absence of machine modernization, everything was done "by eye."

If you have any further questions or need additional assistance, feel free to ask.

Conclusion for Chapter Six

Chapter six delves into the examination and description of the spring research, drawing on articles and knowledge acquired during the academic process at the university. Calculations were performed based on the data obtained during experiments on the machine, prior to the implementation of automation and modernization works. Additionally, data was collected after the modernization and automation efforts.

In comparison to the pre-modernization data, the results obtained carry a more informative character, providing the opportunity to create a more precise characterization based on load data and changes in the physico-chemical properties of the springs.

Therefore, having conducted this research, the fundamental operating principle of the crank press machine for testing KD 2124 type springs is rooted in the basic laws of physics and performs its functions relying on the principles of mechatronics.

Додаток Ж

Презентація

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Дослідження та модернізація кривошипного верстату для
руйнівного випробування пружин**

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Студент групи 601МЕ

Керівник

К.т.н., доцент

Сілін І.О.

Галай В.М.

Полтава 2023

Стратегія модернізації кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин

Мета: модернізація, автоматизація та дослідження роботи кривошипного верстата для руйнівного випробування пружин та створення програми для САК на базі програмованого логічного контролера забезпечення на базі програмованого логічного контролера

Модернізація кривошипного верстату типу КД-2124 складається з таких умов:

- заміна електроніки, пристроїв керування;
- створення САК двигуном кривошипного верстату;
- підбір та заміну на схожі по характеристикам складові електродвигуна;

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи необхідно вирішити комплекс завдань:

- вибір та аналіз програмного та апаратного забезпечення для автоматизації кривошипного верстата;
- створення програми на базі обраного програмного забезпечення та підключення пристроїв керування електроприводу кривошипного верстату;
- налаштування та забезпечення роботи верстату й постійного слідкування за результатами в режимах Online та Offline.

Пружина



Пружина – являє собою деталь, котра відноситься до ряду механічних елементів, який використовується для зберігання та передачі механічної енергії в системах, спираючись на свою фізичну властивість – пружну деформацію.

Верстат КД-2124

Верстат КД 2124 – це однокривошипний прес, двосторонній призначений для виготовлення деталей операціями холодного листового штампування: гнучкою, вирубкою, пробивкою, неглибокою витяжкою а також можливе використання даного пресу для проведення дослідницької роботи з руйнівного випробування пружин.

Задачею магістерської роботи є модернізувати його під виконання автоматичного дослідження, задавши потрібні відповідні параметри.

Верстат КД-2124 може працювати у чотирьох режимах роботи:

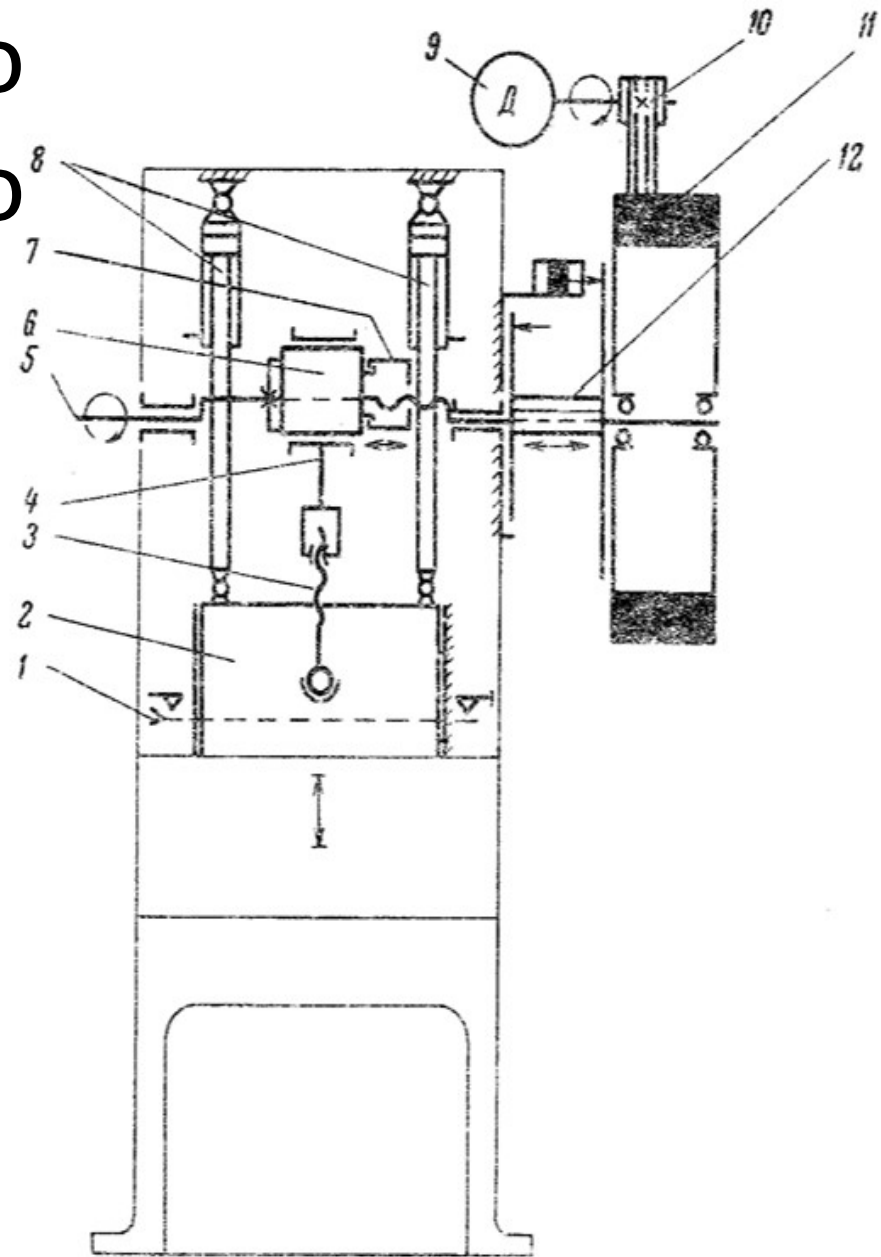
- Безперервний хід
- Одиночний хід
- Товчок
- Ручний прохід



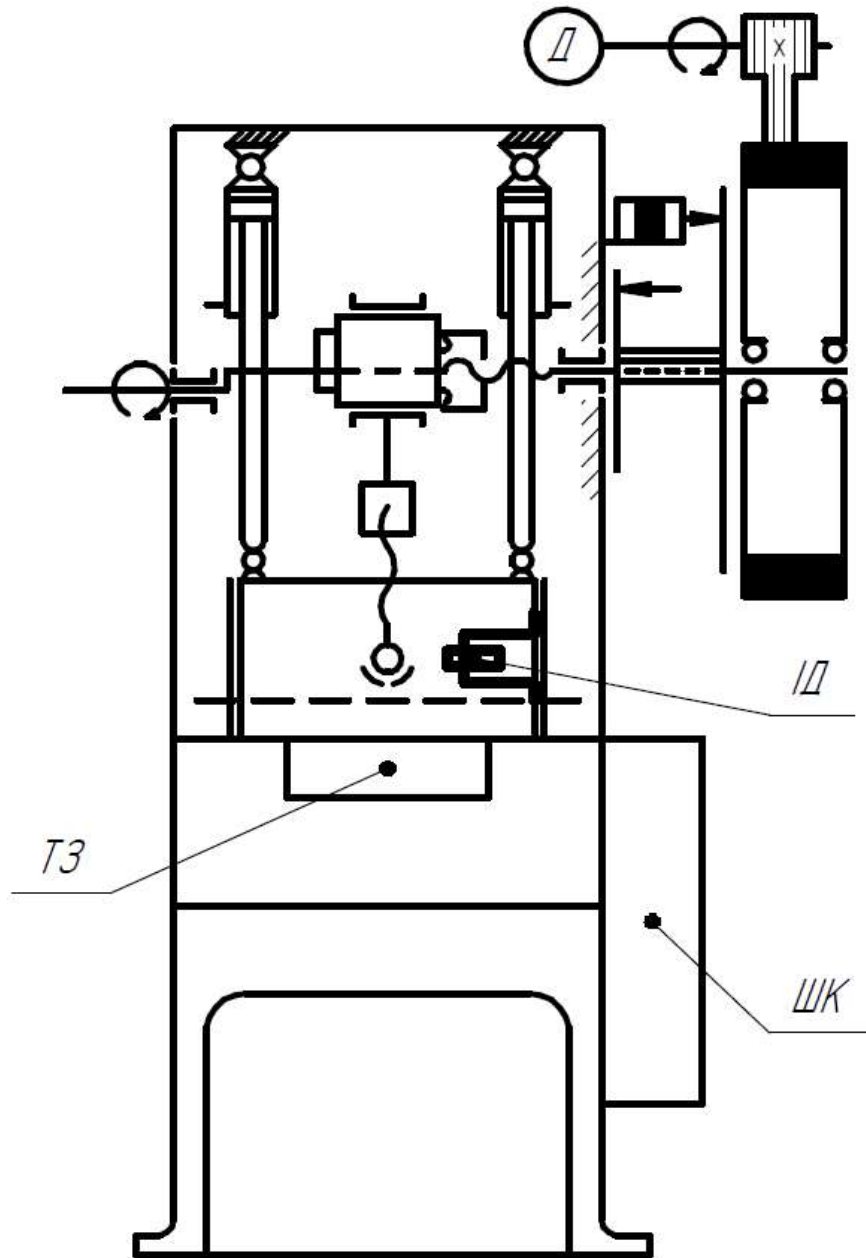
Кінематична схема одно-кривошипного верстату КД-2124 до модернізації

Складові кінематичної схеми одно-кривошипного вертату:

- 1 – планка виштовхувальника,
- 2 – повзун,
- 3 – регулювальний винт,
- 4 – шатун,
- 5 – ексцентриковий вал,
- 6 – ексцентрована втулка,
- 7 – гайка,
- 8 – урівноважувач,
- 9 – електродвигун,
- 10 – шків,
- 11 – маховик,
- 12 – муфта-гальмо



Кінематична схема одно-кривошипного верстату КД-2124 після модернізації



T3 – Тензометричний датчик CAS DSB-B
30 т

ID – Індуктивний датчик
XS112B3PAM12

ШК – Щит керування

Обладнання для керування процесами



AQteck

Логічний контролер
AQteck PLC 150



Тензодатчик CAS
DSB-B 30



AQteck

Модуль вводу сигналів
тензодатчиків MB110-1ТД



Частотний перетворювач
Altivar Machine ATV320



AQteck

Панель керування оператора
типу AQteck СП3хх

Обраний двигун на заміну встановленого до початку процесу модернізації

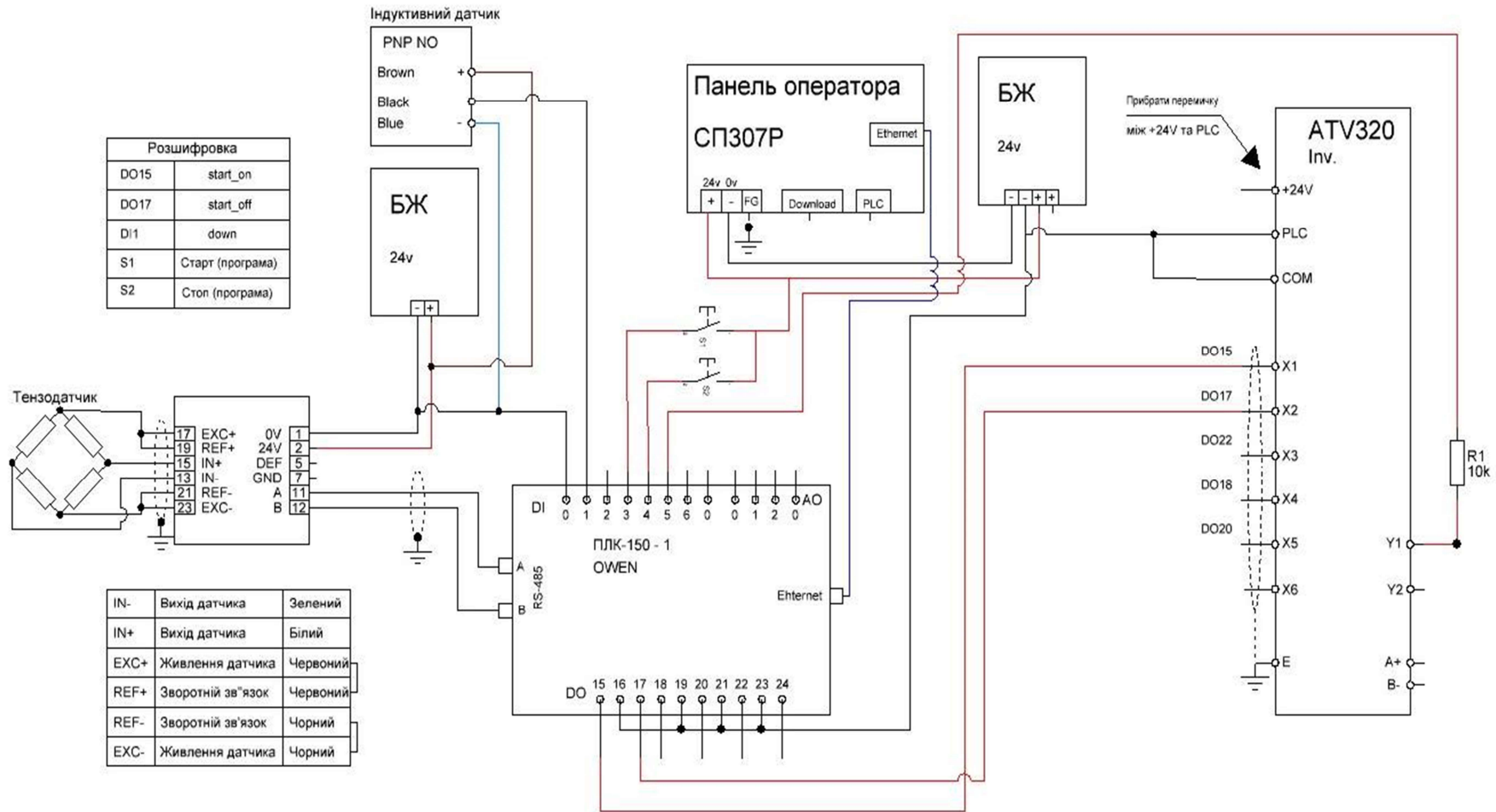
Для проведення заміни було обрано двигун типу 4A112MB8/AIP112MA6, адже двигуни цих серій мають чудові відгуки про надійність в експлуатації.



Параметри обмотки електродвигуна 4A112MB8/AIP112MA6:

- Номінальний Струм – 13,0/17,4 А;
- Кількість пазів статора – 54;
- Маса провoda обмотки – 2,9 кг;
- Крок обмотки у пазах (γ) – 11,9,7
- Діаметр жили провідника для обмотки – 1,12мм;

Електрична схема підключення

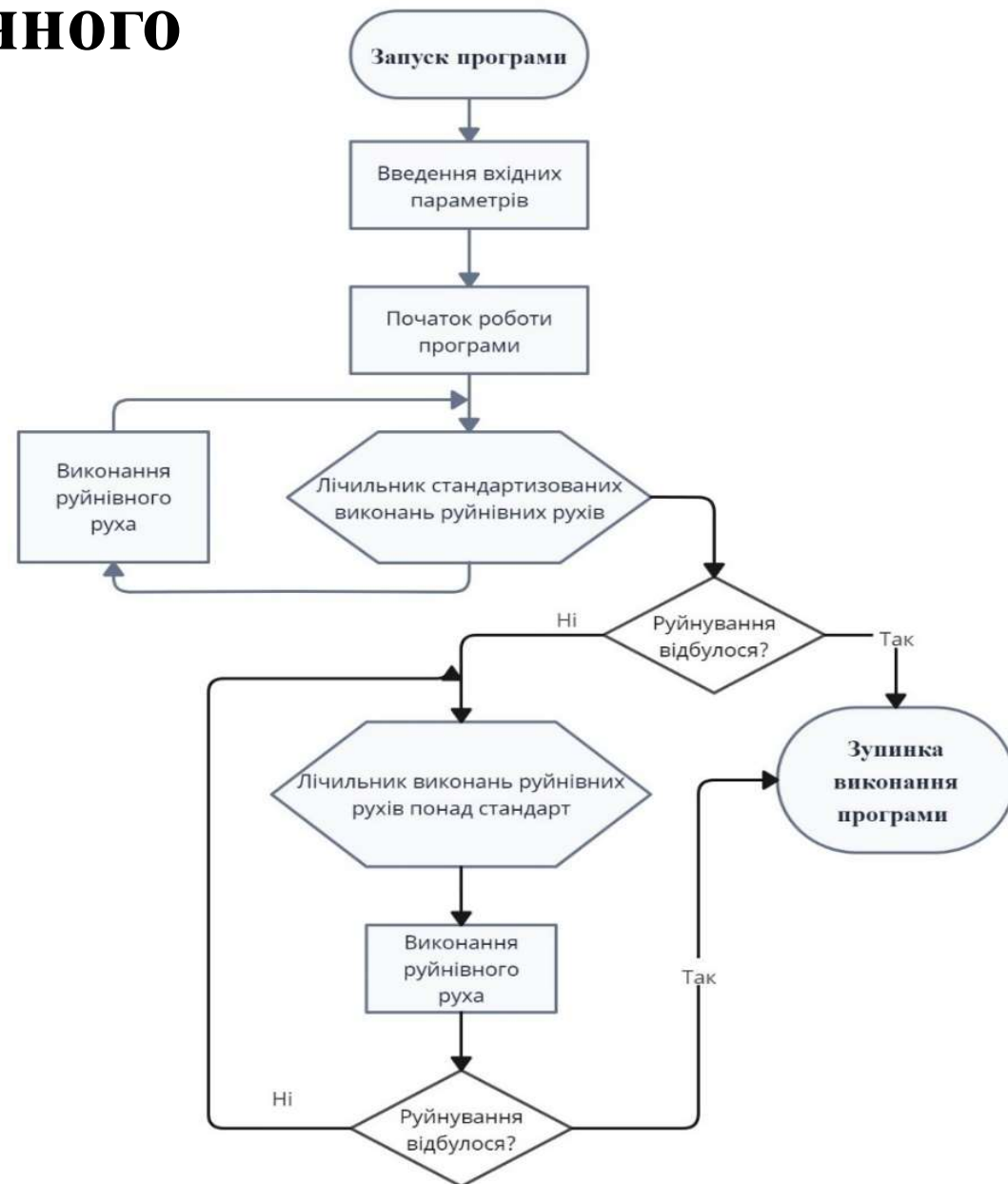


Система автоматичного керування

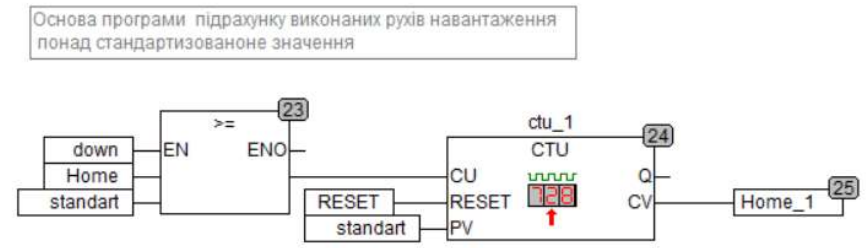
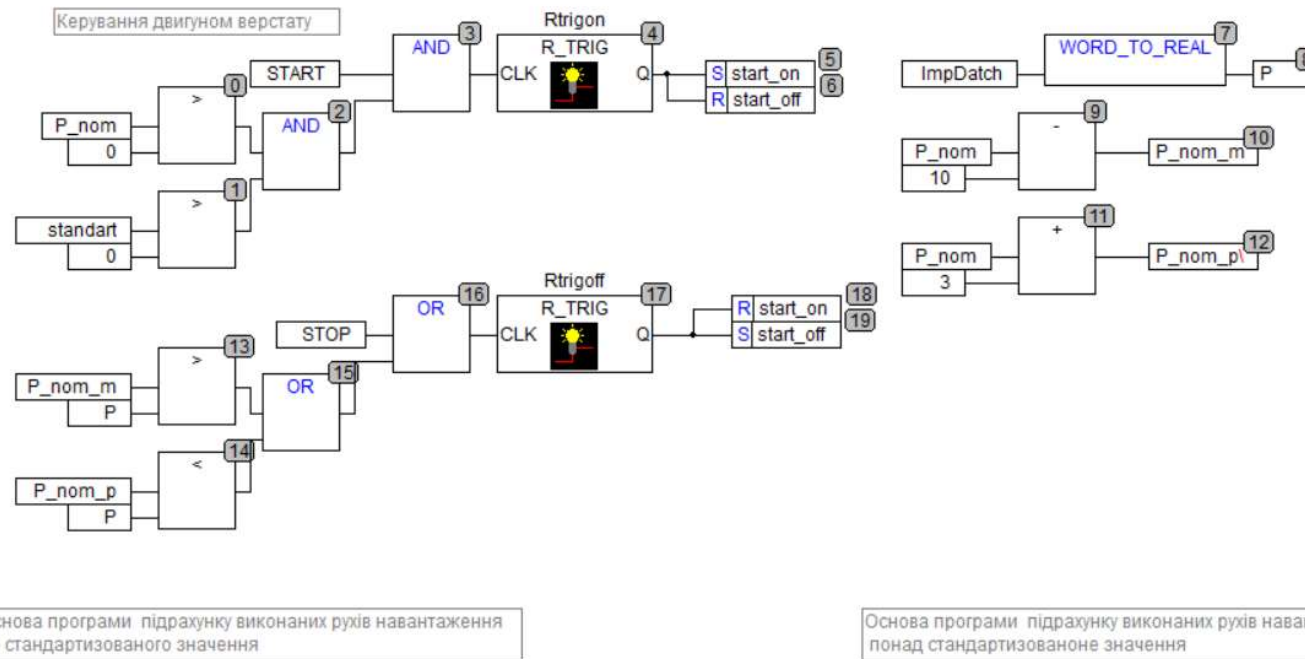
Алгоритм роботи програми циклічного типу

Написання логіки виконання задачі, описаної САК буде виконуватися за допомогою спеціальної програми CODESYS та мови програмування CFC

Проаналізувавши блок схему, створено програму керування кривошипним верстатом КД – 2124



Загальний вид програми



Загалом програма складається з 3-х частин. Керування пуском/стопом двигуна, підрахування імпульсів за допомогою лічильника при стандартизованому значенні кількості потрібних імпульсів і підрахування імпульсів понад стандартизоване значення до моменту руйнування пружини.

Інтерфейс оператора на ПК 307

Кривошипний верстат КД-2124

Поточне навантаження, кН: 4x5 000000

Виконан поступальн рухи, шт: 4x2 0000

Задати ном нальне навантаження, кН: 4x3 00000 4x0.0 RESET

Задати стандарт поступальних рух в, шт: 4x4 0000

4x0.4 4x0.2 STOP

4x0.3 4x0.1 START

 **ЕКСПРЕС ПРУЖИНИ**

Дослідження процесу випробування пружин на руйнування.

Загалом процес руйнування можна охарактеризувати як процес втоми деталі. Випробування на втому деталі полягає у визначенні характеристик опору втомі досліджуваним об'єктом механічним випробуванням.

Під час виконання дослідження, на кривошипному верстаті КД 2124 на початку ніяких змін, які може побачити неозброєне око, пружина не зазнає. На процес руйнування пружини потрібно багато часу, адже пружні тіла виготовляються для того, щоб витримувати довгі постійні циклічні навантаження.



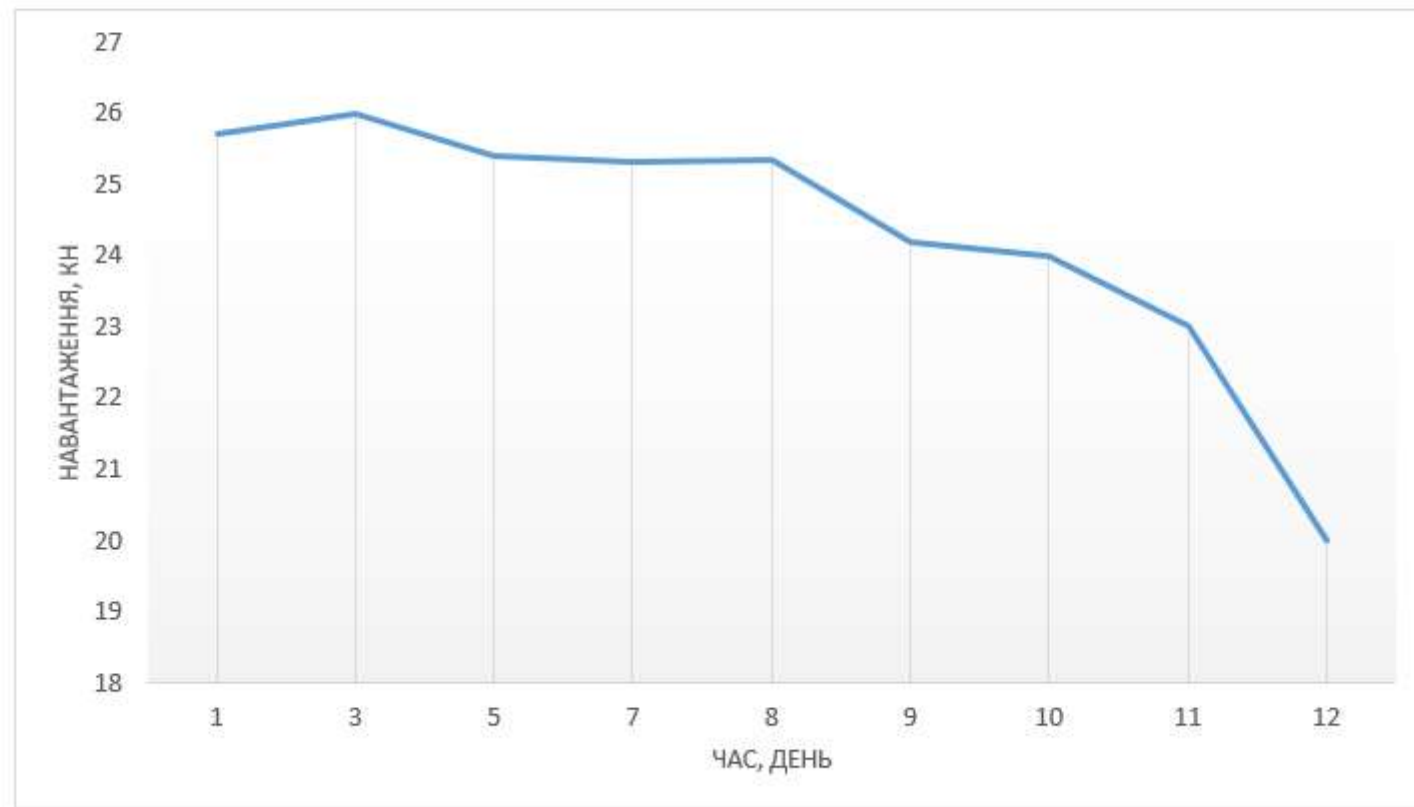
«Втомна тріщина» формується в поверхневих шарах та поширюється всередину досліджуваного алі, утворюючи гострий розрив. Процес поширення втомної тріщини триває доти, поки поперечний переріз не стане настільки малим, що напруження в ньому перевищують руйнівні. На цьому етапі настає швидке руйнування, яке, як правило, має крихке характер через наявність гострого розриву.



Отримані табличні результати виконаної роботи

Таблиця 6.4 – Значення навантаження в залежності від часу виконання досліду

	Час(День)								
	1	3	5	7	8	9	10	11	12
Навантаження	25,7	26	25,4	25,3	25,35	24,2	24	23	21



Висновки по виконаній роботі

В даній магістерській роботі була порушена тема «Дослідження та модернізація кривошипного верстату для руйнівного випробування пружин». За основу було взято верстат типу КД 2124.

У роботі були описані загальні характеристики верстата до модернізаційних змін та після. Було підібрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором на заміну того, який був встановлений. Обрали електроніку для керування процесом випробувань та відслідковування отриманих даних з тензометричного датчика та логічного лічильника. Було складено принципову схему підключення, та зображено на Додатку Б.

За допомогою програмного забезпечення CoDeSys на основі обраної системи САК було створено програму керування процесом випробування. Програма випробування зображена на Додатку В. Отримана програма виконує керування за допомогою обраного ПЛК, який, в свою чергу керує процесами, посылаючи потрібні імпульси за допомогою замикання відповідних контактів.

Враховуючи необхідність якісної продукції пружин, дослідження даної магістерської роботи є одним із основних параметрів безпечного використання пружних елементів, які виготовляє підприємство.

Фактичне дослідження було виконане на верстаті до його повної модернізації та автоматизації та після неї. За результатами досліджень було отримано результати, які описують енергозбереження у зв'язку з відсутністю «холостого ходу» двигуна а також для створення розширеної характеристики досліджуваної продукції.

Дякую за увагу!